

Вольфрамовый цементированный карбид
Комплексное исследование физических и химических
свойств, процессов и приложений (VII)

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

Мировой лидер в области интеллектуального производства для вольфрамовой,
молибденовой и редкоземельной промышленности

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

ВВЕДЕНИЕ В CTIA GROUP

CTIA GROUP LTD, дочерняя компания с полной собственностью и независимым юридическим лицом, созданная CHINATUNGSTEN ONLINE, занимается продвижением интеллектуального, интегрированного и гибкого проектирования и производства вольфрамовых и молибденовых материалов в эпоху промышленного Интернета. CHINATUNGSTEN ONLINE, основанная в 1997 году с www.chinatungsten.com в качестве отправной точки — первого в Китае веб-сайта с продукцией из вольфрама высшего уровня — является пионерской компанией электронной коммерции в стране, сосредоточенной на вольфрамовой, молибденовой и редкоземельной промышленности. Используя почти три десятилетия обширного опыта в области вольфрама и молибдена, CTIA GROUP унаследовала исключительные проектные и производственные возможности своей материнской компании, превосходное обслуживание и международную деловую репутацию, став поставщиком комплексных прикладных решений в области вольфрамовых химикатов, вольфрамовых металлов, твердых сплавов, высокоплотных сплавов, молибдена и молибденовых сплавов.

За последние 30 лет CHINATUNGSTEN ONLINE создала более 200 многоязычных профессиональных веб-сайтов по вольфраму и молибдену, охватывающих более 20 языков, с более чем миллионом страниц новостей, цен и анализа рынка, связанных с вольфрамом, молибденом и редкоземельными металлами. С 2013 года ее официальный аккаунт WeChat "CHINATUNGSTEN ONLINE" опубликовал более 40 000 единиц информации, обслуживая почти 100 000 подписчиков и ежедневно предоставляя бесплатную информацию сотням тысяч специалистов отрасли по всему миру. Благодаря совокупным посещениям кластера ее веб-сайта и официального аккаунта, достигающим миллиардов раз, он стал признанным мировым и авторитетным информационным центром для отраслей вольфрама, молибдена и редкоземельных металлов, предоставляя круглосуточные многоязычные новости, характеристики продукции, рыночные цены и услуги по тенденциям рынка.

Основываясь на технологиях и опыте CHINATUNGSTEN ONLINE, CTIA GROUP фокусируется на удовлетворении индивидуальных потребностей клиентов. Используя технологию искусственного интеллекта, она совместно с клиентами проектирует и производит вольфрамовые и молибденовые изделия с определенным химическим составом и физическими свойствами (такими как размер частиц, плотность, твердость, прочность, размеры и допуски). Она предлагает комплексные услуги по полному процессу, начиная от открытия пресс-формы, опытного производства и заканчивая отделкой, упаковкой и логистикой. За последние 30 лет CHINATUNGSTEN ONLINE предоставила услуги по НИОКР, проектированию и производству для более чем 500 000 видов вольфрамовых и молибденовых изделий более чем 130 000 клиентов по всему миру, заложив основу для индивидуального, гибкого и интеллектуального производства. Опираясь на эту основу, CTIA GROUP еще больше углубляет интеллектуальное производство и интегрированные инновации вольфрамовых и молибденовых материалов в эпоху промышленного Интернета.

Доктор Ханис и его команда в CTIA GROUP, основываясь на своем более чем 30-летнем опыте работы в отрасли, также написали и опубликовали знания, технологии, анализ цен на вольфрам и рыночных тенденций, связанных с вольфрамом, молибденом и редкоземельными металлами, свободно делясь ими с вольфрамовой промышленностью. Доктор Хан, имеющий более чем 30-летний опыт с 1990-х годов в электронной коммерции и международной торговле вольфрамовой и молибденовой продукцией, а также в проектировании и производстве цементированных карбидов и сплавов высокой плотности, является известным экспертом в области вольфрамовой и молибденовой продукции как на внутреннем, так и на международном уровне. Придерживаясь принципа предоставления профессиональной и высококачественной информации для отрасли, команда CTIA GROUP постоянно пишет технические исследовательские работы, статьи и отраслевые отчеты, основанные на производственной практике и потребностях клиентов рынка, завоевывая широкую похвалу в отрасли. Эти достижения обеспечивают надежную поддержку технологическим инновациям CTIA GROUP, продвижению продукции и отраслевому обмену, позволяя ей стать лидером в сфере мирового производства вольфрамовой и молибденовой продукции и информационных услуг.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Часть 3: Оптимизация производительности твердого сплава

Глава 7: Контроль механических свойств твердого сплава

Твердый сплав (WC-Co) широко используется в авиационных инструментах (срок службы резания >15 часов), горнодобывающих буровых коронках (бурение >1200 м) и износостойких матрицах (экструзия >10⁶ раз) благодаря своей превосходной высокой твердости (HV 1200-1800), хорошей вязкости разрушения (K_{IC} 8-16 МПа·м^{1/2}), высокой прочности на сжатие (4000-6000 МПа) и превосходной износостойкости (скорость износа <0,1 мм³ / Н·м). Однако в экстремальных рабочих условиях, таких как высокие удары (частота >500 Гц), циклические нагрузки (>10⁵ раз), высокая температура (>800 °C) и абразивный износ (твердость >800 HV), комплексная производительность твердого сплава по-прежнему сталкивается с проблемами. Трудно для единой стратегии оптимизации одновременно удовлетворять синергетическим требованиям твердости, вязкости, усталостной стойкости и износостойкости. Прорыв в комплексной производительности может быть достигнут путем контроля микроструктуры (размер зерна WC 0,2-2 мкм, содержание Co 6%-15%), глубокого анализа механизма разрушения (скорость роста трещины ~10⁻⁶ мм/цикл) и применения передовой технологии упрочнения (добавка VC 0,2%-0,5%, доза ионной имплантации 10¹⁶ - 10¹⁷ см⁻², толщина лазерной наплавки 50-150 мкм).

Эта глава начинается со следующих четырех аспектов: баланс между твердостью и прочностью, усталостной прочностью и ударопрочностью, анализом механизма отказа и стратегией улучшения производительности, систематически обсуждая механические свойства, преимущества и недостатки, технологию регулирования и условия твердого сплава. Кроме того, эта глава также будет рассматривать тенденцию развития твердого сплава в рамках будущей технологии искусственного интеллекта и промышленной экологии Интернета вещей (IIoT), обеспечивая более высокую эффективность и надежность для промышленных применений.

Преимуществами твердого сплава являются его высокая твердость и износостойкость, а также его способность выдерживать высокие нагрузки и трение в экстремальных рабочих условиях; однако его недостатком является противоречие между твердостью и вязкостью. Высокая твердость (HV >1600) обычно приводит к снижению вязкости (K_{IC} < 10 МПа·м^{1/2}), что склонно к хрупкому разрушению. Кроме того, усталостная стойкость твердого сплава все еще нуждается в улучшении при высокочастотной циклической нагрузке (скорость роста трещины необходимо контролировать на уровне <10⁻⁷ мм / цикл). Благодаря анализу в этой главе читатели получают полное представление о методах регулирования механических свойств твердого сплава и его эксплуатационных характеристиках в практических приложениях.

7.0 Механические свойства твердого сплава

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Твердый сплав (WC-Co) широко используется в авиации, горнодобывающей промышленности и производстве пресс-форм благодаря своим превосходным механическим свойствам. Ниже приводится подробное описание его основных механических свойств, включая определение, метод измерения, факторы влияния и предпосылки применения:

7.0.1. Высокая твёрдость твёрдого сплава

7.0.1.0 Какова твёрдость твердого сплава?

Твердость твердого сплава (WC-Co) относится к способности его поверхности противостоять вдавливанию или царапинам от внешних объектов (таких как инденторы), отражая устойчивость материала к пластической деформации и износу. Как композитный материал, твердый сплав состоит из твердой фазы карбида вольфрама (WC, твердость около HV 2000-2500) и связующей фазы кобальта (Co, твердость около HV 300). Твердость твердого сплава обычно составляет от HV 1200 до HV 1800 и может быть дополнительно увеличена до HV 2000-2500 посредством модификации поверхности (такой как цементация, лазерная наплавка). Уровень твердости напрямую определяет долговечность твердого сплава в условиях высоких нагрузок и трения, таких как его производительность при резке, сверлении и изготовлении пресс-форм.

Физическая природа твердости тесно связана с микроструктурой материала, что обусловлено главным образом высокой твердостью и эффектом упрочнения границ зерен фазы WC, в то время как фаза Co поглощает часть энергии за счет пластической деформации и регулирует общие эксплуатационные характеристики.

7.0.1.1 Метод измерения твердости твердого сплава

Твердость твердого сплава можно измерить различными методами испытаний, различные методы подходят для разных сценариев и требований к точности:

Твёрдость по Виккерсу (HV)

Диапазон : HV 1200-1800, до HV 2000-2500 после модификации поверхности.

Принцип : используйте твердомер Виккерса, алмазный четырехугольный пирамидальный индентор (диагональный угол 136°), приложите стандартную нагрузку (обычно 30 кг) и рассчитайте значение твердости, измерив длину диагонали отпечатка. Формула:

$$HV = \frac{1.8544 \cdot F}{d^2}$$

Где F — нагрузка (кг), d — диагональная длина углубления (мм).

Преимущества : широкий диапазон измерений, высокая точность, подходит для испытаний на твердость твердого сплава, является наиболее распространенным методом.

Применение : Используется для оценки объемной твердости и твердости микроскопических

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

участков, таких как зерна или покрытия.

Твёрдость по Роквеллу (HRA)

Диапазон : HRA 80-94 (шкала A).

Принцип : Используйте твердомер по Роквеллу с алмазным конусным индентором (угол конуса 120°) и приложите нагрузку 60 кг для измерения глубины вдавливания.

Преимущества : Быстрое тестирование, подходит для крупномасштабного тестирования.

Ограничения : Немного более низкая точность для сверхтвёрдых материалов (таких как твёрдый сплав), часто используемых для предварительной оценки.

Твёрдость по Бринеллю (HB)

Диапазон : HB 1000-1600.

Принцип : используйте твердосплавный шариковый индентор (диаметром 10 мм), приложите большую нагрузку (например, 3000 кг) и рассчитайте твердость через область вдавливания. Формула:

$$HB = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

7.0.1.2 Факторы, влияющие на твердость

Твердость твердого сплава зависит от множества микроструктур и параметров процесса. Ниже приводится подробный анализ основных факторов:

(1) Размер зерна WC

эффект:晶粒尺寸越小, 硬度越高, 遵循 Hall-Petch 关系 ($\sigma_y = \sigma_0 + k \cdot d^{-1/2}$), 其中 σ_y 为屈服强度, d 为晶粒尺寸, k 为常数 (约 $0.3 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)。硬度与屈服强度近似正比 ($HV \approx 3\sigma_y$)。

данные При уменьшении размера зерна с 2 мкм до 0,5 мкм твердость увеличивается с HV 1200 до HV 1600, что составляет увеличение примерно на 25%-30%. Если размер зерна еще больше уменьшить до <0,2 мкм, твердость может достичь HV 1800, но прочность может снизиться из-за проскальзывания границ зерен.

механизм Мелкие зерна увеличивают плотность границ зерен ($>10^{13} \text{ м}^{-2}$), затрудняя движение дислокаций и, таким образом, увеличивая твердость.

(2) Содержимое

Эффект : Со — мягкая фаза (твердость около HV 300), и увеличение его содержания приведет к снижению твердости твердого сплава.

Данные : При содержании Со 6–8% твердость составляет HV 1600–1800; при содержании Со 12–15% твердость снижается до HV 1200–1400.

Механизм : При высоком содержании Со объемная доля WC уменьшается (доля WC падает с 90% до 70%), а сопротивление деформации твердой фазы снижается.

(3) Добавки

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Эффект : Такие добавки, как VC (карбид ванадия) или Cr_3C_2 , могут подавлять рост зерна и повышать твердость.

Данные : Добавление 0,2%-0,5% VC может повысить твердость на 5%-10% до HV 2000. Если количество добавки $>0,8\%$, могут образоваться хрупкие фазы (такие как VCx), что приведет к снижению эксплуатационных характеристик.

Механизм : VC подавляет рост зерен и снижает скорость миграции границ зерен ($<10^{-10}$ м/с) за счет упрочнения твердого раствора и дисперсионного осаждения (образуя тонкий слой VCx толщиной <20 нм).

(4) Модификация поверхности

Эффект : Повышение твердости поверхности с помощью таких методов, как цементация, ионная имплантация или лазерная наплавка.

Данные : Цементация формирует слой, обогащенный WC (толщиной 10-30 мкм) с твердостью до HV 2000-2200; лазерная наплавка формирует слой высокой твердости (толщиной 50-100 мкм) с твердостью до HV 2500.

Механизм : Модификация поверхности вводит фазу высокой твердости (такую как WC или CrN) и остаточное напряжение сжатия (>400 МПа) для повышения сопротивления деформации.

(5) Процесс спекания

Эффект : Температура спекания и атмосфера влияют на рост зерна и микроструктуру.

Данные : Когда температура спекания составляет 1400–1500 °C, а степень вакуума $<10^{-2}$ Па, размер зерна можно контролировать до $<0,8$ мкм, а твердость достигает HV 1600. Если температура >1550 °C, а размер зерна >2 мкм, твердость снижается на 10–15%.

Механизм : Высокая температура вызывает рост зерен и снижает эффект упрочнения границ зерен.

7.0.1.3 Микроскопический механизм твердости

Микроскопический механизм твердости твердого сплава в основном основан на следующих аспектах:

(1) Высокая твердость фазы WC

WC (карбид вольфрама) — сверхтвердый материал с твердостью до HV 2000-2500, что обусловлено его ковалентной структурой связей (энергия связи WC ~ 800 кДж/моль) и высоким модулем ($E \approx 700$ ГПа). Фаза WC составляет 70%-90% объемной доли в твердом сплаве и является основным источником твердости.

(2) Упрочнение границ зерен (эффект Холла-Петча)

晶粒尺寸减小增加晶界密度, 晶界通过钉扎位错 (Orowan 强化, $\tau \sim Gb/\lambda$, $\lambda < 1 \mu\text{m}$) 阻碍位错运动, 提高硬度和强度。晶界迁移速率 ($<10^{-10}$ m/s) 受添加剂和烧结温度控制, 迁移能障约为 80-120 kJ/mol。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(3) Регулирующее влияние фазы Co

Фаза Co (низкая твердость, $HV \approx 300$) поглощает часть энергии посредством пластической деформации (скорость деформации $\sim 10^{-3} \text{ с}^{-1}$) и снижает концентрацию напряжений, но высокое содержание Co уменьшит долю фазы WC и снизит общую твердость.

(4) Эффект интерфейса

Прочность связи интерфейса ($>50 \text{ МПа}$) между WC и Co имеет важное влияние на твердость. Смачиваемость Co на WC (контактный угол $<15^\circ$) обеспечивает низкую энергию интерфейса ($<1,5 \text{ Дж/м}^2$), но если распределение Co неравномерно (отклонение $>1\%$), могут образовываться лужи Co (размер $>5 \text{ мкм}$), что снижает твердость.

(5) Термодинамическая устойчивость

Термодинамическая стабильность мелкозернистого WC оценивается по свободной энергии Гиббса ($\Delta G < 0$). Когда размер зерна $<0,5 \text{ мкм}$, энергия интерфейса ($>1,5 \text{ Дж/м}^2$) доминирует над изменениями свойств и может вызывать микротрещины (длиной $0,05\text{-}0,1 \text{ мкм}$), влияющие на твердость.

7.0.1.4 Прикладное значение твердости

Высокая твердость твердого сплава является его основным преимуществом в промышленных применениях, особенно в следующих случаях:

Авиационные инструменты

Требования : Скорость резания $> 800 \text{ м/мин}$, высокая нагрузка и трение.

Производительность : Срок службы инструмента из сплава WC-10Co с твердостью HV 1600 может достигать 15 часов, что на 25% выше, чем у материала с твердостью HV 1200.

Механизм : Высокая твердость снижает скорость износа инструмента ($<0,1 \text{ мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}$) и продлевает срок службы инструмента.

Горнодобывающие буровые коронки

Требования : бурение твердых пород (твердость породы $> 800 \text{ HV}$), требуется высокая устойчивость к трению и ударам.

Производительность : буровая коронка WC-8Co с твердостью HV 1700, дальность бурения $>1200 \text{ м}$, увеличение на 40%.

Механизм : Высокая твердость снижает абразивный износ (ширина канавки $<10 \text{ мкм}$) и повышает долговечность.

Износостойкая форма

Требования : Высокочастотная экструзия ($>10^6$ раз), устойчивость к износу и деформации.

Производительность : матрица WC-12Co с твердостью HV 1600, время экструзии $>10^6$ раз.

Механизм : Высокая твердость обеспечивает способность поверхности формы противостоять вдавливанию и продлевает ее срок службы.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Условия высоких температур

Спрос : Высокотемпературная резка ($>800^{\circ}\text{C}$), например, обработка лопаток авиационных турбин.

Эксплуатационные характеристики : Твердый сплав с твердостью HV 2000 (после цементации) имеет срок службы 20 часов, что на 30% больше.

Механизм : Высокая твердость и оксидный слой (WO_3 , толщина ~ 2 мкм) совместно снижают износ при высоких температурах .

7.0.1.5 Компромисс между твердостью и прочностью

- разница между твердостью и вязкостью (K_{1c}) твердого сплава:

Высокая твердость ($\text{HV} > 1600$) обычно сопровождается низкой вязкостью ($K_{1c} < 10 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$), что может легко привести к хрупкому разрушению из-за мелкого зерна ($< 0,2$ мкм) или низкого содержания Co ($< 6\%$).

Высокая ударная вязкость ($K_{1c} > 12 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$) требует увеличения содержания Co ($> 12\%$) или размера зерна ($1-2$ мкм), но при этом снизится твердость ($\text{HV} < 1400$), что повлияет на износостойкость.

Стратегии оптимизации включают в себя:

Выбранный размер зерна составляет $0,5-1$ мкм , содержание Co $8\%-12\%$, твердость HV $1500-1600$, K_{1c} $12-14 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$.

Добавление VC/ TaC ($0,2-0,5\%$) может повысить твердость на $3-5\%$, сохранив при этом прочность.

Принимает градиентную структуру (поверхностный Co 6% , внутренний 12%), поверхностная твердость HV 1600 , внутренняя K_{1c} $14 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$.

7.0.1.6 Резюме

Твердость твердого сплава является основным показателем его способности противостоять деформации и износу, с типичным диапазоном HV $1200-1800$ и максимальным HV 2500 . Твердость в основном обусловлена высокой твердостью и упрочнением границ зерен фазы WC и зависит от таких факторов, как размер зерна, содержание Co, добавки и модификация поверхности. Благодаря оптимизации микроструктуры и параметров процесса твердый сплав может демонстрировать превосходную долговечность и надежность в таких областях, как авиация, горнодобывающая промышленность и производство пресс-форм. В будущем использование технологий искусственного интеллекта и промышленного Интернета вещей (IoT) может дополнительно улучшить постоянство твердости и эффективность оптимизации производительности.

7.0.2. Трещиностойкость твердого сплава

Вязкость разрушения твердого сплава (WC-Co) — это его способность противостоять

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

распространению трещин и разрушению, и является ключевым показателем для оценки надежности материалов в условиях высоких напряжений или ударов. Ниже приводится подробное объяснение определения, метода измерения, влияющих факторов, микроскопического механизма и значения применения.

7.0.2.1. Определение вязкости разрушения твердого сплава

Вязкость разрушения (K_{Ic}) - это способность твердого сплава противостоять распространению трещин при наличии трещин или дефектов, единицей измерения является $\text{МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$. Диапазон вязкости разрушения твердого сплава обычно составляет $8-16 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, что отражает его стойкость к хрупкому разрушению при высоких нагрузках или ударной среде. Вязкость разрушения в основном зависит от способности к пластической деформации связующей фазы Co и эффекта упрочнения границ зерен фазы WC , что отражает баланс между твердостью и вязкостью твердого сплава.

7.0.2.2 Метод измерения вязкости разрушения твердого сплава

Вязкость разрушения обычно измеряется стандартизированными методами испытаний. Ниже приведены распространенные методы:

Односторонний зазубренный луч (SENB)

Принцип: Сделайте V-образный или прямой надрез на образце, используйте трехточечную изгибающую нагрузку и измерьте максимальное напряжение до расширения трещины.

Формула:

原理: 在试样上预制 V 型或直边缺口, 采用三点弯曲加载, 测量裂纹扩展前的最大应力。公式为:

$$K_{Ic} = \frac{P \cdot S}{B \cdot W^{3/2}} \cdot f\left(\frac{a}{W}\right)$$

其中 P 为载荷, S 为支座间距, B 和 W 分别为试样厚度和宽度, a 为裂纹长度, $f\left(\frac{a}{W}\right)$ 为几何修正因子。

Условия: Размер образца обычно составляет $55 \times 10 \times 10 \text{ мм}$, а глубина надреза — около 2 мм .

Преимущества: Подходит для точного измерения твердого сплава, широко используется в промышленных стандартах.

Метод отступа

K_{Ic} по длине трещины при определении твердости по Виккерсу, на основе эмпирической формулы роста трещины.

Преимущества: Не требует сложной подготовки образцов, подходит для быстрого тестирования.

Ограничения: Низкая точность, подходит для предварительной оценки.

Другие методы, такие как метод двойной консольной балки (DCB) или метод компактного натяжения (CT), подходят для определенных исследовательских сценариев.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Метод SENB стал основным методом испытаний вязкости разрушения твердого сплава благодаря своей высокой точности и стандартизации.

7.0.2.3 Факторы, влияющие на трещиностойкость твердого сплава

На уровень вязкости разрушения влияют различные микроструктурные и технологические параметры, а именно:

Содержимое

Эффект: Со, как вязкая фаза, поглощает энергию трещины посредством пластической деформации. Чем выше содержание, тем лучше вязкость.

Данные: При содержании Со 6% K_{Ic} составляет около $8-10 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$; при содержании Со 12% -15% K_{Ic} может достигать $14-16 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$.

Механизм: Увеличение содержания Со (>10%) усиливает пластическое рассеивание (скорость деформации $\sim 10^{-3} \text{ с}^{-1}$), но снижает твердость ($\text{HV} < 1400$).

Размер зерна

Эффект: Размер зерна оказывает двойное влияние на прочность, а умеренный размер оптимизирует эксплуатационные характеристики.

Если зерна крупные (например, 1-2 мкм), $K_{Ic} > 12 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$; если зерна слишком мелкие (например, <0,2 мкм), $K_{Ic} < 8 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ из-за скопления по границам зерен (скорость $\sim 10^{-9} \text{ м/с}$).

Механизм: Крупные зерна снижают плотность границ зерен ($< 10^{13} \text{ м}^{-2}$), тем самым снижая сопротивление распространению трещин; чрезмерно мелкие зерна увеличивают дефекты границ зерен, которые могут легко привести к образованию микротрещин.

добавка

Эффект: Добавки могут укреплять границы зерен или оптимизировать микроструктуру, а также повышать прочность.

Данные: Добавление ТаС (0,2–0,5 %) может увеличить K_{Ic} примерно на 5–10%; добавление VC (>0,8%) может привести к образованию хрупкой фазы и снижению ударной вязкости.

Механизм: ТаС повышает прочность связи на границах зерен (>150 МПа) и снижает межзеренное разрушение.

Процесс спекания

Эффект: Температура и время спекания влияют на распределение Со и стабильность границ зерен.

Данные: При температуре спекания 1400–1500 °C и времени спекания 1–3 часа K_{Ic} стабилен на уровне $12-14 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$; если >1550 °C, скорость сегрегации Со составляет >1%, а K_{Ic} уменьшается на 5–10%.

Механизм: Высокая температура приводит к образованию осадка Со (размером > 5 мкм), что снижает ударную вязкость.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.0.2.4. Микроскопический механизм трещиностойкости твердого сплава

Микроскопический механизм вязкости разрушения в основном включает следующие аспекты:

Пластическая деформация фазы Со Фаза Со поглощает энергию трещины посредством пластической деформации (деформация ~0,05%-0,1%) и задерживает распространение трещины. Когда

содержание Со составляет 10%, пластическое рассеивание становится значительным, и K_{Ic} может достигать $12 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$.

Прогиб трещины на границах зерен WC Границы

зерен WC (0,5-1 мкм) увеличивают длину пути распространения трещины и снижают скорость распространения трещины ($<10^{-2} \text{ м/с}$) за счет прогиба трещины (угол 20° - 40°). Эффект прогиба более выражен в крупных зернах ($>1 \text{ мкм}$).

Связывание интерфейса

Прочность связи интерфейса ($>50 \text{ МПа}$) между WC и Со достигается за счет смачивания Со (контактный угол $<15^\circ$), а энергия интерфейса составляет $<1,5 \text{ Дж/м}^2$. Если дефектов интерфейса много ($>0,5\%$), прочность снижается.

, подавляющие микротрещины

(такие как TaC), подавляют возникновение микротрещин (длиной $<0,05 \text{ мм}$) за счет упрочнения твердого раствора (расстояние между границами зерен $<0,2 \text{ мкм}$), увеличивая K_{Ic} на 5%-10%.

7.0.2.5. Значение вязкости разрушения твердого сплава для применения

Вязкость разрушения имеет решающее значение при практическом применении твердого сплава, особенно в условиях высоких ударных и циклических нагрузок:

Авиационные инструменты

Требования: Скорость резания $> 800 \text{ м/мин}$, необходимость выдерживать высокие ударные и циклические нагрузки.

Производительность: инструмент WC-8Co с K_{Ic} $12 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, срок службы >15 часов.

Механизм: Высокая прочность снижает рост трещин (скорость $<10^{-6} \text{ мм/цикл}$) и продлевает срок службы.

Горнодобывающие буровые коронки

Требования: Бурение твердых пород (частота $> 500 \text{ Гц}$), требуется высокая ударопрочность.

Производительность: буровая коронка WC-10Co с K_{Ic} $13 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, дальность бурения $>1200 \text{ м}$.

Механизм: Высокая прочность поглощает энергию удара ($>18 \text{ Дж}$) и снижает риск разрушения.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Износостойкая форма

Требования: Высокочастотная экструзия ($>10^6$ раз), требуется сопротивление усталостному разрушению.

Свойства: матрица WC-12Co с K_{1c} с 14 МПа·м^{1/2}, время экструзии $>10^6$.

Механизм: Высокая прочность задерживает рост микротрещин (длиной $<0,1$ мм).

Глубоководные условия

Требования: давление >80 МПа, требуется стойкость к коррозии под напряжением.

Свойства: Градиентный карбид с K_{1c} с 14 МПа·м^{1/2}, срок службы >4 лет.

Механизм: Высокая прочность и защита поверхности уменьшают распространение коррозионных трещин.

7.0.2.6 Оптимизация и будущее развитие вязкости разрушения твердого сплава

Для повышения вязкости разрушения можно использовать следующие стратегии:

Оптимизация микроструктуры: выберите размер зерна 0,5–1 мкм, содержание Co 10–12%, K_{1c} может достигать 12–14 МПа·м^{1/2}.

Аддитивный контроль: Добавление 0,2%-0,5% TaC может увеличить K_{1c} на 5%-10%.

Упрочнение поверхности: нанесите покрытие TiN (толщиной 1–3 мкм) для уменьшения образования поверхностных трещин и повышения K_{1c} на 5–10%.

AI и IoT: используйте AI для прогнозирования распределения Co и стабильности границ зерен (погрешность $<0,2\%$), а также объедините IoT для мониторинга распространения трещин в реальном времени (точность $\pm 0,02$ мм) и улучшения постоянства вязкости (отклонение $<0,5$ МПа·м^{1/2}).

Вязкость разрушения является фокусом оптимизации производительности твердого сплава, особенно в экстремальных рабочих условиях. Благодаря оптимизации микроструктуры и параметров процесса твердый сплав может удовлетворить потребности таких востребованных приложений, как авиация, горнодобывающая промышленность и глубоководные работы. В будущем интеграция технологий искусственного интеллекта и промышленного Интернета вещей будет способствовать дальнейшему повышению вязкости и расширению областей применения.

7.0.3. Прочность на сжатие твердого сплава

Прочность на сжатие цементированного карбида (WC-Co) является важным показателем механических свойств его способности выдерживать повреждения под действием сжимающих нагрузок, отражая способность материала противостоять деформации сжатия и хрупкому разрушению. Ниже приводится подробное объяснение определения, метода измерения, влияющих факторов, микроскопического механизма, значения применения, оптимизации и будущего развития, а также добавлены дополнительные подробности и данные для углубления анализа.

7.0.3.1 Определение прочности на сжатие твердого сплава

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Прочность на сжатие - это максимальное напряжение до того, как материал достигнет разрушения при однонаправленной нагрузке сжатия твердого сплава, измеряемое в МПа, с типичным диапазоном 4000-6000 МПа. Прочность на сжатие является ключевым параметром для твердого сплава в условиях высокой нагрузки, в основном поддерживаемым сверхвысоким модулем (около 700 ГПа) и эффектом упрочнения границ зерен твердой фазы карбида вольфрама (WC), при этом регулируемым пластическими свойствами связующей фазы кобальта (Co). Уровень прочности на сжатие напрямую определяет надежность и долговечность твердого сплава в условиях экстремального давления (таких как глубоководная или высокоскоростная резка). Например, прочность на сжатие сплава WC-10Co обычно составляет 4500-5000 МПа, а конкретное значение варьируется в зависимости от микроструктуры и параметров процесса.

7.0.3.2.Метод измерения прочности на сжатие твердого сплава

Прочность на сжатие определяется стандартизированным испытанием на сжатие. Ниже приведены конкретные методы и соответствующие сведения:

Испытание на сжатие

Принцип: Используйте универсальную машину для испытания материалов или специальную машину для испытания на сжатие, чтобы приложить однонаправленную нагрузку сжатия к цилиндрическому или кубическому образцу до тех пор, пока образец не подвергнется пластической деформации или хрупкому разрушению, и запишите максимальное напряжение.

Формула:

$$\sigma_c = \frac{F}{A}$$

其中 σ_c 为抗压强度 (MPa), F 为破坏时的最大载荷 (N), A 为试样初始截面面积 (mm^2).

Условия испытаний:

Геометрия образца: цилиндрическая (диаметр 10 мм, высота 20 мм) или кубическая ($10 \times 10 \times 10$ мм), с соотношением диаметра к высоте обычно 1:2, чтобы избежать эффекта бочкообразности.

Скорость нагрузки: 0,5-1 мм/мин, нагружать медленно, чтобы обеспечить равномерное распределение напряжения.

Условия окружающей среды: комнатная температура (20–25 °C), влажность <50%, избегать воздействия факторов окружающей среды.

Преимущества: Непосредственно отражает предел несущей способности материала при сжатии, а результаты испытаний в высокой степени коррелируют с реальными сценариями применения.

Ограничения: Образец не должен иметь начальных дефектов (например, пористость <1%), в противном случае результат будет низким; геометрия образца и эффекты трения могут вносить ошибки, требующие применения смазочных материалов или поправочных коэффициентов.

Дополнительная технология: Сочетание тензодатчиков для измерения поперечных и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

продольных деформаций и расчета коэффициента Пуассона ($\nu \approx 0,2-0,25$) дополнительно проверяет характеристики сжатия.

Метод испытания на сжатие является стандартным методом измерения прочности на сжатие твердого сплава и широко применяется в промышленности и научных исследованиях.

7.0.3.3 Факторы, влияющие на прочность на сжатие твердого сплава

Прочность на сжатие зависит от множества факторов, включая микроструктуру, соотношение состава и процесс подготовки. Конкретный анализ выглядит следующим образом:

Размер зерна WC

Эффект: измельчение зерна повышает сопротивление сжатию за счет увеличения плотности границ зерен.

Данные: При уменьшении размера зерна с 2 мкм до 0,2–0,5 мкм прочность на сжатие увеличивается с 4000 МПа до >4500 МПа или даже до 5000 МПа; если размер зерна >2 мкм, прочность на сжатие падает до 3500–4000 МПа.

Механизм: Мелкие зерна (<0,5 мкм) в соответствии с соотношением Холла-Петча

机理: 细小晶粒 (<0.5 μm) 依据 Hall-Petch 关系 ($\sigma_y = \sigma_0 + k \cdot d^{-1/2}$, $k \approx 0.3 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)

Улучшает предел текучести, плотность границ зерен $>10^{13} \text{ м}^{-2}$ эффективно препятствует движению дислокаций.

Ограничение: Слишком мелкие зерна (<0,2 мкм) могут привести к образованию микротрещин из-за увеличения дефектов границ зерен (>0,5%) , а прочность на сжатие может снизиться на 5–10%.

Содержимое

Эффект: Слишком высокое содержание Co ослабит прочность на сжатие.

Данные: При содержании Co 8%-12% прочность на сжатие стабильна на уровне 4500-5000 МПа; при содержании Co >15% прочность на сжатие падает до <3500 МПа; при содержании Co <6% прочность на сжатие может достигать 5000-6000 МПа, но ударная вязкость снижается ($K_{IC} < 10 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$).

Механизм: Co — мягкая фаза (твёрдость $HV \approx 300$). Высокое содержание (>15%) снижает объемную долю WC (<70%), смягчает материал и снижает несущую способность при сжатии.

Низкое содержание Co увеличивает долю фазы WC, но склонно к хрупкому разрушению.

Диапазон оптимизации: содержание Co 10% считается наилучшим значением для баланса между сопротивлением сжатию и вязкостью.

Микроструктура

Эффект: Однородная микроструктура значительно улучшает компрессионные свойства.

Данные: Если плотность границ зерен $>10^{13} \text{ м}^{-2}$ и пористость <1%, прочность на сжатие составляет >5000 МПа; если уровень дефектов границ зерен >2% или пористость >2%, прочность на сжатие снижается на 10%-15%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

机理: 均匀分布的 WC 相和 Co 相减少应力集中, 晶界通过 Orowan 强化 ($\tau \sim Gb/\lambda$, $\lambda < 1 \mu\text{m}$) 钉扎位错, 增强抗压能力; 孔隙或缺陷 (如尺寸 $> 5 \mu\text{m}$) 成为应力集中源, 降低强度。

Влияние процесса: Холодное изостатическое прессование (ХИП, давление 200-300 МПа) может увеличить плотность до $> 99\%$, значительно улучшая сопротивление сжатию.

7.0.3.4. Микромеханизм прочности на сжатие твердого сплава

Микроскопический механизм прочности на сжатие включает в себя следующие аспекты:

Высокий модуль фазы WC

Модуль упругости фазы WC ($E \approx 700 \text{ ГПа}$) обеспечивает высокую прочность на сжатие и противостоит деформации сжатия. Объемная доля WC 70%-90% является основным источником прочности на сжатие, а ее ковалентная структура связей (энергия связи WC $\sim 800 \text{ кДж/моль}$) обеспечивает отличные характеристики сжатия.

Упрочнение границ зерен

Высокая плотность границ зерен ($> 10^{13} \text{ м}^{-2}$) препятствует движению дислокаций по механизму упрочнения Орована. Когда размер зерна $< 0,5 \text{ мкм}$, эффект упрочнения значителен, а прочность на сжатие может увеличиться на 20%-30%. Скорость миграции границ зерен ($< 10^{-10} \text{ м/с}$) контролируется температурой спекания ($1400\text{-}1500^\circ\text{C}$).

Пластическое регулирование

фазы Co Фаза Co (твердость $\text{HV} \approx 300$) поглощает энергию сжатия посредством пластической деформации (скорость деформации $\sim 10^{-3} \text{ с}^{-1}$) и предотвращает хрупкое разрушение. При содержании Co 10% пластическое рассеивание оптимизирует баланс между прочностью на сжатие и ударной вязкостью.

Стабильность интерфейса

Прочность связи на границе раздела ($> 50 \text{ МПа}$) между WC и Co достигается за счет смачивания Co (контактный угол $< 15^\circ$) и энергии на границе раздела $< 1,5 \text{ Дж/м}^2$. Если на границе раздела имеется много дефектов ($> 0,5\%$), таких как скопления Co (размер $> 5 \text{ мкм}$), прочность на сжатие снижается на 10%-15%.

Эффект термического напряжения

Скорость охлаждения при спекании ($3\text{-}5^\circ\text{C/мин}$) контролирует термическое напряжение ($< 100 \text{ МПа}$). Слишком быстрое охлаждение ($> 10^\circ\text{C/мин}$) может привести к появлению микротрещин и снижению прочности на сжатие на 5%-10%.

7.0.3.5. Значение прочности на сжатие твердого сплава для применения

Высокая прочность на сжатие делает цементированный карбид широко используемым в условиях высоких нагрузок и экстремальных условиях. Ниже приводится подробный анализ конкретных сценариев:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Авиационные инструменты

Требования: Выдерживает локальное давление >4000 МПа во время резки, требуя высокого сопротивления сжатию для сохранения целостности кромок.

Производительность: Инструменты из сплава WC-10Co с прочностью на сжатие 5000 МПа имеют срок службы >15 часов при скорости резания >800 м/мин, что на 25% выше, чем у материалов с прочностью на сжатие 4000 МПа.

Механизм: Высокая прочность на сжатие снижает деформацию сжатия кромки (деформация $<0,1\%$), обеспечивая точность резки и долговечность.

Глубоководное бурение

Требования: Работа в глубоководной морской среде при давлении >80 МПа, необходимость противостоять высоким сжимающим нагрузкам и коррозии в морской воде.

Характеристики: буровое долото WC-8Co с прочностью на сжатие 5500 МПа, дальность бурения >1500 м, сопротивление давлению улучшено на 40%, срок службы увеличен до 5 лет, позволяющая выдерживать высокое давление на большой глубине (>80 МПа), в сочетании с покрытием CrN (толщина 2–4 мкм) для снижения коррозионных эффектов.

Форма, устойчивая к давлению

Требования: Высокочастотная экструзия ($>10^6$ раз) должна выдерживать локальное высокое давление (>5000 МПа) во избежание деформации или поломки.

Производительность: матрица WC-12Co с прочностью на сжатие 6000 МПа, время экструзии $>10^6$ раз, на 30% выше, чем у матрицы с прочностью на сжатие 4500 МПа.

Механизм: Высокая прочность на сжатие уменьшает вмятины на поверхности формы (глубина $<0,5$ мкм) и продлевает срок службы.

Условия высоких температур

Требования: Высокотемпературная резка ($>800^\circ\text{C}$) требует устойчивости к термическим нагрузкам, например, при обработке лопаток авиационных турбин.

Характеристики: Твердый сплав с градиентной структурой (6% Co на поверхности, 12% внутри) с прочностью на сжатие 4500 МПа, срок службы >4000 часов при 850°C , что на 35% выше, чем у обычных материалов.

на сжатие в сочетании с оксидным слоем (WO_3 , толщина ~ 2 мкм) для сопротивления высокотемпературному сжатию и снижения термического напряжения (<150 МПа).

7.0.3.6 Оптимизация и будущее развитие прочности на сжатие твердого сплава

Для дальнейшего повышения прочности на сжатие можно использовать следующие стратегии:

Оптимизация микроструктуры:

Размер зерна составляет 0,2-0,5 мкм, а прочность на сжатие может достигать 5000-6000 МПа

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

при высокоэнергетическом измельчении в шаровой мельнице (скорость 300-500 об/мин, время 20-40 часов) .

Содержание Со контролируется на уровне 8–12 % для обеспечения баланса между сопротивлением сжатию и ударной вязкостью ($K_{1c} > 12 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$) .

Аддитивный контроль:

Добавление 0,2%–0,5% VC или Cr_3C_2 может увеличить прочность границ зерен на 5%–10%, а прочность на сжатие — на 3%–5%.

Избегайте добавления $> 0,8\%$ для предотвращения образования хрупких фаз (соотношения $> 0,5\%$).

Укрепление поверхности:

Нанесение покрытия CrN (толщина 2-4 мкм , твердость HV 3000-3500) позволяет улучшить сопротивление поверхности сжатию и увеличить прочность на 5%-10%.

Лазерная наплавка (мощность 1,5-2,5 кВт, толщина 50-100 мкм) формирует высокотвердый слой, что повышает сопротивление сжатию на 10%-15%.

Оптимизация процесса:

Температура спекания 1400-1500°C, степень вакуума $< 10^{-2}$ Па, плотность $> 99\%$, пористость $< 1\%$.

Холодное изостатическое прессование (ХИП, давление 200-300 МПа) увеличивает плотность и прочность на сжатие на 5%-10%.

ИИ и промышленный интернет вещей :

Для прогнозирования плотности границ зерен и распределения Со использовался искусственный интеллект (погрешность $< 0,2\%$), а параметры шаровой мельницы были оптимизированы на основе исторических данных (точность $\pm 0,5$ ч).

сочетании с IIoT можно осуществлять мониторинг распределения напряжений в реальном времени (точность ± 10 МПа) и размера зерна (отклонение $< 0,005$ мкм) для улучшения постоянства прочности на сжатие (отклонение $< 2\%$).

1 июня 2025 года команда xAI разработает модель оптимизации сжатия на основе глубокого обучения (DNN), которая, как ожидается, повысит точность прогнозирования прочности на сжатие до ± 50 МПа, что поможет в проектировании глубоководных буровых долот.

Прочность на сжатие является основной характеристикой твердого сплава в условиях высокой нагрузки. Оптимизируя микроструктуру, параметры процесса и новые технологии, он может удовлетворить потребности таких востребованных приложений, как авиация, глубоководное море и производство пресс-форм. Благодаря глубокому применению ИИ и промышленного Интернета вещей (IIoT) компрессионные характеристики и эффективность производства твердого сплава будут еще больше улучшены, и ожидается, что он достигнет значительных прорывов в течение следующих 2-3 лет.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.0.4 Износостойкость твердого сплава

Износостойкость твердого сплава (WC-Co) — это его способность противостоять потере поверхностного материала и износу, а также является ключевым показателем эффективности для измерения долговечности материалов в условиях сильного трения или абразивных сред. Ниже приводится подробное объяснение определения, метода измерения, влияющих факторов, микроскопического механизма, значения применения, оптимизации и будущего развития.

7.0.4.1. Определение износостойкости твердого сплава

Износостойкость — это способность твердого сплава противостоять поверхностному износу при трении, абразивных или контактных нагрузках, обычно количественно определяемая скоростью износа (единица: $\text{мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}$) или объемом износа. Твердый сплав широко используется в сценариях с высоким износом из-за его превосходной износостойкости, которая в основном обусловлена высокой твердостью (около HV 2000-2500) твердой фазы карбида вольфрама (WC) и прочностью, обеспечиваемой связующей фазой кобальтом (Co). Износостойкость напрямую влияет на срок службы твердого сплава при резке, сверлении и изготовлении пресс-форм.

7.0.4.2 Метод измерения износостойкости твердого сплава

Износостойкость обычно определяется стандартизированными испытаниями на износ. Ниже приведены общие методы и соответствующие детали:

Испытание на абразивный износ при падении песка (ASTM G65)

Принцип: использовать поток песка в качестве абразива, применить нагрузку для имитации абразивного износа и измерить потерю объема образца после износа. Формула расчета скорости износа:

$$W_r = \frac{V}{F \cdot L}$$

Где W_r — скорость износа ($\text{мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}$), V — объем износа (мм^3), F — нагрузка (Н), L — расстояние скольжения (м).

Условия испытаний:

Зернистость: SiO_2 (твердость > 800 HV).

Скорость скольжения: 1-2 м/с, продолжительность 30-60 минут.

Окружающая среда: комнатная температура (20-25°C), влажность <50%.

Преимущества: имитирует реальные условия абразивного износа, а результаты испытаний имеют высокую актуальность для промышленного применения.

Ограничения: необходимо контролировать размер частиц и однородность песка, а на результаты испытаний влияет коэффициент трения.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Испытание на износ штифта-диска (ASTM G99)

Принцип: Образец действует как штифт, контактирующий с вращающимся диском, прикладывается нагрузка и измеряется потеря массы или глубина после износа.

Преимущества: Подходит для оценки адгезионного износа и усталостного износа поверхности.

Ограничения: Высокие требования к твердости материала диска и необходимость коррекции эффекта фрикционного тепла.

Испытание на износ трех тел

Принцип: Ввести третий абразивный материал для имитации износа в сложных рабочих условиях и измерить ширину и глубину следов износа.

Преимущества: приближено к реальным сценариям применения, таким как износ горнодобывающих буровых коронок.

Испытание на износ песчаным потоком (ASTM G65) стало основным методом проверки износостойкости твердого сплава благодаря его надежному моделированию и высокой степени стандартизации.

7.0.4.3 Факторы, влияющие на износостойкость твердого сплава

Износостойкость зависит от множества факторов, включая микроструктуру, соотношение состава, условия работы и факторы окружающей среды. Конкретный анализ выглядит следующим образом:

твердость

效应: 硬度越高, 耐磨性越好, 遵循 Archard 磨损公式 ($V = k \cdot F \cdot L / H$, H 为硬度)。

Механизм: Высокая твердость уменьшает глубину абразивного резания и ширину поверхностной канавки.

Ограничение: Слишком высокая твердость может снизить прочность и увеличить риск хрупкого износа.

Размер зерна

Эффект: измельчение зерна обычно повышает износостойкость, но чрезмерное измельчение зерна может иметь отрицательные последствия.

Механизм: Умеренный размер зерна увеличивает плотность границ зерен и препятствует проникновению абразивных частиц; чрезмерно мелкие зерна могут вызывать дефекты границ зерен и приводить к образованию микротрещин.

Содержимое

Эффект: Износостойкость выше при умеренном содержании Co.

Механизм: Правильное количество Co обеспечивает пластическую поддержку и снижает адгезионный износ; если его слишком много, Co размягчается и увеличивает потерю материала; если его слишком мало, он теряет прочность и склонен к хрупкому износу.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Рабочая температура

Эффект: Высокие температуры снижают износостойкость, особенно когда преобладает адгезионный износ.

Механизм: Высокая температура размягчает фазу Co, увеличивая износ адгезии и перенос материала.

Шероховатость поверхности

Эффект: Гладкость поверхности повышает износостойкость.

Механизм: Низкая шероховатость снижает начальные точки износа и уменьшает внедрение абразива.

Коррозия окружающей среды

Эффект: Коррозионная среда ускоряет износ.

Механизм: Кислотная среда растворяет фазу Co, образуя коррозионные язвы и увеличивая износ.

7.0.4.4 Микромеханизм износостойкости твердого сплава

Микроскопический механизм износостойкости включает в себя следующие аспекты:

Высокая твердость фазы WC

Твердость фазы WC (HV 2000–2500) противостоит абразивному резанию, снижает потери поверхностного материала и является основным источником износостойкости.

Упрочнение границ зерен.

Границы зерен препятствуют проникновению абразивных частиц по механизму упрочнения Орована, а умеренный размер зерен (0,5–1 мкм) дает наилучший эффект.

Смазочный эффект фазы Co.

Если количество фазы Co достаточно, она обеспечивает смазку и пластичную амортизацию, снижая адгезионный износ; если ее слишком много, она увеличивает перенос материала.

Поверхностный оксидный слой

при высокой температуре образует оксидный слой WO_3 , который снижает износ, но неравномерная толщина слоя может привести к отслаиванию.

Тип износа

Абразивный износ: твердые частицы режут поверхность, образуя бороздки.

Адгезионный износ: размягчение Co при высоких температурах приводит к переносу материала.

Усталостный износ: Распространение микротрещин под действием циклической нагрузки усиливает износ.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.0.4.5. Значение износостойкости твердого сплава для применения

Отличная износостойкость позволяет цементированному карбиду хорошо работать в условиях высокого трения. Конкретные области применения включают:

Авиационные инструменты

Требования: Скорость резания > 800 м/мин, необходимость противостоять высокому трению и абразивному износу.

Механизм: Высокая твердость снижает износ режущей кромки.

Горнодобывающие буровые коронки

Требования: Бурение твердых пород (твердость породы > 800 HV), необходимость противостоять абразивному износу.

Механизм: Мелкое измельчение зерна уменьшает ширину канавки и продлевает срок службы.

Износостойкая форма

Требования: Высокочастотная экструзия (>10⁶ раз), необходимость противостоять износу поверхности.

Механизм: Низкая шероховатость поверхности снижает начальную точку износа.

Условия высоких температур

Спрос: Высокотемпературная резка (>800°C), например, обработка лопаток авиационных турбин.

Механизм: Покрытие поверхности снижает износ клея при высоких температурах.

7.0.4.6 Оптимизация и дальнейшее развитие износостойкости твердого сплава

Для дальнейшего повышения износостойкости можно использовать следующие стратегии:

Оптимизация микроструктуры:

Размер зерна 0,5–1 мкм выбирается и достигается путем высокоэнергетического шарового измельчения для оптимизации износостойкости.

Содержание Со контролируется на уровне 8–12 % для обеспечения баланса пластичности и твердости.

Аддитивный контроль:

Добавление небольшого количества VC или Cr₃C₂ может повысить прочность границ зерен и уменьшить износ.

Избегайте чрезмерного добавления, чтобы предотвратить образование хрупкой фазы.

Укрепление поверхности:

Нанесите покрытие CrN для повышения твердости поверхности и снижения износа.

Лазерная наплавка формирует слой высокой твердости, что еще больше повышает износостойкость.

Оптимизация процесса:

Температура спекания 1400-1500°C, степень вакуума <10⁻² Па, обеспечивают высокую плотность.

Поверхность отполирована до минимальной шероховатости для уменьшения первоначального износа.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

III и промышленный интернет вещей :

Используйте ИИ для прогнозирования износа и оптимизации микроструктуры. Сочетании с ПоТ мониторинг коэффициента трения и состояния поверхности в режиме реального времени может улучшить постоянство износостойкости.

Износостойкость является основной характеристикой твердого сплава в условиях высокого трения. Благодаря оптимизации микроструктуры, обработки поверхности и новым технологиям он может соответствовать высоким требованиям авиации, горнодобывающей промышленности и высокотемпературной обработки. Ожидается, что благодаря глубокому применению ИИ и промышленного Интернета вещей (ПоТ) износостойкость и эффективность производства твердого сплава значительно улучшатся в течение следующих 2-3 лет.

7.0.5.Соппротивление усталости твердого сплава

Усталостная прочность твердого сплава (WC-Co) — это его способность противостоять усталостному разрушению и распространению трещин при циклической нагрузке, и это важный показатель механических свойств для измерения долговечности материалов при длительном использовании. Ниже приводится подробное объяснение определения, метода измерения, влияющих факторов, микромеханизма, значения применения, оптимизации и будущего развития.

7.0.5.1.Определение сопротивления усталости твердого сплава

Сопротивление усталости относится к способности твердого сплава противостоять возникновению и росту усталостных трещин в условиях повторяющейся нагрузки и разгрузки, обычно характеризуемой усталостной долговечностью (количеством циклов) или скоростью роста трещины (da/dN). Сопротивление усталости твердого сплава в основном обусловлено твердостью твердой фазы карбида вольфрама (WC) и прочностью, обеспечиваемой связующей фазой кобальтом (Co), что подходит для сценариев высокочастотной циклической нагрузки, таких как длительное использование режущих инструментов и сверл.

7.0.5.2 Метод измерения сопротивления усталости твердого сплава

Сопротивление усталости обычно определяется стандартизированными испытаниями на усталость. Ниже приведены общие методы и соответствующие детали:

Испытание на усталость при изгибе с вращением (ASTM E466)

Принцип: Образец подвергается воздействию знакопеременных изгибающих нагрузок во вращающемся состоянии, и регистрируется количество циклов до усталостного разрушения. Усталостная долговечность выражается в циклах (N).

Условия испытаний:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Частота нагрузки: 10-50 Гц.

($R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$) : 0,1-0,3.

Окружающая среда: комнатная температура (20-25°C), влажность <50%.

Преимущества: Имитирует реальные условия знакопеременного напряжения и подходит для оценки характеристик многоциклового усталости.

Ограничения: Необходимо контролировать качество поверхности образца, а на результаты испытаний влияет концентрация напряжений.

Испытание на усталость при осевой нагрузке (ASTM E606)

Принцип: Образец подвергается осевой знакопеременной нагрузке и измеряется усталостная долговечность или скорость роста трещин.

Преимущества: Подходит для оценки малоциклового усталости и поведения при росте трещин.

Ограничения: К испытательному оборудованию предъявляются высокие требования, и необходимо скорректировать распределение напряжений.

Испытание на рост трещин (ASTM E647)

Принцип: К образцу с предварительно нанесенной трещиной прикладывается нагрузка и измеряется соотношение между скоростью роста трещины (da/dN) и коэффициентом интенсивности напряжений (ΔK).

Преимущества: Предоставляет количественные данные о механизмах роста трещин.

Дополнительная технология: в сочетании с оптической микроскопией (разрешение <1 мкм) или сканирующей электронной микроскопией (СЭМ) для наблюдения за морфологией трещин.

Испытание на усталость при вращательном изгибе стало основным методом испытания усталостной прочности твердого сплава благодаря его надежному моделированию и высокой степени стандартизации.

7.0.5.3 Факторы, влияющие на усталостную прочность твердого сплава

На сопротивление усталости влияют многочисленные факторы, такие как микроструктура, соотношение компонентов, условия нагрузки и факторы окружающей среды. Конкретный анализ выглядит следующим образом:

Размер зерна

Эффект: измельчение зерна обычно повышает усталостную прочность.

Механизм: Мелкие зерна увеличивают плотность границ зерен и препятствуют распространению трещин; чрезмерно крупные зерна могут образовывать точки концентрации напряжений.

Содержимое

Эффект: Противоусталостные свойства лучше при умеренном содержании Со.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Механизм: Соответствующее количество Со обеспечивает пластический буфер и снижает концентрацию напряжений; если его слишком много, Со размягчается и снижает усталостную прочность; если его слишком мало, он теряет прочность и склонен к трещинам.

Коэффициент напряжения

Эффект: Коэффициент напряжения влияет на усталостную долговечность.

Механизм: Низкий коэффициент напряжения ($R < 0,1$) увеличивает усталостную долговечность; высокий коэффициент напряжения ($R > 0,5$) ускоряет рост трещин.

Влажность окружающего воздуха

Эффект: Высокая влажность снижает сопротивление усталости.

Механизм: При повышении влажности фаза Со может подвергаться незначительной коррозии, что приводит к образованию микротрещин и ускорению усталостного разрушения.

Дефекты поверхности

Эффект: Качество поверхности влияет на сопротивление усталости.

Механизм: Трещины или шероховатость поверхности ($R_a > 0,2$ мкм) становятся источником усталостных трещин, сокращая срок службы.

7.0.5.4. Микроскопический механизм сопротивления усталости твердого сплава

Микроскопический механизм сопротивления усталости включает в себя следующие аспекты:

Высокая твердость фазы WC

Твердость фазы WC (HV 2000-2500) обеспечивает основу для сопротивления усталости и противостоит пластической деформации, вызванной циклическими нагрузками.

Упрочнение границ зерен Границы

зерен препятствуют распространению трещин по механизму упрочнения Орована, а умеренный размер зерен (0,5–1 мкм) дает наилучший эффект.

Регулирование пластичности фазы Со.

Если количество фазы Со достаточно, она поглощает энергию посредством пластической деформации и задерживает распространение трещин; если ее слишком много, она увеличивает усталостное повреждение.

Отклонение трещины

Границы зерен WC вызывают отклонение траектории трещины, повышая сопротивление росту трещины.

Тип усталостного повреждения

Поверхностное инициирование: Циклическое напряжение приводит к образованию

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

поверхностных микротрещин (длиной $< 0,1$ мм).

Внутреннее расширение: Трещина распространяется вдоль границы зерна или бассейна Со.

Перелом: Окончательный перелом происходит после исчерпания усталостной долговечности.

7.0.5.5. Значение сопротивления усталости твердого сплава для прикладного применения

Превосходная усталостная прочность позволяет карбидному сплаву хорошо работать в условиях циклической нагрузки. Конкретные области применения включают:

Авиационные инструменты

Требования: Высокочастотная резка (> 500 Гц), стойкость к циклической усталости.

Механизм: Высокая твердость снижает образование поверхностных трещин и продлевает срок службы.

Горнодобывающие буровые коронки

Требования: Циклическое воздействие (частота > 500 Гц), требуется сопротивление усталостному разрушению.

Механизм: Упрочнение границ зерен задерживает распространение трещин и повышает долговечность.

Износостойкая форма

Требования: Высокочастотная экструзия ($> 10^6$ раз), усталостная прочность.

Механизм: Незначительные дефекты поверхности снижают источники усталостных трещин.

Механические компоненты

Требования: Длительная циклическая нагрузка, требуется сопротивление усталости.

Механизм: Соответствующее количество Со повышает прочность и замедляет усталостное разрушение.

7.0.5.6 Оптимизация и дальнейшее развитие сопротивления усталости твердого сплава

Для дальнейшего повышения сопротивления усталости можно использовать следующие стратегии:

Оптимизация микроструктуры:

Размер зерна $0,5-1$ мкм выбирается и достигается путем высокоэнергетического шарового измельчения для повышения прочности границ зерен.

Содержание Со контролируется на уровне $8-12\%$ для обеспечения баланса прочности и твердости.

Аддитивный контроль:

Добавление небольшого количества VC или TaC может повысить прочность границ зерен и замедлить распространение трещин.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Избегайте чрезмерного добавления, чтобы предотвратить образование хрупкой фазы.

Укрепление поверхности:

Нанесите покрытие TiN или CrN для повышения усталостной прочности поверхности.

Полировать до низкой шероховатости ($Ra < 0,1 \text{ мкм}$) для уменьшения источников усталостных трещин.

Оптимизация процесса:

Температура спекания $1400-1500^{\circ}\text{C}$, степень вакуума $<10^{-2} \text{ Па}$, обеспечивают высокую плотность.

Контролируйте скорость охлаждения ($3-5^{\circ}\text{C/мин}$) для снижения термического напряжения.

ИИ и промышленный интернет вещей :

Используйте ИИ для прогнозирования усталостной долговечности и оптимизации проектирования микроструктуры.

В сочетании с IoT мониторинг распределения напряжений и распространения трещин в режиме реального времени может улучшить постоянство сопротивления усталости.

Усталостная прочность является основной характеристикой твердого сплава в условиях циклической нагрузки. Благодаря оптимизации микроструктуры, обработки поверхности и новым технологиям он может соответствовать высоким требованиям авиационной, горнодобывающей и машиностроительной промышленности. Ожидается, что благодаря глубокому применению ИИ и промышленного Интернета вещей (IoT) усталостная прочность и эффективность производства твердого сплава значительно улучшатся в течение следующих 2-3 лет.

7.0.6 Ударная прочность твердого сплава

Ударопрочность цементированного карбида (WC-Co) — это его способность противостоять трещинам и деформациям при высоких ударных нагрузках, и это важный показатель механических характеристик для измерения надежности материалов в условиях динамических нагрузок. Ниже приводится подробное объяснение определения, метода измерения, влияющих факторов, микроскопического механизма, значения применения, оптимизации и будущего развития.

7.0.6.1.Определение ударопрочности твердого сплава

Ударопрочность относится к способности твердого сплава противостоять возникновению трещин и разрушению при воздействии мгновенного высокоэнергетического удара, обычно характеризуемого энергией удара (единица Дж) или ударной вязкостью. Ударопрочность твердого сплава в основном обусловлена вязкостью, обеспечиваемой связующей фазой кобальта (Co), и твердостью твердой фазы карбида вольфрама (WC), которая подходит для сценариев с высокими ударными нагрузками, таких как горнодобывающие сверла и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

высокоскоростные режущие инструменты.

7.0.6.2 Метод измерения ударной стойкости твердого сплава

Ударопрочность обычно измеряется стандартизированными испытаниями на удар. Ниже приведены общие методы и соответствующие детали:

Испытание на удар по Шарпи (ASTM E23)

Принцип: Образец подвергается удару маятника в состоянии трехточечного изгиба, и измеряется энергия, необходимая для разрушения (работа удара).

Условия испытаний:

Размеры образца: $55 \times 10 \times 10$ мм, с V-образным надрезом (глубина 2 мм).

Скорость удара: 5-5,5 м/с.

Окружающая среда: комнатная температура (20-25°C).

Преимущества: имитирует реальные условия удара, а результаты испытаний в высокой степени коррелируют со сценариями применения.

Ограничения: Форма надреза и размер образца должны строго контролироваться, а результаты зависят от чувствительности к надрезу.

Испытание на удар по Изоду (ASTM E23)

Принцип: Образец закрепляется в виде консольной балки, подвергается удару маятника и измеряется энергия разрушения.

Преимущества: Подходит для небольших образцов, прост в эксплуатации.

Ограничения: На результаты испытаний влияет способ зажима образца.

Испытание на удар падающим грузом

Принцип: Тяжелый молот свободно падает с определенной высоты, ударяя по образцу и измеряя ударопрочность материала.

Преимущества: Имитирует удар высокой энергии и подходит для оценки динамических характеристик.

Дополнительные технологии: используйте высокоскоростную фотосъемку (частота кадров > 1000 кадров в секунду) для наблюдения за процессом разрушения или используйте сканирующую электронную микроскопию (СЭМ) для анализа морфологии разрушения.

Испытание на удар по Шарпи стало основным методом испытания ударопрочности твердого сплава благодаря его высокой степени стандартизации и надежному моделированию.

7.0.6.3 Факторы, влияющие на ударопрочность твердого сплава

Ударопрочность зависит от множества факторов, таких как микроструктура, соотношение компонентов, условия испытаний и факторы окружающей среды. Конкретный анализ выглядит следующим образом:

Содержимое

Эффект: Чем выше содержание Co, тем выше ударопрочность.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Механизм: Фаза Со поглощает энергию удара посредством пластической деформации и снижает хрупкое разрушение; если содержание Со слишком низкое, хрупкость материала увеличивается.

Размер зерна

Эффект: Умеренный размер зерна благоприятно влияет на ударопрочность.

Механизм: При умеренном размере зерна (0,5–1 мкм) упрочнение границ зерен и вязкость сбалансированы; слишком мелкие зерна могут вызывать дефекты границ зерен, а слишком крупные зерна снижают устойчивость к распространению трещин.

добавка

Эффект: Добавки могут улучшить ударопрочность.

Механизм: Добавление TaC или Cr₃C₂ повышает прочность границ зерен и снижает межзеренное разрушение.

Температура испытания

Эффект: Низкая температура снижает ударопрочность.

Механизм: Низкая температура снижает вязкость фазы Со и увеличивает тенденцию к хрупкому разрушению.

Дефекты поверхности

Эффект: Дефекты поверхности снижают ударопрочность.

Механизм: Трещины или шероховатости поверхности ($R_a > 0,2$ мкм) становятся точками концентрации напряжений, снижая энергию удара.

7.0.6.4 Микроскопический механизм ударопрочности твердого сплава

Микроскопический механизм ударопрочности включает в себя следующие аспекты:

Пластическое поглощение Со фазы

Со фаза поглощает энергию удара посредством пластической деформации, задерживая распространение трещины. Соответствующее количество Со улучшает ударную вязкость.

Отклонение трещины на границах зерен WC

Границы зерен WC вызывают отклонение траектории трещины, увеличивают длину пути разрушения и снижают скорость разрушения.

Упрочнение границ зерен

Границы зерен препятствуют распространению трещин по механизму упрочнения Орована, а умеренный размер зерен (0,5–1 мкм) дает наилучший эффект.

Межфазная связь

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Прочность межфазной связи между WC и Co достигается за счет смачивания Co, а межфазные дефекты могут спровоцировать возникновение трещин.

Тип ударного перелома

Межзеренный излом: трещина распространяется вдоль границы зерна WC, что чаще встречается при низком содержании Co.

Транскристаллитное разрушение: трещина проходит через частицы WC и чаще встречается при высоких энергиях удара.

Смешанный перелом: одновременно присутствуют межкристаллитные и транскристаллитные переломы, что часто встречается в реальных условиях работы.

7.0.6.5. Значение применения ударопрочности твердого сплава

Отличная ударопрочность позволяет цементированному карбиду хорошо работать в условиях высоких ударов. Конкретные области применения включают:

Горнодобывающие буровые коронки

Требования: Высокочастотное воздействие (>500 Гц), устойчивость к ударному разрушению.

Механизм: Высокое содержание Co поглощает энергию удара и снижает риск разрушения.

Авиационные инструменты

Требования: Высокоскоростная резка (>800 м/мин), устойчивость к динамическим ударам.

Механизм: Упрочнение границ зерен задерживает рост трещин и продлевает срок службы.

Ударная матрица

Требования: Высокочастотная штамповка ($>10^6$ раз), устойчивость к ударным нагрузкам.

Механизм: Незначительные дефекты поверхности снижают возникновение трещин.

Глубоководное оборудование

Требования: Глубокий морской удар давления (>80 МПа), необходимость сопротивления динамическим нагрузкам.

Механизм: Соответствующее количество Co и поверхностного покрытия улучшают ударопрочность.

7.0.6.6 Оптимизация и дальнейшее развитие ударопрочности твердого сплава

Для дальнейшего повышения ударопрочности можно использовать следующие стратегии:

Оптимизация микроструктуры:

Размер зерна $0,5-1$ мкм выбирается и достигается путем высокоэнергетического измельчения в шаровой мельнице для оптимизации баланса между упрочнением границ зерен и прочностью.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Содержание Со контролируется на уровне 8–12 % для улучшения поглощения энергии удара.

Аддитивный контроль:

Добавление небольшого количества TaC или Cr_3C_2 может повысить прочность границ зерен и уменьшить межзеренное разрушение.

Избегайте чрезмерного добавления, чтобы предотвратить образование хрупкой фазы.

Укрепление поверхности:

Нанесите покрытие TiN или CrN для повышения ударопрочности поверхности.

Отполируйте до низкой шероховатости ($R_a < 0,1 \text{ мкм}$) для уменьшения точек концентрации напряжений.

Оптимизация процесса:

Температура спекания $1400\text{--}1500^\circ\text{C}$, степень вакуума $<10^{-2} \text{ Па}$, обеспечивают высокую плотность.

Контролируйте скорость охлаждения ($3\text{--}5^\circ\text{C}/\text{мин}$) для снижения термического напряжения.

ИИ и промышленный интернет вещей :

Используйте ИИ для прогнозирования поведения при ударном разрушении и оптимизации проектирования микроструктуры.

В сочетании с IoT мониторинг зарождения и распространения трещин в режиме реального времени может использоваться для повышения стабильности ударопрочности.

Ударопрочность является основной характеристикой твердого сплава в условиях динамической нагрузки. Благодаря оптимизации микроструктуры, поверхностной обработки и новым технологиям он может соответствовать высоким требованиям горнодобывающего, авиационного и глубоководного оборудования. Ожидается, что благодаря глубокому применению ИИ и промышленного Интернета вещей (IoT) ударопрочность и эффективность производства твердого сплава значительно улучшатся в течение следующих 2-3 лет.

7.0.7 Комплексный анализ и применение механических свойств твердого сплава

Существуют сложные взаимодействия и компромиссы между механическими свойствами твердого сплава (WC-Co), которые необходимо всесторонне рассмотреть для удовлетворения потребностей различных сценариев применения. Ниже приведен подробный анализ аспектов компромиссов производительности, стратегий оптимизации и будущего развития.

7.0.7.1 Компромиссы между механическими свойствами твердого сплава

Существует определенный компромисс между механическими свойствами твердого сплава, который отражается в следующих аспектах:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Твёрдость и прочность

Взаимосвязь: Высокая твёрдость обычно сопровождается низкой вязкостью и наоборот.

Механизм: Высокая твердость (достигаемая мелкими зёрнами WC и низким содержанием Co) повышает сопротивление деформации, но снижает пластичность и вязкость разрушения (K_{IC}), что может легко привести к хрупкому разрушению; высокая вязкость (обеспечиваемая более высоким содержанием Co) поглощает энергию за счёт пластической деформации, но снижает твердость и ослабляет износостойкость.

Ударное воздействие: Авиационные инструменты требуют высокой твердости для сопротивления износу, в то время как горнодобывающие сверла требуют высокой прочности для сопротивления удару. Оба должны быть сбалансированы в соответствии с конкретными условиями работы.

Усталость и ударопрочность

Взаимосвязь: Сопротивление усталости и ударопрочность предъявляют разные требования к микроструктуре.

Механизм: Усталостная стойкость зависит от оптимизации микроструктуры (например, умеренного размера зёрна) для предотвращения распространения трещин; ударопрочность требует более высокого содержания Co для улучшения способности поглощения энергии и снижения мгновенного разрушения.

Влияние условий эксплуатации: при высокочастотных циклических нагрузках (например, авиационные режущие инструменты) более важна усталостная прочность; в условиях высоких ударных нагрузок (например, горнодобывающие буровые коронки) приоритет имеет ударопрочность.

Износостойкость и экологическая адаптивность

Взаимосвязь: Износостойкость может быть нарушена в суровых условиях, таких как высокие температуры или коррозия.

Механизм: Высокая температура ($>800^{\circ}\text{C}$) размягчает фазу Co и увеличивает адгезионный износ; коррозионная среда ($\text{pH} < 5$) вызывает растворение фазы Co, образуя коррозионные язвы и ускоряя износ.

Влияние на область применения: При обработке лопаток авиационных турбин необходимо учитывать износостойкость при высоких температурах, а при обработке глубоководных буровых долот необходимо обращать внимание на их эксплуатационные характеристики в коррозионных средах.

7.0.7.2 Стратегии оптимизации механических свойств твердого сплава

Для оптимизации комплексных характеристик твердого сплава можно использовать следующие стратегии:

Регулирование микроструктуры

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Размер зерна: используйте размер зерна WC 0,2-2 мкм . Мелкие зерна (<0,5 мкм) улучшают твердость и износостойкость, а более крупные зерна (1-2 мкм) повышают прочность и ударопрочность.

Содержание Co: контролируется на уровне 6%-15%. Низкое содержание Co (6%-8%) подходит для случаев, когда требуется высокая твердость, а высокое содержание Co (12%-15%) подходит для случаев, когда требуется высокая прочность и ударопрочность.

Аддитивная оптимизация

Добавление небольшого количества VC или TaC повышает прочность границ зерен, улучшает износостойкость и усталостную прочность, сохраняя при этом ударную вязкость. Избегайте чрезмерного добавления, чтобы предотвратить образование хрупкой фазы.

Технология модификации поверхности

Нанесите покрытие CrN или TiN для повышения твердости поверхности и износостойкости, а также улучшения эксплуатационных характеристик в условиях высоких температур и коррозионных сред.

Технология лазерной наплавки или ионной имплантации используется для формирования высокотвердого поверхностного слоя, повышающего ударопрочность и усталостную прочность.

7.0.7.3 Сценарии применения механических свойств твердого сплава

Благодаря комплексной оптимизации твердый сплав может удовлетворить потребности следующих сложных областей применения:

Авиационные инструменты

Требования: Высокая твердость и износостойкость для сопротивления резанию, высокая усталостная прочность для выдерживания циклических нагрузок.

размер зерна 0,2-0,5 мкм , содержание Co 6%-8%, поверхностное покрытие CrN .

Горнодобывающие буровые коронки

Требования: Высокая прочность и ударопрочность для выдерживания ударов, высокая износостойкость для сопротивления износу твердых пород.

Стратегия оптимизации: размер зерна 1-2 мкм , содержание Co 12%-15%, добавление TaC для укрепления границ зерен.

Износостойкая форма

Требования: Высокая твердость и износостойкость для сопротивления экструзионному износу, высокая усталостная прочность для продления срока службы.

Стратегия оптимизации: размер зерна 0,5–1 мкм , содержание Co 8–12%, поверхность отполирована до низкой шероховатости.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.0.7.4. Перспективы развития механических свойств твердого сплава

В будущем комплексную производительность и надежность применения твердого сплава можно будет дополнительно улучшить за счет следующих технологий:

Технология ИИ: используйте ИИ для прогнозирования компромиссов производительности и оптимизации микроструктуры (например, размера зерна и содержания кобальта).

Промышленный Интернет вещей (ПоТ): мониторинг распределения напряжений и распространения трещин в режиме реального времени во время использования для повышения стабильности производительности.

Передовые технологии производства: Сочетание 3D-печати и нанотехнологий для разработки твердого сплава с градиентной структурой (например, высокой твердостью на поверхности и высокой прочностью внутри) для удовлетворения многофункциональных потребностей.

Комплексный анализ показывает, что механические свойства цементированного карбида необходимо взвешивать и оптимизировать для соответствия конкретным требованиям применения. Регулируя микроструктуру, добавки и технологию модификации поверхности, цементированный карбид может широко использоваться в авиации, горнодобывающей промышленности и производстве пресс-форм. В будущем углубленное применение ИИ и промышленного Интернета вещей (ПоТ) будет способствовать дальнейшему повышению его производительности и расширению применения.

7.1 Баланс твердости и вязкости твердого сплава

(1) Твердость твердого сплава

Твердость твердого сплава (WC-Co) относится к его способности противостоять деформации и износу, обычно выражается в твердости по Виккерсу (HV), в диапазоне от HV 1200 до 1800. На твердость влияют следующие факторы:

больше размер зерна WC

(например, 0,2–0,5 мкм), тем выше твердость, которая может достигать HV 1800 (эффект Холла-Петча).

Содержание Co.

При низком содержании Co (например, 6–8%) твердость выше (HV 1600–1800); при высоком содержании Co (например, 12–15%) твердость снижается (HV 1200–1400).

в качестве добавки

может подавлять рост зерна и повышать твердость на 5%-10%, до HV 2000.

Поверхностная модификация

, такая как цементация или лазерная наплавка, может повысить твердость до HV 2000–2500.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Твердость твердого сплава

Твердость твердого сплава (WC-Co) может быть выражена различными способами в зависимости от метода испытания и сценария применения. Распространенные методы выражения включают:

Диапазон твердости по Виккерсу (HV)

твердого сплава : HV 1200-1800, до HV 2000-2500 (после модификации поверхности).

Описание: Используйте твердомер по Виккерсу для приложения стандартной нагрузки (обычно 30 кг) и расчета по площади отпечатка. Преимущества: Подходит для широкого диапазона измерений твердого сплава, отражая способность противостоять деформации.

Твердость по Роквеллу (HR)

Диапазон: HRA 80-94 (шкала A).

Описание: Используйте алмазный конус для приложения нагрузки 150 кг и измерения глубины вдавливания. Преимущества: Быстрое испытание, подходит для крупномасштабных испытаний.

твердости по Бринеллю (HB)

: HB 1000-1600 (требуется большая нагрузка, например, 3000 кг).

Описание: Используйте стальной или твердосплавный шарик для вдавливания и расчета площади вдавливания.

Ограничения: Ограниченная применимость к материалам высокой твердости (например, карбид), требуется регулировка нагрузки.

Микротвердость (HV0.1-HV1)

Диапазон: HV 1200-1800 (небольшая нагрузка, например 0,1-1 кг).

Описание: Используется для микроскопического измерения площади, особенно подходит для анализа зерен или покрытий. Преимущества: Высокая точность, подходит для локальной оценки свойств.

Эти методы представления отражают способность твердого сплава противостоять сжатию, деформации и износу. Твердость по Виккерсу (HV) является наиболее часто используемой из-за ее широкой применимости. Фактическое значение зависит от размера зерна WC, содержания Co и добавок (например, VC может увеличить HV на 5%-10%).

(2) Прочность твердого сплава

Прочность твердого сплава (WC-Co) обычно характеризуется вязкостью разрушения (K_{IC}), которая находится в диапазоне 8-16 МПа·м^{1/2}. Его характеристики вязкости следующие:

содержание Co

, тем выше вязкость. При содержании Co 6% K_{IC} составляет около 8-10 МПа·м^{1/2}; при

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

содержании Co 12%-15% K_{1c} может достигать 14-16 МПа·м^{1/2}.

Если размер зерна

крупный (например, 1-2 мкм), прочность выше ($K_{1c} > 12$ МПа·м^{1/2}); если размер зерна слишком мелкий (например, <0,2 мкм), прочность может снизиться из-за проскальзывания границ зерен ($K_{1c} < 8$ МПа·м^{1/2}).

Добавление TaC (0,2 %-0,5%) в качестве добавки

может укрепить границы зерен и увеличить K_{1c} примерно на 5%-10%.

Метод испытания

использует метод одностороннего надреза балки (SENB). Например, K_{1c} WC-10Co (зерно 0,5 мкм, Co 10%) составляет около 12 МПа·м^{1/2}, что подходит для горнодобывающих буровых коронок. Твердость и вязкость должны быть сбалансированы, а высокая вязкость обычно сопровождается снижением твердости (HV<1400).

(3) Типы прочности твердого сплава

Твердый сплав (WC-Co) в основном характеризуется следующими показателями и методами, отражающими его способность противостоять разрушению и поглощать энергию:

Вязкость разрушения (K_{1c}) Вязкость разрушения твердого сплава (K_{1c}) — это способность твердого сплава противостоять распространению трещин при их наличии, ее единицей измерения является МПа·м^{1/2}.

². K_{1c} твердого сплава обычно определяется синергетическим эффектом твердой фазы карбида вольфрама (WC) и связующей фазы кобальта (Co), отражая баланс между твердостью и вязкостью материала.

K_{1c} цементированного карбида (WC-Co) является ключевым показателем механических свойств для его сопротивления распространению трещин и разрушению и играет важную роль в надежности и сроке службы материала. Ниже приводится подробное описание различных аспектов важности и влияющих факторов.

Значение вязкости разрушения твердого сплава

Вязкость разрушения (K_{1c}) является основным свойством твердого сплава для сохранения структурной целостности в условиях высоких напряжений, ударов или дефектов. Твердый сплав широко используется при резке, сверлении и изготовлении форм из-за его высокой твердости (обычно обеспечиваемой WC, около HV 2000-2500), но эта высокая твердость часто сопровождается высокой хрупкостью, что делает материал склонным к нерегулярному разрушению при динамической нагрузке или наличии микротрещин. K_{1c} количественно определяет способность материала противостоять такому хрупкому разрушению и напрямую определяет, может ли твердый сплав выдерживать неожиданные удары или отказы, вызванные дефектами, при фактическом использовании. Например, в условиях

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

высокочастотных ударов или циклических нагрузок более низкий K_{1c} может привести к быстрому расширению микротрещин до макротрещин, в то время как более высокий K_{1c} может значительно продлить усталостную долговечность и ударопрочность. Кроме того, K_{1c} также влияет на безопасность во время обработки, поскольку внезапный разрыв твердосплавных инструментов может привести к перерывам в производстве или повреждению оборудования. Поэтому оптимизация K_{1c} является важной целью для улучшения общей производительности и надежности твердосплавных инструментов в промышленных применениях, особенно в экстремальных условиях (таких как высокая температура, высокое давление или коррозионная среда).

Факторы, влияющие на трещиностойкость твердого сплава

На вязкость разрушения твердого сплава влияют различные микроструктуры, соотношения компонентов и параметры процесса подготовки, а именно:

Содержимое

Функция : Co, как связующая фаза, существенно влияет на K_{1c} за счет своей способности к пластической деформации.

Механизм: Когда содержание Co увеличивается, доля вязкой фазы в материале увеличивается, что увеличивает способность пластического рассеивания и препятствует распространению трещин. Когда содержание Co низкое (например, 6% или меньше), фаза WC является доминирующей, и хотя твердость высока, наблюдается отсутствие достаточного пластического буфера, что приводит к низкому значению K_{1c} ; когда содержание Co высокое (например, 12%-15%), пластичность повышается, и K_{1c} значительно увеличивается.

Диапазон и баланс : типичное содержание Co составляет 6–15%, при этом оптимальным балансом между прочностью и твердостью считается 10–12%.

Ограничения : Слишком высокое содержание Co может снизить твердость и износостойкость и должно регулироваться в соответствии с конкретными потребностями.

Размер зерна

Эффект : Влияние размера зерна WC на K_{1c} двояко.

机制: 较细的晶粒 (如 $0.2-0.5 \mu\text{m}$) 通过 Hall-Petch 效应 ($\sigma_y = \sigma_0 + k \cdot d^{-1/2}$) 增加晶界密度 ($>10^{13} \text{ m}^{-2}$), 提高强度, 但可能因晶界缺陷 (如空隙或微裂纹) 降低 K_{1c} ; 适中晶粒尺寸 ($0.5-1 \mu\text{m}$) 提供最佳的晶界强化与韧性平衡; 较大晶粒 ($>2 \mu\text{m}$) 减少晶界密度, 增强裂纹偏转能力, K_{1c} 随晶粒粗大而有所提升, 但硬度可能下降。

Влияние процесса : Размер зерна контролируется температурой спекания ($1400-1500^\circ\text{C}$) и временем (1-3 часа). Высокая температура или длительное спекание могут легко привести к росту зерна.

добавка

Эффект : Такие добавки, как VC, TaC или Cr_3C_2 , могут значительно улучшить K_{1c} .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Механизм : Эти добавки укрепляют границы зерен за счет твердого раствора или осаждения, подавляют рост зерен WC (скорость миграции границ зерен $<10^{-10}$ м/с) и повышают прочность связи на границе (>150 МПа). Например, VC (0,2%-0,5%) образует тонкий слой VCx для уменьшения слабых мест на границах зерен; TaC улучшает прочность границ зерен и снижает тенденцию к межзеренному разрушению.

Ограничения : Слишком большое добавление (например, $>0,8\%$) может привести к образованию хрупкой фазы (например, избыточное VCx), что, в свою очередь, снижает $K_{1с}$.

однородность микроструктуры

Эффект : однородность микроструктуры напрямую влияет на $K_{1с}$.

Механизм : Равномерное распределение фаз WC и Co снижает концентрацию напряжений, а структура с низкой пористостью ($<1\%$) и небольшим количеством дефектов границ зерен ($<0,5\%$) повышает прочность. Если Co распределен неравномерно (например, образование скоплений Co размером >5 мкм), трещины, скорее всего, будут распространяться вдоль слабых участков, и $K_{1с}$ уменьшается.

Влияние процесса : Холодное изостатическое прессование (ХИП, давление 200-300 МПа) или вакуумное спекание могут улучшить микроструктурную однородность.

Процесс спекания

Эффект : Параметры спекания влияют на конечные характеристики $K_{1с}$.

Механизм : Температура спекания (1400-1500°C) слишком высока или время спекания слишком велико, что приводит к образованию крупных зерен и сегрегации Co, что снижает $K_{1с}$; соответствующая температура и вакуум ($<10^{-2}$ Па) обеспечивают плотную структуру и оптимизируют прочность. Скорость охлаждения (3-5°C/мин) контролирует термическое напряжение (<100 МПа) и позволяет избежать образования микротрещин.

Оптимизация : Многоэтапное спекание (например, низкотемпературное предварительное спекание + высокотемпературное спекание) может улучшить микроструктурную однородность.

Состояние поверхности

Эффект : Дефекты поверхности или остаточные напряжения влияют на $K_{1с}$.

Механизм : Поверхностные трещины, шероховатость ($Ra > 0,2$ мкм) или остаточное растягивающее напряжение (> 200 МПа) становятся источниками возникновения трещин, снижая $K_{1с}$; остаточное сжимающее напряжение (> 400 МПа) может увеличить $K_{1с}$ посредством модификации поверхности (например, дробеструйной обработки).

Влияние процесса : Полировка до $Ra < 0,1$ мкм или нанесение покрытия (например, TiN) для улучшения состояния поверхности.

Микроскопический механизм

Пластическое рассеивание фазы Co: Фаза Co подвергается пластической деформации (скорость деформации $\sim 10^{-3}$ с $^{-1}$) под воздействием удара или напряжения, поглощая

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

энергию трещины и задерживая ее расширение.

Отклонение границ зерен и образование перемычек : границы зерен WC вызывают отклонение трещины (угол 20° - 40°), увеличивая длину пути; фаза Co образует перемычку на вершине трещины, потребляя энергию.

Прочность связи на границе раздела : прочность связи на границе раздела WC-Co (прочность связи > 50 МПа, угол контакта $< 15^{\circ}$) влияет на сопротивление распространению трещин, а дефекты на границе раздела (например, пустоты $> 0,5\%$) снижают K_{IC} .

Подавление микротрещин : добавки укрепляют границы зерен, уменьшают возникновение микротрещин (длина $< 0,05$ мм) и повышают общую прочность.

Вязкость разрушения является основой оптимизации эксплуатационных характеристик твердого сплава, которую необходимо сбалансировать путем регулирования содержания Co, размера зерна, добавок и процесса подготовки для удовлетворения потребностей в различных рабочих условиях.

(4) Ударная вязкость

твердого сплава

Ударная вязкость цементированного карбида (WC-Co) — это его способность противостоять трещинам и деформациям при высокоэнергетических ударных нагрузках, и является важным показателем механических свойств для измерения надежности материалов в условиях динамических нагрузок. Ниже приводится подробное объяснение его определения, важности, метода измерения, влияющих факторов и микроскопического механизма.

Определение ударной вязкости твердого сплава

Ударная вязкость относится к способности твердого сплава поглощать энергию и противостоять разрушению при мгновенном ударе высокой энергии, обычно характеризуется энергией удара (единица Дж) или энергией разрушения при испытании на удар. Ударная вязкость твердого сплава в основном определяется способностью к пластической деформации, обеспечиваемой связующей фазой кобальта (Co), и твердостью твердой фазы карбида вольфрама (WC), отражающей сопротивление материала разрушению в условиях высокой ударной нагрузки.

Важность ударной вязкости твердого сплава

Ударная вязкость имеет решающее значение для производительности твердого сплава в динамических условиях. Твердый сплав широко используется в горнодобывающей промышленности, резке и производстве пресс-форм из-за его высокой твердости (обеспечиваемой WC, около HV 2000-2500), но высокая твердость часто сопровождается определенной хрупкостью, что делает его склонным к хрупкому разрушению при высоких ударных нагрузках (таких как высокочастотный удар или внезапная нагрузка). Ударная вязкость напрямую определяет, может ли твердый сплав выдерживать такую мгновенную нагрузку без отказа. Например, в горнодобывающих буровых коронках или штамповочных штампах низкая ударная вязкость может привести к быстрому разрушению материала при сильном ударе, что приведет к повреждению оборудования или остановке производства; в то

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

время как высокая ударная вязкость может эффективно продлить срок службы и повысить безопасность. Кроме того, ударная вязкость также влияет на надежность твердого сплава в экстремальных условиях (таких как низкие или высокие температуры) и является важным показателем для оптимизации комплексных характеристик материалов.

Метод измерения ударной вязкости твердого сплава

Ударная вязкость обычно определяется стандартизированными испытаниями. Ниже приведены общие методы и соответствующие детали:

Испытание на удар по Шарпи (ASTM E23)

Принцип : Образец подвергается удару маятника в состоянии трехточечного изгиба, и измеряется энергия, необходимая для разрушения (работа удара).

Условия испытаний :

Размеры образца: $55 \times 10 \times 10$ мм, с V-образным надрезом (глубина 2 мм).

Скорость удара: 5-5,5 м/с.

Окружающая среда: комнатная температура (20-25°C).

Преимущества : имитирует реальные условия удара, а результаты в высшей степени соответствуют сценариям применения.

Ограничения : Форма надреза и размер образца должны строго контролироваться, а результаты испытаний зависят от чувствительности к надрезу.

Испытание на удар по Изоду (ASTM E23)

Принцип : Образец закрепляется в виде консольной балки, подвергается удару маятника и измеряется энергия разрушения.

Преимущества : Подходит для небольших образцов, прост в эксплуатации.

Ограничения : На результаты влияет метод зажима.

Испытание на удар падающим грузом

Принцип : Тяжелый молот свободно падает с определенной высоты, ударяет по образцу и измеряет ударную вязкость.

Преимущества : Имитирует удар высокой энергии и подходит для оценки динамических характеристик.

Дополнительные технологии : используйте высокоскоростную фотосъемку (частота кадров > 1000 кадров в секунду) для наблюдения за процессом разрушения или используйте сканирующую электронную микроскопию (СЭМ) для анализа морфологии разрушения.

Испытание на удар по Шарпи стало основным методом испытания ударной вязкости твердого сплава благодаря его высокой степени стандартизации и надежному моделированию.

Факторы, влияющие на ударную вязкость твердого сплава

Ударная вязкость твердого сплава зависит от микроструктуры, состава, условий испытаний и факторов окружающей среды, а именно:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Содержимое

Функция : Содержание Со является основным фактором, влияющим на ударную вязкость. Чем выше содержание Со, тем лучше ударная вязкость.

Механизм : Фаза Со поглощает энергию удара посредством пластической деформации (скорость деформации $\sim 10^{-3} \text{ с}^{-1}$) и снижает тенденцию к хрупкому разрушению. Когда содержание Со низкое (например, 6% или меньше), материал в основном представляет собой фазу WC с высокой твердостью, но недостаточной пластичностью и плохой ударной вязкостью; когда содержание Со высокое (например, 12%-15%), пластичность повышается, а ударная вязкость значительно улучшается.

Диапазон и баланс : содержание Со составляет от 6% до 15%, а оптимальным балансом между прочностью и твердостью обычно является 10%-12%.

Ограничения : Слишком высокое содержание Со может снизить твердость и износостойкость и должно регулироваться в соответствии с требованиями области применения.

Размер зерна

Эффект : Влияние размера зерна WC на ударопрочность двоякое.

Механизм : Умеренный размер зерна (0,5-1 мкм) обеспечивает наилучший баланс между упрочнением границ зерен и ударной вязкостью. Плотность границ зерен ($>10^{13} \text{ м}^{-2}$) препятствует распространению трещин по механизму упрочнения Орована. Хотя более мелкие зерна ($<0,2 \text{ мкм}$) повышают твердость, дефекты границ зерен могут увеличиваться, снижая ударную вязкость. Более крупные зерна ($>2 \text{ мкм}$) увеличивают пути отклонения трещин, ударная вязкость улучшается, но твердость снижается.

Влияние процесса : Размер зерна контролируется температурой спекания (1400-1500°C) и временем (1-3 часа). Слишком высокая температура приводит к образованию крупных зерен.

добавка

Функция : Добавки, такие как TaC или Cr_3C_2 , могут улучшить ударную вязкость.

Механизм : TaC повышает прочность границ зерен ($>150 \text{ МПа}$) и снижает межзеренное разрушение; Cr_3C_2 подавляет рост зерен (скорость миграции границ зерен $<10^{-10} \text{ м/с}$) и улучшает микроструктурную стабильность.

Ограничения : Слишком большое добавление (например, $>0,8\%$) может привести к образованию хрупкой фазы и снижению ударной вязкости.

Температура испытания

Эффект : Температура оказывает значительное влияние на ударную вязкость.

Механизм : Низкая температура ($<-40^\circ\text{C}$) снижает ударную вязкость фазы Со и увеличивает склонность к хрупкому разрушению; высокая температура ($>800^\circ\text{C}$) может привести к размягчению фазы Со и снижению способности поглощать энергию.

Воздействие на окружающую среду : Соответствующую формулу материала необходимо выбирать в соответствии с фактическими условиями работы (например, резка при низких

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

или высоких температурах в глубоководных условиях).

однородность микроструктуры

Функция : Однородность микроструктуры имеет решающее значение для ударопрочности.

Механизм : Равномерно распределенные фазы WC и Co снижают концентрацию напряжений, а структуры с низкой пористостью (<1%) и небольшим количеством дефектов границ зерен (<0,5%) повышают ударную вязкость. Если Co распределен неравномерно (например, образуя пул Co размером >5 мкм), трещины, вероятно, будут распространяться вдоль слабых участков, снижая ударную вязкость.

Влияние процесса : Холодное изостатическое прессование (CIP, давление 200-300 МПа) или вакуумное спекание могут улучшить однородность.

Состояние поверхности

Эффект : Дефекты поверхности или остаточные напряжения влияют на ударную вязкость.

Механизм : Поверхностные трещины, шероховатость ($R_a > 0,2$ мкм) или остаточное растягивающее напряжение (> 200 МПа) становятся точками концентрации напряжений, снижая ударную вязкость; остаточное сжимающее напряжение (> 400 МПа) может улучшить ударопрочность за счет модификации поверхности (например, дробеструйной обработки).

Влияние процесса : Полировка до $R_a < 0,1$ мкм или нанесение покрытия (например, TiN) для улучшения состояния поверхности.

(5) Микроскопический механизм ударной вязкости твердого сплава

Пластическая абсорбция фазы Co

Фаза Co поглощает энергию удара посредством пластической деформации и задерживает распространение трещин. Соответствующее количество Co улучшает ударную вязкость.

Отклонение трещины на границах зерен WC

Границы зерен WC вызывают отклонение траектории трещины (угол 20° - 40°), увеличивают длину траектории разрушения и снижают скорость разрушения.

Укрепление границ зерен

晶界强化: 晶界通过 Orowan 强化机制 ($\tau \sim Gb/\lambda$, $\lambda < 1 \mu\text{m}$) 阻碍裂纹扩展, 适中晶粒尺寸 ($0.5-1 \mu\text{m}$) 效果最佳。

Склеивание интерфейсов

Прочность связи на границе раздела (>50 МПа) между WC и Co достигается за счет смачивания Co (контактный угол $<15^\circ$), а дефекты на границе раздела (например, пустоты $>0,5\%$) могут вызывать возникновение трещин.

Тип ударного перелома

Межзеренный излом : трещина распространяется вдоль границы зерна WC, что чаще встречается при низком содержании Co.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Трансгранулярный Разрушение : Трещина проходит через частицы WC и чаще встречается при высоких энергиях удара.

Смешанный перелом : межкристаллитные и транскристаллитные переломы сосуществуют, что часто встречается в реальных рабочих условиях.

Ударная вязкость является ключевой характеристикой твердого сплава в условиях динамической нагрузки. Ее можно оптимизировать, регулируя микроструктуру и параметры процесса для соответствия требованиям различным условиям работы.

(6) Соотношение между твердостью и прочностью твердого сплава

Существует определенный компромисс между твердостью и вязкостью (обычно выражается как твердость по Виккерсу HV и вязкость разрушения K_{IC}) твердого сплава (WC-Co). Основное соотношение выглядит следующим образом:

Твердость (HV 1200-1800) и вязкость (K_{IC} с 8-16 МПа·м^{1/2}) обычно показывают обратную тенденцию. Высокая твердость (например, HV 1600-1800) часто сопровождается более низкой вязкостью (K_{IC} с 8-10 МПа·м^{1/2}), в то время как высокая вязкость (K_{IC} с 14-16 МПа·м^{1/2}) обычно приводит к снижению твердости (HV 1200-1400). Это связано с тем, что твердость и вязкость зависят от разных микромеханизмов : твердость в основном обусловлена высокой твердостью фазы WC, в то время как вязкость зависит от способности фазы Co к пластической деформации.

Твердость (HV 1200–1800) и вязкость разрушения (K_{IC} с 8–16 МПа·м^{1/2}) твердого сплава являются его основными механическими свойствами, которые напрямую влияют на его надежность при высоких нагрузках (>4000 МПа), ударных нагрузках (>500 Гц) и высоких температурах (>800 °C).

(7) Компромисс между твердостью и прочностью является ключевой проблемой при проектировании твердосплавных изделий.

Высокая твердость (HV>1600) обычно сопровождается низкой прочностью (K_{IC} <10 МПа·м^{1/2}), что может легко привести к хрупкому разрушению; в то время как высокая прочность (K_{IC} > 12 МПа·м^{1/2}) снизит твердость (HV<1400) и ослабит износостойкость. Чтобы сбалансировать эти два параметра, необходимо оптимизировать микроструктуру, включая размер зерна WC (0,2-2 мкм) и содержание фазы связующего Co (6%-15%), чтобы удовлетворить потребности таких требовательных применений, как авиационные инструменты (срок службы резания>15 часов) и горнодобывающие буровые коронки (бурение>1200 м).

В этом разделе обсуждается механизм регулирования баланса твердости и вязкости с трех сторон: эффект размера зерна (на основе соотношения Холла-Петча), оптимизация содержания фазы связи Co и передовые технологии (такие как нанокompозитная технология

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

и дизайн градиентной структуры). Он объединяет механические модели (Холл-Петч: $\sigma_y \sim d^{-1/2}$, упрочнение Орована), термодинамику (энергия интерфейса $<1,5 \text{ Дж/м}^2$) и параметры процесса (температура спекания $1400\text{-}1500^\circ\text{C}$, степень вакуума $<10^{-2} \text{ Па}$).

7.1.1 Эффект размера зерна (соотношение Холла-Петча)

7.1.1.1 Влияние размера зерна

Влияние размера зерна относится к регулярным изменениям механических свойств (таких как твердость, прочность и вязкость) материалов, таких как цементированный карбид, с изменением размера зерна. Согласно соотношению Холла-Петча, уменьшение размера зерна (например, с 2 мкм до $0,5 \text{ мкм}$) увеличит плотность границ зерен ($>10^{13} \text{ м}^{-2}$), затруднит движение дислокаций и, таким образом, увеличит твердость (примерно на $25\%\text{-}30\%$, например, HV с 1200 до 1600) и прочность.

Принцип и технология влияния размера зерна

Размер зерна является ключевым фактором в регулировании твердости и вязкости твердого сплава, следуя соотношению Холла-Петча ($\sigma_y = \sigma_0 + k \cdot d^{-1/2}$, где σ_y - предел текучести, d - размер зерна, а k составляет около $0,3 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$). Уменьшение размера зерна WC ($0,2\text{-}2 \text{ мкм}$) может значительно увеличить твердость (HV $1200\text{-}1800$) и прочность на сжатие ($>4000 \text{ МПа}$). Например, после измельчения размера зерна с 2 мкм до $0,5 \text{ мкм}$ твердость увеличивается с HV 1200 до HV 1600 , а срок службы авиационных инструментов увеличивается с 12 часов до 15 часов. Однако слишком маленькие зерна ($<0,2 \text{ мкм}$) могут вызывать микротрещины из-за скольжения границ зерен (скорость $\sim 10^{-9} \text{ м/с}$), что приводит к снижению ударной вязкости ($K_{IC} < 8 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$). Поэтому оптимизация размера зерна требует баланса между упрочнением границ зерен и стабильностью интерфейса.

Размер зерна регулируется высокоэнергетическим шаровым измельчением (скорость $300\text{-}500$ об/мин, время $20\text{-}40$ часов), добавлением ингибиторов зерна (таких как VC $0,2\%\text{-}0,5\%$, Cr₃C₂ $0,1\%\text{-}0,3\%$) и оптимизацией процесса спекания (температура $1400\text{-}1500^\circ\text{C}$, степень вакуума $<10^{-2} \text{ Па}$). В последние годы ультрамелкозернистые ($<0,5 \text{ мкм}$) и нанокристаллические ($<100 \text{ нм}$) цементированные карбиды стали горячей точкой исследований, и их твердость может достигать HV 2000 , но необходимо решить проблему стабильности границ нанозерен (скорость миграции границ зерен $<10^{-10} \text{ м/с}$).

7.1.1.2 Механизм Холла-Петча и механический анализ

Что такое соотношение Холла-Петча ?

Соотношение Холла-Петча является очень важным фундаментальным принципом в материаловедении, которое описывает соотношение между размером зерна поликристаллического материала и его пределом текучести. Соотношение было независимо открыто и сформулировано Э.О. Холлом (1951) и Н.Дж. Петчем (1953), и поэтому названо в их честь. Проще говоря, в соотношении Холла-Петча :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Чем мельче зерна, тем выше прочность (особенно предел текучести) материала.

Эту связь можно выразить математически следующим образом:

$$\sigma_y = \sigma_0 + k \cdot d^{-1/2}$$

В:

σ_y : Предел текучести материала .

σ_0 : представляет собой предел текучести материала **монокристалла** или , в более общем смысле, сопротивление движению дислокаций внутри зерна (напряжение трения решетки).

k: **Наклон Холла-Петча** — **константа** , значение которой зависит от самого материала (например, кристаллической структуры, характеристик дислокаций) и свойств границы зерна (например, энергии границы зерна, сопротивления скольжению границы зерна). Чем больше значение k, тем значительнее эффект упрочнения границы зерна.

d: **средний диаметр зерна** материала .

Основной физический механизм: границы зерен препятствуют движению дислокаций

Дислокация и пластическая деформация

Пластическая деформация металлических материалов осуществляется в основном за счет скольжения дислокаций (линейных дефектов в кристаллах) внутри зерен.

Границы зерен как барьеры

Границы зерен — это интерфейсы между соседними зернами. Из-за разной кристаллической ориентации соседних зерен дислокациям трудно скользить напрямую от одного зерна к соседнему через границу зерна.

Нагромождение дислокаций

Под действием внешнего напряжения активизируются источники дислокаций и генерируются дислокации, которые движутся вдоль плоскости скольжения до тех пор, пока не будут заблокированы границей зерна, образуя «скопление дислокаций» перед границей зерна.

Концентрация напряжений и активация источников дислокаций в соседних зернах

Накопленные группы дислокаций создадут большую локальную концентрацию напряжений на границе зерна. Когда это концентрированное напряжение достигает напряжения, необходимого для активации источника дислокаций в соседнем зерне, пластическая деформация может распространиться на следующее зерно, и материал деформируется в макромасштабе.

Измельчение зерна

Чем мельче зерна (меньше d), тем больше площадь границы зерна на единицу объема и тем короче средний свободный пробег скольжения дислокации. Дислокации будут сталкиваться с препятствиями на границе зерна на меньшем расстоянии, и требуется большее внешнее напряжение для формирования достаточно прочной группы скоплений дислокаций в зернах

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(тем самым создавая достаточно высокую концентрацию напряжений) для активации источника дислокаций соседних зерен. Поэтому предел текучести σ_y материала увеличивается с уменьшением размера зерна d .

Значение соотношения Холла-Петча

Один из важнейших механизмов подкрепления

Измельчение зерна является одним из наиболее эффективных и широко используемых методов повышения прочности металлических материалов и обычно не приводит к значительному снижению вязкости материала (оно может даже повысить ее, и в этом отношении оно превосходит другие механизмы упрочнения, такие как упрочнение твердого раствора и дисперсионное упрочнение).

Разработка руководящих материалов

Он обеспечивает теоретическую основу и количественные инструменты для оптимизации механических свойств материалов путем управления их микроструктурой (особенно размером зерна). Одной из основных целей металлургических процессов (таких как контролируемая прокатка, термическая обработка и т. д.) является измельчение зерна.

Понимание эффекта размера

Объясняет, почему нанокристаллические материалы обладают чрезвычайно высокой прочностью.

Соотношение Холла-Петча **очень справедливо в диапазоне размеров зерна от микрометра до субмикрометра**. (обычно около 1 мкм - 0,1 мкм). Когда размер зерна уменьшается до **нанометрового масштаба** (< 100 нм), другие механизмы (такие как скольжение по границам зерен, поглощение или испускание дислокаций на границах зерен) могут стать доминирующими, а иногда даже наблюдается «обратный эффект Холла-Петча», то есть интенсивность уменьшается с дальнейшим уменьшением размера зерна.

Тип материала применяется в первую очередь к **металлам и сплавам**. Аналогичные соотношения наблюдаются в керамике и некоторых полимерах, но механизмы упрочнения могут быть разными.

Соотношение Холла-Петча показывает, что чем меньше размер зерна, тем выше плотность границ зерен ($>10^{13} \text{ м}^{-2}$), движение дислокаций затруднено, а прочность и твердость значительно улучшаются. Твердость (HV) приблизительно пропорциональна пределу текучести ($HV \sim 3\sigma_y$). Когда размер зерна уменьшается с 2 мкм до 0,5 мкм, твердость увеличивается примерно на 25%-30% (с HV 1200 до 1600). Однако, если размер зерна слишком мал ($<0,2$ мкм), скольжение границ зерен усиливается, что приводит к снижению вязкости (K_1 падает с $12 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ до $<8 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$). Механизм основан на упрочнении границ зерен и механике разрушения: границы зерен повышают производительность за счет закрепления дислокаций (упрочнение Орована, $\tau \sim Gb/\lambda$, $\lambda < 1$ мкм), но высокая плотность

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

границ зерен увеличивает межфазную энергию ($>1,5 \text{ Дж/м}^2$) и легко вызывает образование микротрещин (длиной $0,05\text{--}0,1 \text{ мкм}$).

Анализ динамики границ зерен показывает, что скорость миграции границ зерен (10^{-10} м/с) контролируется температурой спекания ($1400\text{--}1500 \text{ }^\circ\text{C}$) и добавками (VC $0,2\%\text{--}0,5\%$), а барьер миграции составляет $80\text{--}120 \text{ кДж/моль}$. Термодинамическая стабильность мелкозернистого WC оценивается по свободной энергии Гиббса ($\Delta G < 0$). Когда размер зерна $<0,5 \text{ мкм}$, энергия интерфейса доминирует в изменении производительности. Например, WC-10Co (зерно $0,5 \text{ мкм}$) имеет твердость HV 1600 и $K_{1c} < 12 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$, что подходит для высокоскоростной резки ($>800 \text{ м/мин}$).

7.1.1.3 Анализ факторов, влияющих на эффект размера зерна

На эффект размера зерна влияют следующие факторы:

Начальный размер частиц порошка

Размер частиц порошка WC составляет $0,5\text{--}1 \text{ мкм}$ для обеспечения равномерного измельчения; если он $>2 \text{ мкм}$, то твердость <1400 ; если он $<0,2 \text{ мкм}$, то степень агломерации $>15\%$.

Время шаровой мельницы

Шаровая мельница в течение $20\text{--}40$ часов (скорость вращения $300\text{--}500 \text{ об/мин}$) позволяет измельчить зерна до $0,5 \text{ мкм}$; если <15 часов, размер зерна составляет $>1 \text{ мкм}$; если >50 часов, степень разрушения зерна составляет $>3\%$.

Температура спекания

$1400\text{--}1500 \text{ }^\circ\text{C}$ может контролировать рост зерна ($<0,8 \text{ мкм}$); если $>1550 \text{ }^\circ\text{C}$, размер зерна составляет $>2 \text{ мкм}$, а твердость снижается на $10\text{--}15\%$.

добавка

Добавление VC в количестве $0,2\%\text{--}0,5\%$ может замедлить рост зерна ($<0,5 \text{ мкм}$) и повысить твердость на $5\%\text{--}10\%$. Если $>0,8\%$, образуется хрупкая фаза, что приводит к $K_{1c} < 8 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$.

Содержимое

Содержание Co $8\%\text{--}12\%$ может сбалансировать вязкость; если $<6\%$, $K_{1c} < 10 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$; если $>15\%$, твердость <1200 .

Атмосфера спекания: степень вакуума $<10^{-2} \text{ Па}$ позволяет избежать окисления (содержание $\text{O}_2 < 0,5 \text{ ppm}$); использование атмосферы Ar (чистота $>99,99\%$) может уменьшить дефекты границ зерен ($<0,2\%$).

Скорость охлаждения

Регулирование скорости охлаждения на уровне $3\text{--}5 \text{ }^\circ\text{C/мин}$ позволяет снизить термическое

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

напряжение (<100 МПа); если скорость >10 °С/мин, скорость образования микротрещин составляет $>0,5\%$.

Преимущества, недостатки и технические требования соотношения Холла-Петча

Измельчение зерна значительно повышает твердость и прочность (HV 1600, $\sigma > 4500$ МПа), что делает его пригодным для применения в условиях высоких нагрузок (например, в авиационных инструментах).

Слишком мелкие зерна ($<0,2$ мкм) приведут к снижению прочности ($K_{IC} < 8$ МПа·м^{1/2}), а стоимость изготовления нанокристаллического WC будет выше (примерно на 20%-25%).

Технические условия для соотношения Холла-Петча

Требуется высокоточное шаровое мельница (точность скорости ± 5 об/мин), онлайн-контроль зерна (отклонение $<0,02$ мкм), а также высокотемпературная и высоконапорная спекательная печь (отклонение температуры ± 10 °С, отклонение давления $\pm 10^{-3}$ Па).

Стратегия оптимизации

для зависимости Холла-Петча Для достижения высокой твердости (HV 1600) и умеренной прочности ($K_{IC} > 12$ МПа·м^{1/2}) рекомендуется следующая стратегия:

Выбрать порошок WC с размером частиц 0,5–1 мкм и провести высокоэнергетическое измельчение в шаровой мельнице в течение 20–40 часов (скорость вращения 300–500 об/мин). Температура спекания контролируется в пределах 1400–1500°C, степень вакуума $<10^{-2}$ Па, а размер зерна $<0,8$ мкм.

Добавление 0,2%–0,5% VC может замедлить рост зерна и повысить твердость на 5–10%.

Содержание Co устанавливается в пределах 8–12 % для обеспечения $K_{IC} > 12$ МПа·м^{1/2}.

- контролем размера частиц (отклонение $<0,02$ мкм).

Размер зерна проверяли с помощью анализа просвечивающей электронной микроскопии (разрешение $<0,1$ нм), а напряжение на границе зерен (<100 МПа) оценивали с помощью рентгеновской дифракции (отклонение ширины пика $<0,2^\circ$).

Передовые технологии: попробуйте нанокompозитную технологию для формирования двухмодовой структуры (распределение размеров зерен: 0,2 мкм и 1 мкм) путем добавления наночастиц WC (<50 нм), твердость увеличивается до HV 1800, а K_{IC} достигает 13 МПа·м^{1/2}.

Практика применения инженерного подхода к соотношению Холла-Петча

Мелкозернистый твердый сплав хорошо себя зарекомендовал в различных сценариях:

Авиационные инструменты

WC-10Co (размер зерна 0,5 мкм, твердость HV 1600) имеет срок службы 15 часов и повышение производительности на 25% при высокоскоростной резке (>800 м/мин).

Горнодобывающие буровые коронки

WC-8Co (размер зерна 0,8 мкм, $K_{IC} > 13$ МПа·м^{1/2}) составляет 1200 м при бурении твердых

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

пород, что на 40 % больше.

Износостойкая форма

WC-12Co (размер зерна 0,5 мкм , твердость HV 1600), срок службы $>10^6$ раз при экструзии .

Лопатки авиационных турбин

WC-10Co (размер зерна 0,4 мкм , VC 0,3%), твердость HV 1700, K_{1c} 12 МПа $\cdot$ м $^{1/2}$, при высокотемпературной резке ($>800^{\circ}\text{C}$, скорость >250 м/с) срок службы достигает 20 часов, увеличение на 30%.

Форма для новой энергетической батареи

зерна 0,3 мкм , твердость HV 1800), при высокочастотной экструзии (>500 Гц), срок службы $>10^6$ раз, увеличение на 50

7.1.2 Оптимизация содержания связующей фазы твердого сплава

Взаимосвязь между типом связующей фазы твердого сплава, содержанием и прочностью

Прочность твердого сплава (представленного WC-Co) тесно связана с типом и содержанием связующей фазы и структурой твердой фазы. Оптимизация содержания связующей фазы (особенно содержания кобальта) является основным средством для балансировки твердости и прочности материала, и ее типичный диапазон регулирования составляет 6%-15%. Ниже приведен систематический анализ:

7.1.2.1 Основная роль фазы связывания и технического регулирования

Эксплуатационные характеристики твердого сплава определяются твердой фазой (такими карбидами, как WC) и фазой металлической связи (в основном Co).

Основные функции Co:

Носитель пластической деформации: Когда трещина распространяется (скорость деформации составляет около 10^{-3} с^{-1}), она поглощает энергию посредством пластической деформации и напрямую влияет на вязкость (K_{1c} 8-16 МПа $\cdot$ м $^{1/2}$).

Интерфейсный связующий узел: Отличная смачиваемость WC (контактный угол $<15^{\circ}$, энергия интерфейса $<1,5$ Дж/м ^{2}), образуя высокопрочный связующий интерфейс (>50 МПа).

Координатор напряжений: снимает концентрацию напряжений между частицами WC и предотвращает хрупкое разрушение.

Технический принцип оптимизации контента.

Содержание Co необходимо точно контролировать в диапазоне 6%-15%:

Низкое содержание Co ($<6\%$): твердость значительно повышается ($HV>1600$), но прочность резко снижается ($K_{1c} < 10$ МПа $\cdot$ м $^{1/2}$), и возникает вероятность хрупкого разрушения.

Высокое содержание Co ($>15\%$): повышенная ударная вязкость ($K_{1c} > 14$ МПа $\cdot$ м $^{1/2}$), но недостаточная твердость ($HV<1200$) и легкое образование вкраплений Co (размером >5 мкм), что приводит к снижению прочности на 10–15%.

Оптимальная точка баланса (8%-12%): достижение синергии между твердостью HV 1500 и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

прочностью K_{1c} с 12 МПа·м^{1/2} для удовлетворения потребностей в сценариях с высоким спросом, таких как авиационные инструменты.

Технология внедрения:

Контроль равномерности распределения Со (отклонение <0,5%) за счет соотношения порошка Со высокой чистоты (>99,9%) → холодное изостатическое прессование (CIP, 200-300 МПа) → спекание в жидкой фазе (1400-1500°C, 1-3 часа). Прорывной технологией последних лет является проектирование градиентной структуры: путем регулирования скорости диффузии Со (<10⁻⁹ см²/с) поверхностное содержание Со снижается до 6% (твердость HV 1600), а внутреннее содержание увеличивается до 12% (прочность K_{1c} с 14 МПа·м^{1/2}), достигая «твердой поверхности и жесткой внутренней части».

7.1.2.2 Количественное влияние содержания связующего на прочность

Содержание Со положительно коррелирует с прочностью, но необходимо избегать точки перегиба производительности:

Механизм повышения вязкости: увеличение содержания Со (6%→12%) → утолщение слоя металла → расширение

пространства пластической деформации → распространение трещины должно проходить через более толстую пластическую зону, увеличивая K_{1c} с 10 МПа·м^{1/2} до 14 МПа·м^{1/2} ($K_{1c} \propto Co^{1/2}$).

Риск критического отказа:

При содержании Со >15% объемная доля твердой фазы слишком мала (на долю WC приходится <85%), и твердость падает ниже HV 1200;

При температуре спекания >1550°C или отклонении распределения Со >1% образуется лужа Со (>5 мкм), которая становится источником трещин, а ударная вязкость снижается на 10%-15%.

Поддержка механической модели:

Модель Фойгта для композитных материалов:

$$E = V_{WC} \cdot E_{WC} + V_{Co} \cdot E_{Co}$$

Количественные свойства: Теоретическая твердость сплава WC-10Co HV 1500, K_{1c} с 12 МПа·м^{1/2}.

7.1.2.3 Иерархическая связь между типом фазы связи и вязкостью

Кобальт (Co) — золотой стандарт:

Высокая энергия дислокации обеспечивает отличную способность к скольжению дислокаций, значительный эффект упрочнения, а система WC-Co имеет наилучшую прочность.

Сплавы на основе никеля (Ni) – коррозионно-стойкие альтернативы:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Используется в системах TiC -Ni-Mo, Cr₃C₂ - NiCr и других, но ограничен карбидным скелетом, прочность значительно ниже, чем у WC-Co с тем же содержанием (например, у сплава на основе TiC K_{1с} обычно <10 МПа·м^{1/2}).

Недостаток прочности специальных систем:

хотя сплавы на основе карбидов металлов (такие как непрерывные каркасы TiC и Cr₃C₂) могут в ограниченной степени улучшить прочность за счет увеличения содержания Ni, они существенно ограничены:

Собственная хрупкость карбидов;

Пластичность металлической фазы ограничена скелетом;

Прочность связи на границе раздела слабее, чем у Co-WC.

7.1.2.4 Стратегия сильного компромисса и совместной оптимизации

Противоречивый характер

Содержание Co↑ → прочность↑↑, но твердость↓↓. Традиционным однородным материалам трудно соответствовать экстремальным требованиям.

Путь прорыва

Измельчение зерна:

контролировать размер частиц WC до 0,5-1 мкм (если >2 мкм, K_{1с} уменьшается на 5–10%), а для повышения прочности и ударной вязкости используется мелкозернистое упрочнение.

Проектирование градиентной структуры:

Низкое содержание Co (6%) на поверхности: достигается высокая твердость (HV 1600) и устойчивость к износу;

Внутреннее высокое содержание Co (12%): обеспечивает высокую прочность (K_{1с} 14 МПа·м^{1/2}) и стойкость к ударному разрушению;

Основная технология: добавление 0,2%–0,5% VC для ингибирования диффузии Co в сочетании с послойным спеканием для контроля градиента состава.

Контроль точности процесса:

Спекание: 1400-1500°C/степень вакуума <10⁻² Па, время 1-3 часа (если >4 часа, скорость сегрегации Co >1%);

Формование: давление CIP 200-300 МПа, обеспечить плотность>99% (если <150 МПа, пористость>1%);

Контроль качества: для анализа распределения Co использовался EDS/EBSD (разрешение <0,5 мкм) с отклонением <0,5%.

7.1.2.5 Проверка инженерной практики

Оптимизированная конструкция фазы склеивания хорошо работает в экстремальных рабочих условиях:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Сценарий применения	Материальная система	Параметры производительности	Увеличение продолжительности жизни
Инструменты для отделки самолетов	WC-10Co (0,5 мкм)	HV 1500, К ₁ с 12 МПа·м ^{1/2}	>15 часов (+25%)
Глубоководное бурение	Градиент WC-Co (6% на поверхности/12% внутри)	Таблица HV 1600/Внутренний К ₁ с 14 МПа·м ^{1/2}	>1500 м (+50%)
Пресс-форма для тормозных колодок высокоскоростных железнодорожных тормозов	Градиент WC-10Co	Высокотемпературное трение > 600°C	>4×10 ⁵ раз (+60%)
Ударное сверло для горнодобывающей промышленности	WC-8Co	К ₁ с 13 МПа·м ^{1/2}	>1200 м (+40%)

7.1.2.6 Заключительное признание

Содержание Со является основой контроля прочности: оно точно оптимизировано в диапазоне 6–15%, а 8–12% — это золотая точка баланса прочности и прочности;

Процесс определяет верхний предел производительности:

Использование высокочистого сырья (Со>99,9%), прецизионного спекания (контроль температуры ±2°C) и неразрушающего контроля (отклонение рентгеновского излучения/EDS <0,2%);

Градиентная структура — это революционная технология, которая позволяет преодолеть компромисс между прочностью и ударной вязкостью, но стоимость увеличивается на 15–20 %;

Прикладно-ориентированный дизайн:

Сценарии с высокой прочностью (горнодобывающая промышленность, глубоководные районы) → среднее или высокое содержание Со (10%-15%) или градиентная конструкция;
Сценарий высокой твердости (чистовая обработка) → низкое содержание Со (6%-8%) + мелкозернистый WC (0,5 мкм) + добавки VC;
Сценарий коррозионной стойкости/высоких температур → Сплавы связующей фазы на основе никеля требуют компромисса в отношении прочности.

Прочность твердого сплава по сути является результатом синергетического эффекта содержания, типа и микроструктуры связующей фазы. Благодаря научной оптимизации содержания Со (6%-15%), инновационному дизайну градиента и точному контролю процесса он может преодолеть традиционные границы производительности и удовлетворить экстремальные потребности от микронной резки до километрового сверления.

7.2 Усталость и ударопрочность твердого сплава

Усталостная стойкость

Усталостная стойкость цементированного карбида (WC-Co) относится к его способности

противостоять возникновению и расширению усталостных трещин при циклической нагрузке, что отражает долговечность материала при длительном использовании. Она в основном основана на оптимизации микроструктуры (например, размера зерна 0,5-1 мкм) для снижения скорости роста трещин, умеренное содержание Со (8%-12%) обеспечивает пластический буфер, а упрочнение границ зерен сдерживает рост трещин. Методы измерения, такие как испытание на усталость при изгибе с вращением (ASTM E466), могут оценить его усталостную долговечность.

Ударопрочность

— это способность твердого сплава противостоять разрушению при высокоэнергетических ударных нагрузках, отражающая его надежность при динамической нагрузке. Она основана на высоком содержании Со (10%-15%) для поглощения энергии удара, умеренном размере зерна (0,5-1 мкм) для баланса вязкости и прочности и добавках (таких как ТаС) для укрепления границ зерен. Испытание на удар по Шарпи (ASTM E23) является распространенным методом измерения.

Сопротивление усталости фокусируется на однородности микроструктуры и сопротивлении распространению трещин, в то время как ударопрочность больше зависит от пластического поглощения энергии фазы Со. Оба параметра должны быть сбалансированы посредством оптимизации микроструктуры для соответствия требованиям различных условий работы.

Усталостная и ударная стойкость твердого сплава при циклической нагрузке ($>10^5$ раз) и высокой ударной нагрузке (>500 Гц) напрямую определяет его надежность в горнодобывающей промышленности (бурение >1200 м), авиации (срок службы инструмента >15 часов) и штамповке (экструзия $>10^6$ раз). Усталостная стойкость характеризуется скоростью роста трещин ($da/dN \sim 10^{-6}$ мм/цикл), а ударная стойкость оценивается энергией удара (10-30 Дж). Оптимизацию необходимо начинать с микроструктуры (размер частиц WC 0,5-2 мкм, содержание Со 6%-15%) и механических свойств (коэффициент интенсивности напряжений $\Delta K < 25 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$).

В этом разделе обсуждается механизм регулирования сопротивления усталости и ударопрочности с трех сторон: распространение трещин при циклической нагрузке (на основе закона Париса), испытание на ударную вязкость (Шарпи и Изод) и передовая технология испытаний (например, испытание на усталость SEM in-situ). Объединяя механику разрушения (закон Париса: $da/dN = C \cdot \Delta K^m$), экспериментальные стандарты и практику применения, в этом разделе обсуждается механизм регулирования сопротивления усталости и ударопрочности.

7.2.1 Рост трещин в твердом сплаве при циклическом нагружении (закон Парижа)

Что такое закон Париса?

Закон Париса — это базовая теоретическая модель, описывающая поведение роста

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

усталостных трещин. Он в основном используется для прогнозирования связи между скоростью роста трещин и диапазоном коэффициента интенсивности напряжений материалов при циклической нагрузке. Он широко используется в усталостном анализе металлов, композитных материалов и твердых сплавов (таких как WC-Co).

выражение закона Парижа

$$\frac{da}{dN} = C \cdot (\Delta K)^m$$

В:

$\frac{da}{dN}$: скорость расширения трещины (мм/цикл), представляющая приращение длины трещины за один цикл.

ΔK : диапазон фактора интенсивности напряжений (МПа·м^{1/2}), $\Delta K = K_{\max} - K_{\min}$, где $K_{\max}$ и $K_{\min}$ — максимальный и минимальный факторы интенсивности напряжений.

C и m : материалые константы, зависящие от материала, микроструктуры и условий окружающей среды.

Для твердого сплава WC-Co обычно находится в диапазоне 2–4, а CCC меньше ($\sim 10^{-10}$ до 10^{-8}).

Закон Парижа

Закон Париса применим к стабильной стадии роста усталостной трещины (т.е. стадии II), то есть скорость роста трещины имеет степенную зависимость от ΔK :

Стадия I (пороговая зона): $\Delta K < \Delta K_{th}$ (порог), трещина не распространяется.

Стадия II (зона стабильного расширения): Трещина распространяется по закону Париса.

Стадия III (зона быстрого разрушения): $\Delta K \rightarrow K_c$ (вязкость разрушения), нестабильность трещины.

Применение закона Париса в твердом сплаве

Усталостную прочность твердого сплава (WC-Co) можно проанализировать по Парижскому закону:

Микромеханизм: На распространение трещины влияют границы зерен WC и фаза Co, а прогиб границ зерен и пластическая абсорбция энергии Co снижают da/dN .

Факторы, влияющие на закон Парижа

Содержание Co: Более высокое содержание Co (10%-15%) увеличивает пластичность и снижает CCC .

Размер зерна: Умеренные зерна (0,5-1 мкм) снижают da/dN за счет упрочнения границ зерен.

Окружающая среда: Агрессивные среды (например, pH < 5) могут увеличить CCC .

Измерение: с помощью испытания на рост трещин (ASTM E647) запишите соотношение da/dN с ΔK , подгонкой CCC и mmm .

Закон Париса дает теоретическую основу для прогнозирования усталостной долговечности твердого сплава. Его можно использовать для оптимизации микроструктуры (например, размера зерна и содержания Co) и продления усталостной долговечности. Он подходит для сценариев с высокой циклической нагрузкой, таких как авиационные инструменты и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

горнодобывающие буровые коронки.

Принцип Парижского закона и технический обзор

Усталостная прочность характеризуется скоростью роста трещины (da/dN , единица измерения: мм/цикл), которая следует Парижскому закону: $da/dN = C \cdot \Delta K^m$, где ΔK — амплитуда коэффициента интенсивности напряжений ($10^{-2.5}$ МПа $\cdot$ м $^{1/2}$), C — 10^{-9} - 10^{-10} , а m — 3-4.

При циклической нагрузке (коэффициент напряжения $R=0,1$, частота 5-15 Гц) скорость роста трещины твердого сплава необходимо контролировать на уровне $<10^{-6}$ мм/цикл, чтобы обеспечить срок службы $>10^5$ раз. Оптимизация достигается за счет измельчения зерна (WC 0,5-1 мкм), содержания Co (8%-12%) и модификации поверхности (например, ионной имплантации).

Испытание на усталость основано на измерении длины трещины (точность $\pm 0,02$ мм) при трехточечном изгибе (нагрузка 500-1000 Н). В последние годы испытание на усталость с помощью SEM in situ (разрешение $<0,2$ мкм) стало горячей точкой исследований, позволяющей наблюдать пути распространения трещин (транскристаллитное/межкристаллитное отношение $<30\%$) и микроскопические дефекты (размер пор <2 мкм) в режиме реального времени.

Закон Париса - Механизм и механический анализ

Закон Париса описывает поведение устойчивого роста трещины (стадия II):

Расчет ΔK : $\Delta K = \Delta\sigma \cdot \sqrt{a}$, где $\Delta\sigma$ — амплитуда напряжения, а a — длина трещины ($\sim 0,1$ – $0,5$ мм). При $\Delta K < 20$ МПа $\cdot$ м $^{1/2}$, $da/dN < 10^{-7}$ мм/цикл.

Параметры C и m : C составляет 10^{-9} – 10^{-10} , m составляет 3,2-3,8, что отражает трещиностойкость материала. При содержании Co 10% C уменьшается на 15%-20%.

Микромеханизм: Фаза Co рассеивает энергию трещины посредством пластической деформации (деформация $\sim 0,05\%$ – $0,1\%$), а граница зерен WC (0,5 мкм) препятствует распространению трещины (скорость $<10^{-6}$ мм/цикл).

Высокотемпературная усталость: при 800 °C скорость роста трещин составляет $<10^{-5}$ мм/цикл, а оксидный слой (WO₃, толщина ~ 2 мкм) может снизить da/dN примерно на 5%-10%.

Анализ SEM in-situ показывает, что путь распространения трещины в основном транскристаллитный (соотношение $>50\%$), а при угле отклонения границ зерен 20°–40° da/dN уменьшается на 10%-15%. Например, скорость роста трещины WC-10Co (ΔK составляет 15 МПа $\cdot$ м $^{1/2}$) составляет около 10^{-7} мм/цикл, что соответствует требованиям авиационных инструментов.

Анализ факторов, влияющих на распространение трещин

На распространение трещин влияют следующие факторы:

Размер зерна: 0,5–1 мкм может снизить da/dN ($<10^{-7}$ мм/цикл); если >2 мкм, $da/dN > 10^{-6}$ мм/цикл.

Содержание Co: 10% может оптимизировать K_{IS} (>12 МПа $\cdot$ м $^{1/2}$); если $<6\%$, da/dN

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

увеличивается на 20%-30%.

Коэффициент напряжения: при $R=0,1$ $da/dN < 10^{-7}$ мм/цикл; если $R>0,5$, da/dN увеличивается на 40%-50%.

Добавки: добавление VC в количестве 0,2–0,5% может повысить прочность границ зерен (>150 МПа); если $>0,8\%$, доля хрупкой фазы составит $>0,5\%$.

При $Ra<0,1$ мкм время зарождения трещины составляет $>10^4$ раз; при $>0,2$ мкм срок службы уменьшается на 15%-20%.

Микродефекты: При пористости $<1\%$, $da/dN < 10^{-7}$ мм/цикл; если $>2\%$, da/dN увеличивается на 30%-40%.

Влажность окружающей среды: если относительная влажность $<50\%$, $da/dN < 10^{-7}$ мм/цикл; если она $>80\%$, коррозионная усталость приводит к увеличению da/dN на 20%-25%.

Твердый сплав обладает превосходной усталостной прочностью (срок службы $> 10^5$ раз) и подходит для сценариев высокочастотной циклической нагрузки (например, горнодобывающие буровые коронки). В коррозионной среде (влажность $> 80\%$) усталостная прочность уменьшается на 15% -20%, и для повышения коррозионной стойкости требуются поверхностные покрытия (например, TiN, толщина 1-3 мкм). Требуется высокоточный испытательный прибор на усталость (отклонение частоты $< 0,2$ Гц), in-situ SEM (разрешение $< 0,2$ мкм) и блок управления окружающей средой (точность влажности $\pm 2\%$).

Стратегия оптимизации Парижского закона

Для снижения скорости роста трещин ($<10^{-7}$ мм/цикл) рекомендуются следующие стратегии: Размер зерна WC выбран 0,5-1 мкм, содержание Co составляет 10%.

Добавление 0,2%-0,5% VC может улучшить прочность границ зерен и снизить da/dN примерно на 15%-20%.

Поверхность полируется до $Ra<0,1$ мкм, а время возникновения трещины составляет $>10^4$ раз.

Коэффициент контроля напряжений $R=0,1$ для обеспечения $\Delta K < 20$ МПа $\cdot$ м $^{1/2}$.

$dN < 5\%$) используется онлайн-мониторинг трещин (точность $\pm 0,02$ мм).

Плотность после спекания $>99,5\%$, пористость $<1\%$, в сочетании с усталостной испытательной машиной (отклонение частоты $<0,2$ Гц).

Передовые технологии: Нанесение покрытия TiN (толщина 1-3 мкм, твердость HV 2500-3000) снижает эффекты коррозионной усталости и снижает da/dN на 10%-15%.

Эффективность усталостно-стойкого твердого сплава после оптимизации **в инженерном применении Парижского закона превосходна:**

Горное буровое долото: WC-10Co (скорость роста трещины $\sim 10^{-7}$ мм/цикл), срок службы $>10^5$ циклических ударов, дальность бурения >1200 м.

Авиационный инструмент: WC-8Co ($K_{IC} 13$ МПа $\cdot$ м $^{1/2}$), усталостная долговечность $> 10^5$ раз, срок службы резания > 15 часов.

Износостойкая форма: WC-12Co ($\Delta K < 15$ МПа $\cdot$ м $^{1/2}$), время экструзии $>10^6$ раз, увеличено

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

на 25%.

Высокоскоростные железнодорожные передачи: WC-10Co (размер зерна 0,5 мкм, Покрытие TiN 2 мкм) в высокочастотных циклах (>100 Гц) скорость роста трещин составляет $\sim 10^{-8}$ мм/цикл, а срок службы увеличивается более чем в 10^6 раз, т.е. на 40%.

7.2.2 Испытание на ударную вязкость твердого сплава (по Шарпи и Изоду)

Обзор принципа и технологии испытания на ударную вязкость твердого сплава

Ударная вязкость — это способность твердого сплава (WC-Co) противостоять разрушению при высокоэнергетических ударных нагрузках и является ключевым показателем его надежности в условиях динамических нагрузок (таких как высокочастотные удары или переходные нагрузки). Ударная вязкость характеризуется способностью поглощать энергию удара, обычно выражаемую в энергии удара (единица: Дж), которая в основном определяется способностью к пластической деформации связующей фазы кобальта (Co) и твердостью твердой фазы карбида вольфрама (WC). Испытание на ударную вязкость предназначено для имитации реальных рабочих условий (таких как высокочастотные удары горнодобывающих буровых коронок или динамическая нагрузка авиационных инструментов) для оценки сопротивления материала разрушению в условиях высоких напряжений.

Обзор метода испытания:

Ударная вязкость твердого сплава в основном измеряется двумя стандартизированными методами испытания: Шарпи и Изода. Оба метода используют маятник для удара образца и регистрации энергии, необходимой для разрушения (работа удара), но существуют значительные различия в методе фиксации образца, режиме нагрузки и распределении напряжений.

Испытательное оборудование:

Энергия маятника: Стандартная энергия маятника составляет 300 Дж.

Скорость удара: 4-5 м/с.

Контроль окружающей среды: Стандартное условие испытания — комнатная температура ($20-25^{\circ}\text{C}$). Для испытаний при низких или высоких температурах требуются специальные устройства для контроля температуры.

Испытание на высокую скорость деформации:

в последние годы испытание на высокую скорость деформации (скорость деформации $>10^3 \text{ c}^{-1}$) стало горячей точкой исследований, что позволяет более реалистично имитировать экстремальные рабочие условия, такие как взрывной удар (скорость >50 м/с) или высокоскоростную резку. При высоких скоростях деформации материалы демонстрируют более значительную чувствительность к скорости деформации, а ударная вязкость может снизиться, что требует оптимизации микроструктуры для улучшения производительности.

Подробности испытания на ударную вязкость по Шарпи

Концепция и принцип:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ударное испытание по Шарпи (ASTM E23) — классический метод испытания на ударную вязкость. Он использует метод нагрузки трехточечным изгибом для измерения энергии, необходимой для разрушения путем удара образца маятником. Образец имеет прямоугольное поперечное сечение, обычно с V-образным надрезом для имитации точек концентрации напряжений, которые могут существовать в реальных рабочих условиях. Энергия удара отражает способность материала поглощать энергию и противостоять распространению трещин и является важным показателем ударопрочности твердого сплава.

Образец и метод нагрузки:

Примеры спецификаций:

Стандартный размер: 55 × 10 × 10 мм (длина × ширина × высота).

Тип надреза: V-образный, глубина 2 мм, радиус дна надреза 0,25 мм, угол надреза 45°.

Эффект надреза: Концентрация напряжений образуется на вершине надреза, вызывая образование трещин, что облегчает количественную оценку чувствительности материала к дефектам.

Метод нагружения:

Образец размещается горизонтально на двух точках опоры, и маятник свободно падает с определенной высоты, ударяясь о центр образца (заднюю часть надреза) со скоростью 4-5 м/с. Образец подвергается трехточечному изгибающему напряжению, а трещина начинается от вершины надреза и расширяется до тех пор, пока не разорвется.

Распределение напряжений:

При трехточечном изгибе растягивающее напряжение создается в надрезе образца, максимальное растягивающее напряжение концентрируется в нижней части надреза, а коэффициент концентрации напряжений (K_t) составляет около 2-3. Энергия удара включает энергию зарождения трещины и энергию распространения трещины, из которых энергия распространения трещины является доминирующей.

Процесс тестирования:

Обработка образцов: Образцы обрабатываются в соответствии со стандартными размерами, а надрезы обрабатываются проволоочной резкой или специальными инструментами, обеспечивающими точность обработки ($\pm 0,02$ мм).

Контроль окружающей среды: Образец помещают в условия определенной температуры (например, комнатной температуры 20–25 °C или низкой температуры -40 °C) и регулируют в камере контроля температуры.

Ударная нагрузка: отпустите маятник, ударьте по образцу, запишите разницу высот колебания маятника и рассчитайте работу удара:

$$\text{ударная работа} = m \cdot g \cdot (h_{\text{нач}} - h_{\text{кон}})$$

в m - масса маятника, g - ускорение свободного падения, h - начальная и h_{final} — начальная и конечная высоты соответственно .

Особенности и применимость:

Испытание по Шарпи имитирует напряженное состояние трехточечного изгиба в реальных рабочих условиях (например, локальное напряжение при ударе буровой коронки о породу).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Подходит для оценки сопротивления разрушению твердого сплава в условиях высоких ударных нагрузок, особенно показателей вязкости при наличии дефектов (надрезов). Результаты испытаний во многом зависят от геометрии надреза, размера образца и температуры, а условия эксперимента должны строго контролироваться.

Подробности испытания на удар по Изоду

Концепция и принцип:

Испытание на удар по Изоду (ASTM E23) — это еще один стандартизированный метод испытания на ударную вязкость, который использует нагрузку консольной балки для измерения энергии, необходимой для разрушения путем удара по свободному концу образца маятником. Образец обычно надрезается для оценки сопротивления материала концентрации напряжений и распространению трещин. По сравнению с испытанием по Шарпи режим силы испытания по Изоду ближе к некоторым реальным рабочим условиям (например, удару по консольной конструкции).

Образец и метод нагрузки:

Примеры спецификаций:

Стандартный размер: $75 \times 10 \times 10$ мм (длина $\times$ ширина $\times$ высота).

Тип надреза: V-образный, глубина 2 мм, радиус дна надреза 0,25 мм, угол надреза 45° .

Расположение надреза: надрез располагается вблизи фиксированного конца образца, примерно в 22 мм от зажимного конца.

Метод нагружения:

Один конец образца закреплен на приспособлении, а другой конец подвешен, образуя консольную балочную конструкцию. Маятник ударяет по свободному концу образца (задней части надреза) со скоростью 4-5 м/с. Образец подвергается составному напряжению изгиба и сдвига. Трещина начинается от кончика надреза и расширяется до тех пор, пока не разорвется.

Распределение напряжений:

В режиме консольной балки надрез создает суперпозицию растягивающего напряжения и напряжения сдвига. Максимальное растягивающее напряжение находится в нижней части надреза, а напряжение сдвига распределено вдоль направления толщины образца. Коэффициент концентрации напряжений (K_t) составляет около 2,5-3,5, что немного выше, чем при испытании по Шарпи. Траектория распространения трещины зависит от напряжения сдвига и может распространяться вдоль интерфейса WC-Co или через зерно.

Процесс тестирования:

Обработка образцов: Образцы обрабатываются в соответствии со стандартными размерами, точность обработки надрезов контролируется в пределах $\pm 0,02$ мм.

Зажим образца: Образец фиксируется в приспособлении, гарантируя, что зажимной конец не соскользнет и не ослабнет.

Ударная нагрузка: маятник отпускают, чтобы ударить по свободному концу образца, регистрируют разницу высот маятника и рассчитывают энергию удара (формула та же, что и для испытания по Шарпи).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Особенности и применимость:

Испытание по Изоду имитирует напряженные состояния конструкции консольной балки (например, компонента машины, подвергающегося боковому удару).

Он подходит для оценки ударопрочности твердого сплава в условиях сложных напряжений, особенно в сценариях, где преобладает напряжение сдвига.

Из-за сложного метода фиксации образца и распределения напряжений результаты испытаний могут быть несколько ниже результатов испытаний по Шарпи и чувствительны к условиям зажима.

Сравнение испытаний по Шарпи и Изоду

Режим напряжения:

испытание по Шарпи представляет собой испытание на трехточечный изгиб, на которое в основном влияет растягивающее напряжение; испытание по Изоду представляет собой испытание консольной балки, в котором растягивающее напряжение и напряжение сдвига накладываются друг на друга, а путь распространения трещины более сложный.

Фиксация образцов:

Образцы для испытаний по Шарпи поддерживаются с обоих концов, что упрощает фиксацию; образцы для испытаний по Изоду зажимаются с одного конца, что предъявляет более высокие требования к приспособлению.

Разница в энергии удара:

из-за большей составляющей напряжения сдвига в испытании по Изоду рассеивается больше энергии роста трещины, и энергия удара обычно немного ниже, чем в испытании по Шарпи.

Сценарии применения:

испытание по Шарпи больше подходит для моделирования симметричных ударов (например, лобового удара сверла); испытание по Изоду больше подходит для моделирования боковых ударов (например, механических консольных деталей).

Теоретическая основа и анализ механизмов

Испытание на ударную вязкость основано на принципах механики разрушения. Энергия удара связана с ударной вязкостью (K_{Ic}), которую можно оценить косвенно через скорость высвобождения энергии (G_c):

$$K_{Ic} \approx \sqrt{E \cdot G_c}$$

где E — модуль упругости (около 550–650 ГПа для WC-Co), а G_c — энергия разрушения (обусловленная пластичностью фазы Co и сопротивлением росту трещин).

Механизм испытания по Шарпи:

Образец подвергается трехточечному изгибающему удару, напряжение концентрируется в надрезе, а трещина распространяется вдоль вершины надреза. Граница зерна WC (размер зерна 0,5-1 мкм) увеличивает сопротивление распространению, отклоняя траекторию трещины (угол отклонения 20°-40°), а фаза Co поглощает энергию посредством пластической

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

деформации (деформация 0,05%-0,1%).

Механизм испытания по Изоду:

В режиме силы консольной балки траектория распространения трещины зависит от напряжения сдвига и может распространяться вдоль интерфейса WC-Co или через зерно. Пластическое рассеивание фазы Co и тормозящий эффект границы зерна WC аналогичны испытанию по Шарпи, но напряжение сдвига усложняет прогиб трещины.

Микроскопический механизм:

Пластическое рассеивание Co-фазы: Co-фаза поглощает энергию удара посредством пластической деформации и задерживает распространение трещины. Когда содержание Co составляет 10%, скорость деформации составляет $\sim 10^{-3} \text{ s}^{-1}$, а пластическое рассеивание является значительным.

WC 晶界阻碍: WC 晶界通过 Orowan 强化机制 ($\tau \sim Gb/\lambda$, $\lambda < 1 \mu\text{m}$) 阻碍裂纹扩展, 适中晶粒尺寸 (0.5-1 μm) 效果最佳。

Морфология излома: анализ СЭМ показывает, что излом в основном состоит из ямок (размером $< 2 \text{ мкм}$), что указывает на то, что пластическое разрушение является доминирующим, а пластическая деформация фазы Co является основным механизмом поглощения энергии.

Воздействие на окружающую среду:

Свойства при низких температурах: при -40°C вязкость фазы Co немного снижается, но соответствующее содержание Co (10%) по-прежнему сохраняет ударную вязкость за счет пластического рассеивания.

Высокая скорость деформации: Когда скорость деформации $> 10^3 \text{ c}^{-1}$, скорость роста трещин увеличивается (примерно на 15% -20%), поскольку материал не успевает полностью пластически деформироваться.

Анализ влияющих факторов

На ударную вязкость влияют следующие факторы:

Содержимое:

Эффект: Увеличение содержания Co ($> 10\%$) улучшает ударную вязкость за счет его повышенной способности к пластической деформации.

Механизм: При содержании Co $< 6\%$ увеличивается хрупкость материала; при содержании $> 15\%$ уменьшается твердость, что влияет на износостойкость.

Рекомендация: Содержание Co 10–12 % является точкой баланса между прочностью и твердостью.

Размер зерна:

зерна (0,5–1 мкм) оптимизирует ударную вязкость.

Механизм: Слишком мелкие зерна ($< 0,2 \text{ мкм}$) снижают вязкость из-за увеличения дефектов границ зерен; слишком крупные зерна ($> 2 \text{ мкм}$) снижают плотность границ зерен и снижают сопротивление распространению трещин.

добавка:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Функция: Добавление VC или TaC улучшает ударную вязкость.

Механизм: VC (0,2%-0,5%) подавляет рост зерен и укрепляет границы зерен; избыточное количество (>0,8%) образует хрупкую фазу и снижает вязкость.

Глубина выемки:

Эффект: Глубина надреза увеличивается, а концентрация напряжений усиливается.

Механизм: Если глубина надреза превышает 3 мм, коэффициент концентрации напряжений увеличивается, а ударная вязкость снижается.

Стандарт: Стандартная глубина испытания — 2 мм.

Плотность после спекания:

Функция: Высокая плотность улучшает ударную вязкость.

Механизм: Когда плотность <98%, пористость увеличивается (>2%), и поры становятся источниками трещин, что снижает прочность.

Рекомендуется: плотность >99%, пористость <1%.

Температура испытания:

Эффект: Низкая температура снижает ударную вязкость.

Механизм: При температуре ниже -60°C прочность фазы Co значительно снижается, а доля хрупкого разрушения увеличивается.

Скорость деформации:

Эффект: Высокая скорость деформации снижает ударную вязкость.

Механизм: Когда скорость деформации $>10^3 \text{ с}^{-1}$, у материала недостаточно времени для пластической деформации, и распространение трещин ускоряется.

Стратегия оптимизации

Для повышения ударной вязкости твердого сплава можно использовать следующие стратегии:

Оптимизация микроструктуры:

Содержание Co составляет 10–12 %, размер зерна WC — 0,5–1 мкм, что обеспечивает баланс между прочностью и твердостью.

Аддитивный контроль:

Добавление 0,2%–0,5% VC или TaC может повысить прочность границ зерен и улучшить ударную вязкость.

Управление процессом:

Плотность после спекания >99%, пористость <1%, достигнутая вакуумным спеканием (1400–1500°C, вакуум $<10^{-2}$ Па).

Точность теста:

Точность обработки глубины надреза составляет $\pm 0,02$ мм, а отклонение энергии маятника < 0,5 Дж.

Улучшенные низкотемпературные характеристики:

Добавление Ni (1–3%) в качестве вспомогательной связующей фазы повышает низкотемпературную вязкость и сохраняет высокую ударную вязкость при температуре -60 °C.

Фрактографический анализ:

данным СЭМ (разрешение <0,2 мкм). Размер ямки составил <2 мкм, что указывает на

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

преобладание пластического разрушения.

Практика применения инженерных разработок

Твердый сплав с высокой ударной вязкостью хорошо себя проявляет в различных сценариях: Буровые коронки для горнодобывающей промышленности: WC-10Co (содержание Co 10%), с оптимизированной микроструктурой для соответствия требованиям высокочастотных ударов (>500 Гц).

Авиационный инструмент: WC-8Co, подходит для динамических нагрузок при высокоскоростной резке (>800 м/мин).

Износостойкий штамп: WC-12Co, выдерживает высокочастотную штамповку (>10⁶ раз).

Глубоководный клапан: WC-10Co, хорошо работает в условиях воздействия высокого давления (>80 МПа) на большой глубине.

Форма для лопастей ветряных турбин: WC-10Co (Ni 2%), стабильна при низкой температуре (-60°C) и высокой скорости деформации (>10³ с⁻¹).

Испытание ударной вязкости цементированного карбида (по Шарпи и Изоду) -
Сравнение таблиц

Ниже представлено прямое сравнение методов испытаний на ударную вязкость по Шарпи и Изоду для твердого сплава (WC-Co) в форме таблицы, охватывающей концепции, спецификации образцов, методы нагружения, распределение напряжений, процесс испытания, характеристики и применимость, микромеханизмы и влияющие факторы.

проект	Испытание на удар по Шарпи (ASTM E23)	Испытание на удар по Изоду (ASTM E23)
концепция принцип	Применяется метод нагрузки изгиба в трех точках, и маятник воздействует на образец для измерения энергии, необходимой для разрушения (работы удара). Образец имеет V-образный надрез для имитации концентрации напряжений и оценки сопротивления разрушению.	Применяется метод нагрузки консольной балки, и маятник воздействует на свободный конец образца для измерения энергии разрушения. Образец надрезается для оценки сопротивления концентрации напряжений и распространения трещин.
Образец Спецификация	- Размеры: 55 × 10 × 10 мм (длина × ширина × высота). - Выемка: V-образная, глубина 2 мм, радиус дна 0,25 мм, угол 45°.	- Размеры: 75 × 10 × 10 мм (длина × ширина × высота). - Выемка: V-образная, глубина 2 мм, радиус дна 0,25 мм, угол 45°, на расстоянии около 22 мм от зажимного конца.
нагрузка Способ	Образец располагается горизонтально на двух точках опоры, а маятник ударяет по центру образца (задней части надреза) со скоростью 4-5 м/с, образуя трехточечную изгибающую силу.	Один конец образца закреплен на приспособлении, а другой конец подвешен, образуя консольную балку. Маятник ударяет по свободному концу образца (задней части надреза) со скоростью 4-5 м/с.
стресс распределенный	Растягивающее напряжение создается в надрезе, а максимальное растягивающее напряжение концентрируется в нижней части надреза, с коэффициентом концентрации	Растягивающее напряжение и касательное напряжение накладываются в надрезе. Максимальное растягивающее напряжение

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

проект	Испытание на удар по Шарпи (ASTM E23)	Испытание на удар по Изоду (ASTM E23)
	напряжений (K_t) около 2-3. Энергия удара в основном находится в нижней части надреза, а формируется за счет энергии расширения трещины.	касательное напряжение распределено по толщине. Коэффициент концентрации напряжений (K_t) составляет около 2,5-3,5.
тест процесс	1. Обработайте образец и надрез (точность $\pm 0,02$ мм). 2. Поместите при указанной температуре (например, 20-25°C или -40°C). 3. Ударьте маятником, запишите разницу высот и рассчитайте энергию удара: Энергия удара = $m \cdot g \cdot (h_{\text{начальный}} - h_{\text{final}})$.	1. Обработайте образец и надрез (точность $\pm 0,02$ мм). 2. Закрепите один конец образца, чтобы убедиться, что он не болтается. 3. Маятник ударяет по свободному концу, регистрирует разницу высот и вычисляет энергию удара (формула та же, что и по Шарпи).
Функции применимость	- Имитирует трехточечное изгибающее напряжение (например, фронтальный удар сверла). - Подходит для оценки боковой удар по механическим деталям). - сопротивления разрушению твердого сплава при симметричном ударе. - Результаты сильно зависят от геометрии надреза и температуры.	- Имитирует силы консольной балки (например, удар по ударопрочности твердого сплава в условиях сложных напряжений. - Результаты чувствительны к условиям зажима.
Микро механизм	- Пластическое рассеивание фазы Co: фаза Co поглощает Шарпи, фаза Co поглощает энергию посредством пластической деформации. - Препятствие границ зерен WC: (деформация 0,05% -0,1%), задерживая распространение путь трещины более сложный и может трещин. - Препятствие границ зерен WC: границы зерен (0,5- 1 мкм) увеличивают сопротивление, отклоняя трещины (угол через зерно под влиянием напряжения сдвига. - 20°-40°). - Морфология излома: преобладают ямки (размер <2 мкм), что указывает на пластическое разрушение.	- Пластическое рассеивание фазы Co: фаза Co поглощает Шарпи, фаза Co поглощает энергию посредством пластической деформации. - Препятствие границ зерен WC: (деформация 0,05% -0,1%), задерживая распространение путь трещины более сложный и может трещин. - Препятствие границ зерен WC: границы зерен (0,5- 1 мкм) увеличивают сопротивление, отклоняя трещины (угол через зерно под влиянием напряжения сдвига. - 20°-40°). - Морфология излома: в основном ямки, но напряжение сдвига может увеличить долю межзеренного разрушения.
Влияние фактор	- Содержание Co: 10%-12% уравнивает ударную вязкость и твердость. - Размер зерна: 0,5-1 мкм является оптимальным, слишком мелкий или слишком крупный хорошо. - Добавки VC (0,2%-0,5%) снижает ударную вязкость. - Добавки VC (0,2%-0,5%) имеет тот же эффект. - Глубина надреза: >3 мм снижает ударную вязкость. - Плотность после спекания: >99%, напряжений усиливается и снижает ударную вязкость. - пористость <1%. - Температура: <-60°C снижает ударную вязкость. - Скорость деформации: >10 ³ с ⁻¹ ускоряет рост трещин, эффект немного деформации: >10 ³ с ⁻¹ ускоряет рост трещин (примерно на больше, чем у Шарпи из-за напряжения сдвига. 15%-20%).	- Содержание Co: как и у Шарпи, 10%-12% - оптимальным, слишком мелкий или слишком крупный хорошо. - Размер зерна: 0,5-1 мкм - наилучший. - Добавки VC (0,2%-0,5%) имеет тот же эффект. - Глубина надреза: >3 мм снижает ударную вязкость. - Плотность после спекания: >99%, напряжений усиливается и снижает ударную вязкость. - пористость <1%. - Температура: <-60°C снижает ударную вязкость. - Скорость деформации: >10 ³ с ⁻¹ ускоряет рост трещин, эффект немного деформации: >10 ³ с ⁻¹ ускоряет рост трещин (примерно на больше, чем у Шарпи из-за напряжения сдвига. 15%-20%).

7.3 Анализ механизма разрушения твердого сплава

Твердый сплав склонен к износу (скорость износа $> 0,1 \text{ мм}^3 / \text{Н} \cdot \text{м}$) и растрескиванию (длина

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

трещины $> 0,05$ мм) в тяжелых условиях работы (высокое трение > 800 МПа, удар > 500 Гц, высокая температура > 800 °C), что приводит к выходу из строя авиационных инструментов (срок службы < 10 часов), горнодобывающих буров (бурение < 1000 м) и матриц (экструзия $< 10^6$ раз). Анализ механизма отказа выявляет причину ухудшения производительности с помощью модели износа (формула Арчарда), механики разрушения (коэффициент концентрации напряжений $K_t > 1,5$) и передовых методов анализа (таких как рентгеновская микротомография), обеспечивая основу для оптимизации.

В этом разделе рассматривается механизм разрушения с трех сторон: разрушение вследствие износа (абразивный износ, адгезионный износ), разрушение и скалывание (концентрация напряжений и микротрещины) и влияние окружающей среды (высокая температура, коррозия). Он объединяет микроскопический анализ (SEM, рентгеновская микротомография), механическую модель (K_t с $10-14$ МПа·м^{1/2}) и случаи.

7.3.1 Износ твердого сплава (абразивный износ, адгезионный износ)

Обзор принципа износа и технологии

твердого сплава Износ является основной формой разрушения твердого сплава, включая абразивный износ (резание твердыми частицами, скорость износа $\sim 0,1$ мм³ / Н·м) и адгезионный износ (перенос материала, глубина износа > 5 мкм). Абразивный износ распространен в горнодобывающей промышленности (твердость породы > 800 HV), а адгезионный износ чаще встречается при резке (температура > 600 °C). Основываясь на формуле Арчарда ($V = k \cdot F \cdot S / H$), оптимизация требует улучшения твердости (HV 1500) и качества поверхности ($R_a < 0,1$ мкм).

Испытания на износ основаны на потоке песка со скоростью 200–400 г/мин и нагрузке 100–150 Н. В последние годы рентгеновская микротомография (разрешение < 1 мкм) стала горячей точкой исследований, которая позволяет реконструировать морфологию следов износа в трех измерениях (ширина канавки < 10 мкм).

Механизм разрушения при износе и анализ твердого сплава

Абразивный износ

Твердые частицы (SiO_2 , твердость > 800 HV) режут WC (глубина 0,5-2 мкм), образуя канавки (ширина 5-15 мкм). При твердости HV 1500 скорость износа составляет $< 0,1$ мм³/Н·м; при твердости < 1200 скорость износа увеличивается на 20%-30%.

Адгезивный износ

При высоких температурах (> 600 °C) фаза Co размягчается (HV ~ 300) и материал переносится на сопрягаемую поверхность (толщина 2-5 мкм). Размер зерна WC 0,5 мкм снижает адгезию (скорость износа $< 0,12$ мм³/Н·м).

Износ при высоких температурах

температуре 800 °C скорость износа составляет $< 0,15$ мм³/Н·м и образуется оксидный слой (WO_3 , толщина ~ 2 мкм), снижающий износ на 5%-10%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Коррозия и износ

В кислой среде ($\text{pH} < 5$) скорость износа увеличивается на 15%-20%, при этом основной причиной является растворение фазы Co (скорость $\sim 10^{-10} \text{ г/см}^2 \cdot \text{с}$).

Рентгеновская микротомография показывает, что абразивный износ в основном бороздчатый, а адгезионный износ сопровождается ямками разрывов (диаметром $\sim 5\text{-}10 \text{ мкм}$). Например, скорость износа WC-10Co (зерно $0,5 \text{ мкм}$) составляет $< 0,1 \text{ мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}$, что соответствует требованиям горнодобывающей промышленности.

Анализ факторов, влияющих на износ

твердого сплава На износ влияют следующие факторы:

Твердость: При HV 1500 скорость износа составляет $< 0,1 \text{ мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}$; если < 1200 , скорость износа увеличивается на 20%-30%.

составляет $0,5\text{--}1 \text{ мкм}$, скорость износа низкая; если он составляет $> 2 \text{ мкм}$, скорость износа увеличивается на 15–20%.

Содержание Co: при 10% адгезионный износ меньше; если $> 15\%$, скорость износа увеличивается на 10%-15%.

Шероховатость поверхности: если $\text{Ra} < 0,1 \text{ мкм}$, скорость износа низкая; если $> 0,2 \text{ мкм}$, скорость износа увеличивается на 20 % -25%.

Рабочая температура: $> 600^\circ\text{C}$, износ адгезива увеличивается на 40%-50%.

абразивных частиц: при $< 50 \text{ мкм}$ скорость износа составляет $< 0,1 \text{ мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}$; при $> 100 \text{ мкм}$ скорость износа увеличивается на 30%-40%.

Коррозия под воздействием окружающей среды: при $\text{pH} < 5$ скорость износа увеличивается на 15–20 %; если $\text{pH} > 7$, скорость износа изменяется на $< 5 \%$.

Для снижения

скорости износа ($< 0,1 \text{ мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}$) рекомендуются следующие стратегии:

Размер зерна WC выбран $0,5\text{--}1 \text{ мкм}$, а твердость составляет HV 1500.

Содержание Co составляет 10% для снижения износа адгезии.

Поверхность полируется до $\text{Ra} < 0,1 \text{ мкм}$, а скорость износа снижается на 15%-20%.

Добавление $0,2\%\text{--}0,5\%$ VC может повысить твердость на 3%-5%.

При использовании охлаждающей жидкости (температура $< 500^\circ\text{C}$) износ адгезии снижается на 20%-30%.

Cr_3C_2 ($0,1\%\text{--}0,3\%$) в условиях высоких температур образует слой Cr_2O_3 (толщиной $\sim 1 \text{ мкм}$), и скорость износа снижается на 5%-10 %.

Защита покрытия: Нанесение покрытия CrN (толщина $2\text{--}4 \text{ мкм}$, твердость HV 3000-3500) снижает скорость износа до $< 0,08 \text{ мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}$.

Практика применения техники по устранению износа карбида

Износостойкий цементированный карбид хорошо работает:

Горное буровое долото: WC-10Co (скорость износа $< 0,1 \text{ мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}$), дальность бурения $> 1200 \text{ м}$, рост на 40%.

Авиационный инструмент: WC-8Co (твердость HV 1500), низкий адгезионный износ, срок

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

службы > 15 часов.

Износостойкая матрица: WC-12Co ($R_a < 0,1 \text{ мкм}$), скорость износа $< 0,12 \text{ мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}$, количество экструзии $> 10^6$ раз.

Лопатки авиационных турбин: WC-10Co (размер зерна $0,5 \text{ мкм}$, Покрытие CrN 3 мкм), при высокотемпературном износе ($> 800^\circ\text{C}$), скорость износа $< 0,08 \text{ мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}$, срок службы > 4000 часов, увеличение на 40%.

7.3.2 Разрушение и откалывание твердого сплава (концентрация напряжений и микротрещины)

Обзор принципа и технологии

Трещины и сколы инициируются концентрацией напряжений ($K_t > 1,5$) и микротрещинами (длиной $> 0,05 \text{ мм}$), которые распространены в авиационных инструментах (срок службы < 10 часов) и горнодобывающих буровых коронках (бурение $< 1000 \text{ м}$). Трещины основаны на механике разрушения ($K_{Ic} 10-14 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$), а сколы включают разрушение интерфейса (прочность связи $< 40 \text{ МПа}$). Оптимизация требует увеличения K_{Ic} и энергии интерфейса ($< 1,5 \text{ Дж/м}^2$).

Анализ отказов Трещины были обнаружены с помощью СЭМ (разрешение $< 0,2 \text{ мкм}$), КТ - сканирования (точность $\pm 0,02 \text{ мм}$) и технологии акустической эмиссии (диапазон частот $20 \text{ кГц}-500 \text{ кГц}$). Например, инструменты WC-10Co имели срок службы < 10 часов из-за сколов, вызванных микротрещинами.

Механизм и анализ

Разрушение: Концентрация напряжений (K_t составляет $1,8-2,0$) вызывает рост трещины (скорость 10^{-2} м/с), а разрушение происходит при $K_{Ic} < 10 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ (длина трещины $> 0,5 \text{ мм}$).

Откалывание: Межфазное напряжение ($> 80 \text{ МПа}$) вызывает разрыв фазы Co (глубина $\sim 5-10 \text{ мкм}$), а прочность связи составляет $< 40 \text{ МПа}$.

Путь трещины: Транскристаллитный разрыв (разрыв зерна WC, размер $0,5 \text{ мкм}$) и межкристаллитный разрыв (отслоение границ зерен, ширина $0,05-0,1 \text{ мкм}$) сосуществуют. Когда угол отклонения трещины составляет $20^\circ-40^\circ$, скорость расширения уменьшается на 5%-10%.

Воздействие на окружающую среду: В агрессивной среде (концентрация NaCl 3,5%) скорость роста трещин увеличивается на 20–25%, а основной причиной является коррозия под напряжением (SCC).

³ раз заранее). Например, скорость разрушения WC-10Co ($K_{Ic} 12 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$) составляет $< 0,2\%$, что соответствует требованиям к инструменту.

Анализ влияющих факторов

На разрушение и отколы влияют следующие факторы:

K_{Ic} : При $K_{Ic} > 12 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ скорость разрушения составляет $< 0,2\%$; если $< 10 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ скорость разрушения увеличивается на 40%-50%.

составляет $0,5-1 \text{ мкм}$, трещина распространяется медленно; если он $> 2 \text{ мкм}$, скорость разрушения увеличивается на 20–30%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Содержание Со: при 10% скорость отслаивания меньше; если <6%, скорость отслаивания увеличивается на 15%-20%.

Дефекты поверхности: при длине трещины >0,05 мм частота разрушения увеличивается на 40–50%.

Концентрация напряжений: при $K_t > 2$ скорость откола увеличивается на 30–40%.

Коррозия под воздействием окружающей среды: при концентрации NaCl >3,5% скорость роста трещин увеличивается на 20–25%.

Температура: При температуре >600°C термическое напряжение (>150 МПа) приводит к увеличению скорости откола на 15–20%.

Стратегия оптимизации

Для уменьшения трещин и сколов (< 0,2%) рекомендуются следующие стратегии:

Содержание Со составляет 10%, а размер зерна WC составляет 0,5-1 мкм, что обеспечивает $K_{1c} > 12 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$.

Добавление 0,2%-0,5% VC может повысить прочность границ зерен на 5%-10%.

Поверхность полируется до $Ra < 0,1 \text{ мкм}$, а возникновение трещин снижается на 20%-25%.

Спроектируйте закругленные углы (радиус > 0,5 мм) так, чтобы $K_t < 1,5$.

Для обнаружения микротрещин использовались компьютерная томография (точность $\pm 0,02 \text{ мм}$) и акустическая эмиссия (диапазон частот 20 кГц-500 кГц).

Защита от коррозии: Нанесение покрытия Al_2O_3 (толщина 1-3 мкм, твердость HV 2500-3000) снижает воздействие коррозии под напряжением, а скорость разрушения снижается до <0,1%.

Практика применения в инженерии:

твердый сплав с низкой скоростью разрушения хорошо работает:

Авиационный инструмент: WC-10Co ($K_{1c} 12 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$), скорость разрушения <0,2%, срок службы >15 часов.

Буровое долото: WC-8Co (степень вскрыши <0,2%), дальность бурения >1200 м, рост на 40%.

Износостойкая форма: WC-12Co ($K_t < 1,5$), время экструзии > 10^6 раз, увеличено на 25%.

Сверло для печатных плат: WC-10Co (зерно 0,5 мкм, покрытие Al_2O_3 2 мкм), при сверлении с высокой нагрузкой (> 10^4 отверстий) частота разрушения составляет <0,1%, а срок службы составляет > 10^5 отверстий, что на 80% лучше.

7.4 Стратегии улучшения характеристик твердого сплава

7.4.1 Стратегия улучшения производительности твердого сплава — измельчение зерна твердого сплава

Обзор принципа и технологии измельчения зерна твердого сплава

, которая точно контролирует размер зерна карбида вольфрама (WC) до менее 0,5 мкм. Этот процесс значительно повышает твердость и прочность материала, закладывая прочную основу для применения твердого сплава в тяжелых условиях работы. Измельчение зерна основано на эффекте Холла-Петча ($\sigma_y = \sigma_0 + k \cdot d^{-1/2}$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$\sigma_y = \sigma_0 + k \cdot d^{-1/2}$), который указывает на то, что с уменьшением размера зерна плотность границ зерен значительно увеличивается (до $>10^{13} \text{ м}^{-2}$), тем самым повышая устойчивость материала к пластической деформации и росту трещин. Эта технология обработки позволяет повысить твердость до HV 1600–1800, а прочность — до более 4500 МПа, благодаря чему твердый сплав отлично подходит для изготовления высокопрочных инструментов и износостойких деталей.

Основной процесс для достижения измельчения зерна включает высокоэнергетическое шаровое измельчение в течение 20-40 часов с использованием высокоскоростных вращающихся мелющих тел (таких как шары из карбида вольфрама) для механического измельчения и равномерного смешивания сырья, за которым следует вакуумное спекание (диапазон температур 1400-1500 °C, степень вакуума строго контролируется при $<10^{-2}$ Па) для обеспечения стабильности размера зерна и предотвращения чрезмерного роста. В последние годы технологические достижения способствовали внедрению многокомпонентных добавок (таких как VC+TaC+ ZrC) для дальнейшей оптимизации эффекта измельчения зерна. Эти добавки добавляются в низкой пропорции 0,1%-0,3%, что позволяет поддерживать размер зерна в сверхтонком диапазоне 0,2-0,5 мкм , тем самым повышая твердость до HV 1800-2000, а также увеличивая вязкость разрушения (K_{Ic}) до $13 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, что обеспечивает больше возможностей для высокотехнологичных применений.

Механизм и анализ измельчения зерна твердого сплава

Измельчение зерна значительно улучшает механические свойства твердого сплава за счет уменьшения размера зерна WC ($<0,5 \text{ мкм}$). Механизм может быть глубоко проанализирован на микроскопическом уровне:

Укрепление границ зерен

При уменьшении размера зерна WC до $<0,5 \text{ мкм}$ плотность границ зерен значительно увеличивается ($>10^{13} \text{ м}^{-2}$). Согласно эффекту Холла-Петча, твердость материала увеличивается на 25%-30% (достигая HV 1600-1800), а прочность увеличивается примерно на 20%-25%. Эта высокоплотная сеть границ зерен эффективно препятствует движению дислокаций и повышает способность материала противостоять деформации.

Улучшение Орована

Когда межзеренное расстояние λ уменьшается до $<0,5 \text{ мкм}$, коэффициент упрочнения $\tau \sim Gb/\lambda$ (где G — модуль сдвига, b — вектор Бюргерса) значительно увеличивается, и дислокации «застревают» на границах зерен, что еще больше улучшает противоскользкую способность. Этот механизм особенно заметен в мелких зернах.

Микроскопическая однородность

Мелкие зерна распределены равномерно, что снижает локальные точки концентрации напряжений, улучшает баланс между твердостью и вязкостью и делает материал менее склонным к хрупкому разрушению при высоких нагрузках.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

то при уменьшении размера зерна до $<0,5$ мкм твердость может достигать HV 1700, а вязкость разрушения K_{IC} составляет около $12-13 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$. Такое сочетание свойств делает его особенно подходящим для высокопрочных инструментов, таких как горнодобывающие буровые коронки и авиационные режущие инструменты.

Анализ влияющих факторов

Эффект измельчения зерна зависит от сочетания параметров процесса и состава материала, в том числе:

Размер зерна

Если размер зерна контролируется на уровне $<0,5$ мкм, твердость может превышать 1600 HV; однако, если размер зерна превышает 1 мкм, плотность границ зерен уменьшается, твердость падает до <1500 HV, и преимущество в производительности постепенно теряется.

Время шаровой мельницы

Высокоэнергетическое измельчение в шаровой мельнице в течение 20–40 часов позволяет эффективно измельчать зерна до размера $<0,5$ мкм; если время измельчения в шаровой мельнице составляет менее 15 часов, размер зерна может превысить 1 мкм, что приведет к неудовлетворительному эффекту измельчения.

Температура спекания

Диапазон температур 1400–1500 °C позволяет сохранять зерна стабильными и избегать чрезмерного роста; если температура превышает 1550 °C, зерна могут вырасти до размера >1 мкм, и производительность снизится.

Содержимое

При содержании Co 10% вязкость разрушения K_{IC} может достигать $>12 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, обеспечивая достаточный пластический буфер; если содержание Co ниже 6%, вязкость значительно снижается ($K_{IC} < 10 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$), что ограничивает область применения материала.

Стратегия оптимизации

Для достижения высоких целевых показателей (твердость HV 1700, вязкость разрушения $K_{IC} > 12 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$) рекомендуются следующие стратегии оптимизации:

Размер зерна WC $<0,5$ мкм был выбран и достигнут путем высокоэнергетического шарового измельчения в течение 20–40 часов, чтобы гарантировать полное измельчение и равномерное перемешивание сырья.

Температура спекания строго контролируется на уровне 1400–1500 °C, а вакуум поддерживается на уровне $<10^{-2}$ Па для предотвращения роста зерен и реакции окисления.

Содержание Co поддерживается на уровне 10%, а баланс между прочностью и твердостью оптимизируется путем регулирования соотношения.

использование лазерного анализатора размера частиц (погрешность измерения $<0,02$ мкм) для обеспечения равномерного распределения и предотвращения локального увеличения размера зерен, влияющего на производительность.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Практика применения инженерных разработок

Твердый сплав с мелкозернистым цементом демонстрирует превосходные эксплуатационные характеристики в различных областях машиностроения:

Горнодобывающие буровые коронки

WC-10Co (размер зерна $<0,5$ мкм) с твердостью HV 1700 позволяет значительно увеличить дальность бурения до >1500 м, что на 50% больше по сравнению с традиционными процессами, что существенно повышает эффективность добычи полезных ископаемых.

Авиационные инструменты

зерна $<0,5$ мкм) благодаря измельчению зерна срок службы увеличен до >15 часов, что на 25% больше, что соответствует требованиям высокоточной резки.

Износостойкая форма

размер зерна $<0,5$ мкм), время экструзии превышает 10^6 раз, повышение производительности на 25%, подходит для высокочастотных операций штамповки.

7.4.2 Стратегии улучшения характеристик твердого сплава, добавки в твердый сплав (VC, TaC)

Принципиальный и технический обзор

Эксплуатационные характеристики твердого сплава улучшаются путем введения добавок (таких как VC, TaC) для оптимизации микроструктуры, значительного повышения прочности границ зерен и подавления роста зерен WC, тем самым улучшая комплексные эксплуатационные характеристики материала. Количество добавляемых VC и TaC обычно контролируется на уровне 0,2%–0,5%. За счет упрочнения твердого раствора и модификации границ зерен твердость увеличивается до HV 1600–1800, а вязкость разрушения (K_{Ic}) увеличивается до $10\text{--}14 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$. Технологический процесс включает высокоэнергетическое шаровое измельчение для равномерного смешивания добавок с сырьем, а затем их затвердевания в среде вакуумного спекания при температуре 1400–1500 °C. В последние годы разработка многокомпонентных добавок (таких как VC + TaC + ZrC с соотношением 0,1%–0,3%) стала горячей точкой исследований. Синергетический эффект этих добавок повышает твердость до HV 1800–2000 и K_{Ic} до $13 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, открывая новые возможности применения твердого сплава в экстремальных условиях эксплуатации.

Механизм и анализ

Добавки улучшают эксплуатационные характеристики твердого сплава посредством следующих конкретных механизмов:

Добавить VC

Добавление 0,2%–0,5% VC приведет к образованию фазы VCx (толщиной <20 нм) на границе зерен, что может повысить твердость примерно на 10%–15% за счет подавления роста зерен WC (скорость роста $<10^{-10}$ м/с) при сохранении стабильности микроструктуры.

дополнение TaC

Добавление 0,2%–0,5% TaC значительно повышает прочность границ зерен (>150 МПа) и увеличивает вязкость разрушения K_{Ic} на 5%–10% за счет упрочнения твердого раствора,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

эффективно повышая устойчивость материала к росту трещин.

Мультидобавки

VC+TaC+ZrC (общее соотношение 0,1%-0,3%) позволяет достичь дополнительного увеличения твердости на 3%-5% за счет упрочнения твердого раствора с расстоянием между границами зерен <0,2 мкм, а K_{1c} достигает $13 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, что обеспечивает двойную оптимизацию твердости и вязкости.

Механическая модель

В сочетании с усилением Орована ($\tau \sim Gb/\lambda$) и упрочнение границ зерен, эффективно сдерживается движение дислокаций и значительно повышается сопротивление деформации. Например, после добавления VC+TaC 0,3% твердость сплава WC-10Co достигает HV 1700, а K_{1c} составляет $13 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, что соответствует требованиям высокопроизводительных сверл.

Анализ влияющих факторов

Влияние присадок на улучшение эксплуатационных характеристик ограничивается многими факторами:

Содержание добавок

VC и TaC составляет 0,2–0,5%, и в этом диапазоне характеристики оптимальны; если оно превышает 0,8%, то доля хрупкой фазы может превысить 0,5%, что приведет к снижению ударной вязкости.

Многоаддитивное отношение

VC:TaC :ZrC = 1:1:1, увеличение твердости самое большое (>1800); если соотношение несбалансированное (например, 1:2:1), соотношение хрупкой фазы может превышать 1%, что влияет на стабильность материала.

Время шаровой мельницы

20–40 часов измельчения в шаровой мельнице гарантируют равномерное распределение добавок; если время измельчения составляет менее 15 часов, добавки распределяются неравномерно, и эффект ограничен.

Температура спекания

Температура 1400–1500 °C сохраняет химическую стабильность и эффект упрочнения границ зерен добавки; если температура превышает 1550 °C, добавка может улетучиться или вступить в побочные реакции, что приведет к ухудшению эксплуатационных характеристик.

Стратегия оптимизации

Для достижения высоких целевых показателей (твердость HV 1700, вязкость разрушения K_{1c} с $13 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$) рекомендуются следующие стратегии оптимизации:

Добавление VC/ TaC / ZrC (общее соотношение 0,1%-0,3%, соотношение 1:1:1) может повысить твердость на 3%-5% за счет упрочнения твердого раствора.

Высокоэнергетическое измельчение в шаровой мельнице длится 20–40 часов, что обеспечивает полное смешивание и равномерное распределение добавок и сырья.

Температура спекания поддерживается на уровне 1400–1500 °C, а степень вакуума составляет $<10^{-2}$ Па для предотвращения улетучивания добавок.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

эффекта модификации границ зерен и обеспечения микроскопического распределения добавок использовалась просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ, разрешение $<0,1$ нм) .

Практика применения инженерных разработок

Твердые сплавы с оптимизированными добавками отлично подходят для применения в машиностроении:

Горнодобывающие буровые коронки

WC-10Co (VC +TaC 0,3%) с твердостью HV 1700 позволяет увеличить дальность бурения до >1500 м, что на 50% больше, что значительно повышает эффективность добычи.

Авиационные инструменты

WC-8Co (TaC 0,3%), срок службы увеличен до >15 часов, что на 25% больше, что соответствует требованиям высокоточной резки.

Новый энергетический электролизер

WC-10Co (VC +TaC+ZrC 0,2%) с твердостью более 1800 имеет срок службы $>10^3$ часов в условиях электрохимического удара ($>10^3$ раз), что на 40% больше.

7.4.3 Стратегии улучшения характеристик твердого сплава и упрочнения его поверхности

Обзор принципов и технологий поверхностного упрочнения твердого сплава

значительно улучшает твердость поверхности и износостойкость с помощью таких методов, как цементация, ионная имплантация и лазерная наплавка, что обеспечивает гарантию долгосрочного использования твердого сплава в условиях высокого износа и динамических нагрузок. Процесс цементации формирует слой, богатый WC (толщина 10-30 мкм , твердость >2000) в атмосфере CH_4 при температуре 850-950 °C, ионная имплантация вводит остаточное сжимающее напряжение (>400 МПа) через ионы N^+ (доза 10^{16} - 10^{17} см $^{-2}$, энергия 80-120 кэВ), а лазерная наплавка использует 1,5-2,5 кВт мощности лазера для создания слоя высокой твердости (толщина 50-100 мкм , твердость >2500). Эти технологии в совокупности снижают скорость износа до $<0,08$ мм ^{3} / Н · м. В последние годы плазменно-усиленная ионная имплантация (ПИИ, доза 10^{17} - 10^{18} см $^{-2}$) стала горячей точкой исследований. Ее глубокий упрочняющий эффект может достигать $>0,5$ мкм , что значительно повышает долговечность поверхности.

Механизм и анализ поверхностного упрочнения твердого сплава

Конкретный механизм поверхностного упрочнения следующий:

науглероживание

Атомы углерода диффундируют (скорость диффузии $\sim 10^{-11}$ см ^{2} /с), образуя на поверхности слой, богатый WC (толщиной 10-30 мкм) , с твердостью более 2000 HV. Скорость износа снижается до $<0,08$ мм ^{3} / Н · м, что эффективно повышает износостойкость поверхности.

Ионная имплантация

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Глубина имплантации ионов N^+ составляет 0,1–0,3 мкм, что позволяет сформировать структуру, упрочненную твердым раствором, с остаточным напряжением сжатия >400 МПа, что повышает вязкость разрушения K_{Ic} на 5–10% и улучшает сопротивление росту поверхностных трещин.

Лазерная наплавка

При расплавлении поверхностного материала лазером мощностью 1,5–2,5 кВт формируется слой высокой твердости (твердость >2500) толщиной 50–100 мкм, а скорость износа дополнительно снижается до $<0,07$ мм³/Н·м, при этом повышается усталостная прочность. Например, твердость сплава WC-10Co достигает HV 2000, а скорость износа составляет $<0,08$ мм³/Н·м при условии цементованного слоя 20 мкм, что полностью отвечает высоким эксплуатационным требованиям авиационных инструментов.

Анализ факторов, влияющих на поверхностное упрочнение твердого сплава

На эффект упрочнения поверхности влияют различные параметры процесса и свойства материала:

Температура цементации

температуре 850–950 °C толщина углеродного слоя стабильна и составляет 10–30 мкм; если температура превышает 1000 °C, углеродный слой может быть слишком толстым (>50 мкм), что приводит к повышенному риску откола.

Доза ионной имплантации

10^{16} и 10^{17} см⁻² остаточное напряжение составляет >400 МПа. Если доза превышает 10^{18} см⁻², скорость повреждения поверхности может возрасти до $>5\%$, что повлияет на срок службы.

Мощность лазера

При мощности 1,5–2,5 кВт слой наплавки равномерный и плотный, при мощности свыше 3 кВт термические напряжения могут превышать 200 МПа, что приводит к появлению микротрещин.

Размер зерна

Если размер зерна $<0,5$ мкм, то эффект поверхностного упрочнения наилучший; если он >2 мкм, то увеличение твердости составляет менее 10%, а эффективность упрочнения снижается.

Шероховатость поверхности

$R_a < 0,1$ мкм – упрочняющий слой прочно связан с основой, если $> 0,2$ мкм – износ может увеличиться на 15–20%.

Стратегия оптимизации поверхностного упрочнения твердого сплава

Для достижения высоких показателей твердости и износостойкости (твердость HV 2000, скорость износа $<0,08$ мм³/Н·м) рекомендуются следующие стратегии оптимизации:

Температура цементации контролируется на уровне 850–950 °C, а толщина углеродного слоя точно поддерживается на уровне 10–30 мкм для обеспечения равномерной закалки поверхности.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Доза ионной имплантации была установлена на уровне 10^{16} – 10^{17} см⁻², а энергия — на уровне 80–120 кэВ для создания стабильного остаточного напряжения сжатия.

Мощность лазерной наплавки регулировалась в пределах 1,5–2,5 кВт, а толщина наплавляемого слоя контролировалась в пределах 50–100 мкм.

Выберите WC с размером зерна <0,5 мкм и отполируйте поверхность до Ra <0,1 мкм, чтобы уменьшить источники износа.

с использованием рентгеновского дифракционного анализа (разрешение <1 мкм) для обеспечения равномерного распределения напряжений и толщины.

Практика применения в технике поверхностного упрочнения цементированным карбидом

Твердый сплав с поверхностной закалкой хорошо зарекомендовал себя в машиностроении:

Авиационные инструменты

цементированный слой 20 мкм), твердость достигает HV 2000, срок службы увеличен до >15 часов, увеличение на 25%, что соответствует требованиям высокоточной резки.

Горнодобывающие буровые коронки

WC-8Co (ионная имплантация $N^{+} 10^{17}$ см⁻²), скорость износа <0,08 мм³/Н·м, дальность бурения превышает 1500 м, увеличение на 50%, значительное повышение эффективности добычи.

Износостойкая форма

WC-12Co (слой лазерной наплавки 80 мкм), твердость >2500, количество выдавливаний более 10^6 раз, увеличение на 25%, подходит для высокочастотных штамповочных операций.

7.4.4 Стратегия повышения производительности твердосплавных изделий — передовая технология производства твердосплавных изделий (3D-печать)

Принципиальный и технический обзор передовой технологии производства твердосплавных изделий

и селективное лазерное плавление (SLM) или процесс струйного формования связующего используется для точного контроля распределения материала для оптимизации твердости (HV 1500-1800), прочности (K_{1c} 10-14 МПа·м^{1/2}) и усталостной прочности (> 10^5 раз).

Процесс SLM использует мощность лазера 200-300 Вт и толщину слоя 20-50 мкм.

Технология струйного формования связующего обеспечивает печать с высоким разрешением (<50 мкм) посредством струйного впрыскивания связующего. В последние годы технология нано 3D печати (толщина слоя <10 мкм) стала передовой горячей точкой, способной изготавливать высокоточные градиентные структуры с твердостью, увеличенной до >1800, и K_{1c} , превышающим 13 МПа·м^{1/2}, что открывает новый путь для проектирования сложных компонентов.

Механизм и анализ передовой технологии производства твердого сплава

Механизмы, посредством которых 3D-печать повышает производительность, включают в

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

себя:

Градиентная структура

За счет регулирования распределения материала достигается высокая твердость на поверхности ($HV > 1800$) при сохранении высокой прочности внутри ($K_{IC} > 13 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$), что эффективно снижает концентрацию напряжений и повышает общую надежность.

Микроконтроль

Толщина слоя $< 50 \text{ мкм}$ обеспечивает плотность $> 99\%$, пористость снижается до $< 0,5\%$, повышается устойчивость материала к росту трещин.

Эффект термической обработки

Температура последующей обработки $800\text{--}1000^\circ\text{C}$ устраняет остаточное напряжение ($< 100 \text{ МПа}$), что еще больше повышает усталостную прочность и структурную стабильность.

Например, сплав WC-10Co, полученный методом SLM, имеет твердость $HV 1700$, $K_{IC} > 12 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ и усталостную долговечность более 10^5 раз, демонстрируя превосходные комплексные характеристики.

Анализ факторов, влияющих на передовые технологии производства твердосплавных изделий

На результаты 3D-печати влияют различные параметры процесса:

Мощность лазера

При мощности $200\text{--}300 \text{ Вт}$ расплавленная ванна формируется стабильно и материалы сплавляются равномерно; при мощности более 350 Вт тепловое напряжение может достигать $> 150 \text{ МПа}$, что влияет на качество деталей.

Толщина слоя

$20\text{--}50 \text{ мкм}$ плотность составляет $> 99\%$; если толщина слоя превышает 100 мкм , пористость может возрасти до $> 1\%$, что снижает эксплуатационные характеристики.

Скорость печати

Скорость $10\text{--}20 \text{ мм/с}$ обеспечивает прочность межслоевого соединения; если скорость превышает 30 мм/с , то прочность межслоевого соединения уменьшается, что влияет на общую прочность.

Температура после обработки

Температура $800\text{--}1000^\circ\text{C}$ оптимизирует микроструктуру; если она превышает 1100°C , зерна могут разрастаться, а эксплуатационные характеристики могут ухудшиться.

Стратегия оптимизации передовой технологии производства твердосплавных изделий

Для достижения высоких целевых показателей (твердость $HV 1700$, вязкость разрушения $K_{IC} > 12 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$) рекомендуются следующие стратегии оптимизации:

Мощность лазера контролировалась на уровне $200\text{--}300 \text{ Вт}$, а толщина слоя устанавливалась на уровне $20\text{--}50 \text{ мкм}$ для обеспечения стабильности и плотности расплавленной ванны.

Скорость печати поддерживалась на уровне $10\text{--}20 \text{ мм/с}$, а температура постобработки составляла $800\text{--}1000^\circ\text{C}$ для устранения остаточных напряжений.

Оптимизируйте содержание Co до 10% , чтобы улучшить баланс между прочностью и твердостью.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Используйте компьютерную томографию (КТ, разрешение <10 мкм) для обнаружения внутренних дефектов и обеспечения качества печати.

Практика применения в машиностроении передовых технологий производства твердого сплава

Напечатанный на 3D-принтере карбид отлично подходит для инженерных применений:

Авиационные инструменты

WC-8Co (процесс SLM), твердость HV 1700, срок службы увеличен до >15 часов, увеличение на 25%, что соответствует требованиям высокоточной обработки.

Износостойкая форма

WC-12Co (процесс струйной экструзии связующего), время экструзии превышает 10^6 раз, увеличение на 25%, подходит для форм сложной формы.

Сложные детали

WC-10Co (нано 3D печать), вязкость разрушения $K_{IC} > 13 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, усталостная долговечность $> 10^5$ раз, увеличение на 30%, подходит для изготовления высокопроизводительных компонентов по индивидуальному заказу.

7.5 Тенденции будущего развития: применение AI+IoT в оптимизации производительности твердого сплава

Искусственный интеллект (ИИ) и промышленный Интернет вещей (IoT) внесли революционные изменения в оптимизацию производительности и промышленное применение твердого сплава (WC-Co). Благодаря возможностям моделирования на основе данных ИИ и возможностям восприятия и управления в реальном времени IoT , твердый сплав достиг интеллектуальных усовершенствований в проектировании микроструктуры, мониторинге производительности, прогнозировании отказов и оптимизации процессов. Ниже систематически обсуждаются перспективы применения ИИ+IoT в оптимизации производительности твердого сплава в четырех измерениях: оптимизация микроструктуры, мониторинг производительности в реальном времени, прогнозирование отказов и интеллектуальное обслуживание, оптимизация процессов и интеллектуальное производство в сочетании с новейшими исследованиями и данными.

7.5.1 Оптимизация микроструктуры: точное проектирование на основе ИИ

Технология искусственного интеллекта с помощью таких алгоритмов, как машинное обучение (МО), глубокое обучение (ГО) и обучение с подкреплением (ОИ), в сочетании с анализом больших данных позволяет точно прогнозировать сложную взаимосвязь между параметрами микроструктуры твердого сплава (такими как размер зерна, содержание кобальта, соотношение добавок) и эксплуатационными характеристиками (твердость, прочность), тем самым достигая оптимального проектирования микроструктуры.

Оптимизация размера зерна

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Алгоритмы искусственного интеллекта, такие как машины опорных векторов (SVM) и глубокие нейронные сети (DNN), могут прогнозировать влияние размера зерна на твердость на основе исторических данных процесса (например, времени измельчения в шаровой мельнице, температуры спекания) с точностью прогнозирования 92–96 % (Институт Фраунгофера, Германия, 2024 г.).

В 2024 году Институт Фраунгофера в Германии разработал систему оптимизации зерна AI на основе цифровых близнецов. Путем моделирования микроструктуры WC-Co (метод Монте-Карло) отклонение размера зерна контролировалось до $\pm 0,01$ мкм, а постоянство твердости улучшалось на 12%-15% (HV 1650-1800). Например, когда размер зерна был оптимизирован с 0,5 мкм до 0,3 мкм, твердость увеличивалась на 10% (HV 1700-1870), а ударная вязкость (K_{Ic}) поддерживалась на уровне 12-13 МПа·м^{1/2} (твердомер Виккерса и метод одностороннего надреза).

Оптимизация содержания и распределения Co

В 2024 году Массачусетский технологический институт (MIT) разработал систему оптимизации содержания Co с использованием искусственного интеллекта, которая объединила байесовскую оптимизацию и моделирование Монте-Карло для контроля отклонения распределения Co до <0,1% (анализ методом рентгеновской флуоресцентной спектроскопии) и улучшила стабильность производительности на 15–18%.

Благодаря обучению с подкреплением (RL) ИИ динамически регулирует содержание Co (6%-10%), контролирует отклонение вязкости разрушения (K_{Ic}) до <0,4 МПа·м^{1/2} и улучшает постоянство вязкости (K_{Ic} с 20%, диапазон испытаний 12-14 МПа·м^{1/2}). После оптимизации твердость цементированного карбида WC-10Co стабилизируется на уровне HV 1680-1750, а вязкость улучшается на 10% (K_{Ic} с 12,5 до 13,8 МПа·м^{1/2}).

Оптимизация соотношения присадок

влияние соотношения добавок (таких как VC, TaC) на производительность с помощью алгоритма градиентного бустинга дерева (GBDT), оптимизирует добавление VC (0,2%-0,4%) с точностью 95% и увеличивает твердость на 5%-8% (HV 1750-1850). В 2025 году исследование Уппсальского университета в Швеции показало, что после того, как ИИ оптимизировал соотношение VC+TaC (1:1, 0,3% общей добавки), скорость роста зерна снизилась на 6% (<10⁻⁹ м/с, измерение ПЭМ), а твердость достигла HV 1900-1950.

7.5.2 Мониторинг производительности в реальном времени: высокоточное восприятие IoT

IoT позволяет осуществлять мониторинг параметров производительности твердого сплава в режиме реального времени с помощью встроенных датчиков, периферийных вычислений и сетей 5G, обеспечивая стабильность процесса и постоянство производительности.

Мониторинг ключевых параметров

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Размер зерна

Лазерный анализатор размера наночастиц (точность $\pm 0,005$ мкм) отслеживает изменение размера зерна в режиме реального времени, а отклонение контролируется на уровне $< 0,01$ мкм (PMTU Ахена, Германия, 2024).

Содержимое

Датчик рентгеновского метаанализа (точность $\pm 0,05\%$) контролирует скорость диффузии Со ($< 10^{-10}$ см²/с) и обеспечивает однородность распределения (отклонение $< 0,3\%$).

Распределение напряжений

Датчики деформации (точность $\pm 0,5$ МПа) контролируют изменения термического напряжения с отклонением $\Delta K_{1c} < 0,4$ МПа·м^{1/2} и колебанием твердости $\leq \pm 1,8\%$ (HV 1650-1680).

Динамическая корректировка процесса

ПоТ передает данные в реальном времени на облачную платформу через сеть 5G (задержка < 5 мс) и объединяется с алгоритмами ИИ для динамической регулировки времени шаровой мельницы (отклонение $\pm 0,3$ часа) и температуры спекания (отклонение $\pm 3^\circ$ С). Например, отклонение размера зерна уменьшается с $0,05$ мкм до $0,02$ мкм , а стабильность производительности улучшается на 15% (отклонение твердости $< 0,5\%$).

Мониторинг улучшения поверхности

процесс лазерной наплавки , ПоТ использует инфракрасные датчики температуры (точность $\pm 1,5^\circ$ С) для мониторинга изменений термического напряжения (отклонение < 8 МПа) и оптимизации качества облицовочного слоя. В 2024 году Рейнско-Вестфальский технический университет Ахена в Германии разработал AI+ПоТ Система лазерной наплавки регулирует мощность лазера ($1,5\text{--}2,5$ кВт) в режиме реального времени для повышения твердости наплавленного слоя до HV 2600–2700 с отклонением толщины < 5 мкм (измерение с помощью СЭМ).

7.5.3 Прогнозирование отказов и интеллектуальное обслуживание: совместное применение AI+ПоТ

Искусственный интеллект и промышленный интернет вещей значительно улучшают возможности прогнозирования отказов и интеллектуального обслуживания твердосплавных деталей, продлевая срок их службы и снижая частоту отказов.

Прогнозирование роста трещин и усталостного разрушения

ИИ использует рекуррентные нейронные сети (RNN) для прогнозирования скорости роста трещин (da/ dN) с точностью $> 92\%$ (Токийский университет, Япония, 2024).

ПоТ оснащен датчиками акустической эмиссии (точность частоты $\pm 1,5$ кГц) для мониторинга сигналов возникновения трещин в режиме реального времени (упреждение $> 10^3$ раз) через сеть 5G.

В 2024 году Токийский университет в Японии разработал систему прогнозирования

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

усталостной долговечности на основе искусственного интеллекта, которая предсказывает скорость роста трещин (точность $\pm 10^{-10}$ мм/цикл), увеличивая срок службы горнодобывающих буровых коронок на 15–20 % (расстояние бурения с 1500 м до 1800 м). Частота отказов снижена с 0,15% до <0,08% (данные полевых испытаний).

Прогнозирование ударной вязкости

В 2024 году Лундский университет в Швеции разработал систему прогнозирования на основе ИИ, которая объединяет конечно-элементный анализ (FEA) и нейронные сети (NN) для прогнозирования ударной вязкости (K_{IC}) с точностью $\pm 0,2 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$. После оптимизации ударная стойкость горнодобывающих буровых коронок увеличилась на 22% (K_{IC} с 12,0 до 14,6 $\text{МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$), а срок службы был увеличен на 20%–25% (полевые испытания).

Прогнозирование отказов из-за износа

повышает износостойкость горнодобывающих буровых коронок на 20%–25% за счет мониторинга морфологии следов износа в режиме реального времени (точность прогнозирования ширины канавки $\pm 0,4 \text{ мкм}$, измерено под микроскопом). Скорость износа снижается с 0,1 $\text{мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}$ до 0,075 $\text{мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}$ (тест ASTM G65).

Обнаружение трещин и прогнозирование времени отказа

В 2024 году Кембриджский университет в Великобритании разработал систему обнаружения трещин на основе ИИ, которая объединяет данные акустической эмиссии (АЭ) и КТ (разрешение <5 мкм) для повышения точности прогнозирования отказов до $\pm 0,8$ часа. Время выполнения прогноза было увеличено с 10^3 раз до 10^4 раз, что снизило непредвиденный уровень простоев на 30% (данные промышленного применения).

7.5.4 Оптимизация процессов и интеллектуальное производство: эффективное взаимодействие ИИ+ИоТ

Искусственный интеллект и промышленный интернет вещей в производстве твердого сплава значительно повысили эффективность процесса, стабильность работы и интеллектуальность производства.

Оптимизация соотношения присадок

ИИ использует генетические алгоритмы (ГА) для оптимизации соотношения добавок VC/TaC / ZrC (общая добавка 0,1%–0,3%) с погрешностью <0,04% и отклонением постоянства твердости <1,5% (Сеульский национальный университет, Южная Корея, 2024). В 2024 году Сеульский национальный университет в Южной Корее разработал систему оптимизации добавок ИИ, которая увеличивает твердость до HV 1900–2000 и поддерживает ударную вязкость при K_{IC} 12–13 $\text{МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ путем мониторинга скорости роста зерна в реальном времени ($< 10^{-10}$ м/с, измерение с помощью ПЭМ).

Оптимизация параметров процесса

ИоТ использует датчики (точность определения размера зерна $\pm 0,004 \text{ мкм}$) для мониторинга

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

процесса шаровой мельницы и спекания в режиме реального времени, а ИИ регулирует такие параметры, как время шаровой мельницы (20-40 часов, отклонение $\pm 0,4$ часа) и температура спекания (1400-1450 °C, отклонение ± 2 °C) с помощью алгоритма градиентного спуска. Эффективность производства увеличилась на 18%-22% (выпуск одной партии увеличился со 100 до 120 штук/час, промышленные данные).

Оптимизация улучшения поверхности

AI прогнозирует толщину цементированного слоя (10-30 мкм, погрешность < 4 мкм) и дозу ионной имплантации (10^{16} - 10^{17} см⁻², погрешность $< 5\%$), а постоянство твердости улучшается до $< 1,8\%$ (HV 2000-2500). ПоТ отслеживает температуру цементации в реальном времени (850-950°C, отклонение $\pm 1,5^\circ\text{C}$) для оптимизации качества цементированного слоя.

Контроль качества и интеллектуальное обслуживание

AI+ПоТ использует данные о характеристиках поверхности (твердость, скорость износа) для достижения автоматизированного контроля качества с показателем успешности 98,5% (промышленные данные). AI прогнозирует время отказа (ошибка < 4 часов), а ПоТ оптимизирует стратегии технического обслуживания, сокращая время простоя на 32–35% и количество аварий на 30–35% (полевые испытания).

7.5.5 Первый год применения ИИ в вольфрамовой промышленности Китая

2025 год был впервые определен CTIA GROUP LTD как «первый год ИИ в китайской вольфрамовой промышленности», ознаменовав новый этап, на котором китайская промышленность твердого сплава полностью переходит к интеллектуальному производству. Эта концепция не только отражает глубокое применение технологий ИИ и промышленного Интернета вещей (ПоТ) в вольфрамовой промышленности, но и подчеркивает стратегическую цель Китая по лидерству в технологиях в мировой отрасли твердого сплава. Ниже приводится подробное описание значимости практического значения, высокой энтропии твердого сплава и значимости дозирования твердого сплава.

7.5.5.1 Практическое значение концепции «первый год ИИ в вольфрамовой промышленности Китая»

Компания CTIA GROUP LTD впервые предложила концепцию «2025 год — первый год ИИ в вольфрамовой промышленности Китая» 3 января 2025 года, отражающую потребности в технологической трансформации и конкурентное давление вольфрамовой промышленности Китая на мировом рынке твердого сплава.

Потребности модернизации отрасли

Китай является крупнейшим в мире производителем твердого сплава, на его долю приходится более 60% мирового производства в 2024 году (данные Китайской ассоциации вольфрамовой промышленности), но долгое время полагался на традиционные производственные процессы (такие как прессование и спекание), и существует разрыв в

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

эффективности производства и постоянстве производительности с европейскими и американскими странами (такими как Sandvik и Kennametal) (отклонение постоянства твердости 5%-8% против 2%-3%). Внедрение AI+IIoT оптимизирует параметры процесса (такие как отклонение температуры спекания $\pm 2^{\circ}\text{C}$) за счет управления данными, повышая эффективность производства на 18%-22% (выпуск одной партии увеличился со 100 до 120 штук/час) и снижая отклонение постоянства твердости до $< 2\%$, сокращая разрыв с международным передовым уровнем.

Технологическая автономность

В прошлом производство цементированного карбида в Китае опиралось на импортное оборудование и технологии (например, немецкую систему лазерной наплавки). В 2025 году CTIA GROUP LTD и Университет Цинхуа совместно разработали отечественную систему оптимизации ИИ, которая оптимизировала соотношение добавок (соотношение VC/ TaC 1:1, ошибка $< 0,03\%$) с помощью генетического алгоритма (GA), а твердость была увеличена до HV 1950-2000, что позволило добиться независимого управления технологией. Предложение первого года ИИ знаменует собой трансформацию Китая из последователя технологий в лидера. Ожидается, что коэффициент применения отечественного оборудования увеличится с 40% в 2024 году до 65% в 2026 году (отраслевой прогноз).

Повышение глобальной конкурентоспособности

AI+IIoT способствует оптимизации характеристик твердого сплава (например, K_{1c} с увеличивается до $13-15 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$), что делает китайскую продукцию из твердого сплава более конкурентоспособной в аэрокосмической отрасли (например, авиационные инструменты) и горнодобывающей промышленности (срок службы сверл увеличивается на 20%). Ожидается, что в 2025 году экспорт твердого сплава из Китая увеличится на 15% (около 5 млрд долларов США, прогнозируется Министерством торговли), что еще больше укрепит его позиции на мировом рынке.

7.5.5.2 Значение высокоэнтروпийной обработки твердого сплава

Высокоэнтропийные твердые сплавы, предлагаемые CTIA GROUP LTD, относятся к формированию твердых сплавов на основе высокоэнтропийных сплавов (ВЭС) путем введения нескольких элементов (таких как W, Ti, Ta, Nb, Cr) для улучшения разнообразия и стабильности характеристик.

Прорыв в производительности

Существует противоречие между твердостью и прочностью традиционного карбида вольфрама WC-Co (при твердости HV 1800 K_{1c} обычно $< 10 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$). Высокая энтропия значительно улучшает общую производительность за счет синергетического эффекта нескольких элементов. В 2025 году CTIA GROUP LTD планирует разработать высокоэнтропийный карбид вольфрама (W-Ti-Ta-Nb-Co) с твердостью HV 2100-2200 и прочностью K_{1c} 14-16 $\text{МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ (метод одностороннего надреза), что на 20% -30% выше, чем у традиционного WC-Co.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Оптимизация микроструктуры

Высокоэнтропийная обработка использует алгоритмы ИИ (такие как глубокое обучение, DL) для прогнозирования соотношения элементов ($W:Ti : Ta:Nb = 1:1:1:1$, ошибка $<0,05\%$), образуя однородную высокоэнтропийную фазу (размер зерна $0,3-0,5$ мкм, измерение с помощью ПЭМ), уменьшая дефекты границ зерен ($<0,1\%$). Прочность связи границ зерен увеличивается на 25% (>180 МПа, испытание на наноиндентирование), а сопротивление усталости значительно повышается (срок службы $>1,5 \times 10^5$ раз, испытание на усталость при поворотном изгибе).

Разработка приложений

Высокоэнтропийный цементированный карбид обладает превосходной устойчивостью к высоким температурам (твердость $> HV 1800$ при $800^\circ C$), подходит для режущих инструментов для лопаток турбин авиационных двигателей, срок службы увеличен на 30% (с 12 часов до 15,6 часов, полевые испытания). Коррозионная стойкость увеличена на 20% (кислая среда $pH < 4$, скорость коррозии $<0,05$ мм/год, электрохимическое испытание), подходит для глубоководного горнодобывающего оборудования.

7.5.5.3 Значение дозирования карбида

Партионирование твердосплавных изделий, предлагаемое компанией CTIA GROUP LTD, подразумевает цифровое управление изделиями из твердого сплава на протяжении всего их жизненного цикла с помощью технологий AI+IIoT, создание базы данных номеров партий по маркам, а также обеспечение прослеживаемости характеристик и индивидуального производства.

Прослеживаемость производительности

Каждая партия изделий из твердого сплава регистрирует производственные параметры (такие как температура спекания $1400^\circ C$, содержание $Co 10\%$) с помощью датчиков IIoT, генерирует уникальный номер партии и сохраняет его на облачной платформе (объем данных >1 ТБ, 2025). Пользователи могут запрашивать данные о производительности (такие как твердость $HV 1750$, K_{1c} с $13 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$) через номер партии, чтобы обеспечить постоянство производительности (отклонение $<1,5\%$).

Производство по индивидуальному заказу

автоматически корректирует формулу марки (например, $WC-12Co+0,3\% TaC$) в соответствии с потребностями заказчика (например, для горнодобывающих буровых коронок требуется $K_{1c} > 14 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$), сокращая производственный цикл на 25% (с 8 до 6 дней). Нумерация партий поддерживает настройку небольших партий для удовлетворения разнообразных потребностей аэрокосмической отрасли (высокопрочные инструменты) и новой энергетики (формы для аккумуляторов).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Улучшение управления качеством

Брендовая партия использует ИИ для анализа исторических данных (>100 000 партий), выявления аномальных процессов (например, отклонения размера зерна >0,02 мкм), оптимизации параметров и значительного повышения процента прохождения. Эффективность анализа отказов повышается на 30%, а отслеживаемость номера партии позволяет быстро находить проблемные партии (<1 часа), сокращая затраты на отзыв на 20–25%.

7.5.6 Перспективы и проблемы улучшения характеристик твердого сплава

Перспективы улучшения эксплуатационных характеристик твердого сплава

Интеллектуальное производство

Искусственный интеллект и промышленный интернет вещей будут и дальше способствовать трансформации производства карбида в интеллектуальные фабрики, а эффективность производства, как ожидается, вырастет на 30–40 % к 2027 году (прогноз McKinsey).

Оптимизация нескольких материалов

ИИ может прогнозировать эксплуатационные характеристики многофазных композитных твердых сплавов (таких как WC-Co- TiC), твердость которых, как ожидается, превысит HV 2000, а ударная вязкость достигнет K_{IC} 15 МПа·м^{1/2}.

Управление полным жизненным циклом

IIoT позволит отслеживать производительность от сырья до приложений и увеличит вероятность прогнозирования сбоев в 10⁵ раз.

Проблемы улучшения характеристик карбида

Качество данных

Модели ИИ опираются на высококачественные данные. Текущие промышленные данные имеют высокий уровень шума (отклонение > 10%), и точность датчиков необходимо улучшить.

расходы

IIoT (датчики, модули 5G) требуют больших затрат на развертывание и имеют низкую окупаемость инвестиций в краткосрочной перспективе (<5%).

Безопасность

Передача данных по сети 5G сопряжена с риском утечки данных, поэтому необходимо усилить технологию шифрования (стандарт AES-256).

AI+IIoT обеспечивает новый путь оптимизации производительности твердого сплава. Благодаря оптимизации микроструктуры (отклонение размера зерна <0,01 мкм, однородность твердости улучшена на 15%), мониторингу производительности в реальном времени (отклонение твердости <1,8%), прогнозированию отказов (величина опережения >10⁴ раз, интенсивность отказов <0,08%) и оптимизации процесса (эффективность производства улучшена на 18%-22%), постоянство производительности, надежность и эффективность производства твердого сплава значительно улучшаются. В

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

будущем AI+IoT будет и дальше способствовать развитию производства твердого сплава в направлении интеллектуального и полного управления жизненным циклом и предоставлять более эффективные и надежные решения для авиации, горнодобывающей промышленности, новой энергетики и других областей.

7.6 Соответствующие внутренние и международные стандарты

Ниже приведены внутренние и международные стандарты, касающиеся механических свойств твердого сплава, охватывающие китайские, ISO, американские и европейские стандарты, чтобы читатели могли полностью понять основу испытаний и оценки:

относительно механических свойств твердого сплава :

для свойств твердого сплава»: определяет методы испытаний на твердость (HV), вязкость разрушения (K_{IC}) и прочность на сжатие.

GB/T 3849-2008 Метод испытания твердости по Виккерсу твердого сплава: Применимо к испытанию твердости (HV 1200-2000).

GB/T 7997-2010 Метод испытания вязкости разрушения твердого сплава: основан на методе одностороннего надреза балки (SENB) для испытания K_{IC} .

GB/T 3488-2008 «Методы испытаний микроструктуры твердого сплава»: используется для анализа размера зерна и микроструктуры.

относительно механических свойств твердого сплава :

ISO 28079:2009 «Метод испытания на вязкость разрушения твердосплавных образцов в форме ладони»: Тест K_{IC} ($8-16 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$).

ISO 6507-1:2018 «Испытание твердости металлических материалов по Виккерсу»: Применимо к испытанию твердости твердых сплавов.

ISO 3327:2009 Метод испытания прочности на сжатие твердого сплава: Испытание прочности на сжатие (4000–6000 МПа).

ISO 3738-1:2010 Методы испытаний на износ твердых сплавов: основаны на испытаниях на абразивный износ (аналогично ASTM G65).

Американские стандарты, касающиеся механических свойств твердого сплава:

ASTM E399-20 Метод испытания на вязкость разрушения металлических материалов: Тест K_{IC} , применимый к твердому сплаву.

ASTM E647-15 «Метод испытания скорости роста усталостной трещины»: Испытательная скорость роста трещины (da/dN).

ASTM E23-18 «Метод испытания на удар образца с надрезом»: энергия удара по Шарпи и Изоду.

Метод испытания на износ резинового колеса на сухом песке ASTM G65-16: Испытание износостойкости твердого сплава (скорость износа $<0,1 \text{ мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}$).

Европейские стандарты, касающиеся механических свойств твердого сплава:

EN ISO 6507-1:2018 «Испытание твердости по Виккерсу»: соответствует ISO 6507-1.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

EN 843-1:2006 Метод испытания на вязкость разрушения усовершенствованной керамики: Применимо к испытанию K_{1с} твердого сплава.

EN 1071-3:2005 «Методы испытаний керамических материалов на износ»: Применим к испытаниям на износостойкость твердого сплава.

EN ISO 6892-1:2019 «Испытание металлических материалов на растяжение»: может использоваться для испытания прочности твердого сплава.

Ссылки

- [1] Национальный стандарт. GB/T 18376-2001 «Метод испытания свойств твердого сплава».
- [2] Национальный стандарт. GB/T 7997-2010 «Метод испытания вязкости разрушения твердого сплава». [3] Национальный стандарт. GB/T 3488-2008 «Метод испытания микроструктуры твердого сплава». [4] Ли Мин и др. (2020) . «Влияние температуры спекания на микроструктуру твердого сплава» . « Термообработка металлов», 45(3), 12-18.
- [5] Чжан Вэй и др. (2021) . «Влияние добавки VC на свойства твердого сплава» . «Технология порошковой металлургии», 39(4), 45-50.
- [6] Лю Ян и др. (2022) . «Влияние содержания кобальта на механические свойства твердого сплава» . «Журнал исследований материалов», 36(5), 321-327.
- [7] Чэнь Лэй и др. (2023) . «Влияние атмосферы спекания на дефекты границ зерен в твердом сплаве». Журнал Китайского общества цветных металлов, 33(6), 89-95.
- [8] Чжао Ган и др. (2024) . «Влияние скорости охлаждения на термическое напряжение твердого сплава». Материаловедение и технологии, 52(2), 101-108.
- [9] Ван Цян и др. (2023) . «Влияние высокоэнергетического шарового измельчения на измельчение зерна WC». Журнал материаловедения и машиностроения, 41(3), 234-240.
- [10] Ли Цян и др. (2025) . "Оптимизация характеристик твердого сплава для лопаток авиационных турбин". Журнал аэрокосмических материалов, 45(1), 15-22.
- [11] ISO 3327:2009. Твердые сплавы — *Определение прочности на сжатие* .
- [12] ASTM E647-15. Стандартный метод испытаний для измерения *скорости роста усталостных трещин* .
- [13] ASTM G65-16. Стандартный метод испытаний на *абразивный износ сухого песка/резинового колеса* .
- Упадхья, Г.С. (1998) . Твердые сплавы: производство, свойства и испытания . Издательство «Уайли Пресс».
- [15] Коняшин , И. и др. (2015). «Микроструктура и свойства карбидов, скрепленных WC-Co » . Международный журнал *огнеупорных* металлов и твердых материалов, 49, 203-211 .
- [16] Пракаш, Л. Дж. (2016). «Модификация поверхности твердых сплавов: обзор » . Журнал материаловедения , 51(10) , 4657-4671.
- [17] Холл, Э.О. (1951). «Деформация и старение мягкой стали: III обсуждение результатов».

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Труды Физического общества , 64(381),
747-753 .

[18] Шиотц, Дж. и др. (1998) . «Размягчение металлов при очень малых размерах зерна » .
Nature, 391 (6667) , 561-563.

RM (1996). Теория и практика спекания. Wiley Press.

[20] Сандвик Коромант .

(2023) . «Характеристики высокоскоростных режущих инструментов».

Расписание:

Баланс между твердостью и прочностью твердого сплава: основные эксплуатационные параметры

производительность	Диапазон параметров	Сценарий применения	Замечание
Твёрдость (HV)	15002500±30	Авиационный инструмент, горнодобывающие буровые коронки, износостойкие формы	Высокая твердость (HV>2000±30) может легко привести к снижению прочности и требует балансировки и оптимизации.
Прочность (K _{1c})	820 МПа·м ^{1/2} ± 0,5	Авиационный инструмент, горнодобывающие буровые коронки, износостойкие формы	Высокая вязкость (K _{1c} >15 МПа·м ^{1/2} ± 0,5) часто сопровождается снижением твердости, что влияет на износостойкость.
Прочность сжатие	на >4000 МПа±100 МПа	Условия высокой нагрузки	Он тесно связан с размером зерна и содержанием Co.
Резка жизни	>20 часов ±1 час	Авиационный инструмент (высокая скорость резки > 1000 м/мин)	Мелкозернистый WCCo (0,5мкм±0,01мкм, Co 10%±1%), твердость HV 1800±30, увеличенный срок службы.
Расстояние бурения	>1500 м±100 м	Горнодобывающие буровые коронки	Содержание Co 8%±1% оптимизирует прочность и повышает эффективность бурения.
Количество сжатий	>10 ⁶ раз ±10 ⁵ раз	Износостойкая форма	Уменьшение размера зерна (0,5 мкм ± 0,01 мкм) повышает долговечность.

Факторы, влияющие на размер зерна, влияют на баланс между твердостью и прочностью твердого сплава

фактор	Диапазон параметров	Влияние на производительность	Предложения по оптимизации
Начальный размер частиц порошка	0,51мкм±0,01мкм	Размер частиц <1 мкм увеличивает твердость (HV>1800±30); >2 мкм твердость <1500±30.	Для обеспечения равномерной очистки используйте порошок размером 0,51 мкм ± 0,01 мкм.
Время шаровой мельницы	40 часов ± 1 час (400 об/мин ± 10 об/мин)	Через 40 часов размер уменьшается до 0,5 мкм ± 0,01 мкм, а твердость увеличивается на 30% ± 5%; через <20 часов размер составляет > 1 мкм, а производительность снижается.	Измельчение в шаровой мельнице осуществлялось в течение 40 ч ± 1 ч, скорость вращения поддерживалась на уровне 400 об/мин ± 10 об/мин.
Температура спекания	1450°C±10°C	При 1450°C размер зерна составляет <0,7 мкм ± 0,01 мкм; при >1500°C размер зерна составляет >2 мкм, а твердость снижается на 10% ± 2%.	Контролируйте температуру 1450°C±10°C, чтобы избежать роста зерен.
Добавки (ВК)	0,3%±0,01%	0,3% подавляет рост зерна и увеличивает твердость на 5%±1%; >0,5% образует хрупкую фазу, K _{1c} <8 МПа·м ^{1/2} ± 0,5.	Добавьте VC 0,3%±0,01% и контролируйте размер зерна до <0,5мкм±0,01мкм.
Содержимое	10%±1%	10% имеют сбалансированную твердость (HV 1800±30) и вязкость (K _{1c} > 12 МПа·м ^{1/2} ± 0,5); <6% имеют недостаточную вязкость.	Установите Co 10%±1%, чтобы обеспечить сбалансированную производительность.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

фактор	Диапазон параметров	Влияние на производительность	Предложения по оптимизации
Атмосфера спекания	Степень вакуума <10 ⁻³ Па ± 10 ⁻⁴ Па	Вакуум позволяет избежать окисления (O ₂ < 0,1 ppm ± 0,01 ppm) и уменьшить дефекты границ зерен (<0,1% ± 0,02%).	аргона высокой чистоты (чистота>99,99%±0,01%).

Факторы, влияющие на оптимизацию содержания связующей фазы для баланса твердости и вязкости твердого сплава

фактор	Диапазон параметров	Влияние на производительность	Предложения по оптимизации
Коэффициент Co	8%10%±1%	± 30) и ударная вязкость (K _{1с} 12 МПа · м ^{1/2} ± 0,5) ; <6% K _{1с} <10 МПа·м ^{1/2} ± 0,5.	Выберите Co 8%10%±1%, чтобы обеспечить сбалансированную производительность.
Температура спекания	1450°C±10°C	1450°C обеспечивает равномерное распределение Co (отклонение <1%±0,2%); >1500°C образует пул Co (>10 мкм±1 мкм).	Контроль 1450°C±10°C, отклонение распределения Co <1%±0,2%.
Размер частиц WC	0,51мкм±0,01мкм	0,51 мкм усиливает межфазные связи; >2 мкм K _{1с} с уменьшается на 5% ± 1%.	Выберите WC 0,51 мкм ± 0,01 мкм.
Добавки (ВК)	0,3%±0,01%	0,3% контролирует диффузию Co (скорость <10 ⁻¹⁰ см ² /с ± 10 ⁻¹¹ см ² /с); >0,5% образует хрупкую фазу (>1%±0,2%).	Добавление VC 0,3%±0,01% может ингибировать диффузию Co.
Давление формования	250 МПа±5 МПа	250 МПа увеличивает плотность (>99,5%±0,1%); <200 МПа пористость>2%±0,5%.	Использовать холодное изостатическое прессование при давлении 250 МПа±5 МПа.
Время спекания	2 часа ± 0,1 часа	Контролируемое смачивание Co в течение 2 часов (угол контакта <5°±1°); Скорость сегрегации Co >0,5%±0,1% в течение >3 часов.	Спекание проводилось в течение 2 часов ± 0,1 часа для обеспечения однородности Co.

Основные эксплуатационные параметры твердого сплава по усталостной прочности и ударопрочности

производительность	Диапазон параметров	Сценарий применения	Замечание
Скорость роста трещины (да/ дН)	<10 ⁻⁶ мм/цикл±10 ⁻⁷ мм/цикл	Горнодобывающие буровые коронки, авиационный режущий инструмент, износостойкие формы	Низкая скорость роста трещин (например, 10 ⁻⁷ мм/цикл ± 10 ⁻⁸ мм/цикл) увеличивает усталостную долговечность (> 10 ⁴ раз ± 10 ⁴ раз).
Энергия удара	1050 Дж ± 1 Дж	Горнодобывающие буровые коронки, авиационный режущий инструмент,	Ударная энергия по Шарпи 20 Дж ± 1 Дж соответствует высоким требованиям к ударной нагрузке (например, > 10 ³ Гц ± 100 Гц).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

производительность	Диапазон параметров	Сценарий применения	Замечание
		износостойкие формы	
Усталостная долговечность	$>10^5$ раз $\pm 10^4$ раз	Горнодобывающие буровые коронки, износостойкие формы	Измельчение зерна ($0,5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) и оптимизация содержания Co ($10\% \pm 1\%$) значительно повышают усталостную прочность.
Ударная жизнь	Бурение $>1500 \text{ м} \pm 100 \text{ м}$ выдавливание $>10^6$ раз $\pm 10^5$ раз	Горнодобывающие буровые коронки, износостойкие формы	Высокий K_{1c} ($12 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$) обеспечивает надежность при ударах.

Факторы, влияющие на рост трещин и сопротивление усталости твердого сплава

фактор	Диапазон параметров	Влияние на производительность	Предложения по оптимизации
Размер зерна	$0,51 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$	$0,51 \text{ мкм da/dN} < 10^{-7} \text{ мм/цикл} \pm 10^{-8} \text{ мм/цикл}$; $>2 \text{ мкм da/dN} > 10^{-6} \text{ мм/цикл} \pm 10^{-7} \text{ мм/цикл}$.	Выберите WC $0,51 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$.
Содержимое	$10\% \pm 1\%$	$10\% K_{1c} > 12 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$, низкий da/dN; $<6\% \text{ da/dN}$ увеличивается на $30\% \pm 5\%$.	Установите Co $10\% \pm 1\%$.
Коэффициент напряжения (R)	$0,1 \pm 0,01$	$R=0,1 \text{ da/dN} < 10^{-7} \text{ мм/цикл} \pm 10^{-8} \text{ мм/цикл}$; $R>0,5 \text{ da/dN}$ увеличивается на $50\% \pm 5\%$.	Контроль $R=0,1 \pm 0,01$.
Добавки (БК)	$0,3\% \pm 0,01\%$	$0,3\%$ увеличивает прочность границ зерен ($>200 \text{ МПа} \pm 20 \text{ МПа}$); $>0,5\%$ хрупкая фаза $>1\% \pm 0,2\%$.	Добавьте БК $0,3\% \pm 0,01\%$.
Шероховатость поверхности	$Ra < 0,05 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$	$Ra < 0,05 \text{ мкм}$, время образования трещин $>10^4$ раз $\pm 10^3$ раз; $>0,1 \text{ мкм}$, срок службы сокращается на $20\% \pm 5\%$.	Полировка до $Ra < 0,05 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$.
Микроскопические дефекты	Пористость $<0,5\% \pm 0,1\%$	Пористость $<0,5\% \text{ da/dN} < 10^{-7} \text{ мм/цикл} \pm 10^{-8} \text{ мм/цикл}$; $>1\% \text{ da/dN}$ увеличивается на $40\% \pm 5\%$.	Пористость контролируется на уровне $<0,5\% \pm 0,1\%$ и определяется с помощью компьютерной томографии.

Факторы, влияющие на ударную вязкость твердого сплава

фактор	Диапазон параметров	Влияние на производительность	Предложения по оптимизации
Содержимое	$10\% \pm 1\%$	$10\% \text{ энергии удара} > 20 \text{ Дж} \pm 1 \text{ Дж}$; $<6\% \text{ энергии удара} < 10 \text{ Дж} \pm 1 \text{ Дж}$.	Выберите Co $10\% \pm 1\%$.
Размер зерна	$0,51 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$	$0,51 \text{ мкм } K_{1c} > 12 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$; $>2 \text{ мкм}$ энергия удара уменьшается на $20\% \pm 5\%$.	Выберите WC $0,51 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$.
Добавки (БК)	$0,3\% \pm 0,01\%$	$0,3\% \text{ энергии удара}$ увеличивается на $10\% \pm 2\%$; $>0,5\%$ хрупкая фаза $>1\% \pm 0,2\%$.	Добавьте БК $0,3\% \pm 0,01\%$.
Глубина выемки	$2 \text{ мм} \pm 0,01 \text{ мм}$	Стандартный тест 2 мм ; снижение энергии удара $>3 \text{ мм}$ на $30\% \pm 5\%$.	Контролируйте глубину надреза до $2 \text{ мм} \pm 0,01 \text{ мм}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

фактор	Диапазон параметров	Влияние на производительность	Предложения по оптимизации
Плотность после спекания	>99,5%±0,1%	>99,5% энергии удара>20 Дж±1 Дж; <99% пористости>2%±0,5%.	Обеспечить плотность спекания>99,5%±0,1%.
Температура испытания	40°C±1°C	При 40°C энергия удара составляет >15 Дж ± 1 Дж, при <60°C энергия удара уменьшается на 20% ± 5%.	Эксплуатационные характеристики проверяются в ходе испытаний при низких температурах (40°C ± 1°C).

Основные эксплуатационные параметры механизма разрушения твердого сплава

производительность	Диапазон параметров	Сценарии неудач	Замечание
Скорость износа	<0,06 мм³/Н·м ± 0,01 мм³/Н·м	Горнодобывающие буровые коронки, авиационный режущий инструмент, износостойкие формы	Высокая скорость износа (>0,06 мм³/Н·м ± 0,01 мм³/Н·м), приводящая к сокращению срока службы инструмента (например, инструмент <10 часов ±1 час).
Длина трещины	<0,1 мм±0,01 мм	Авиационные инструменты, горнодобывающие сверла	Микротрещины (>0,1 мм ± 0,01 мм) вызывают сколы и снижают надежность.
Скорость перелома	<0,1%±0,02%	Авиационный инструмент, износостойкие формы	Высокий показатель K _{1с} (12 МПа·м ^{1/2} ± 0,5) снижает риск разрушения.
Скорость отслаивания	<0,1%±0,02%	Горнодобывающие буровые коронки, износостойкие формы	Межфазная энергия >1 Дж/м² ± 0,1 Дж/м² снижает отслоение.

Факторы, влияющие на износ твердого сплава

фактор	Диапазон параметров	Влияние на производительность	Предложения по оптимизации
твёрдость	ВН 1800±30	HV 1800±30: скорость износа <0,06 мм³/Н·м ± 0,01 мм³/Н·м; <1500±30: увеличение на 30%±5%.	Обеспечить твердость HV 1800±30.
Размер зерна	0,51мкм±0,01мкм	0,51 мкм: низкая скорость износа; >2 мкм: увеличение на 20%±5%.	Выберите WC 0,51 мкм ± 0,01 мкм.
Содержимое	10%±1%	На 10% меньше износа адгезии; >12% скорость износа увеличивается на 15%±3%.	Установите Co 10%±1%.
Шероховатость поверхности	Ra<0,05мкм±0,01мкм	Ra<0,05 мкм, скорость износа низкая; >0,1 мкм, она увеличивается на 25%±5%.	Полировка до Ra<0,05мкм±0,01мкм.
Рабочая температура	<800°C±10°C	>800°C Износ адгезии увеличивается на 50%±5%.	Используйте охлаждающую жидкость для контроля температуры <600°C±10°C.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

фактор	Диапазон параметров	Влияние на производительность	Предложения по оптимизации
абразивных частиц	<50мкм±5мкм	<50 мкм: скорость износа <0,06 мм³ / Н · м ± 0,01 мм³ / Н · м; >100 мкм: скорость износа увеличивается на 40% ± 5%.	Контроль размера абразивных частиц <50мкм±5мкм.

Факторы, влияющие на разрушение и скалывание твердого сплава

фактор	Диапазон параметров	Влияние на производительность	Предложения по оптимизации
Прочность (K _{1c})	>12 МПа·м ^{1/2} ± 0,5	K _{1c} >12 МПа·м ^{1/2} ± 0,5, скорость разрушения <0,1%±0,02%; <10 МПа·м ^{1/2} ± 0,5, скорость разрушения увеличивается на 50%±5%.	Обеспечить K _{1c} >12 МПа·м ^{1/2} ± 0,5.
Размер зерна	0,51мкм±0,01мкм	Скорость роста трещины размером 0,51 мкм низкая; скорость разрушения размером >2 мкм увеличивается на 30% ± 5%.	Выберите WC 0,51 мкм ± 0,01 мкм.
Содержимое	10%±1%	на 10% меньше отслаивания; <6% скорость отслаивания увеличивается на 20%±5%.	Установите Co 10%±1%.
Дефекты поверхности	Трещина<0,1 мм±0,01 мм	При трещинах > 0,1 мм скорость разрушения увеличивается на 50% ± 5%.	Для обнаружения трещин и полировки поверхности использовалась компьютерная томография.
Коэффициент концентрации напряжений (K _t)	<2±0,1	K _t > 3 скорость отслаивания увеличивается на 40%±5%.	Закругленные углы (радиус > 0,5 мм ± 0,01 мм), K _t < 2 ± 0,1.
Интерфейс Энергия	>1 Дж/м² ± 0,1 Дж/м²	>1 Дж/м², скорость откалывания уменьшается на 20%±5%; <0,5 Дж/м², скорость откалывания увеличивается на 30%±5%.	Оптимизированная межфазная энергия >1 Дж/м² ± 0,1 Дж/м².

Основные эксплуатационные параметры улучшения производительности твердого сплава

производительность	Диапазон параметров	Сценарий применения	Замечание
Твёрдость (HV)	18002500±30	Авиационный инструмент, горнодобывающие буровые коронки, износостойкие формы	Сверхмелкое зерно (<0,2 мкм ± 0,01 мкм) и поверхностное упрочнение (например, лазерная наплавка) могут достигать >3000±50.
Прочность (K _{1c})	1015 МПа·м ^{1/2} ± 0,5	Горнодобывающие буровые коронки, износостойкие формы	Добавки (VC, TaC) и оптимизация Co (10%±1%) повышают K _{1c} до значения выше 12 МПа·м ^{1/2} ± 0,5.
Усталостная долговечность	>10 ⁵ раз ±10 ⁴ раз	Износостойкие формы, горнодобывающие буровые коронки	РПП (10 ¹⁸ см ⁻² ± 10 ¹⁶ см ⁻²) увеличивает продолжительность жизни до >10 ⁶ раз ±10 ⁵ раз.
Скорость износа	<0,06 ± 0,01 мм³ / Н · м	Авиационные инструменты, горнодобывающие сверла	Ионная имплантация и лазерная наплавка могут быть снижены до <0,04 мм³/Н·м ± 0,01 мм³/Н·м.

Факторы, влияющие на измельчение зерна и добавки для улучшения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

эксплуатационных характеристик твердого сплава

фактор	Диапазон параметров	Влияние на производительность	Предложения по оптимизации
Размер зерна	<0,5мкм±0,01мкм	<0,5 мкм твердость>2000±30; >1 мкм твердость<1800±30.	Выберите WC<0,5 мкм ± 0,01 мкм и шаровую мельницу на 40 часов ± 1 час.
Добавки (BK/ TaC)	0,3%±0,01%	0,3% твердость увеличивается на 5%±1%, K _{1с} увеличивается на 10%±2%; >0,5% хрупкая фаза>1%±0,2%.	Добавить VC/ TaC 0,3%±0,01%.
Время шаровой мельницы	40 часов ± 1 час	Через 40 часов размер зерна составляет <0,5 мкм±0,01 мкм; через <20 часов размер зерна составляет >1 мкм±0,01 мкм.	Шаровая мельница в течение 40 ч ± 1 ч (500 об/мин ± 10 об/мин).
Температура спекания	1450°C±10°C	При температуре 1450°C зерна стабильны, при температуре >1500°C зерна составляют >1 мкм±0,01 мкм.	Температура контролируемого процесса 1450°C±10°C, давление <10 ⁻³ Па ± 10 ⁻⁴ Па.
Содержимое	10%±1%	10% K _{1с} >12 МПа·м ^{1/2} ± 0,5; <6% K _{1с} <10 МПа·м ^{1/2} ± 0,5.	Установите Co 10%±1%.
добавление ZrC	0,2%±0,01%	0,2% твердость>2500±50;>0,5% K _{1с} уменьшается на 10%±2%.	Добавьте ZrC 0,2%±0,01% для получения сверхмелкозернистого WC.

Факторы, влияющие на поверхностное упрочнение твердого сплава, улучшают эксплуатационные характеристики

фактор	Диапазон параметров	Влияние на производительность	Предложения по оптимизации
Температура цементации	900°C±10°C	Слой WC (1050 мкм ± 1 мкм, HV>2500±50) образуется при 900°C; скорость трещинообразования составляет >1% ± 0,2% при >1000°C.	Контролируемая температура: 900°C±10°C, расход CH ₄ : 10 л/мин±0,1 л/мин.
Доза ионов	10 ¹⁷ см ⁻² ± 10 ¹⁶ см ⁻²	10 ¹⁷ см ⁻² твердость >2200±30;>10 ¹⁸ см ⁻² повреждение >1%±0,2%.	Используется N ⁺ , доза 10 ¹⁷ см ⁻² ± 10 ¹⁶ см ⁻² , энергия 100 кэВ ± 1 кэВ.
Размер зерна	0,51мкм±0,01мкм	0,51 мкм обеспечивает наилучший эффект упрочнения; при >2 мкм твердость увеличивается на <10%±2%.	Выберите WC 0,51 мкм ± 0,01 мкм.
Содержимое	10%±1%	10% упрочняющий слой стабилен; <6% скорость трещинообразования увеличивается на 20%±5%.	Установите Co 10%±1%.
Шероховатость поверхности	Ra<0,05мкм±0,01мкм	Ra<0,05мкм имеет низкую скорость износа; >0,1мкм увеличивает на 15%±3%.	Полировка до Ra<0,05мкм±0,01мкм.
Мощность лазера	2 кВт±0,1 кВт	Слой оболочки мощностью 2 кВт равномерный (толщина 50100 мкм ± 1 мкм); при мощности >3 кВт скорость трещинообразования увеличивается на 10% ± 2%.	Мощность лазера контролировалась на уровне 2 кВт ± 0,1 кВт, а скорость сканирования — на уровне 10 мм/с ± 0,1 мм/с.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

Что такое соотношение Холла-Петча ?

Соотношение Холла-Петча — классическая теоретическая модель, описывающая связь между механическими свойствами материалов (в основном прочностью и твердостью) и размером зерна. Оно широко используется в металлах, сплавах и керамических материалах (таких как цементированный карбид WC-Co). Это соотношение показывает, что по мере уменьшения размера зерна прочность и твердость материала значительно увеличиваются. Основным механизмом является тормозящее влияние границ зерен на движение дислокаций. Соотношение Холла-Петча было впервые предложено Э. О. Холлом и Н. Дж. Петчем в 1951 и 1953 годах соответственно и в основном используется для изучения механического поведения поликристаллических материалов.

Основные понятия и формулы

Соотношение Холла-Петча можно выразить следующей математической формулой:

$$\sigma_y = \sigma_0 + k d^{-1/2}$$

或对于硬度:

$$HV = HV_0 + k' d^{-1/2}$$

其中:

- σ_y : 材料的屈服强度 (单位: MPa)。
- HV : 材料的硬度 (例如维氏硬度, 单位: HV)。
- σ_0 或 HV_0 : 单晶材料的屈服强度或硬度 (晶粒尺寸趋于无穷大时的极限值), 反映晶粒内部的固有阻力。
- k 或 k' : Hall-Petch常数, 与材料类型和晶界特性相关 (单位: $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 或 $\text{HV} \cdot \text{m}^{1/2}$)。
- d : 平均晶粒尺寸 (单位: m, 通常为 μm 量级)。
- $d^{-1/2}$: 晶粒尺寸的倒数平方根, 表示晶界密度的增加。

直观解释: 晶粒尺寸越小 (d 越小), $d^{-1/2}$ 越大, 晶界密度越高, 位错运动受阻越明显, 因此材料的强度和硬度 (σ_y 或 HV) 越高。

Микроскопический механизм

Физической основой соотношения Холла-Петча является тормозящее влияние границ зерен на движение дислокаций. На механические свойства поликристаллических материалов в основном влияют следующие механизмы:

Границы зерен препятствуют движению дислокаций :

В поликристаллических материалах границы зерен между зернами являются естественными препятствиями для движения дислокаций. Дислокации являются носителями пластической деформации материалов. Когда дислокации движутся к границам зерен, они не могут легко пересекать границы зерен из-за разницы в ориентации границ зерен (угол отклонения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

границы зерен обычно составляет 20° – 40°) и энергии границы зерен ($>1,5$ Дж/м²). Дислокации накапливаются на границах зерен, образуя скопления дислокаций, которые приводят к локальным концентрациям напряжений. Пересечение границ зерен требует более высоких приложенных напряжений, что проявляется в увеличении предела текучести.

Повышенная плотность границ зерен :

При уменьшении размера зерна (например, от 2 мкм до 0,5 мкм) плотность границ зерен значительно увеличивается (от $\sim 10^{12}$ м⁻² до $>10^{13}$ м⁻²). Чем выше плотность границ зерен, тем больше препятствий для движения дислокаций на единицу объема, а прочность и твердость материала соответственно возрастают.

уменьшается с 2 мкм до 0,5 мкм, плотность границ зерен увеличивается примерно в 4 раза, а повышение твердости может достигать 25–30 % (например, с HV 1200 до HV 1600).

Механизм усиления Орована :

Границы зерен улучшают свойства материала за счет закрепления дислокаций (аналогично механизму упрочнения Орована).

晶界通过钉扎位错（类似Orowan强化机制）增强材料性能。位错绕过晶界的剪应力 (τ) 与晶界间距 (λ) 相关: $\tau \sim Gb/\lambda$, 其中 G 为剪切模量, b 为伯氏矢量, λ 与晶粒尺寸 d 成正比 ($\lambda \sim d$)。晶粒尺寸越小, λ 越小, 剪应力越高, 材料越强硬。

Миграция границ зерен и стабильность :

Термодинамическая стабильность границ зерен оказывает важное влияние на соотношение Холла-Петча. Скорость миграции границ зерен (обычно $<10^{-10}$ м/с) контролируется температурой спекания (1400–1500°C) и добавками (такими как VC 0,2%–0,5%), а барьер миграции составляет 80–120 кДж/моль. Стабильные границы зерен (низкая скорость миграции) помогают поддерживать мелкозернистую структуру и, таким образом, поддерживать высокую прочность.

Область применения соотношения Холла-Петча

Соотношение Холла-Петча работает очень хорошо в определенном диапазоне размеров зерен, но не работает в крайних случаях:

применения (крупный размер зерна, $>0,2$ мкм) :

Для большинства твердых сплавов (таких как WC-Co) соотношение Холла-Петча справедливо, когда размер зерна находится в диапазоне от 0,2 мкм до 10 мкм. Например, когда размер зерна WC-10Co уменьшается с 2 мкм до 0,5 мкм, твердость увеличивается с HV 1200 до HV 1600, что составляет увеличение примерно на 25–30%, а предел текучести увеличивается примерно на 20–25% (с 3500 МПа до 4500 МПа).

В это время основным механизмом упрочнения является граница зерен, препятствующая движению дислокаций.

(размер зерна слишком мал, $<0,2$ мкм) :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

При уменьшении размера зерна до наномасштаба ($<0,2$ мкм , например, <100 нм) соотношение Холла-Петча может нарушиться и может возникнуть «обратный эффект Холла-Петча». В это время скольжение границ зерен становится основным механизмом деформации, что приводит к снижению прочности и твердости.

Причина: Доля границ зерен слишком высока ($>50\%$), энергия интерфейса доминирует над производительностью ($>1,5$ Дж/м²), скольжение по границам зерен и диффузия (например, ползучесть по Коблу) усиливаются, а прочность снижается (K_1 падает с 12 МПа·м^{1/2} до <8 МПа·м^{1/2}).

Например, при уменьшении размера зерна WC с $0,5$ мкм до $0,1$ мкм твердость может снизиться с HV 1600 до HV 1400, а ударная вязкость значительно уменьшится (K_{IC} с <8 МПа·м^{1/2}).

Условия высоких температур :

При высоких температурах ($>800^\circ\text{C}$) скорость миграции границ зерен увеличивается ($>10^{-9}$ м/с), и зерна могут расти аномально (>2 мкм), что приводит к ослаблению эффекта Холла-Петча. Например, при 1000°C размер зерна WC-10Co может вырасти с $0,5$ мкм до 2 мкм, а твердость снизиться на $10\%-15\%$ (с HV 1600 до HV 1400).

Факторы, влияющие на соотношение Холла-Петча

На эффективность соотношения Холла-Петча влияют следующие факторы:

Размер зерна (d) :

Размер зерна является основной переменной соотношения Холла-Петча. Чем меньше зерно, тем выше плотность границ зерен и тем очевиднее эффект упрочнения. Например, когда размер зерна WC уменьшается с 1 мкм до $0,5$ мкм, твердость увеличивается примерно на $15\%-20\%$.

Однако слишком мелкие зерна ($<0,2$ мкм) приведут к обратному эффекту Холла-Петча, и для подавления скольжения по границам зерен необходимы добавки (например, VC $0,2\%-0,5\%$).

Тип материала и характеристики границ зерен :

Hall-Petch常数 k 与材料类型和晶界特性密切相关。对于硬质合金WC-Co, k 值通常在 $0.5-1.0$ МПа·м^{1/2}之间, 受Co含量和晶界强度影响。

Co含量高 (如 15%) 时, 晶界润湿性增强 (接触角 $<15^\circ$), 晶界强度降低 (<100 МПа), k 值减小, 强化效果减弱; Co含量低 (如 6%) 时, 晶界强度高 (>150 МПа), k 值增大。

3. Добавки :

Добавление ингибиторов зерен (таких как VC $0,2\%-0,5\%$, Cr 3 C 2 $0,1\%-0,3\%$) может уменьшить размер зерен и усилить эффект Холла-Петча. Например, добавление $0,4\%$ VC может уменьшить размер зерен WC с 1 мкм до $0,5$ мкм и увеличить твердость на $5\%-10\%$ (с HV 1500 до HV 1600).

Однако избыточные добавки ($>0,8\%$) могут образовывать хрупкие фазы (например, фазу

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

VCx , соотношение $>0,5\%$) и снижать ударную вязкость ($K_{1c} < 8 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$).

Процесс спекания :

. Слишком высокая температура ($>1550^\circ\text{C}$) вызовет рост зерна ($>2 \text{ мкм}$) и падение твердости на 10%-15%.

Например, при спекании WC-10Co при 1450°C размер зерна остается на уровне 0,5 мкм , а твердость достигает HV 1600; при спекании при 1600°C размер зерна увеличивается до 2 мкм , а твердость падает до HV 1400.

Содержимое :

Содержание Co влияет на смачиваемость границ зерен и способность к пластической деформации. Когда содержание Co низкое (например, 6%), эффект упрочнения границ зерен значительный, а твердость высокая ($\text{HV} > 1600$); когда содержание Co высокое (например, 15%), граница зерен размягчается, а твердость снижается ($\text{HV} < 1200$).

Например, WC-6Co (размер зерна 0,5 мкм) имеет твердость HV 1700, тогда как WC-15Co (такой же размер зерна) имеет твердость всего лишь HV 1200.

Микроскопические дефекты :

Пористость ($>1\%$) и микротрещины (длина $>0,05 \text{ мм}$) ослабляют эффект упрочнения границ зерен и снижают твердость и прочность. Например, увеличение пористости с 0,5% до 2% снижает твердость примерно на 5% (с HV 1600 до HV 1520).

Применение твердого сплава

В твердых сплавах (таких как WC-Co) соотношение Холла-Петча широко используется для контроля размера зерна с целью оптимизации свойств:

Измельчение зерна увеличивает твердость :

Размер зерна был уменьшен с 2 мкм до 0,5 мкм путем высокоэнергетического шарового измельчения (300–500 об/мин, 20–40 часов), добавления ингибиторов зерна (таких как VC 0,2–0,5%) и оптимизированного процесса спекания ($1400\text{--}1500^\circ\text{C}$, вакуум $<10^{-2} \text{ Па}$).

Результат: твердость увеличилась с HV 1200 до HV 1600, а предел текучести увеличился с 3500 МПа до 4500 МПа, что соответствует требованиям высокоскоростной резки ($>800 \text{ м/мин}$).

Баланс твердости и прочности :

Слишком мелкие зерна ($<0,2 \text{ мкм}$) приведут к снижению прочности ($K_{1c} < 8 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$), что не подходит для условий с высокими ударными нагрузками (например, для горнодобывающих буровых коронок). Поэтому размер зерна необходимо контролировать в диапазоне 0,5–1 мкм, чтобы достичь баланса между твердостью (HV 1600) и прочностью ($K_{1c} 12\text{--}14 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$).

Например, сплав WC-10Co (размер зерна 0,5 мкм) имеет твердость HV 1600 и $K_{1c} 12 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, что делает его пригодным для использования в авиационных инструментах.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Оптимизация инженерных приложений :

мкм по закону Холла-Петча , твердость достигает HV 1700, а срок службы при резке >15 часов.

Горное буровое долото: размер зерна 0,8 мкм , твердость HV 1500, K_{IC} с 13 МПа $\cdot$ м^{1/2} , дальность бурения >1200 м.

Износостойкая форма: размер зерна 0,5 мкм , твердость HV 1600, количество выдавливающих >10⁶ раз.

Ограничения и проблемы

Хотя соотношение Холла-Петча широко используется в твердых сплавах, оно также имеет следующие ограничения и проблемы:

эффект Холла-Петча :

размер зерна слишком мал (<0,2 мкм) , деформация доминирует за счет скольжения по границам зерен и диффузии, а прочность и твердость снижаются. Например, если размер зерна WC уменьшить с 0,5 мкм до 0,1 мкм , твердость может упасть с HV 1600 до HV 1400.

Проблемы стабильности границ зерен :

Время спекания (>4 часов) вызовет рост зерна (>2 мкм) , что снизит эффект Холла-Петча. Для подавления роста зерна необходимо добавить VC или Cr₃C₂.

Риски снижения устойчивости :

Хотя измельчение зерна повышает твердость, оно может привести к снижению ударной вязкости (K_{IC} < 10 МПа $\cdot$ м^{1/2}) , поэтому эксплуатационные характеристики необходимо сбалансировать путем оптимизации содержания Co (8–12%) и размера зерна (0,5–1 мкм) .

Влияние микродефектов :

Пористость (>1%) и микротрещины (длина >0,05 мм) могут ослабить эффект упрочнения границ зерен. Например, твердость высокопористого WC-10Co (пористость 2%) составляет всего лишь HV 1520, что намного ниже ожидаемого (HV 1600).

Тенденция развития

С развитием материаловедения и интеллектуального производства применение соотношения Холла-Петча в твердом сплаве расширяется:

Технология нанокристаллов и ультратонких кристаллов :

Разработать ультрамелкозернистые (<0,5 мкм) и нанокристаллические (<100 нм) цементированные карбиды с твердостью до HV 2000, но необходимо решить проблему проскальзывания границ зерен (например, путем добавления TaC 0,2 %-0,5% для повышения прочности границ зерен).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Проектирование градиентной структуры :

Соотношение Холла-Петча используется для проектирования твердого сплава с градиентной структурой с мелкими поверхностными зёрнами ($0,2-0,5\text{ мкм}$, твердость HV 1700) и немного более крупными внутренними зёрнами ($1-2\text{ мкм}$, K_1 с $14\text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$) , что позволяет добиться синергетической оптимизации твердости и вязкости.

Оптимизация с помощью искусственного интеллекта :

ИИ используется для прогнозирования влияния размера зерна на производительность (точность прогнозирования $> 90\%$) и оптимизации параметров шаровой мельницы и спекания. Например, машинное обучение может использоваться для прогнозирования оптимального размера зерна ($0,5\text{ мкм}$) с отклонением твердости $<2\%$.

Улучшенные характеристики при высоких температурах :

Разработать высокотемпературные стабильные ингибиторы границ зерен (такие как ZrC $0,1\%-0,3\%$) для поддержания размера зерна ($<1\text{ мкм}$) при температуре $>800^\circ\text{C}$ и сохранения эффекта Холла-Петча.

Подводя итог, можно сказать, что соотношение Холла-Петча раскрывает влияние размера зерна на механические свойства твердого сплава и является теоретической основой для измельчения зерна и оптимизации производительности. Рационально регулируя размер зерна и характеристики границ зерен, можно значительно улучшить твердость и прочность, но следует уделять внимание балансу между прочностью и высокотемпературной стабильностью. С внедрением новых технологий и интеллектуального производства соотношение Холла-Петча будет играть большую роль в области твердого сплава.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение

Что такое твердый сплав с градиентной структурой?

Градиентная структура цементированного карбида относится к типу цементированного карбида (WC-Co), который разработан и регулируется таким образом, что его микроструктура или состав (например, размер зерна, содержание связующей фазы или распределение добавок) представляют градиентное изменение вдоль определенного направления (например, от поверхности внутрь) внутри материала. Эта структура разработана для объединения преимуществ производительности различных областей, таких как высокая твердость поверхности и высокая внутренняя прочность, для удовлетворения комплексных требований к производительности в суровых условиях работы (например, авиационные инструменты и горнодобывающие буры). По сравнению с традиционным цементированным карбидом, градиентная структура цементированного карбида имеет значительные преимущества в оптимизации производительности, но также ставит новые задачи перед традиционными сортами и методами производства и в то же время предъявляет более высокие требования к интеллектуальному управлению проектированием производства AI Agent.

Основные понятия и принципы градиентной структуры твердого сплава

Твердый сплав обычно состоит из твердой фазы (например, WC, который имеет высокую твердость, но высокую хрупкость) и связующей фазы (например, Co, который имеет хорошую вязкость, но низкую твердость). Традиционный твердый сплав (например, YG6, YG8 и другие марки) имеет однородную микроструктуру, а содержание Co и размер зерна в основном одинаковы по всему материалу, что затрудняет одновременное выполнение требований высокой твердости и высокой вязкости. Например, YG6 (Co 6%) имеет высокую твердость (HV 1600-1700), но низкую вязкость (K_{IC} с 8-10 МПа·м^{1/2}); YG15 (Co 15%) имеет хорошую вязкость (K_{IC} с 14-16 МПа·м^{1/2}), но пониженную твердость (HV 1200-1300).

Твердый сплав с градиентной структурой обеспечивает синергетическую оптимизацию функций за счет внедрения градиентов производительности в различных областях материала: поверхность

Содержание Co низкое (4-6%), размер зерна мелкий (0,2-0,5 мкм), твердость высокая (HV 1600-1800), износостойкость высокая, материал пригоден для выдерживания сильного трения и износа.

Средний слой

Содержание Co и размер зерна постепенно изменяются (например, Co 8%-10%, зерно 0,5-1 мкм), толщина 0,5-2 мм, а также снимается концентрация напряжений на границе раздела (<80 МПа).

внутренний

Содержание Co относительно высокое (например, 12%-15%), размер зерна немного больше (например, 1-2 мкм), вязкость отличная (K_{IC} с 14-16 МПа·м^{1/2}), ударопрочность высокая, и он может поглощать энергию трещины и предотвращать разрушение.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Это распределение градиента достигается путем регулирования диффузии Co, роста зерна и процессов спекания. Механические свойства основаны на теории композитных материалов (например, модели Фойгта, $E \sim V_{WC} \cdot E_{WC} + V_{Co} \cdot E_{Co}$) и соотношении Холла-Петча ($\sigma \sim d^{-1/2}$), так что материал имеет различную твердость, прочность и ударную вязкость на разных глубинах. Градиентную структуру можно также дополнительно оптимизировать, контролируя энергию интерфейса ($< 1,5 \text{ Дж/м}^2$) и динамику границ зерен (скорость миграции $< 10^{-10} \text{ м/с}$).

Метод проектирования градиентной структуры

При проектировании твердого сплава с градиентной структурой основное внимание уделяется следующим аспектам:

Градиент содержания Co:

Содержание Co на поверхности низкое (4–6%), в среднем слое 8–10%, а внутри постепенно увеличивается до 12–15%.

Принцип: При низком содержании Co объемная доля WC высокая ($> 90\%$) и твердость повышается; при высоком содержании Co повышается способность к пластической деформации (скорость деформации $\sim 10^{-3} \text{ с}^{-1}$) и повышается прочность.

Метод реализации: Через послойное соотношение порошка (соотношение порошка Co увеличивается снаружи внутрь) или контролировать скорость диффузии Co во время спекания ($< 10^{-9} \text{ см}^2/\text{с}$). Например, укладываются три слоя порошка: поверхностный слой Co 4%, средний слой Co 8%, внутренний слой Co 12%, и градиент формируется посредством жидкофазного спекания.

Градиент размера зерна:

Поверхностные зерна мелкие (0,2–0,5 мкм), средний слой – 0,5–1 мкм, а внутренние зерна немного крупнее (1–2 мкм).

Принцип: Мелкие зерна увеличивают твердость и прочность за счет эффекта Холла-Петча ($HV \sim d^{-1/2}$); более крупные зерна уменьшают зернограницное скольжение (площадь зернограницной площади $< 10^{13} \text{ м}^{-2}$) и повышают прочность.

Метод реализации: Добавить ингибиторы роста зерен на поверхность (например, VC 0,2%–0,5%, Cr₃C₂ 0,1%–0,3%), уменьшить количество ингибиторов в среднем слое и внутри; или контролировать скорость роста зерен посредством послойного спекания (поверхность $< 10^{-10} \text{ м/с}$, немного выше внутри).

Градиент аддитивного распределения:

Добавьте больше VC или Cr₃C₂ (0,2–0,5%) на поверхность, чтобы замедлить рост зерен и повысить твердость; добавьте небольшое количество TaC (0,1–0,3%) в средний слой, чтобы увеличить прочность границ зерен ($> 150 \text{ МПа}$); добавьте TaC (0,2–0,5%) внутрь, чтобы еще больше повысить ударную вязкость.

Метод внедрения: Послойное соотношение добавок в сочетании с контролем процесса

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

спекания. Например, добавьте 0,4% VC в поверхностный слой, 0,2% TaC в средний слой и 0,3% TaC во внутренний слой.

Функциональный градиент:

На поверхность нанесено износостойкое покрытие (например, CrN или TiN, толщина 2–4 мкм, твердость HV 3000–3500), средний слой оптимизирует усталостную прочность (скорость роста трещин $da/dN < 10^{-7}$ мм/цикл), а внутренняя часть оптимизирует ударопрочность (энергия удара > 18 Дж).

Метод реализации: Сочетание модификации поверхности (такой как цементация, ионная имплантация) и оптимизации внутренней микроструктуры.

Многофазный градиент:

Введение многофазной структуры, например, добавление небольшого количества TiC (твердость > 2000 HV, 5%-10%) на поверхность для повышения износостойкости, средний слой представляет собой переходный слой WC-Co, а структура WC-Co сохраняется внутри для обеспечения прочности.

Метод реализации: Послойно добавлять порошок TiC и формировать многофазный градиент путем спекания.

Диверсификация направлений градиента:

Помимо радиальных градиентов от поверхности внутрь, также могут быть спроектированы боковые градиенты (например, высокая твердость режущей кромки инструмента и высокая прочность зажимной части) или разнонаправленные градиенты (подходят для деталей сложной геометрической формы).

Метод реализации: использование технологии 3D-печати (например, селективного лазерного плавления SLM) для точного контроля состава и структуры каждой области.

Технология получения твердого сплава с градиентной структурой

Изготовление твердого сплава с градиентной структурой должно осуществляться с помощью следующих процессов:

Дозирование и формование порошка

Сырое тело было подготовлено методом слоистого порошка, с использованием смешанных порошков WC-Co с различным содержанием Co, размером зерна или соотношением добавок, используемых на поверхности, в середине и внутри. Например, поверхностный слой (Co 4%, WC 0,5 мкм), средний слой (Co 8%, WC 1 мкм), внутренний слой (Co 12%, WC 1,5 мкм). Для обеспечения плотности ($> 99\%$) и однородности (пористости $< 0,5\%$) сырца применяется холодное изостатическое прессование (ХИП, давление 200-300 МПа).

Требования к точности: отклонение соотношения порошка $< 0,1\%$, отклонение толщины слоя $< 0,02$ мм, прочность связи между слоями > 50 МПа.

Процесс спекания:

Жидкофазное спекание (1400-1500°C, 1-3 часа, степень вакуума $< 10^{-2}$ Па), скорость

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

диффузии Co ($<10^{-9}$ см²/с) контролируется градиентом температуры и временем для формирования градиентного распределения.

Градиент температуры спекания

Температура поверхности несколько ниже (1400 °C), что тормозит рост зерен; средний слой имеет температуру 1420 °C, а внутренняя часть — 1450–1500 °C, что способствует диффузии Co и умеренному росту зерен.

Атмосфера спекания: вакуум или атмосфера Ar (чистота $>99,99\%$), избежание окисления (содержание O₂ $<0,5$ ppm), уменьшение дефектов границ зерен ($<0,2\%$).

Скорость охлаждения: контролируется на уровне 3–5 °C/мин, чтобы избежать термического напряжения (<100 МПа); если >10 °C/мин, скорость образования микротрещин составляет $>0,5\%$.

Термическая обработка и модификация поверхности

Отжиг (550-650°C, 1-2 часа) снижает внутреннее напряжение Co-фазы (<50 МПа) и увеличивает K₁ с примерно на 5%.

Поверхностная цементация (850-950°C, атмосфера CH₄, толщина слоя углерода 10-30 мкм) или ионная имплантация (N₂, доза 10^{16} - 10^{17} см⁻², энергия 80-120 кэВ) для формирования слоя высокой твердости (HV 1800-2000).

Лазерная наплавка (мощность 1,5-2,5 кВт, толщина 50-100 мкм) формирует слой сверхвысокой твердости (HV >2500).

Плазменная ионная имплантация (РП, доза 10^{17} - 10^{18} см⁻²) улучшает глубокую износостойкость (глубина $>0,5$ мкм).

Онлайн мониторинг и контроль

с использованием лазерного анализатора размера частиц (отклонение $<0,02$ мкм), а напряжение на границах зерен (<100 МПа) оценивалось с помощью рентгеновской дифракции (XRD, отклонение ширины пика $<0,2^\circ$).

Процесс спекания контролировался в режиме реального времени с помощью датчика температуры (точность $\pm 2^\circ\text{C}$), датчика давления (точность $\pm 10^{-3}$ Па) и онлайн-микроскопа (разрешение $<0,1$ мкм) для обеспечения постоянства градиентной структуры (отклонение $<0,5\%$).

Для обнаружения микротрещин (длиной $>0,05$ мм) в процессе спекания использовалась технология акустической эмиссии (диапазон частот 20 кГц-500 кГц).

Эксплуатационные характеристики и преимущества твердого сплава с градиентной структурой

Твердый сплав с градиентной структурой демонстрирует следующие характеристики за счет скоординированной оптимизации производительности:

Баланс твердости и прочности

Высокая поверхностная твердость (HV 1600-1800) и превосходная внутренняя прочность (K

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

с 14-16 МПа·м^{1/2}), что позволяет преодолеть противоречие между твердостью и прочностью традиционного твердого сплава.

Например, градиентный сплав WC-10Co с 4% Co на поверхности и зерном 0,5 мкм имеет твердость HV 1700, 12% Co внутри и K₁ с 14 МПа·м^{1/2}, а его комплексные характеристики лучше, чем у традиционного YG8 (Co 8%, HV 1500, K₁ с 12 МПа·м^{1/2}).

Синергетическое улучшение износостойкости и ударопрочности

Высокая твердость поверхности и низкое содержание Co снижают скорость износа (<0,08 мм³/Н·м); высокое содержание Co внутри увеличивает энергию удара (18-20 Дж).

Подходит для условий с высоким трением и ударными нагрузками, например, для горнодобывающих буровых коронок со сроком службы более 1500 м при бурении твердых пород, что на 50% больше, чем у традиционного YG6.

Превосходные противоусталостные свойства

увеличивает усталостную долговечность (>10⁵ раз) за счет снижения возникновения поверхностных трещин (длина трещины <0,05 мм) и скорости роста внутренних трещин (da/dN <10⁻⁷ мм/цикл).

Например, долговечность градиентного WC-10Co при циклическом нагружении (коэффициент напряжения R=0,1, частота 5-15 Гц) на 20-30% выше, чем у традиционного YG10 (Co 10%).

Устойчивость к термическому удару

Градиентная структура снижает концентрацию термических напряжений (<80 МПа) и повышает стойкость к тепловому удару на 15–20 % в условиях высоких температур (>800 °C), что делает его пригодным для использования в авиационных инструментах (температура резания >800 °C).

Устойчивость к коррозии

Низкое содержание Co на поверхности снижает чувствительность к коррозии (скорость растворения <10⁻¹⁰ г/см²·с) и повышает коррозионную стойкость на 10%-15% в кислых средах (pH <5), что делает его пригодным для применения в морской технике.

Адаптация к суровым условиям труда

При высокой температуре (>800°C), сильном ударе (>500 Гц), высоком напряжении (>80 МПа) и коррозионной среде (концентрация NaCl 3,5%) градиентная структура может эффективно продлить срок службы. Например, срок службы глубоководных буровых долот увеличивается на 50%, а срок службы пресс-форм для тормозных колодок высокоскоростных рельсов увеличивается на 60%.

Проблемы градиентной структуры цементированного карбида по сравнению с традиционными марками цементированного карбида

Внедрение твердого сплава с градиентной структурой создало множество проблем для

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

традиционных марок твердого сплава (таких как серии YG и YT):

Выявлены ограничения производительности

Традиционные марки имеют однородную структуру и плохо подходят для сложных условий работы. Например, YG6 (Co 6%) имеет высокую твердость (HV 1600), но легко ломается в условиях высоких ударных нагрузок (например, в горнодобывающей промышленности) ($K_{IC} < 10 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$); YG15 (Co 15%) имеет хорошую прочность (K_{IC} с 14-16 $\text{МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$), но имеет недостаточную твердость (HV <1300) и плохую износостойкость.

Твердый сплав с градиентной структурой превосходит предел производительности традиционных марок, сочетая высокую поверхностную твердость (HV 1700) и высокую внутреннюю прочность (K_{IC} с 14 $\text{МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$). Например, срок службы режущей кромки (>15 часов) градиентного WC-10Co в авиационных инструментах на 25% выше, чем у YG8.

Конкуренция в прикладных областях

Традиционные марки по-прежнему имеют преимущества в определенных областях (например, в сценариях с низкими ударными нагрузками и низким трением), например, YG3 (Co 3%) для резки с низкой нагрузкой. Однако твердый сплав с градиентной структурой более конкурентоспособен в сценариях с высокой нагрузкой и многофункциональностью (например, в авиации и глубоководье). Например, дальность бурения градиентного WC-10Co в глубоководных буровых долотах (>1500 м) намного превышает дальность бурения YG8 (<1000 м).

Традиционным брендам необходимо модернизировать свои формулы или ввести градиентные структуры, чтобы сохранить свою конкурентоспособность на рынке, в противном случае они могут постепенно исчезнуть с рынка товаров премиум-класса.

Сложность производственного процесса

Процесс производства традиционных марок прост (равномерное соотношение порошка + однократное спекание) и имеет низкую стоимость (около 50-60 юаней/кг). Твердый сплав с градиентной структурой требует послойного смешивания порошка, градиентного спекания и онлайн-мониторинга, что является сложным и увеличивает стоимость на 15%-20% (около 60-70 юаней/кг).

Традиционное производственное оборудование (такое как обычные спекательные печи) вряд ли может удовлетворить требованиям точности градиентных структур (таким как отклонение распределения Co <0,5%) и нуждается в модернизации до высокоточного оборудования (такого как градиентные спекательные печи с точностью регулирования градиента температуры $\pm 2^\circ\text{C}/\text{см}$).

Проблема стандартизации

Традиционные марки имеют зрелые стандарты (такие как ISO K10, K20, P10), четкие

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

параметры производительности и просты в массовом производстве и применении. Градиентная структура цементированного карбида имеет производительность, которая меняется с глубиной и которую трудно определить с помощью одного стандарта, поэтому необходимо создать новую систему оценки производительности (такую как послойное тестирование твердости и вязкости).

K_{14} с $14 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$) градиента WC-10Co невозможно напрямую сопоставить с традиционным стандартом ISO, что может вызвать путаницу у пользователей при выборе материалов.

Принятие на рынок и продвижение

Традиционные марки имеют долгую историю и высокую узнаваемость на рынке, и пользователи знакомы с их производительностью и областью применения. Как новая технология, твердый сплав с градиентной структурой должен завоевать доверие посредством долгосрочной проверки применения (например, испытания на срок службы авиационного инструмента).

На ранних этапах продвижения необходимо решить проблемы пользователей, связанные со стоимостью и стабильностью работы, например, продемонстрировав преимущества с помощью демонстрационных проектов (например, увеличение срока службы горнодобывающих буровых коронок на 50%).

Адаптивность цепочки поставок и выбора материалов

Цепочка поставок традиционных марок является зрелой, сырьевые материалы (например, порошок WC, порошок Co) имеют однородные спецификации, а стоимость закупки низкая. Для карбида вольфрама с градиентной структурой требуются порошки различных спецификаций (например, WC с разным размером частиц и разным содержанием Co), что увеличивает сложность и стоимость цепочки поставок.

Пользователям необходимо пересмотреть свои стратегии выбора материалов. Традиционный простой метод выбора марок (например, на основе твердости или содержания Co) больше не применим, и необходимо ввести многоуровневое тестирование производительности и анализ моделирования.

Требования к интеллектуальному агенту ИИ для управления проектированием производства

Производство карбида вольфрама с градиентной структурой выдвинуло более высокие требования к интеллектуальному производству. Агент ИИ-управления интеллектуальным проектированием производства должен обладать следующими возможностями для достижения эффективного, точного и стабильного производства:

Прогнозирование и оптимизация микроструктуры

Требования к возможностям: ИИ-агент должен прогнозировать влияние содержания Co,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

размера зерна и соотношения добавок на производительность с помощью алгоритмов машинного обучения (ML) и глубокого обучения (DL) (таких как опорная векторная машина SVM, глубокая нейронная сеть DNN) (точность прогнозирования > 90%).

Конкретные функции

На основе исторических данных и физических моделей (таких как соотношение Холла-Петча, модель Фойгта) прогнозируется оптимальный градиент содержания Co (например, 4% на поверхности, 8% в среднем слое и 12% во внутренних слоях, с отклонением <0,2%).

Оптимизированное распределение размера зерна (0,5 мкм на поверхности, 1 мкм в среднем слое, 1,5 мкм внутри, с отклонением <0,02 мкм) обеспечивает синергетическое улучшение твердости (HV 1700) и вязкости (K_{IC} 14 МПа·м^{1/2}).

Рекомендуемое соотношение добавок (например, VC 0,4%, TaC 0,2%, Cr₃C₂ 0,1%, отклонение соотношения <0,05%) для улучшения постоянства характеристик (отклонение <0,5%).

Моделируйте многослойные характеристики градиентных структур (например, поверхностную износостойкость и внутреннюю ударопрочность) для оптимизации проектных решений.

Мониторинг и контроль параметров процесса в реальном времени

Требования к возможностям: ИИ-агент должен сочетать технологию промышленного Интернета вещей (IIoT) для мониторинга и управления параметрами производства в режиме реального времени (отклонение <1%) с помощью встроенных датчиков и периферийных вычислений.

Конкретные функции

Контролировать соотношение порошка (точность содержания Co $\pm 0,05\%$), размер зерна (точность $\pm 0,005$ мкм) и распределение добавок (отклонение <0,1%).

Регулировка параметров спекания в реальном времени: температура (1400-1500°C, точность $\pm 2^\circ\text{C}$), степень вакуума ($<10^{-2}$ Па, точность $\pm 10^{-3}$ Па), скорость диффузии Co ($<10^{-9}$ см²/с, отклонение <5%).

Контролируйте скорость охлаждения (3-5°C/мин, отклонение <0,2°C/мин), чтобы избежать термических напряжений (<100 МПа) и микротрещин (скорость <0,5 %).

Контролировать прочность связи между слоями (>50 МПа) и не допускать дефектов расслоения (длина трещин >0,05 мм).

Прогнозирование отказов и контроль качества

Требования к способностям: ИИ-агент должен прогнозировать потенциальные риски сбоев в процессе производства (например, сегрегацию Co, аномальный рост зерна) с помощью нейронных сетей (таких как RNN, LSTM) и вмешиваться заранее (время опережения прогноза > 10³ раз).

Конкретные функции

μm), вызванное отклонением распределения Co (>1%), было спрогнозировано, и время

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

спекания было скорректировано заранее (1-3 часа, отклонение $<0,1$ часа).

аномальный рост зерен (>2 мкм), и рост был подавлен путем регулирования количества добавляемого ВК (0,2%-0,5%).

Сочетание датчиков акустической эмиссии (точность частоты ± 2 кГц) и КТ-сканирования (точность $\pm 0,02$ мм) позволяет обнаруживать микротрещины (длиной $> 0,05$ мм) в режиме реального времени, снижая частоту отказов ($<0,1\%$).

Обнаружить концентрацию межслойных напряжений ($K_t > 1,5$) и избежать отслоения интерфейса (глубина > 5 мкм).

Оптимизация процессов и разумное принятие решений

Требования к способностям: Агенту ИИ необходимо оптимизировать параметры производственного процесса с помощью генетических алгоритмов (ГА) или обучения с подкреплением (ОИ) для повышения эффективности производства (увеличение на 15–20%) и стабильности производительности (отклонение $<2\%$).

Конкретные функции

Соотношение слоев порошка было оптимизировано (поверхностный Со 4%, средний слой 8%, внутренний слой 12%, отклонение $<0,1\%$) для обеспечения однородности градиентной структуры.

Градиент температуры спекания регулировался (1400°C для поверхности, 1420°C для среднего слоя и 1450°C для внутреннего слоя с отклонением $<\pm 2^{\circ}\text{C}/\text{cm}$) для контроля диффузии Со и роста зерен.

Оптимизировать соотношение добавок ($\text{VC} : \text{TaC} : \text{Cr}_2\text{C}_3 = 2 : 1 : 0,5$, отклонение $<0,05\%$) для повышения твердости и вязкости ($\text{HV } 1700$, $K_{\text{IC}} 14 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$).

Благодаря анализу данных процесса время измельчения (20–40 часов, точность $\pm 0,5$ часа) и скорость вращения (300–500 об/мин, точность ± 5 об/мин) автоматически регулируются для повышения эффективности производства.

Интеграция данных и многоисточниковое сотрудничество

Требования к возможностям: ИИ-агент должен интегрировать данные из нескольких источников (характеристики порошка, параметры спекания, результаты испытаний производительности) и обеспечивать совместную работу нескольких устройств через сеть 5G и облачную платформу (задержка <10 мс).

Конкретные функции

Интегрируйте данные о размере частиц порошка (лазерный анализ размера частиц, отклонение $<0,02$ мкм), данные о температуре спекания (точность датчика $\pm 2^{\circ}\text{C}$) и данные испытаний производительности (отклонение твердости $<2\%$).

анализ данных для оптимизации параметров производства (например, скорость диффузии Со контролируется на уровне $<10^{-9} \text{ см}^2/\text{с}$).

Координированное управление шаровой мельницей (точность скорости ± 5 об/мин), печью для спекания (отклонение температуры $\pm 2^{\circ}\text{C}$) и детекторным оборудованием (отклонение ширины пика рентгеновской дифракции $<0,2^{\circ}$).

Обеспечить кросс-линейное взаимодействие, например, синхронную регулировку

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

температурных градиентов нескольких печей для спекания (отклонение $\leq \pm 1^\circ\text{C}/\text{cm}$).

Интеллектуальное обслуживание и адаптивная регулировка

Требования к возможностям: ИИ-агент должен прогнозировать время отказа оборудования и продуктов на основе данных о росте трещин (погрешность < 5 часов) и оптимизировать стратегии технического обслуживания (сокращая время простоя на 30–35%).

Конкретные функции

Прогнозируйте сегрегацию Co (отклонение $> 1\%$), вызванную отклонением температуры в печи для спекания ($> \pm 10^\circ\text{C}$), и заранее корректируйте параметры.

Объединение данных акустической эмиссии и КТ позволяет прогнозировать усталостное разрушение твердого сплава с градиентной структурой в процессе эксплуатации (более чем на 10^4 вперед) и оптимизировать цикл технического обслуживания.

Адаптивная регулировка параметров производства, например, корректировка добавления VC (увеличение на 0,1–0,2%) на основе данных о твердости в реальном времени (отклонение HV $> 2\%$).

Прогнозируйте износ оборудования (например, срок службы подшипников шаровой мельницы, ошибка < 10 часов), заменяйте детали заранее и сокращайте время простоя.

Индивидуализация требований пользователей и изучение обратной связи

Требования к способностям: ИИ-агент должен настраивать конструкцию градиентной структуры в соответствии с потребностями пользователя (например, высокая твердость авиационных режущих инструментов и высокая прочность горнодобывающих буровых долот), а также постоянно оптимизировать ее с помощью обучения с обратной связью (улучшение производительности на 5–10%).

Конкретные функции

В соответствии с требованиями к авиационным инструментам (твердость HV >1700) была разработана градиентная структура с содержанием Co на поверхности 4% и размером зерна 0,5 мкм.

В соответствии с требованиями к горнодобывающим буровым коронкам ($K_{1c} > 14 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$) разработана внутренняя структура с содержанием Co 12% и размером зерна 1,5 мкм.

Собирайте данные обратной связи по применению (например, срок службы инструмента, скорость износа сверла) и оптимизируйте содержание Co и распределение зерна с помощью обучения с подкреплением (погрешность $< 0,1\%$).

рекомендуется использовать покрытие поверхности (например, CrN, толщина 3 мкм).

Экологическая адаптация и оптимизация энергопотребления

Требования к возможностям: ИИ-агент должен оптимизировать параметры процесса и сократить потребление энергии (на 10–15 %) в зависимости от производственной среды (например, температуры и влажности) и требований к энергопотреблению.

Конкретные функции

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Следите за влажностью окружающей среды ($<50\%$), чтобы избежать коррозионного воздействия (увеличение скорости износа $<5\%$).

Оптимизировать энергопотребление печи для спекания (точность регулирования температуры $\pm 2^{\circ}\text{C}$) и сократить неэффективное время нагрева (экономия $5\%-10\%$).

Адаптивно регулируйте рабочую мощность оборудования в соответствии с размером партии продукции (например, уменьшите скорость вращения шаровой мельницы до 300 об/мин для мелкосерийного производства).

Факторы, влияющие на градиентную структуру твердого сплава

На производительность и производство градиентных структур влияют следующие факторы:

Распространение совместного контента

Градиент содержания Со необходимо контролировать в разумных пределах ($4\%-6\%$ на поверхности, $8\%-10\%$ в среднем слое и $12\%-15\%$ внутри). Если содержание Со на поверхности $<4\%$, $K_{1c} < 8 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$; если содержание Со внутри $>15\%$, то твердость <1200 .

Распределение размера зерна

Размер зерна на поверхности $<0,5 \text{ мкм}$, средний слой $0,5-1 \text{ мкм}$, а внутренний слой $1-2 \text{ мкм}$. Если размер зерна на поверхности $>1 \text{ мкм}$, твердость <1500 . Если размер зерна внутри $<0,5 \text{ мкм}$, $K_{1c} < 10 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$.

Процесс спекания

недостаточный вакуум ($>10^{-2} \text{ Па}$) могут привести к неравномерному распределению Со (отклонение $>1\%$), образованию скоплений Со (размером $>5 \text{ мкм}$) и снижению прочности на $10-15\%$.

добавка

Избыточное содержание VC ($>0,8\%$) приведет к соотношению хрупкой фазы $>0,5\%$, что снизит K_{1c} ; недостаточное содержание TaC ($<0,1\%$) приведет к низкой прочности границ зерен ($<100 \text{ МПа}$).

Точность оборудования

/ мин) и температуры печи спекания ($\pm 2^{\circ}\text{C}$) может привести к отклонению размера зерна ($>0,02 \text{ мкм}$) и неравномерному распределению Со (отклонение $>0,5\%$).

Факторы окружающей среды

Влажность производственной среды ($>80\%$) может вызвать окисление порошка (содержание $\text{O}_2 >0,5 \text{ ppm}$) и повлиять на стабильность градиентной структуры (отклонение твердости $>2\%$).

Инженерное применение карбида вольфрама с градиентной структурой

Твердый сплав с градиентной структурой хорошо себя зарекомендовал в различных сложных

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

условиях:

Авиационные инструменты

Поверхностный Co 4%, твердость HV 1700, внутренний Co 12%, K_{1c} 14 МПа·м^{1/2}, при высокоскоростной резке (>800 м/мин), срок службы>15 часов, увеличение на 25%, лучше, чем у традиционного YG8.

Горнодобывающие буровые коронки

Размер поверхностного зерна составляет 0,5 мкм, внутреннее содержание Co — 12%, а срок службы при бурении твердых пород составляет более 1500 м, что на 50% больше, чем у традиционного YG6.

Глубоководное бурение

Градиентная структура (поверхностный Co 4%, средний слой 8%, внутренний слой 12%), при глубоководном воздействии (>500 Гц, давление>80 МПа), K_{1c} достигает 14 МПа·м^{1/2}, дальность бурения>1500 м.

Пресс-форма для тормозных колодок высокоскоростных железнодорожных тормозов

Поверхностная твердость HV 1700, внутренняя K_{1c} 14 МПа·м^{1/2}, срок службы >4×10⁵ раз при высокотемпературном трении (>600°C), увеличение на 60%.

Новый энергетический электролизер

Поверхностная добавка TiC 5%, твердость HV 1800, внутренний Co 12%, K_{1c} 13 МПа·м^{1/2}, при электрохимическом ударе (>10³ раз), срок службы>10³ часов, увеличение на 40%.

Форма для лопасти ветряной турбины

Поверхностный Co 4%, покрытие CrN 3 мкм, внутренний Co 12%, при низкотемпературном ударе (-60°C, скорость деформации>10³ с⁻¹), энергия удара>12 Дж, срок службы>10⁶ раз, увеличение на 40%.

Преимущества и недостатки твердого сплава с градиентной структурой

Преимущества:

Твердость и прочность оптимизируются синергетически, обеспечивая превосходные общие характеристики, превосходящие традиционные марки.

Адаптируются к различным суровым условиям работы и продлевают срок службы.

Умное производство повышает согласованность и эффективность.

Недостатки:

Процесс приготовления сложен и требует высокоточного оборудования (например, градиентной печи спекания с точностью регулирования градиента температуры ±2°C/см).

Более высокая стоимость (на 15–20 % выше, чем у традиционных марок).

Агент ИИ предъявляет высокие требования к интеллекту и нуждается в большом объеме данных.

Тенденция развития твердого сплава с градиентной структурой

Благодаря глубокому развитию интеллектуального производства производство и применение твердого сплава с градиентной структурой станут более интеллектуальными:

Глубокая интеграция AI+IoT

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Благодаря обучению с подкреплением и анализу больших данных AI Agent оптимизирует проектирование градиентной структуры (ошибка распределения $< 0,1\%$) и улучшает согласованность производительности (отклонение $< 0,5\%$).

ПоТ использует сети 5G и облачные платформы для обеспечения совместной работы нескольких устройств (задержка < 10 мс) и повышения эффективности производства ($> 20\%$).

Применение технологии 3D-печати

Технология 3D-печати (например, селективное лазерное плавление SLM) используется для получения более сложных градиентных структур (например, многослойных, многофазных градиентных) с отклонением размера зерна $< 0,01$ мкм и отклонением распределения Co $< 0,1\%$.

Новая градиентная структура

Разрабатывать многофазные градиенты (например, композитные градиенты WC -TiC -Co) и многофункциональные градиенты (например, стойкость к поверхностной коррозии и высокая внутренняя прочность) для удовлетворения разнообразных потребностей авиации, глубоководья, новой энергетики и других областей.

Стандартизация и продвижение

Установить стандарты оценки эксплуатационных характеристик для твердого сплава с градиентной структурой (например, испытания на послойную твердость и вязкость) для содействия его широкому применению на мировом рынке.

Экологичное производство

Используйте ИИ для оптимизации энергопотребления (сокращение на 10–15 %) и разработки перерабатываемого карбида вольфрама с градиентной структурой (например, стратифицированного рециклинга с содержанием Co) для достижения устойчивого развития.

Подводя итог, можно сказать, что твердый сплав с градиентной структурой обеспечивает синергетическое улучшение твердости, прочности и износостойкости за счет градиентной конструкции микроструктуры, бросая вызов пределу производительности традиционных марок твердого сплава. Внедрение интеллектуального управления проектированием производства AI Agent дополнительно повышает точность и эффективность производства, способствует развитию твердого сплава в направлении высокой производительности и интеллекта и обеспечивает более эффективные и надежные решения для авиации, горнодобывающей промышленности, новой энергетики и других областей.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

Различные концепции и функции цементации твердых сплавов

Технология цементации для твердого сплава (WC-Co) представляет собой процесс, который вводит углеродные элементы в поверхность материала посредством высокотемпературной термохимической обработки для улучшения свойств поверхности. Применение цементации в твердом сплаве в основном направлено на повышение твердости, износостойкости, коррозионной стойкости и усталостной прочности при сохранении внутренней прочности. В этой статье будут рассмотрены природа цементации, форма процесса, механизм действия, ключевые факторы влияния и фактические эффекты применения с целью раскрытия его уникальной ценности в оптимизации производительности твердого сплава.

Суть цементации: поверхностная диффузия и реакция углерода

Суть цементации заключается в диффузии и реакции атомов углерода при высоких температурах. Твердый сплав состоит из твердой фазы карбида вольфрама (WC) и связующей фазы кобальта (Co). Фаза Co имеет высокую растворимость углерода (около 0,2-0,3 мас. % при 900 °C), что становится основным каналом для диффузии углерода. В процессе цементации атомы углерода разлагаются из внешних источников углерода (таких как CH₄, CO или твердый углеродный порошок), диффундируют к поверхности через решетку фазы Co, а затем реагируют с WC, образуя более плотную структуру карбида или утолщая существующие частицы WC. Этот механизм диффузии-реакции образует на поверхности богатую углеродом область, обычно проявляющуюся в виде богатого WC слоя толщиной 10-50 мкм.

Температура цементации обычно находится в диапазоне 850-950°C, что ниже температуры спекания твердого сплава (1400-1500°C), чтобы избежать укрупнения зерна или ухудшения характеристик матрицы. Скорость диффузии углерода ($\sim 10^{-11}$ см²/с) определяет толщину и качество цементированного слоя и должна точно контролироваться температурой, углеродным потенциалом и временем.

Процесс цементации: от традиционного к современному

Процесс цементации принимает множество форм в зависимости от источника углерода и способа подачи энергии. Каждая форма имеет различные сценарии применения и эффекты в твердом сплаве:

Газовая цементация:

используя углеводороды (например, CH₄) или оксид углерода (CO) в качестве источника углерода, она проводится в контролируемой атмосфере при температуре 850-950 °C. CH₄ разлагается на активные атомы углерода (C) и H₂, а атомы углерода диффундируют к поверхности: CH₄ → C + 2H₂. Газовая цементация подходит для массового производства, с равномерной толщиной науглероженного слоя (10-30 мкм) и твердостью до HV 2000-2200, но углеродный потенциал (0,8-1,2 мас. %) необходимо точно контролировать, чтобы избежать чрезмерной цементации или

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

обезуглероживания.

Твердая цементация:

Образец карбида погружается в углеродный порошок (например, графит), нагревается до 900-950°C, и углерод диффундирует через прямой контакт. Оборудование для твердой цементации простое и подходит для экспериментов в небольших масштабах, но однородность цементированного слоя плохая (отклонение толщины ± 5 мкм), а эффективность низкая.

Плазменная цементация:

В плазменной среде при температуре 700-900°C электрическое поле используется для активации источника углерода (например, CH_4) для генерации высокоактивных ионов углерода. Плазма ускоряет диффузию углерода (скорость увеличивается до $\sim 10^{-10} \text{ см}^2 / \text{с}$), образуя 20-40 мкм цементированный слой при более низкой температуре с твердостью HV 2200-2500, при этом снижая потребление энергии (примерно на 20% -30%).

Лазерная цементация:

используйте лазер (мощность 1-2 кВт) для локального нагрева поверхности в сочетании с источником углерода (например, углеродным порошковым покрытием) для достижения цементации. Лазерная цементация быстрая (<1 часа), толщина цементированного слоя контролируема (5-20 мкм), и она подходит для деталей сложной геометрической формы, но в зоне термического воздействия могут появиться микротрещины.

Эти формы процесса имеют свою направленность. Газовая цементация подходит для промышленного производства, плазменная цементация подчеркивает высокую эффективность и низкий расход, а лазерная цементация подходит для высокоточного локального усиления.

Роль цементации: многомерное улучшение производительности

Влияние цементации на эксплуатационные характеристики твердого сплава многогранно и в основном выражается в следующих ключевых эффектах:

Улучшенная твердость и износостойкость:

Слой, богатый WC (толщиной 10-30 мкм), образованный путем науглероживания, значительно увеличивает твердость поверхности (HV 2000-2500), что намного выше, чем у матрицы (HV 1500-1800). Высокотвердый слой карбида повышает способность противостоять абразивному износу и износу скольжения, а скорость износа может быть снижена до $< 0,08 \text{ мм}^3 / \text{Н} \cdot \text{м}$. Например, в режущих инструментах цементированные твердосплавные инструменты могут выдерживать более высокие скорости резания (> 1000 м/мин) и увеличивают свой срок службы на 20% -30%.

Улучшенная коррозионная стойкость:

Слой, богатый WC, уменьшает воздействие фазы Co и улучшает стабильность поверхности в кислых ($\text{pH} < 5$) или окислительных средах ($> 600^\circ\text{C}$). После цементации на поверхности фазы Co может образоваться тонкий слой Co_3C или Co_2C , что дополнительно ингибирует реакцию коррозии и продлевает срок службы материала в коррозионных условиях (например,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

в глубоководных клапанах).

Улучшенная усталостная прочность:

остаточное сжимающее напряжение (>400 МПа), создаваемое цементацией, генерируется за счет объемного расширения, что эффективно подавляет возникновение и распространение поверхностных трещин, а усталостная долговечность может быть увеличена до $>10^5$ раз. Особенно в сценариях высокоцикловой нагрузки (например, авиационные инструменты) цементированный слой значительно повышает надежность.

Оптимизация микроструктуры:

во время цементации атомы углерода внедряются в решетку WC или утолщенные частицы карбида, прочность связи границ зерен повышается (>150 МПа), а тенденция к межзеренному разрушению снижается. Анализ SEM показывает, что поверхность разрушения после цементации в основном состоит из небольших ямок (<1 мкм), что указывает на увеличение доли пластического разрушения.

Улучшенная термостойкость:

науглероженный слой повышает устойчивость поверхности к размягчению при высоких температурах и может сохранять высокую твердость (>1800 HV) при $600-800$ °C, что делает его пригодным для использования в качестве штамповочных штампов при высоких температурах.

Стоит отметить, что цементация не оказывает положительного влияния на все свойства. Слишком толстый цементированный слой (>50 мкм) может увеличить хрупкость поверхности и снизить вязкость разрушения (K_{IC}) на 5%-10%. Для баланса твердости и вязкости требуется оптимизация процесса.

Ключевые факторы влияния: основные контрольные точки для оптимизации производительности

Эффект науглероживания зависит от совокупного воздействия параметров процесса, свойств материала и внешних условий. Ниже приведены ключевые факторы:

Температура и время:

Оптимальный диапазон температур составляет $850-950$ °C, а толщина науглероженного слоя увеличивается линейно со временем (2-10 часов) (толщина 10-50 мкм). Слишком высокая температура (>1000 °C) приведет к размягчению фазы Co или укрупнению зерен (>2 мкм), а твердость снизится на 15%-20%. Слишком длительное время (>12 часов) может вызвать внутреннее обезуглероживание и повлиять на производительность матрицы.

Контроль углеродного потенциала:

Углеродный потенциал (содержание углерода) необходимо поддерживать на уровне 0,8-1,2 мас. %. Если он слишком низок ($<0,6$ мас. %), науглероженный слой будет неполным и твердость будет недостаточной. Если он слишком высок ($>1,5$ мас. %), будет образовываться слой из-под углерода (например, свободного углерода), что увеличит хрупкость.

Микроструктура материала:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Содержание Со: Содержание Со 8%-12% обеспечивает наилучший канал диффузии углерода. Слишком низкое содержание (<6%) ограничивает диффузию углерода, а слишком высокое (>15%) вызывает размягчение поверхности.

Размер зерна WC: Если размер зерна <0,5 мкм, прочность связи науглероженного слоя высокая, а твердость значительно увеличивается; если размер зерна >2 мкм, диффузия углерода неравномерная, а твердость увеличивается <10%.

Состояние поверхности:

Начальная шероховатость Ra < 0,1 мкм обеспечивает плотное сцепление цементованного слоя, при > 0,2 мкм возможно появление дефектов в цементованном слое и увеличение скорости износа на 15%-20 %.

Условия последующей обработки:

Низкотемпературный отпуск (200-400°C, 1-2 часа) после цементации может снять остаточное напряжение (<100 МПа), но если температура слишком высокая (>500°C), твердость цементированного слоя снизится.

Эффекты практического применения: от лабораторной до инженерной практики

Применение технологии цементации в области твердого сплава является относительно зрелым, и ее фактический эффект был проверен во многих инженерных сценариях:

Режущий инструмент:

Инструменты WC-10Co науглерожены (слой науглероживания 20 мкм, твердость HV 2000). При высокоскоростной резке (>1000 м/мин) срок службы увеличивается на 25%, а эффективность резки увеличивается на 20%. Подходит для обработки авиационных алюминиевых сплавов.

Буровая коронка для горнодобывающей промышленности: После цементации буровой коронки WC-8Co (слой

цементации 15 мкм) скорость износа снижается до <0,08 мм³/Н·м, дальность бурения увеличивается до >1500 м, эффективность увеличивается на 50%, а себестоимость добычи значительно снижается.

Штамповочный штамп:

цементация штампа WC-12Co (слой цементации 30 мкм, твердость >2200), время экструзии >10⁶ раз, увеличено на 25% для удовлетворения потребностей высокочастотной штамповки.

Глубоководное оборудование: срок службы

глубоководных клапанов WC-10Co (слой проницаемости 25 мкм) увеличен до более чем 4 лет в условиях высокого давления (>80 МПа) и коррозионной среды (pH <5), что на 40% больше, что свидетельствует об отличной коррозионной стойкости.

Ограничения и направления совершенствования технологии цементации

Хотя технология цементации значительно улучшила эксплуатационные характеристики твердого сплава, она все еще имеет следующие ограничения:

Риск хрупкости: слишком толстый цементированный слой (>50 мкм) может вызвать охрупчивание поверхности, снижая K_{1c} на 5–10 %, что ограничивает возможности

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

применения при динамических нагрузках .

Сложность процесса: контроль углеродного потенциала затруднен и требует высокоточного оборудования (отклонение температуры $\leq \pm 5^{\circ}\text{C}$), что увеличивает себестоимость продукции (примерно на 15–20%).

Ограничение глубины: Глубина цементации обычно составляет $< 50\text{ мкм}$, что не может удовлетворить требованиям глубокого упрочнения.

Улучшения включают в себя:

Композитное укрепление: сочетание технологии цементации и нанесения покрытия (например, покрытия TiN) для формирования градиентной структуры и улучшения характеристик глубоких слоев.

Интеллектуальное управление: разработать интеллектуальную систему цементации для мониторинга углеродного потенциала и толщины слоя цементации в режиме реального времени с помощью датчиков для повышения стабильности процесса.

Недорогие источники углерода: изучите источники углерода, полученные путем рекуперации биоугля или отработанного газа, чтобы сократить расходы и повысить устойчивость.

Благодаря поверхностной диффузии и реакции углеродных элементов технология цементации карбида вольфрама формирует высокотвердый обогащенный WC слой, который значительно повышает твердость, износостойкость, коррозионную стойкость и усталостную прочность. Различные формы процесса (такие как газовая цементация и плазменная цементация) обеспечивают разнообразные методы применения, а их эффекты оптимизируются путем регулирования температуры, углеродного потенциала и микроструктуры. Несмотря на проблемы хрупкости и стоимости, технология цементации продемонстрировала большой потенциал в режущих инструментах, горнодобывающем и глубоководном оборудовании и, как ожидается, в будущем еще больше преодолеет ограничения за счет композитного усиления и интеллектуального развития.

Сравнительная таблица различных концепций и функций цементации твердого сплава

проект	Непреднамеренное науглероживание (плохой контроль углерода во время производства)	Процесс цементации (процесс улучшения характеристик твердого сплава)
Определение и сущность	Из-за неконтролируемого углеродного потенциала или колебаний содержания углерода в сырье в процессе производства (например, спекания) атомы углерода случайно диффундируют на поверхность, образуя неожиданный науглероженный слой.	Процесс высокотемпературной термохимической обработки позволяет вводить углеродные элементы в поверхность твердого сплава для оптимизации его характеристик за счет точного контроля источника углерода, температуры и времени.
Форма процесса	- Возникает в производственных звеньях, таких как спекание, без специального контроля процесса. - Источник углерода: избыток углерода	- Газовая цементация: CH_4 или CO , $850\text{--}950^{\circ}\text{C}$. - Твердая цементация: Контакт с углеродным порошком, $900\text{--}950^{\circ}\text{C}$. - Плазменная цементация: Активация плазмы CH_4 , $700\text{--}900^{\circ}\text{C}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

проект	Непреднамеренное науглероживание (плохой контроль углерода во время производства)	Процесс цементации (процесс улучшения характеристик твердого сплава)
	в атмосфере (например, разложение CH_4). Температура: температура спекания (1300-1500°C).	- Лазерная цементация: Лазерный нагрев, мощность 1-2 кВт.
Характеристики проницаемого слоя	- Толщина: 5-60 мкм, неравномерная. Твердость: HV 1800-2200, большие колебания (отклонение ± 200 HV). - Может сопровождаться свободным углеродом или обезуглероживанием.	- Толщина: 10-30 мкм, равномерная. - Твердость: HV 2000-2500, стабильная (отклонение $< \pm 50$ HV). - Слой, богатый WC, плотный.
Твердость и износостойкость	- Твердость увеличилась до HV 1800-2200, но распределение неравномерное. Износостойкость улучшилась, скорость износа $< 0,1 \text{ мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}$, но локальная перекарбонизация снижает эффект.	- Твердость повышена до HV 2000-2500, равномерная. - Износостойкость значительно улучшена, скорость износа $< 0,08 \text{ мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}$, подходит для условий трения с высокими нагрузками.
Устойчивость к коррозии	- Науглероженный слой неравномерный, локальная перенауглероживание образует свободный углерод, который легко растворяется, фаза Co более открыта, а коррозионная стойкость снижается (например, в среде с $\text{pH} < 5$).	- Слой, обогащенный WC, уменьшает воздействие фазы Co, повышает коррозионную стойкость и подходит для кислых ($\text{pH} < 5$) или высокотемпературных окислительных сред ($> 600^\circ\text{C}$).
Эффективность против усталости	- Неравномерное остаточное напряжение (локально < 200 МПа) может привести к появлению микротрещин и снижению усталостной долговечности ($< 10^4$ раз).	- Остаточное напряжение сжатия > 400 МПа, усталостная долговечность увеличена в $> 10^5$ раз, подходит для сценариев с высокой циклической нагрузкой.
Микроструктура	- Прочность связи по границам зерен неравномерная (местами < 100 МПа), доля межзеренного разрушения высокая ($> 50\%$), структурная стабильность низкая.	- Прочность связи по границам зерен повышена (> 150 МПа), излом в основном ямочный (< 1 мкм), пластичность и хрупкость сбалансированы, структура стабильна.
Термическая стабильность	- Локальная перекарбонизация приводит к неравномерной термической стабильности и значительному снижению твердости (< 1500 HV) при высоких температурах ($> 600^\circ\text{C}$).	- Науглероженный слой сохраняет твердость > 1800 HV при температуре $600-800^\circ\text{C}$, что подходит для высокотемпературной резки или штамповки.
Вязкость разрушения (K_{IC})	- Слишком толстый цементированный слой (> 50 мкм) или слишком большой цементированный слой приводит к повышению хрупкости и снижению K_{IC} на 10%-20% ($< 10 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$).	- Умеренно науглероженные слои (< 30 мкм) насыщены углеродом за счет фазы Co, что увеличивает K_{IC} на 5%-10% ($10-14 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$).
Температура и время	- Температура: $1300-1500^\circ\text{C}$ (температура спекания), время не контролируется и может быть слишком длительным (> 10 часов), что приведет к чрезмерному науглероживанию или обезуглероживанию.	- Температура: $850-950^\circ\text{C}$, время 2-10 часов, толщина диффузионного слоя 10-50 мкм, точный контроль.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

проект	Непреднамеренное науглероживание (плохой контроль углерода во время производства)	Процесс цементации (процесс улучшения характеристик твердого сплава)
Углеродный потенциал	- Неконтролируемый углеродный потенциал ($>1,5\%$ по весу или $<0,6\%$ по весу), что приводит к неполной или чрезмерной цементации.	- Углеродный потенциал 0,8-1,2 мас. %, точно регулируется регулятором массового расхода для обеспечения равномерного слоя науглероживания.
Содержимое	- Колебания содержания Со влияют на диффузию углерода: $<6\%$ приводит к ограниченной диффузии, $>15\%$ приводит к размягчению.	- 8%-12% обеспечивает наилучший канал диффузии с балансом между прочностью и твердостью.
Размер зерна WC	- Если размер зерна $>2\text{ мкм}$, диффузия углерода неравномерна и эксплуатационные характеристики сильно колеблются.	- При размере зерна $<0,5\text{ мкм}$ прочность сцепления цементованного слоя высокая, а твердость значительно увеличивается ($>10\%$).
Состояние поверхности	- Состояние поверхности не контролируется, Ra сильно колеблется, что может повлиять на адгезию цементированного слоя.	- Полировка до $Ra < 0,1\text{ мкм}$ обеспечивает плотное сцепление цементированного слоя и снижает скорость износа на 15%-20%.
Управляемость и повторяемость	- Неконтролируемые, большие различия в производительности между партиями (отклонение $> 20\%$).	- Контролируемость, отклонение партии $<5\%$, стабильная производительность.
Положительный случай	- Неприменимо, обычно считается производственным дефектом.	мкм слой инфильтрации, HV 2000), ожидаемый срок службы увеличен на 25%. - Горнодобывающие буровые коронки: WC-8Co (слой инфильтрации 15 мкм), расстояние бурения $> 1500\text{ м}$, увеличено на 50%. - Штампы для штамповки: WC-12Co (слой инфильтрации 30 мкм), время экструзии $> 10^6$ раз, увеличено на 25%. - Глубоководное оборудование: WC-10Co (слой инфильтрации 25 мкм), ожидаемый срок службы > 4 лет, увеличено на 40%.
Отрицательные случаи	- Партия сверл WC-10Co имела высокий углеродный потенциал ($>1,5\text{ мас. \%}$), науглероженный слой 60 мкм, $K_{1c} < 10\text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ и преждевременное разрушение (срок службы $<10^4$ раз).	- Неприменимо, эту проблему можно решить с помощью процесса цементации.
Направление улучшения	- Оптимизировать содержание углерода в сырье (отклонение $< 0,1\text{ мас. \%}$), улучшить контроль атмосферы и снизить непреднамеренное науглероживание.	-Интеллектуальная система цементации отслеживает углеродный потенциал в режиме реального времени и объединяет технологию нанесения покрытия для формирования градиентной структуры с целью улучшения характеристик глубокого слоя.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

Науглероживание и обезуглероживание твердого сплава

Твердый сплав (состоящий в основном из карбида вольфрама WC и связующих фаз, таких как Co и Ni, с содержанием WC 85-94 мас. % и связующей фазой 6-15 мас. %) широко используется в горнодобывающих кирках, инструментах, уплотнениях и формах благодаря своей высокой твердости (1400-2200 HV), высокой прочности (1,8-2,8 ГПа) и превосходной износостойкости. Науглероживание и обезуглероживание являются двумя ключевыми процессами, включающими регулирование содержания углерода при подготовке и использовании твердого сплава, которые напрямую влияют на микроструктуру, эксплуатационные характеристики и срок службы материала. Науглероживание вводит углерод в поверхность твердого сплава для повышения твердости поверхности, износостойкости и коррозионной стойкости; обезуглероживание вызывает ухудшение характеристик из-за потери углерода и часто избегается.

В данной статье объединены национальные стандарты (такие как GB/T 18376-2014, GB/T 5169-2013) с отраслевой практикой, подробно описан механизм цементации и обезуглероживания, процесс, влияние и меры контроля твердого сплава, а также умеренно рекомендованы возможности CTIA GROUP LTD по оптимизации процесса цементации и контролю обезуглероживания.

1. Науглероживание твердого сплава

1.1 Определение и механизм науглероживания

Науглероживание — это процесс диффузии атомов углерода в материал через высокотемпературную атмосферу (например, C₂H₂, CH₄) или твердый источник углерода (например, графит) на поверхности или в приповерхностной области твердого сплава с образованием высокоуглеродистой фазы (например, WC или η-фазы), тем самым улучшая твердость поверхности (увеличивается на 10-20%), износостойкость (снижается износ на 20-30%) и коррозионную стойкость (скорость коррозии <0,01 мм/год).

Механизм цементации:

Диффузия углерода: атомы углерода диффундируют через границы зерен WC и фазу Co при высоких температурах (1000-1200 °C) с коэффициентом диффузии $D \approx 10^{-12} - 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}$.

Образование науглероженной фазы:

Область с низким содержанием углерода: углерод реагирует с W, образуя WC (твердость 2000-2200 HV), что повышает износостойкость.

Область с высоким содержанием углерода: Избыточный углерод может образовывать η-фазу (например, Co₃W₃C, твердость >2500 HV, высокая хрупкость).

Модификация поверхности: Науглероженный слой (0,1-1 мм) образует градиентную

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

структуру с твердостью, изменяющейся от поверхности (2000-2200 HV) до сердцевины (1400-1600 HV).

Цель цементации:

Повышает твердость поверхности (до 1015%) и износостойкость (скорость износа $<0,05 \text{ мм}^3/\text{ч}$, ASTM G65).

Повышенная коррозионная стойкость ($\text{H}_2\text{SO}_4/\text{H}_2\text{S} <0,01 \text{ мм/год}$, NACE MR0175).

Формирование градиентных характеристик, балансировка износостойкости поверхности и прочности сердцевины ($\text{KIC } 1215 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$).

1.2 Процесс цементации

Цементация паром:

Введите углеродный газ (например, C_2H_2 , CH_4) в вакуумную печь или атмосферную печь.

Оборудование: Вакуумная печь для спекания ($10^{-2} - 10^{-3} \text{ Па}$, молибденовые нагревательные элементы).

параметр:

Температура: $1000-1200^\circ\text{C}$ (зерна WC стабильны, а фаза Co не переходит в жидкое состояние).

Газ: C_2H_2 (чистота $>99,9\%$), расход 510 л/мин , давление $10^{-2} - 10^{-3} \text{ Па}$.

Время: 13 часов (слой науглероживания $0,10,5 \text{ мм}$).

Атмосфера: H_2 (510 л/мин , для предотвращения окисления), $\text{O}_2 <5 \text{ ppm}$.

результат:

Толщина цементованного слоя: $0,2-0,5 \text{ мм}$, твердость $2000-2200 \text{ HV}$.

Содержание углерода: прирост поверхности $0,51 \text{ мас. \%}$, размер зерна $0,52 \text{ мкм}$.

Пористость: $<0,01\%$ (GB/T 51692013).

Применение: Горные резцы (стойкость поверхности к истиранию увеличена на 20%), режущий инструмент (стойкость резания увеличена на 30%).

Твердофазная цементация:

Метод: Поместите карбид в графитовый порошок или сажу и нагрейте при высокой температуре.

Оборудование: Высокотемпературная печь (защита Ar, 10^{-2} Па).

параметр:

Температура: $1100-1300^\circ\text{C}$.

Источник углерода: графитовый порошок (D50 15 мкм , чистота $>99,9\%$), степень заполнения $80-90\%$.

Время: 24 часа (слой науглероживания $0,51 \text{ мм}$).

Атмосфера: Ar (расход 5 л/мин , $\text{O}_2 <10 \text{ ppm}$).

результат:

Толщина цементованного слоя: $0,51 \text{ мм}$, твердость $1900-2100 \text{ HV}$.

Содержание углерода: Увеличение поверхности на $0,81,5 \text{ мас. \%}$, может появиться η -фаза.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Адгезия: >80 Н (испытание царапанием).

Применение: Формы (стойкость к износу увеличена на 20%), уплотнения (стойкость к коррозии увеличена на 15%).

Плазменная цементация:

Метод: Плазменный разряд усиливает активность атомов углерода и ускоряет их диффузию.

Оборудование: Печь плазменной цементации (глюющий разряд, 10^{-1} – 10^0 Па).

параметр:

Температура: 800-1000°C (низкая температура, защищающая подложку).

Газ: CH₄ (50%) + H₂ (50%), расход 1020 см³/мин.

Напряжение: 500—800 В, плотность тока 12 мА/см².

Время: 12 часов (слой науглероживания 0,10,3 мм).

результат:

Толщина цементованного слоя: 0,10,3 мм, твердость 2100-2300 HV.

Содержание углерода: увеличение поверхности на 0,30,8 мас. %, стабильность зерна.

Пористость: <0,001% (высокая плотность).

Применение: прецизионные инструменты (точность резки повышена на 10%), глубоководные уплотнители (стойкость к сероводороду <0,005 мм/год).

1.3 Эффект науглероживания

Преимущества цементации:

Улучшенная твердость: твердость поверхности увеличилась на 1015% (2000-2200 HV), износостойкость увеличилась на 2030% (потеря износа <0,05 мм³/ч).

Повышенная коррозионная стойкость: науглероженный слой плотный, а скорость коррозии H₂SO₄/H₂S составляет <0,01 мм/год.

Увеличенный срок службы: срок службы резца увеличивается на 3050% (1000-1500 часов), а срок службы инструмента увеличивается на 2030%.

Недостатки цементации:

Риск η-фазы: Избыточный углерод образует Co₃W₃C (твердость > 2500 HV, KIC <8 МПа·м^{1/2}), что увеличивает хрупкость и вероятность разрушения увеличивается на 1020%.

Сложность управления процессом: отклонение содержания углерода > ±0,2 мас. % может привести к неравномерной работе.

Увеличение затрат: оборудование для цементации (501 млн юаней/ед.) и стоимость газа (C₂H₂ 1020 юаней/м³).

1.4 Случай цементации

Горнодобывающий резец: WC+8%Co (Ø 20 мм), цементация паром (1100°C, C₂H₂ 5 л/мин, 2 часа), твердость поверхности 2100 HV, износ <0,05 мм³/ч, срок службы 1200 часов (600 часов для обычного резца).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Режущий инструмент: WC+6%Co (Ø 12 мм), плазменная цементация (900°C, CH₄+H₂, 1,5 часа), цементированный слой 0,2 мм, твердость 2200 HV, стойкость сплава Ti увеличена на 30%.

Уплотнение: YN10 (WC+10%Ni, Ø 50 мм), твердофазная цементация (1200°C, графитовый порошок, 3 часа), скорость коррозионной стойкости H₂S <0,005 мм/год, срок службы >1000 соединений.

2. Обезуглероживание твердого сплава

2.1 Определение и механизм декарбонизации

Обезуглероживание — это процесс спекания, термообработки или использования твердого сплава при высокой температуре, при котором содержание углерода на поверхности или в целом уменьшается за счет потери углерода (реакция с O₂, H₂ или улетучивание), образуя низкоуглеродистую фазу (например, обогащение фазой W₂C, Co), тем самым снижая твердость (снижается на 10–20 %), износостойкость и прочность.

Механизм декарбонизации:

Окисление углерода: при высоких температурах (>800°C) углерод реагирует с O₂, образуя CO/CO₂, а WC разлагается на W₂C (твердость 1600–1800 HV, низкая износостойкость).

Реакция: $2WC + O_2 \rightarrow W_2C + CO_2$.

Улетучивание углерода: Во время вакуумного спекания (10⁻⁴ Па, >1400°C) углерод теряется в газообразной форме (C, CO).

Обогащение фазы Co: После потери углерода доля фазы Co увеличивается (>20 мас. %) и образуется размягчающий слой (твердость <1000 HV).

Низкоуглеродистая фаза: W₂C (высокая хрупкость, KIC <8 МПа·м^{1/2}) или свободный W (твердость <1200 HV), снижает износостойкость.

Что происходит:

Спекание: Недостаточная депарафинизация (O₂ >10 ppm), высокотемпературное окисление.

Термическая обработка: Неправильный контроль атмосферы (избыток H₂, утечка O₂).

Применение: резка при высоких температурах (>1000°C, воздействие воздуха) или в коррозионной среде (потеря углерода под воздействием H₂S).

2.2 Декарбонизация (непреднамеренная)

состояние:

Температура: >800°C (спекание 1350-1450°C, термообработка 1000-1200°C).

Атмосфера: O₂ (>10 ppm), H₂ (расход >20 л/мин, чтобы вызвать улетучивание C).

Степень вакуума: >10⁻² Па (потери углекислого газа).

Время: >1 часа (обезуглероженный слой 0,10,5 мм).

результат:

Толщина обезуглероженного слоя: 0,11 мм, твердость снижается до 1000-1600 HV.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Содержание углерода: поверхность уменьшилась на 0,52 % по массе , соотношение W2C увеличилось на 1030%.

Пористость: увеличилась на 0,01–0,05% (микротрещины).

Эксплуатационные характеристики: Износостойкость снизилась на 2050% (скорость износа > 0,1 мм³/ч), вероятность разрушения увеличилась на 2030%.

2.3 Влияние декарбонизации

Недостатки декарбонизации:

Снижение твердости: твердость поверхности снижается на 1020% (1000-1600 HV), а износостойкость снижается на 2050%.

Снижение прочности: W2C очень хрупкий, прочность на изгиб снижается на 10–15 % (<2 ГПа), а вероятность разрушения увеличивается на 20–30 %.

Ухудшение коррозионной стойкости: слой обезуглероживания рыхлый, скорость коррозии увеличивается на 50-100% (H₂SO₄ >0,05 мм/год).

Сокращение срока службы: срок службы резца сокращается на 30–50 % (<500 часов), а эффективность резки инструмента снижается на 20 %.

Дело о декарбонизации:

Отказ резца: WC+10%Co (Ø 20 мм), спеченный (1450°C, O₂ 20 ppm), слой обезуглероживания поверхности 0,3 мм, твердость 1400 HV, износ 0,15 мм³/ч, срок службы 400 часов (нормальный 800 часов).

Износ инструмента: WC+6%Co (Ø 12 мм), резка при высокой температуре (1000°C, воздух), слой обезуглероживания 0,2 мм, соотношение W2C 20%, стойкость резания снижена на 30%.

2.4 Контроль декарбонизации

Оптимизация атмосферы:

Контроль H₂: расход 515 л/мин (депарафинизация/спекание), O₂ <5 ppm, для предотвращения улетучивания C.

от аргона : во время спекания/термической обработки расход аргона составляет 510 л/мин, O₂ <10 ppm.

Степень вакуума: 10⁻⁴–10⁻⁵ Па, для снижения потерь углеродного газа.

Оптимизация депарафинизации:

Температура: 200–600 °C, скорость нагрева 3 °C/мин, H₂ 10 л/мин.

Результаты: остаточный углерод <0,05%, O₂ <5 ppm, обезуглероженный слой <0,01 мм.

Оптимизация спекания:

Температура: 1350-1450°C, контроль температуры ±3°C, избегать перегрева .

ГИП: 1350°C, 120 МПа (Ar), пористость <0,001%, подавлено W2C.

Обнаружение и ремонт:

Контроль: СЭМ (соотношение W2C <5%), РФЭС (отклонение содержания углерода <±0,1 мас. %).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ремонт: Цементация (1100°C, C2H2 5 л/мин, 1 час), восстановленная твердость 2000 HV.
Пример: сплав WC+8%Co (Ø 20 мм), оптимизированное спекание (1350°C, 10⁻⁵ Па, H2 10 л/мин), без обезуглероженного слоя, твердость 2000 HV, срок службы 1000 часов.

3. Сравнение цементации и обезуглероживания

характеристика	науглероживание	Декарбонизация
определение	Атомы углерода диффундируют в поверхность, образуя высокоуглеродистую фазу.	Потеря углерода, образование фазы с низким содержанием углерода
механизм	Диффузия углерода приводит к образованию фазы WC/η	Окисление/улетучивание углерода приводит к обогащению W2C/Co
температура	1000-1200°C	>800°C
атмосфера	C2H2/CH4, H2, Ar	O2 (>10 ppm), избыток H2
Толщина слоя	0,11 мм	0,11 мм
твердость	Увеличено на 1015% (2000-2200 HV)	1020% снижение (1000-1600 HV)
Износостойкость	Увеличение 2030% (<0,05 мм³/ч)	Снижение 2050% (>0,1 мм³/ч)
Устойчивость к коррозии	Увеличение 2050% (<0,01 мм/год)	Падение 50-100% (>0,05 мм/год)
прочность	η фаза слишком низкая (KIC <8 МПа·м ^{1/2})	W2C увеличивается и уменьшается (KIC <8 МПа·м ^{1/2})
приложение	Отмычки, резак, пломбы	Избегать, использовать после ремонта
контроль	источника углерода, время	Атмосфера (O2 <5 ppm), вакуум

4. Предложения по оптимизации

Оптимизация цементации:

Источник углерода: C2H2 (510 л/мин), CH4 (1020 см³/мин), чистота >99,9%.
Температура: 1000-1100°C (газовая фаза/плазма), избегать η-фазы (<5 об.%).
Время: 12 часов, цементированный слой 0,20,5 мм, отклонение твердости <±50 HV.
Контроль: СЭМ (зерно WC 0,52 мкм), РФЭС (содержание углерода ±0,1 мас. %).
Последующая обработка: полировка (Ra <0,2 мкм), PVD CrN (2 мкм), износостойкость увеличена на 30%.

Контроль декарбонизации:

Атмосфера: H2 10 л/мин, O2 <5 ppm, Ar 5 л/мин.
Вакуум: 10⁻⁵ Па, потери углерода при спекании/термообработке снижаются на 90%.
Депарафинизация: 200–600 °C, остаточный углерод <0,05%, O2 <5 ppm.
ГИП: 1350°C, 120 МПа, пористость <0,001%, W2C <5%.
Мониторинг: Онлайн-спектроскопия (концентрация O2/CO), отклонение содержания

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

углерода $\leq \pm 0,1$ мас. %.

Оптимизация оборудования:

Печь для спекания: регулировка температуры $\pm 3^{\circ}\text{C}$, вакуум 10^{-5} Па, однородность $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

Газовая система: точность расхода $\text{C}_2\text{H}_2/\text{CH}_4 \pm 0,1$ л/мин, обнаружение $\text{O}_2 < 5$ ppm.

Контроль: СЭМ/РФС (зерно/состав), ультразвук (трещины $> 0,1$ мм).

Адаптация приложения:

Науглероживание: горные резцы (высокопрочные породы), инструменты (высокоскоростная резка).

Ремонт безуглероживания: цементация (1100°C , C_2H_2 , 1 час) + покрытие (CrN , 2 мкм).

5. Стандарты

GB/T 183762014: Пористость $< 0,01\%$, однородность $> 95\%$.

GB/T 51692013: Пористость A02B00C00 (вакуум), A00B00C00 (HIP).

GB/T 38502015: Плотность $14,515,0$ г/см³, отклонение $\leq \pm 0,1$ г/см³.

GB/T 38512015: прочность на изгиб $1,82,8$ ГПа.

GB/T 7997-2017: Твердость $1400-2200$ HV.

NACE MR0175: устойчивость к $\text{H}_2\text{S}/\text{CO}_2$, скорость коррозии $< 0,005$ мм/год.

ASTM G65: Скорость износа $< 0,05$ мм³/ч.

ISO 6508: Отклонение твердости $< \pm 50$ HV.

6. Заключение

Науглероживание твердого сплава осуществляется посредством газовой (C_2H_2 , $1000-1200^{\circ}\text{C}$), твердофазной (графит, $1100-1300^{\circ}\text{C}$) или плазменной цементации (CH_4 , $800-1000^{\circ}\text{C}$), образуя на поверхности науглероженный слой толщиной $0,11$ мм, повышая твердость до $2000-2200$ HV, увеличивая износостойкость на 2030% (потери на износ $< 0,05$ мм³/ч) и коррозионную стойкость на 2050% ($\text{H}_2\text{S}/\text{H}_2\text{SO}_4 < 0,01$ мм/год), что значительно продлевает срок службы резца ($1000-1500$ часов), инструмента и уплотнения (увеличивается на 3050%). Декарбюризация образует слой, богатый $\text{W}_2\text{C}/\text{Co}$, из-за высокотемпературного ($> 800^{\circ}\text{C}$) окисления или улетучивания углерода, что снижает твердость на 1020% ($1000-1600$ HV) и износостойкость на 2050% . Его необходимо контролировать путем оптимизации атмосферы ($\text{O}_2 < 5$ ppm), вакуума (10^{-5} Па) и HIP (1350°C , 120 МПа). Точный процесс цементации (C_2H_2 510 л/мин, 12 часов) и строгое предотвращение и контроль декарбюризации (H_2 10 л/мин, остаточный углерод $< 0,05\%$) могут обеспечить стабильную работу твердого сплава.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

приложение:

Что такое струйная обработка связующим веществом твердого сплава?

Струйная обработка связующим веществом твердого сплава (WC-Co) — это передовая технология аддитивного производства, которая использует жидкие связующие вещества для селективного связывания порошков твердого сплава для создания высокопроизводительных трехмерных структур слой за слоем. Она подходит для производства сложных режущих инструментов из твердого сплава, горных буров и износостойких форм. Технология была разработана Массачусетским технологическим институтом (MIT) в 1994 году (ссылка: патент MIT US5340656A) и позднее была коммерциализирована компаниями ExOne, Desktop Metal и другими. В последние годы она широко используется в области твердого сплава. Ниже приводится подробное обсуждение определения, истории, принципов, технологического процесса, технических параметров, характеристик, областей применения, данных о производительности и стратегий оптимизации.

1. Определение и основные понятия литья под давлением твердого сплава

Струйная обработка связующего из цементированного карбида — это метод аддитивного производства, основанный на порошковом слое. Он использует высокоточную струйную обработку связующих для связывания порошков цементированного карбида (например, WC-Co) и постепенного их укладывания в трехмерные детали. В отличие от традиционных методов производства цементированного карбида (например, прессования и спекания) или 3D-печати типа плавления (например, селективной лазерной плавки, SLM), струйная обработка связующего не расплавляет порошок напрямую, а обеспечивает начальное затвердевание между частицами посредством физического или химического воздействия связующего. Полученное «зеленое тело» (Green Part) необходимо подвергнуть последующей обработке, такой как обезжиривание и спекание, для повышения прочности и плотности.

Пригодность литья под давлением связующего вещества из твердого сплава:

Твердый сплав (WC-Co, содержание Co 6%-12%), твердость может достигать HV 1500-1800, вязкость разрушения (K_{IC}) 10-15 МПа·м^{1/2}.

Подходит для деталей со сложной геометрией, таких как инструменты с внутренними каналами охлаждения или формы с пористой структурой.

История и развитие технологии литья под давлением связующего для твердого сплава

Технология струйной обработки связующего была впервые разработана Массачусетским технологическим институтом в 1994 году и изначально использовалась для литья в песчаные формы (патент US5340656A). В 1999 году компания ExOne вывела ее на рынок и выпустила первое коммерческое устройство ZPrinter 310. В 2016 году компания Desktop Metal выпустила Shop System, которая еще больше оптимизировала точность струйной обработки и эффективность производства.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Технология струйной обработки для обработки твердого сплава:

В 2018 году компания ExOne выпустила систему Innovent +, которая поддерживает формирование порошка WC-Co и имеет скорость печати до 2000 куб. см/ч.

В 2023 году компания Sandvik Additive Manufacturing выпустила порошок Osprey WC-Co (размер частиц 5–15 мкм), который оптимизирован для струйной обработки связующим и имеет плотность, увеличенную до 99,1%.

Недавний прогресс: по состоянию на 2025 год компания GE Research разработала новое связующее вещество на основе наночастиц (размер частиц <1 мкм), которое увеличивает прочность сырого тела на 30% (с 8 МПа до 10,4 МПа) и значительно снижает дефекты печати.

3. Принцип работы технологии струйной подачи связующего вещества

Литье под давлением связующего из твердого сплава позволяет изготавливать детали, выполняя следующие этапы:

Распыление порошка

распределите порошок твердого сплава (например, WC-10Co, размер частиц 5–20 мкм) по рабочей платформе с помощью валика или скребка; толщина слоя обычно составляет 50–100 мкм.

Для обеспечения высокого качества слоя порошок должен обладать высокой текучестью (угол естественного откоса <30°) и равномерным распределением размеров частиц (отклонение D50 <5%).

Струйное нанесение связующего

Высокоточные форсунки (разрешение 40-50 мкм, количество форсунок >1000) выборочно распыляют жидкое связующее в соответствии с данными САПР-модели.

К распространенным связующим веществам относятся связующие вещества на водной основе (например, поливиниловый спирт (ПВС) с вязкостью 5–10 мПа·с) и органические связующие вещества (например, фенольная смола с содержанием твердого вещества 30–40%). Связующее проникает в зазоры между частицами порошка (глубина проникновения 100-150 мкм) и затвердевает за счет физической связи или химической реакции (время отверждения 0,5-1 с).

Каскадное строительство

Платформа для сборки опускается на один слой (соответствующий толщине слоя), и процесс распределения и выброса порошка повторяется до тех пор, пока деталь не будет готова.

Несвязанный порошок действует как естественная опорная структура, сохраняя устойчивость детали без необходимости использования дополнительных опор.

Постобработка

Сырое тело извлекается из порошкового слоя и подвергается раскислению (200–400 °C, 2–4 ч) для удаления связующего вещества.

Спекание (1350-1450°C, вакуум <10⁻² Па, 4-8 часов) приводит к объединению частиц WC-Co и повышению плотности до 98%-99,2%.

Горячее изостатическое прессование (ГИП, 1500°C, 100 МПа, 2 ч) является необязательным для дальнейшего снижения пористости (<0,5%).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. Технологический процесс и технические параметры струйной обработки связующего вещества

Процесс струйной обработки связующего для твердого сплава включает в себя следующие подробные параметры:

Характеристики порошка:

Материал: порошок WC-Co (например, WC-8Co, WC-12Co).

Размер частиц: 5-20 мкм, отклонение D50 <5%, сферичность >0,9 (измерение с помощью СЭМ).

Химический состав: содержание WC 88%-94%, содержание Co 6%-12%, содержание кислорода <0,3 мас. % (анализ LECO).

Опудривание и распыление:

Толщина слоя: 50-100 мкм, отклонение $\leq \pm 5$ мкм (проверено лазерным дальнометром).

Давление впрыска: 0,2–0,5 МПа, объем одной капли 10–20 мкл (измерено с помощью высокоскоростной видеосъемки).

Скорость струи: 20-50 мм/с, разрешение печати 1200 точек/дюйм.

Отверждение и контроль окружающей среды:

Время отверждения клея: <1 с, температура окружающей среды 20-30°C, влажность 40%-60%.

Камера построения должна быть оборудована защитой инертным газом (например, азотом, содержание кислорода <500 ppm).

Постобработка:

Обезжиривание: 250-350°C, скорость нагрева 1-2°C/мин, поддержание тепла в течение 3 часов, остаточное содержание углерода <0,5 % по весу.

Спекание: 1350-1450°C, скорость нагрева 5°C/мин, степень вакуума $< 5 \times 10^{-3}$ Па, поддержание тепла в течение 6 часов.

Скорость усадки: Линейная усадка составляет 12–15 %, что требует предварительной компенсации (точность $\pm 0,1$ мм).

(измерено методом Архимеда), пористость <1% (КТ, разрешение <5 мкм).

Требования к оборудованию:

Высокоточные 3D-принтеры (например, ExOne Innovent+, сборочный объем 160×65×65 мм).

Печатающая головка: печатающая головка Хаар 1003, количество сопел 1000, разрешение 40 мкм.

Система подачи порошка: вибрационное просеивание, отклонение по однородности <3%.

Регулировка температуры: инфракрасный нагрев, отклонение $\leq \pm 2^\circ\text{C}$.

особенности технологии литья под давлением связующего вещества

Связующее литье под давлением из твердого сплава имеет следующие характеристики:

Высокая свобода дизайна:

Возможна печать сложных геометрических форм, таких как внутренние каналы охлаждения (диаметром 0,5–2 мм), пористые структуры (размер пор 0,1–1 мм) и тонкостенные детали (толщина стенки < 0,5 мм).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Поддерживает функциональный градиентный дизайн, такой как высокая поверхностная твердость (HV 1700) и высокая внутренняя прочность (K_{IC} с 12 МПа·м^{1/2}).

Низкий уровень тепловыделения:

, чтобы избежать укрупнения зерна (>2 мкм) или улетучивания фазы Co, вызванного высокотемпературным плавлением (>3000 °C).

Термическое напряжение составляет <50 МПа (измерено рентгеновским измерителем напряжений), что значительно ниже, чем у SLM (>200 МПа).

Высокая эффективность производства:

Скорость печати: 2000 куб. см/ч (данные ExOne), что позволяет производить 50-100 небольших деталей (объемом 10 см³) в час.

Не требуется никакой опорной конструкции, детали можно располагать плотно, а эффективность строительства повышается на 30–50%.

Совместимость материалов:

Поддерживает различные соотношения WC-Co, такие как WC-6Co (высокая твердость) и WC-12Co (высокая прочность).

Степень извлечения порошка составляет >99% и может быть использован повторно 5-10 раз (увеличение содержания кислорода <0,1 % по весу).

Экономическая эффективность:

Стоимость порошка: порошок WC-Co стоит 50–60 долл. США/кг (по данным Sandvik), что на 20–30 % ниже, чем порошок SLM.

Стоимость эксплуатации оборудования: 1–2 долл. США/час (потребляемая мощность <5 кВт·ч), стоимость единицы продукции 5–10 долл. США (объем детали 10 см³).

ограничение:

Сырое тело имеет низкую прочность (8–10 МПа, испытание на растяжение Instron) и легко ломается.

Степень усадки при спекании составляет 12–15 %, а отклонение размеров — ±0,1 мм, что требует точной предварительной компенсации.

Шероховатость поверхности: Ra 4-6 мкм (после спекания), для снижения до Ra < 0,1 мкм необходима дробеструйная обработка.

6. Области применения и эксплуатационные характеристики технологии струйной обработки связующего вещества

Литье под давлением из твердого сплава демонстрирует уникальную ценность в следующих областях:

Режущие инструменты:

Инструмент WC-10Co (толщина слоя 50 мкм), внутренний канал охлаждения (диаметр 1 мм) повышает эффективность отвода тепла на 25%, срок службы реза 15-18 часов (увеличение на 20%), скорость резки 1000 м/мин (авиационный алюминиевый сплав).

Горнодобывающая дрель:

Сверло WC-8Co (объем 50 см³), решетчатая структура (отверстие 0,5 мм), снижение веса на 15%, дальность бурения 1500-1800 м (увеличение на 50%), твердость HV 1650, K_{IC} с 12 МПа·м^{1/2}.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Износостойкая форма:

Фильера WC-12Co (толщина стенки 0,4 мм), время экструзии >1,2×10⁶ раз (увеличение на 25%), твердость HV 1700, скорость износа <0,09 мм³/Н · м (тест ASTM G65).

Быстрое прототипирование:

Производственный цикл составляет 6–8 часов (традиционное прессование и спекание занимает 3–5 дней), а затраты на НИОКР сокращаются на 50%, что подходит для проверки конструкции твердосплавного инструмента.

Данные по производительности (измеренные):

Твёрдость: HV 1650-1750 (твердомер Виккерса, нагрузка 30 кг).
Вязкость разрушения: K_{IC} с 11-13 МПа·м^{1/2} (метод одностороннего надреза, ASTM E399).
Плотность: 98,8%-99,2% (метод Архимеда).
Усталостная долговечность: >1,2×10⁵ раз (испытание на усталость при изгибе с вращением, 500 МПа).

7. Сравнение технологии струйной обработки связующего с другими технологиями

По сравнению с селективной лазерной плавкой (SLM):

Струйное нанесение связующего имеет более низкое термическое напряжение (<50 МПа по сравнению с >200 МПа) и меньший размер зерна (0,5–1 мкм по сравнению с 1–3 мкм) . Немного менее плотный (99% против 99,5%), но на 50% дешевле (5 долларов против 10 долларов за штуку).

По сравнению с традиционным прессованием и спеканием:

Технология Binder Jetting позволяет изготавливать сложные конструкции с короткими производственными циклами (8 часов против 5 дней), но требует более высокой точности контроля усадки (отклонение ±0,1 мм против ±0,05 мм).

Полный список, сравнивающий технологию струйной обработки связующего с другими технологиями формования

В следующей таблице сравнивается технология струйной обработки связующего (BJ) с селективной лазерной плавкой (SLM), электронно-лучевой плавкой (EBM), моделированием методом послойного наплавления (FDM), прессованием и спеканием (P&S) и направленным осаждением энергии (DED).

индекс	Струйное нанесение связующего (БЖ)	Селективное лазерное плавление (ОДС)	Электронно-лучевая плавка (ЭМБ)	Моделирование методом послойного наплавления (FDM)	Традиционное прессование и спекание (П&С)	Направленное энергетическое вложение (ДЕД)
принцип	Порошки соединяются путем распыления связующего, укладываются слой за слоем, а	Лазер расплавляет порошок, наносит его слой за слоем и придает ему расплавленную	Электронный луч расплавляет порошок и наносит его слой за слоем в условиях высокотемпературного вакуума.	Расплавленная проволока ekstrудировается, наносится слой за слоем, охлаждается и затвердевает.	Порошок прессуется и спекается при высокой температуре и для придания ему формы и	Лазер или дуга расплавляют порошок/проволоку и наносят его слой за слоем.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

индекс	Струйное нанесение связующего (БЖ)	Селективное лазерное плавление (ОДС)	Электронно- лучевая плавка (ЭМБ)	Моделирование методом послойного наплавления (FDM)	Традиционное прессование и спекание (П&С)	Направленное энергетическое вложение (ДЕД)
	затем спекаются и затвердевают.	форму.			затвердевания.	
Пригодность материала	Металл (например, WC- Co), керамика, песок; размер частиц порошка 5-20 мкм .	Металлы (такие как титановые сплавы, сталь), небольшое количество керамики; размер частиц 10-45 мкм .	Металлы (такие как титан, сплавы на основе никеля); размер частиц 20-75 мкм .	Термопласты, небольшое количество композитных материалов; диаметр проволоки 1,75-3 мм.	Металлически й порошок (например, WC-Co), керамика; размер частиц 1-10 мкм .	(сталь, никелевые сплавы), композитные материалы; порошок/проволока 50-150 мкм .
Точность	±0,1 мм, толщина слоя 50-100 мкм , разрешение 40- 50 мкм (сопло).	±0,05 мм, толщина слоя 20-50 мкм , разрешение 20- 30 мкм (лазерный луч).	±0,2 мм, толщина слоя 50-100 мкм , разрешение 50-100 мкм (электронный луч).	±0,2 мм, толщина слоя 100-200 мкм , разрешение 100- 200 мкм (сопло).	±0,05 мм, зависит от точности формы, размер частиц влияет на однородность.	±0,5 мм, толщина слоя 0,5-2 мм, разрешение 0,5-1 мм (расплавленная ванна).
Скорость печати	2000 куб.см/ч, 50-100 шт./час (10 см³) .	10-20 см³/ч, 5- 10 шт./час (10 см³) .	20-50 см³/ч, 5-15 шт./ч (10 см³) .	50-100 см³/ч, 10- 20 шт./ч (10 см³) .	Массовое производство, 1-5 часов на изделие (изготовление формы занимает несколько недель).	500-1000 см³/ч, 20- 50 шт./ч (10 см³) .
расходы	Средний (умеренные затраты на оборудование и материалы, низкие эксплуатационн ые расходы).	Высокая (дорогостоящее оборудование, высокие материальные и эксплуатационн ые затраты).	Высокая (оборудованию требуется вакуумная среда, материальные и эксплуатационные расходы высоки).	Низкие (низкие затраты на оборудование и материалы, низкие эксплуатационн ые расходы).	Средний (затраты на оборудование и материалы умеренные, но затраты на разработку пресс-формы высокие).	Средний (высокая стоимость оборудования, средние материальные и эксплуатационные затраты).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

индекс	Струйное нанесение связующего (БЖ)	Селективное лазерное плавление (ОДС)	Электронно-лучевая плавка (ЭМБ)	Моделирование методом послойного наплавления (FDM)	Традиционное прессование и спекание (П&С)	Направленное энергетическое вложение (ДЕД)
Качество поверхности	Ra 4-6 мкм (после спекания), Ra <0,1 мкм после дробеструйной обработки.	Ra 10-15 мкм, Ra необходимо обработать до Ra < 0,2 мкм.	Ra 20-30 мкм, Ra необходимо обработать до Ra < 0,5 мкм.	Ra 5-10 мкм, Ra требуется постобработка до Ra < 0,2 мкм.	Ra 0,1-0,5 мкм (точность формы), дополнительная обработка не требуется.	Ra 20-50 мкм, Ra необходимо обработать до Ra < 0,5 мкм.
Требования к постобработке	Удаление связующего (200-400 °С, 3 ч), спекание (1350-1450°С, 6 ч), горячее изостатическое прессование (опционально).	Термическая обработка (900-1200°С, 2 ч), механическая обработка.	Термическая обработка (1000-1300°С, 2 ч), механическая обработка.	Не требуется термическая обработка, удаление опор и шлифовка.	Спекание (1300-1500 °С, 4-8 ч) без дополнительной обработки.	Термическая обработка (800-1100°С, 2 ч), механическая обработка.
Свобода дизайна	Высокие внутренние каналы (0,5-2 мм), тонкие стенки (<0,5 мм), градиентная структура.	Средний, внутренние каналы (0,3-1 мм), требуется опорная конструкция.	Средний, внутренние каналы (0,5-2 мм), требуется опорная конструкция.	Низкий, ограничен проводным путем, внутренняя структура отсутствует.	Низкая, зависит от конструкции пресс-формы, ограничена сложными конструкциям и.	Высокие, реставрационные или крупногабаритные, внутренние каналы (1-5 мм).
Производительность карбида	Твердость HV 1650-1750, K ₁₀ 11-13 МПа·м ^{1/2} , плотность 98,8%-99,2%.	Твердость HV 1700-1900, K ₁₀ 10-12 МПа·м ^{1/2} , плотность 99,5%.	Твердость HV 1600-1800, K ₁₀ 9-11 МПа·м ^{1/2} , плотность 99,3%.	Неприменимо, трудно поддается обработке WC-Co.	Твердость HV 1800-2000, K ₁₀ 12-15 МПа·м ^{1/2} , плотность 99,8%.	Твердость HV 1600-1700, K ₁₀ 10-12 МПа·м ^{1/2} , плотность 98%-99%.
Тепловой стресс	<50 МПа (рентгеновский датчик напряжений), низкий подвод тепла.	>200 МПа, для снятия требуется термическая обработка.	>300 МПа, для снятия требуется термическая обработка.	<20 МПа, без подвода тепла.	<100 МПа, равномерный при спекании.	>150 МПа, для снятия требуется термическая обработка.
Размер зерна	0,5-1 мкм	1-3 мкм (после)	2-5 мкм (после)	непригодный.	0,5-2 мкм	5-10 мкм

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

индекс	Струйное нанесение связующего (БЖ)	Селективное лазерное плавление (ОДС)	Электронно-лучевая плавка (ЭМБ)	Моделирование методом послойного наплавления (FDM)	Традиционное прессование и спекание (П&С)	Направленное энергетическое вложение (ДЕД)
	(после спекания, измерено с помощью СЭМ).	плавления, измерение с помощью СЭМ).	плавления, измерение с помощью СЭМ).		(после прессования, измерено с помощью СЭМ).	(затвердевание расплавленной ванны, измерение с помощью СЭМ).
Сценарий применения	Режущий инструмент (WC-10Co), горнодобывающие буровые коронки, прототипы форм.	Высокоточные авиационные компоненты (Ti6Al4V), медицинские имплантаты.	Лопатки авиационных турбин (сплавы на основе никеля), запасные части.	Прототипирование, потребительские товары (детали из АБС-пластика).	Большое количество твердосплавного инструмента (сверла WC-Co).	Крупногабаритный ремонт металла, аддитивное производство (металлоконструкции).
ограничение	Сырое тело имеет низкую прочность (8-10 МПа) и усадку 12%-15%.	Высокая стоимость, требует опорной конструкции и имеет высокую термическую нагрузку.	Высокая стоимость, требует вакуумной среды и имеет шероховатую поверхность.	Ограниченный выбор материалов и отсутствие возможностей обработки металлов давлением.	Стоимость пресс-формы высока, а свобода дизайна ограничена.	Низкая точность, плохое качество поверхности и большая зона термического влияния.
Воздействие на окружающую среду	Степень извлечения порошка >99%, потребление энергии 5 кВт·ч/ч.	Степень извлечения порошка составляет 90%, а потребление энергии — 10 кВт·ч/ч.	Степень извлечения порошка составляет 85%, а потребление энергии — 15 кВт·ч/ч.	Низкий уровень отходов материалов и потребление энергии 2 кВт·ч/ч.	Отходы материалов составляют 5–10 %, а потребление энергии — 8 кВт·ч/ч.	Отходы материалов составляют 10–15%, а потребление энергии — 12 кВт·ч/ч.

приложение:

Применение цементированного карбида в новом энергетическом электролизере

Твердый сплав (состоящий в основном из карбида вольфрама WC и связующих фаз, таких как Co и Ni, содержание WC 8594 мас. %, связующая фаза 615 мас. %) имеет важный потенциал применения в новых энергетических электролизерах (таких как щелочной электролизер AWE, электролизер с протонообменной мембраной PEM и твердооксидный электролизер SOEC) благодаря своей высокой твердости (1400-2200 HV), превосходной износостойкости (потеря износа <0,05 мм³/ч, ASTM G65), коррозионной стойкости (H2SO4/H2S <0,01 мм/год, NACE MR0175) и высокой температурной стабильности (>800 °C). Новый энергетический электролизер является основным оборудованием зеленого водорода (H2), который производит водород и кислород путем электролиза воды, поддерживает хранение энергии возобновляемых источников энергии (таких как энергия ветра, солнечная энергия) и зеленую трансформацию жесткой декарбонизации промышленности (такой как сталелитейная и химическая промышленность).

На основе свойств материала, международных стандартов (таких как GB/T 183762014, IEC 62976) и отраслевых тенденций в области твердого сплава в данной статье анализируется его применение, проблемы и направления оптимизации в электролитических ячейках, а также умеренно рекомендуются возможности CTIA GROUP LTD в исследовании и разработке высокопроизводительных компонентов из твердого сплава. Четко указано, что содержание данной статьи не связано с процессом цементации и декарбюризации твердого сплава.

1. Обзор нового энергетического электролизера

Новые энергетические электролизеры производят зеленый водород путем электролиза воды ($H_2O \rightarrow H_2 + \frac{1}{2} O_2$) и подразделяются на следующие основные типы:

Щелочной электролизер (ЩЭ):

Принцип: в качестве электролита используется раствор KOH/NaOH (25–30 мас. %), в качестве электрода — никель или сталь с никелевым покрытием, а биполярные пластины разделяют катод и анод.

Функции:

Зрелая технология, низкие капитальные затраты (500–1000 евро/кВт, прогноз на 2030 год — 300 евро/кВт).

Эффективность: 6080% (4050 кВтч/кг H2).

Срок службы: >80 000 часов.

Проблемы: едкий электролит (pH >14), сложное разделение газа и жидкости.

Области применения: крупномасштабное производство водорода (>1 МВт), хранение энергии ветряных электростанций.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Электролизер с протонообменной мембраной (ПЭМ):

Принцип: использование твердой полимерной мембраны (например, Nafion) в качестве электролита, катализатора Pt/ Ir , биполярной пластины из Ti или нержавеющей стали .

Функции:

Высокая эффективность: 7090% (3545 кВтч/кг H₂).

Динамический отклик быстрый (секунды), что подходит для прерывистых возобновляемых источников энергии.

Капитальные затраты высоки (1000–2000 евро/кВт, прогноз на 2030 год — 500 евро/кВт).

Срок службы: 20 000–60 000 часов.

Проблемы: катализаторы на основе драгоценных металлов дороги и вызывают коррозию в кислых средах (pH < 2).

Области применения: Распределенное производство водорода, транспортные топливные элементы.

Твердооксидный электролизер (ТОЭ):

Принцип: использование керамических электролитов (например, YSZ), никелевых или перовскитных электродов при высоких температурах (500-850°C).

Функции:

Сверхвысокая эффективность: >90% (<40 кВтч/кг H₂).

Высокие капитальные затраты (>2000 €/кВт, лабораторная фаза).

Срок службы: 10 000–20 000 часов.

Проблемы: герметизация при высоких температурах, устойчивость к циклическим перепадам температур.

Применение: Объединение промышленного отходящего тепла и крупномасштабное производство водорода в будущем.

Области применения твердого сплава: твердый сплав в основном используется в ключевых компонентах электролизеров , таких как биполярные пластины, уплотнения, сопла и износостойкие покрытия электродов, которые выдерживают коррозию, износ и высокие температуры.

2. Применение твердого сплава в электролитических ячейках

Благодаря высокой твердости, коррозионной стойкости и механической стабильности твердый сплав может заменить традиционные материалы (такие как Ni, Ti, нержавеющая сталь) в электролитических ячейках, увеличивая срок службы компонентов (увеличивая на 2050%) и эффективность системы (уменьшая техническое обслуживание на 1020%). Конкретные области применения включают:

2.1 Твердосплавная биполярная пластина

Функция: разделяет ячейки электролизера , проводит электричество и распределяет электролит/газ.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Требовать:

Коррозионная стойкость: AWE (KOH, pH >14), PEM (H₂SO₄, pH <2).

Проводимость: Удельное сопротивление <10 мкОм·см.

Механическая прочность: прочность на сжатие >2 ГПа, прочность на изгиб 1,8-2,8 ГПа.

Износостойкость: Скорость износа <0,05 мм³/ч (ASTM G65).

Преимущества твердого сплава:

WCCo : Твердость 1400–2000 HV, скорость коррозионной стойкости KOH/H₂SO₄ <0,01 мм/год.

WCNi : немагнитный, кислотостойкость лучше, чем на основе Co (H₂SO₄ <0,005 мм/год).

Проводимость: Удельное сопротивление составляет 510 мкОм·см, что лучше, чем у Ti (40 мкОм·см).

Стабильность: Стабильность зерна при 800°C, отсутствие фазовых переходов.

Примеры:

Биполярная пластина AWE: WC10%Ni (Ø 200 мм, толщина 2 мм), скорость коррозии <0,005 мм/год, срок службы >100 000 часов (никелевая сталь 50 000 часов).

Биполярная пластина PEM: покрытие WC6%Co + CrN (2 мкм), кислотостойкость увеличена на 30%, проводимость сохранена на уровне 99%.

2.2 Твердосплавные уплотнения

Функция: Предотвращение утечки электролита и обеспечение герметичности (разделение H₂/O₂).

Требовать:

Коррозионная стойкость: Устойчив к KOH/H₂SO₄/H₂S.

Износостойкость: антифреттинговый износ (скорость износа <0,01 мм³/ч).

Высокая температурная стабильность: для SOEC требуется >800°C.

Преимущества твердого сплава:

WCCo /Ni: твердость 1600-2200 HV, лучшая стойкость к фреттингу, чем у PTFE (снижение износа на 50%).

Коррозионная стойкость: H₂S <0,005 мм/год (NACE MR0175).

Высокая температура: температура плавления WC 2870°C, SOEC экологически стабилен.

Примеры:

Уплотнительное кольцо SOEC: WC8%Ni (Ø 50 мм), герметичность >99,9% при 800°C, срок службы >15 000 часов (керамическое уплотнение <10 000 часов).

Уплотнительная прокладка AWE: WC10%Co (толщина 1 мм), скорость коррозии под воздействием окружающей среды KOH <0,01 мм/год, интервал технического обслуживания увеличен на 20%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.3 Твердосплавное сопло и труба

Функция: транспортировка электролита, H_2/O_2 , необходимость противостоять эрозии и коррозии.

Требовать:

Устойчивость к эрозии: высокоскоростной поток газа и жидкости (>10 м/с).

Коррозионная стойкость: Устойчив к KOH/ H_2SO_4 .

: Ra $<0,2$ мкм .

Преимущества твердого сплава:

WCCo : твердость 2000 HV, срок службы при эрозионной стойкости увеличен на 30–50 % (по сравнению с нержавеющей сталью).

Полировка поверхности: Ra 0,10,2 мкм, уменьшает адгезию пузырьков.

Коррозионная стойкость: $H_2SO_4 <0,01$ мм/год.

Примеры:

Сопло PEM: WC6%Co ($\varnothing$ 10 мм), срок службы при эрозии 50 000 часов (Ti 20 000 часов).

Футеровка труб AWE: WC10%Ni (толщиной 2 мм), скорость коррозии KOH $<0,005$ мм/год, затраты на техническое обслуживание снижены на 15%.

2.4 Покрытие карбидного электрода

Функция: Повышение каталитической эффективности электрода и снижение перенапряжения.

Требовать:

Каталитическая активность: Перенапряжение <300 мВ (OER/HER).

Коррозионная стойкость: устойчивость к кислотам/щелочам/высоким температурам.

Адгезия: >80 Н (испытание царапанием).

Преимущества твердого сплава:

Покрытие на основе WC: композит с Ni и Pt, перенапряжение 200-250 мВ, лучше, чем у чистого Ni (300 мВ).

Коррозионная стойкость: $H_2SO_4/KOH <0,01$ мм/год.

Адгезия: >100 Н (процесс PVD).

Примеры:

Электрод AWE: покрытие WCNi (5 мкм) , перенапряжение OER 220 мВ, увеличение эффективности 5% (электрод Ni 280 мВ).

Электрод ПЭМ: покрытие WCPt (2 мкм) , перенапряжение HER 200 мВ, срок службы увеличен на 20%.

3. Преимущества и недостатки твердого сплава

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.1 Преимущества твердого сплава

Коррозионная стойкость:

WCCo /Ni в KOH (pH >14) и H₂SO₄ (pH <2) составляет <0,01 мм/год, что лучше, чем у стали Ni (0,05 мм/год) или Ti (0,02 мм/год).

Устойчив к коррозии H₂S/H₂, подходит для глубоководных или высокотемпературных электролизеров .

Стойкость к истиранию:

Твердость 1400-2200 HV, скорость износа <0,05 мм³/ч (ASTM G65), лучшая стойкость к эрозионному/фреттинговому износу, чем у нержавеющей стали (скорость износа 0,1 мм³/ч).

Стабильность при высоких температурах:

Температура плавления WC составляет 2870°C, а в среде SOEC (500-850°C) фазовых переходов не происходит, что лучше, чем у Ni (1455°C).

Электропроводность:

Удельное сопротивление составляет 510 мкОм·см , что соответствует требованиям биполярных пластин и лучше, чем у Ti (40 мкОм·см) .

Срок службы и экономическая эффективность:

Срок службы компонентов увеличился на 2050% (>100 000 часов), а затраты на техническое обслуживание снизились на 1020%.

Хотя первоначальная стоимость высока (WC 50-100 \$/кг против Ni 20 \$/кг), стоимость жизненного цикла низкая.

3.2 Проблемы

Сложность обработки:

Твердый сплав имеет высокую твердость (1400-2200 HV) и требует алмазного инструмента или электроэрозионной обработки, что увеличивает затраты на 20-30%.

Сложные формы (например, биполярные пластинчатые проточные каналы) требуют длительных циклов обработки (>10 часов/изделие).

расходы:

Порошок WC (чистота >99,9%) и спекание (1350-1450°C, 10⁻⁵ Па) обходятся дорого: цена за штуку в 23 раза выше, чем у Ti.

Покрyтия из драгоценных металлов (таких как Pt, Ir) еще больше увеличивают капитальные затраты.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

масса:

Плотность 14,515,0 г/см³ (против Ti 4,5 г/см³), не подходит для мобильных электролизеров.

Каталитическая активность:

Чистый WC имеет ограниченную каталитическую активность (перенапряжение > 300 мВ) и требует композитного покрытия Pt/Ni, что усложняет процесс.

хрупкость:

Прочность ниже (KIC 1215 МПа·м^{1/2} против Ni 50 МПа·м^{1/2}), а ударопрочность необходимо оптимизировать.

4. Направление оптимизации

Материал:

WCNi : увеличение содержания Ni (1015 мас. %) улучшает кислотостойкость (H₂SO₄ <0,005 мм/год) и снижает растворение Co.

Nano WC: размер зерна 0,20,5 мкм, твердость увеличена на 10% (2200 HV), ударная вязкость увеличена на 15% (KIC >15 МПа·м^{1/2}).

Композитное покрытие: WC+Pt /Ni (PVD, 25 мкм), перенапряжение снижено до 200 мВ, а каталитическая эффективность увеличена на 10%.

Процесс производства:

Аддитивное производство: биполярные пластины WCCo, напечатанные на 3D-принтере, точность канала потока ±0,01 мм, затраты на обработку снижены на 20%.

Спекание методом горячего изостатического прессования: 1350°C, 120 МПа, пористость <0,001%, коррозионная стойкость повышена на 15%.

Обработка поверхности: полировка (Ra < 0,1 мкм) + покрытие CrN (2 мкм), износостойкость повышена на 30%.

Оптимизация затрат:

Перерабатывать порошок WC (степень извлечения >90%) и сокращать затраты на сырье на 20%.

Заменив катализатор Pt/ Ir на сплав NiFe, капитальные затраты можно сократить на 10–15%.

Модульность:

Стандартизированные биполярные пластины (200×200 мм, толщина 2 мм) совместимы с AWE/PEM, что повышает эффективность производства на 20%.

Быстрая разборка и сборка уплотнений сокращает время обслуживания на 30%.

Проверено и проверено:

Испытание на коррозию: NACE MR0175, H₂SO₄/KOH, скорость коррозии <0,005 мм/год.

Долговечность: ASTM G65, износ <0,05 мм³/ч, циклы >100 000 раз.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Электрохимия: перенапряжение OER/HER <250 мВ, эффективность >80%.

5. Стандарты и спецификации

GB/T 183762014: Пористость твердого сплава <0,01%, однородность >95%.

GB/T 38502015: Плотность 14,515,0 г/см³, отклонение $\leq \pm 0,1$ г/см³.

GB/T 38512015: прочность на изгиб 1,82,8 ГПа.

GB/T 7997-2017: Твердость 1400–2200 HV, отклонение $\leq \pm 50$ HV.

IEC 62976: Электропроводность (удельное сопротивление <10 мкОм·см) и коррозионная стойкость (скорость коррозии <0,01 мм/год) биполярных пластин для электролизеров.

NACE MR0175: Устойчив к H₂S/H₂SO₄, скорость коррозии <0,005 мм/год.

ASTM G65: Скорость износа <0,05 мм³/ч.

ISO 6508: Испытание на твердость, отклонение $\leq \pm 50$ HV.

6. Тенденции и кейсы отрасли

тенденция:

Производство зеленого водорода: EU RePowerEU планирует производить 20 Мт зеленого водорода к 2030 году, спрос на электролизеры >100 ГВт.

Замена материалов: твердый сплав постепенно заменяет титан (PEM) и никелевую сталь (AWE), снижая капитальные и эксплуатационные затраты.

Высокотемпературный электролиз: спрос на SOEC растет, и рынок высокотемпературных компонентов из цементированного карбида (например, уплотнений) расширяется.

Интеллект: онлайн-мониторинг коррозии/износа, встроенные датчики на твердосплавных деталях и повышение эффективности обслуживания на 20%.

Примеры:

Проект AWE: электролизер мощностью 1 МВт (Китай), биполярные пластины WC10%Ni (200×200 мм), скорость коррозии <0,005 мм/год, эффективность 75%, срок службы >80 000 часов, снижение затрат на техническое обслуживание на 15%.

Проект PEM: электролизер мощностью 500 кВт (Германия), сопло WC6%Co (Ø 10 мм), срок службы до эрозии 50 000 часов, эффективность системы увеличена на 5%.

Пилот SOEC: электролизер мощностью 100 кВт (США), уплотнительное кольцо WC8%Ni (Ø 50 мм), герметичность >99,9% при 800°C, срок службы >15 000 часов.

7. Заключение

Благодаря высокой твердости (1400-2200 HV), коррозионной стойкости (H₂SO₄/KOH <0,01 мм/год), износостойкости (потери на износ <0,05 мм³/час) и высокой температурной стабильности (>800°C) цементированный карбид (WCCo / Ni) имеет значительные преимущества в качестве основного материала для биполярных пластин, уплотнений, сопел и покрытий электродов в новых энергетических электролизерах (AWE, PEM, SOEC). По

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

сравнению с традиционной сталью Ni (срок службы 50 000 часов) или Ti (скорость коррозии 0,02 мм/год) срок службы деталей из цементированного карбида увеличивается на 2050% (>100 000 часов), а расходы на техническое обслуживание снижаются на 1020%, что поддерживает эффективность и экономичность производства зеленого водорода.

Проблемы заключаются в сложности обработки (увеличение стоимости на 2030%), первоначальной стоимости и каталитической активности (требуется композитное покрытие). Благодаря нано-WC, аддитивному производству, спеканию HIP и оптимизации катализатора NiFe можно дополнительно сократить CAPEX/OPEX и повысить конкурентоспособность.

CTIA GROUP LTD обладает передовыми технологиями в области твердого сплава. Она использует нанопорошок WC (D50 0,20,5 мкм), спекание HIP (1350 °C, 120 МПа) и покрытие PVD (WCPt / Ni, 25 мкм) для разработки высокопроизводительных биполярных пластин (сопротивление <10 мОм·см), уплотнений (герметичность >99,9%) и сопел (стойкость к эрозии >50 000 часов) для соответствия суровым условиям работы AWE/PEM/SOEC и предоставления надежных решений для производства зеленого водорода.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

приложение:

Твердосплавные высокоскоростные режущие инструменты

1. Обзор твердосплавных высокоскоростных режущих инструментов

1.1 Определение и характеристики твердосплавных быстрорежущих инструментов

Определение : Твердосплавные высокоскоростные режущие инструменты изготавливаются на основе карбида вольфрама (WC) и связующей фазы (Co/Ni) (WC 85-94 мас. %, связующая фаза 615 мас. %). Благодаря прецизионному шлифованию и покрытиям, нанесенным методом физического осаждения из паровой фазы (PVD), (таким как TiN , AlTiN) , они достигают высокой твердости (1800-2200 HV), износостойкости и высокой температурной стабильности. Они подходят для скоростей резания 500-2000 м/мин.

Характеристики твердосплавных высокоскоростных режущих инструментов :

Высокая твёрдость: 1400-2200 HV, износостойкость в 510 раз выше, чем у быстрорежущей стали (HSS, 800 HV).

Высокотемпературная красностойкость : твердость сохраняется на уровне >1200 HV при температуре 800-1000 °C, подходит для сухой резки.

Износостойкость : износ <0,05 мм³/ч (ASTM G65), срок службы **инструмента** 500–2000 минут.

Ударная вязкость : прочность на изгиб 1,82,8 ГПа , вязкость разрушения KIC 1015 МПа·м^{1/2}.

Применение : Обработка стали (HRC 2060), титанового сплава (Ti6Al4V), сплава на основе никеля (Inconel 718), композиционного материала на основе углеродного волокна (CFRP) и т. д.

1.2 Типы твердосплавных высокоскоростных режущих инструментов

Токарный инструмент : наружное точение, обработка внутренних отверстий, скорость резания 500-1500 м/мин.

Фреза : плоское фрезерование, прорезание пазов, скорость резания **600-2000** м/мин.

Сверло : глубокое сверление, скорость резания 300-800 м/мин .

Расточной инструмент : прецизионная обработка отверстий, скорость резания 400-1000 м/мин.

1.3 Преимущества твердосплавных высокоскоростных режущих инструментов

Эффективность: Скорость резания в 510 раз выше, чем у HSS, а эффективность обработки увеличивается на 50-100%.

Срок службы : Срок службы инструмента из твердого сплава с покрытием 500–2000 минут (из быстрорежущей стали 50–200 минут).

Точность : шероховатость поверхности Ra 0,10,4 мкм , точность обработки ±0,01 мм .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Адаптивность : Подходит для сухой и мокрой резки, а также обработки различных материалов.

2. Материалы для твердосплавного высокоскоростного режущего инструмента

2.1 Ингредиенты

Матрица :

Содержание **WC** : 8594 мас. %, размер зерна 0,22 мкм .

Ультрамелкое зерно (0,20,5 мкм) : твердость 2000-2200 HV, отличная износостойкость, подходит для финишной обработки .

Средне-крупное зерно (12 мкм) : прочность KIC 1215 МПа·м^{1/2}, подходит для черновой обработки.

Co : 615 мас. %, повышает прочность и ударопрочность.

Низкое содержание Co (68 мас. %) : твердость 1800–2200 HV, высокая износостойкость.

Высокое содержание Co (1015 мас. %) : прочность на изгиб 2,2–2,8 ГПа , хорошая ударопрочность.

Ni : 0,5 мас. %, частично заменяет Co и улучшает коррозионную стойкость (H₂SO₄ <0,01 мм/год).

Добавка : Cr₃C₂/VC (0,21 мас. %), подавляет рост зерна и увеличивает твердость на 510%.

покрытие :

Тин : Твердость 2000-2300 HV, коэффициент трения 0,4, износостойкость повышена на 20%.

TiAlN / AlTiN : Твердость 3000-3300 HV, термостойкость 900-1100°C, срок службы увеличен на 3050%.

KrN : Твердость 1800-2200 HV, отличная коррозионная стойкость, подходит для обработки нержавеющей стали.

DLC (алмазоподобный углерод) : твердость 3000–4000 HV, коэффициент трения <0,1, подходит для углепластика и алюминиевых сплавов.

2.2 Градиентная структура твердосплавного быстрорежущего инструмента

Поверхность : низкое содержание Co (68 мас. %), ультрамелкое зерно WC (0,2-0,5 мкм) , твердость 2000-2200 HV.

Сердечник : высокое содержание Co (1012 мас. %), средне-крупнозернистый WC (12 мкм) , прочность KIC 1215 МПа·м^{1/2} .

Преимущества :

Износостойкость поверхности увеличивается на 20–30%, а ударопрочность сердцевины увеличивается на 15–20%.

Градиентный слой (0,52 мм) снижает концентрацию напряжений и снижает вероятность развития трещин на 20%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Подготовка : послойное прессование порошка + спекание методом горячего изостатического прессования (HIP) (1350°C, 120 МПа).

2.3 Требования к производительности твердосплавных высокоскоростных режущих инструментов

Твердость: 1800–2200 HV (GB/T 7997-2017).

Прочность на изгиб: 1,82,8 ГПа (GB/T 38512015).

Вязкость разрушения: $1015 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$.

Износостойкость: Скорость износа $<0,05 \text{ мм}^3/\text{ч}$ (ASTM G65).

Коррозионная стойкость: скорость коррозии охлаждающей жидкости (pH 710) $<0,01 \text{ мм/год}$.

Теплопроводность: $80100 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$, теплоотдача лучше, чем у HSS ($20 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$).

3. Процесс изготовления твердосплавных быстрорежущих инструментов

3.1 Приготовление порошка

сырье :

WC: D50 0,22 мкм, чистота $> 99,9 \%$.

Co/Ni: D50 12 мкм, чистота $> 99,9\%$.

Cr3C2/VC: D50 0,51 мкм, чистота $> 99,9 \%$.

шаровая мельница :

Оборудование: Планетарная шаровая мельница (шары ZrO₂, соотношение шаров к материалу 10:1).

Параметры: скорость 300 об/мин, время 1624 часа, среда спиртовая.

Результаты: Отклонение размера частиц $\leq \pm 0,1 \text{ мкм}$, однородность состава $> 95\%$.

3.2 Формирование

Метод : Холодное изостатическое прессование (ХИП) или компрессионное формование.

Оборудование : CIP-пресс (250-300 МПа).

параметр :

Давление: 250-300 МПа, удержание давления в течение 60 секунд.

Форма : Высокоточная стальная форма (отклонение $\leq \pm 0,05 \text{ мм}$), смазанная BN.

Плотность заготовки: 60-70% теоретической плотности ($8,7-10,5 \text{ г/см}^3$).

Результаты : Отклонение размера заготовки составило $\leq \pm 0,1 \text{ мм}$, а уровень трещин составил $< 1\%$.

3.3 Спекание

Метод : Вакуумное спекание + ГИП.

оборудование :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Вакуумная печь для спекания (10^{-4} 10^{-5} Па, молибденовые нагревательные элементы).

Печь HIP (Ar , 120-150 МПа).

параметр :

Депарафинизация :

Температура: 200–600 °C, скорость нагрева 3 °C/мин.

Атмосфера: H₂ (O₂ <5 ppm), расход 10 л/мин.

Вакуум: 10^{-2} Па, остаточный углерод <0,05%.

спекание :

Температура: 1350-1450°C, скорость нагрева 58°C/мин.

Вакуум: 10^{-4} 10^{-5} Па, сохранение тепла в течение 23 часов.

БЕДРО :

Температура: 1350°C, давление 120 МПа (Ar).

Сохранение тепла: 12 часов, охлаждение со скоростью 15°C/мин.

результат :

Плотность: 14,815,0 г/см³ (GB /T 38502015, отклонение <±0,05 г/см³) .

Пористость: <0,001% (A00B00C00, GB/T 51692013).

Твердость: 1800-2200 HV, усадка 15-18%.

3.4 Прецизионная обработка

Шлифовка :

шлифовальный круг (зернистость 510 мкм) .

Параметры: скорость 3000 об/мин, подача 0,01-0,05 мм/ход, охлаждающая жидкость (на масляной основе).

режущей кромки <5 мкм , Ra 0,10,2 мкм .

полировка :

: Алмазная полировальная паста (13 мкм) .

Параметры: скорость 800 об/мин, давление 0,3 МПа.

Результат: Ra < 0,1 мкм , коэффициент трения снизился на 20%.

3.5 Покрытие

Метод : PVD (физическое осаждение из паровой фазы).

Оборудование : Магнетронное распыление (мишень Ti/Al/Cr, чистота >99,99%).

параметр :

Покрытие: TiAlN (35 мкм , твердость 3000-3300 HV).

Вакуум: 10^{-4} Па, температура 300–400 °C.

Смещение: 100 В, газ: Ar+N₂ (50 см³/мин) .

Скорость осаждения: 1 мкм /ч.

результат :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Адгезия: >80 Н (испытание царапанием).
Термостойкость: 900-1100°C, срок службы увеличен на 30-50%.
Коэффициент трения: <0,3, износостойкость увеличена на 2030%.

3.6 Обнаружение

Микроструктура : СЭМ (зерно 0,22 мкм) , РФЭС (отклонение состава <±0,1 мас. %).

производительность :

Твердомер: Отклонение < ±50 HV (ISO 6508).

Испытание на износ: ASTM G65, скорость износа <0,05 мм³/ч.

Прочность на изгиб: GB/T 38512015, 1,82,8 ГПа .

Геометрия : КИМ (координатно-измерительная машина), отклонение режущей кромки <±0,005 мм.

4. Анализ производительности

параметр	Твердосплавные инструменты	Быстрорежущая сталь (HSS)
Твёрдость (HV)	18002200	800900
Прочность на изгиб (ГПа)	1.82.8	34
Прочность (KIC, МПа·м ^{1/2})	1015	2050
Износостойкость (мм³/ч)	<0,05	0.20.5
Теплостойкость (°C)	8001000	500600
Скорость резания (м/мин)	5002000	50200
Продолжительность жизни (минуты)	5002000	50200
(Ra, мкм)	0.10.4	0.81.2

Основные моменты выступления :

Износостойкость : Сверхмелкозернистое покрытие WC+TiAlN , потери на износ <0,05 мм³/ч, срок службы увеличен в 510 раз.

Высокая термостойкость : твердость >1200 HV при 800-1000°C, подходит для сухой резки (уменьшение расхода охлаждающей жидкости на 50%).

Эффективность резки : скорость 500-2000 м/мин, повышение эффективности 50-100% (по сравнению с HSS).

Точность : Ra 0,10,4 мкм , точность обработки ±0,01 мм .

5. Сценарии применения

Высокоскоростные режущие инструменты из карбида подходят для аэрокосмической

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

промышленности, автомобилестроения, обработки пресс-форм и энергетического оборудования. Ниже приведены конкретные инструменты, данные испытаний и рекомендации по выбору для типичных и новейших условий работы:

Аэрокосмическая промышленность

Материалы : титановый сплав (Ti6Al4V, HRC 36), сплав на основе никеля (Inconel 718, HRC 45), углепластик.

Нож :

Точение титана :

Наружный токарный инструмент (сменная пластина, ISO CNMG120408), WC6%Co (ультрамелкое зерно, D50 0,20,5 мкм, Cr3C2 0,5 мас. %), твердость 2000-2200 HV, покрытие PVD AlTiN (4 мкм, твердость 3300 HV, термостойкость 1100 °C). Главный угол отклонения 75 °, угол режущей кромки 6 °, радиус режущей кромки 0,02 мм, 3D стружколом.

Процесс : шаровая мельница в течение 20 часов, CIP 280 МПа, спекание 1400 °C (10^{-5} Па, 2,5 часа), HIP 1350 °C (120 МПа, 1,5 часа), шлифование (радиус кромки <5 мкм, Ra 0,1 мкм), PVD AlTiN (350 °C, адгезия >100 Н).

Параметры резания : скорость 800 м/мин, подача 0,15 мм/об, глубина резания 1,0 мм, сухая резка.

Данные испытаний : срок службы 1200 минут (HSS 150 минут), Ra 0,2 мкм, точность $\pm 0,01$ мм, сила резания 450 Н (уменьшена на 25%), износ <0,05 мм³/ч, температура режущей кромки инструмента 850°C.

Рекомендации по выбору : сверхмелкозернистый WC + низкое содержание Co (6 мас. %) + AlTiN, CNMG120408MF, главный угол отклонения 75°, сухая резка или MQL (0,1 л/ч).

Сверление высокотемпературных сплавов :

Сверло цельное (Ø 10 мм, отношение глубины к диаметру 5:1), WC12%Co (средне-крупное зерно, D50 12 мкм, VC 0,5 мас. %), твердость 1600-1800 HV, покрытие PVD TiAlN (4 мкм, термостойкость 1100 °C). Угол при вершине 135 °, угол наклона винтовой линии 30 °, радиус режущей кромки 0,05 мм, внутреннее отверстие для подачи СОЖ Ø 1 мм.

Процесс : шаровая мельница в течение 22 часов, CIP 300 МПа, спекание 1450 °C (10^{-5} Па, 3 часа), HIP 1350 °C (120 МПа, 2 часа), шлифование (радиус кромки <5 мкм), PVD TiAlN (400 °C, адгезия >100 Н).

Параметры резания : скорость 500 м/мин, подача 0,05 мм/об, глубина отверстия 50 мм, внутренняя подача СОЖ под высоким давлением (20 бар, 5 л/мин).

Данные испытаний : срок службы 800 минут (HSS 100 минут), Ra 0,3 мкм, диаметр отверстия $\pm 0,01$ мм, сила резания 550 Н (снижение на 21%), износ <0,05 мм³/ч, отсутствие сколов.

Рекомендации по выбору : средне-крупнозернистый WC + высокое содержание Co (12 мас. %) + TiAlN, сверло с внутренним охлаждением Ø 10 мм, угол при вершине 135°, внутреннее охлаждение под высоким давлением.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Фрезерование углепластика :

Многозубая фреза (Ø 10 мм, 6 зубьев, зубья расположены в шахматном порядке), WC8%Co (ультрамелкое зерно, D50 0,20,5 мкм, Cr3C2 0,5 мас. %), твердость 2000-2200 HV, покрытие PVD DLC (3 мкм, твердость 3500 HV, трение 0,08). Угол наклона винтовой линии 45°, угол наклона режущей кромки +5°, радиус режущей кромки 0,01 мм.

Процесс : шаровая мельница в течение 20 часов, CIP 280 МПа, спекание 1400 °C (10^{-5} Па, 2,5 часа), HIP 1350 °C (120 МПа, 1,5 часа), шлифование (Ra 0,08 мкм), PVD DLC (300 °C, адгезия >80 Н).

Параметры резания : скорость 2000 м/мин, подача 0,05 мм/зуб, глубина резания 2,0 мм, резка без СОЖ.

Данные испытаний : срок службы 1500 минут (HSS 200 минут), Ra 0,15 мкм, расслоение отсутствует, усилие резания 200 Н (снижение на 33%), износ <0,03 мм³/ч, скорость расслоения <1%.

Рекомендации по выбору : сверхмелкозернистая WC+DLC, Ø 10 мм, 6-кромочная фреза, угол наклона спирали 45°, сухая резка + удаление пыли.

Производительность : Срок службы 800-2000 минут, эффективность увеличена на 50%, Ra 0,15-0,4 мкм.

Случай : Обработка турбинных лопаток (Ti6Al4V), скорость 1200 м/мин, срок службы 1500 минут, точность ±0,01 мм.

Производство автомобилей :

Материалы : высокопрочная сталь (HRC 4050), чугун (HB 200300).

Токарная обработка высокопрочной стали :

Токарный инструмент WC10%Co (CrN 5 мкм), скорость 600-1000 м/мин.

Производительность : Срок службы 800-1500 минут, Ra 0,1-0,3 мкм.

Производительность : срок службы 800–1500 минут, затраты на техническое обслуживание снижены на 20%.

Случай : Обработка коленчатого вала, скорость 800 м/мин, срок службы 1200 минут, эффективность увеличена на 30%.

Форма обработка :

Материалы : штампованная сталь (P20, HRC 3040), нержавеющая сталь (316L), 3D-печать 316L.

Фрезерование нержавеющей стали :

Концевая фреза (Ø 12 мм, 4 канавки), WC10%Ni (мелкое зерно, D50 0,51 мкм, Cr3C2 0,5 мас. %), твердость 1800-2000 HV, покрытие PVD CrN (5 мкм, твердость 2200 HV, трение 0,2). Угол наклона спирали 40°, радиус режущей кромки 0,03 мм, полированные стружечные канавки (Ra <0,1 мкм).

Технологии

Шаровая мельница в течение 18 ч, прессование при 200 МПа, спекание при 1420 °C (10^{-4} Па,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2 ч), горячее изостатическое прессование при 1350 °C (120 МПа, 1,5 ч), шлифование (Ra 0,1 мкм) , PVD CrN (300 °C, адгезия >80 Н) .

Данные по резке

Скорость 1000 м/мин, подача 0,08 мм/зуб, глубина резания 0,5 мм, охлаждающая жидкость на водной основе (pH 8, 10 л/мин).

Тестовые данные

Срок службы 1000 мин (HSS 200 мин), Ra 0,25 мкм , точность $\pm 0,008$ мм , сила резания 300 Н (снижена на 25%), износ <0,04 мм³/ч, наростообразование отсутствует .

Рекомендации по выбору

WCNi (10 мас. %) + CrN , Ø 12 мм, 4-х лезвийная, угол наклона спирали 40°, мокрая резка + обычная очистка.

3D-печать 316L Отделка :

Шариковая концевая фреза (Ø 6 мм, 2 канавки) , WC8%Co (ультрамелькое зерно, D50 0,20,5 мкм , VC 0,5 мас. %) , твердость 2000-2200 HV, покрытие PVD TiAlN+CrN (5 мкм , твердость 3200 HV, трение 0,2). Радиус шаровой головки 3 мм, угол наклона винтовой линии 35°, радиус режущей кромки 0,02 мм, полированная канавка (Ra <0,1 мкм) .

Технологии

Шаровая мельница в течение 20 ч, CIP 280 МПа, спекание 1400 °C (10⁻⁵ Па, 2,5 ч), HIP 1350 °C (120 МПа, 1,5 ч), шлифование (Ra 0,1 мкм) , PVD TiAlN +CrN (350 °C, адгезия >100 Н).

Данные по резке

Скорость 1200 м/мин, подача 0,03 мм/зуб, глубина резания 0,2 мм, минимальный расход воды (0,1 л/ч).

Тестовые данные

Срок службы 1200 мин (HSS 250 мин), Ra 0,15 мкм (исходный Ra 15 мкм) , точность $\pm 0,005$ мм, сила резания 250 Н (снижена на 29%), износ <0,04 мм³/ч, отсутствие засорения.

Рекомендации по выбору

Сверхмелкозернистая сферическая концевая фреза WC+TiAlN+ CrN , Ø 6 мм, 2-зубая, угол наклона спирали 35°, MQL+послойное фрезерование.

производительность

Срок службы: 1000–2000 минут, точность: $\pm 0,005$ –0,008 мм.

Случай

Обработка литейной формы (316L), скорость 1000 м/мин, срок службы 1800 минут, Ra 0,2 мкм .

Энергетическое оборудование :

Материалы : жаропрочный сплав (GH4169), углепластик.

Нож :

Фрезерование углепластика : фреза WC8%Co (Ø 10 мм, DLC 3 мкм) , скорость 2000 м/мин, срок службы 1500 минут, без расслоения .

Эксплуатационные характеристики : Срок службы 1000-2000 минут, без расслоения/

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

скальзывания.

Случай : Обработка лопастей ветровых турбин (углепластик), скорость 1500 м/мин, срок службы 2000 минут.

6. Предложения по оптимизации

Оптимизация материала :

Титановый сплав : ультрамелкозернистый WC (D50 0,20,5 мкм) , Co 6 мас. % , AlTiN 4 мкм , жаростойкий 1100°C .

Нержавеющая сталь : WCNi (10 мас. %), Cr3C2 0,5 мас. % , CrN 5 мкм , коррозионная стойкость <0,01 мм/год.

Жаропрочный сплав : средне-крупнозернистый WC (12 мкм) , Co 12 мас. % , TiAlN 4 мкм , KIC >14 МПа·м^{1/2}.

Углепластик : ультрамелкозернистый WC (0,2-0,5 мкм) , Co 8 мас. % , DLC 3 мкм , трение <0,08.

3D-печать металлом : сверхмелкое зерно WC (0,2-0,5 мкм) , Co 8 мас. % , TiAlN+CrN 5 мкм , точность ±0,005 мм .

Общее назначение : Cr3C2/VC 0,5 мас. % , твердость увеличена на 510%.

Оптимизация процесса :

Спекание : HIP 1350°C, 120 МПа, пористость <0,001%, консистенция увеличена на 10%.

Шлифовка : шлифовальный станок с ЧПУ, алмазный шлифовальный круг (58 мкм) , радиус режущей кромки <5 мкм , Ra < 0,1 мкм .

покрытие :

AlTiN (4 мкм , 350°C, смещение 100 В) , термостойкость увеличена на 20%.

CrN (5 мкм , 300°C, смещение 80 В) , коррозионная стойкость увеличена на 30%.

DLC (3 мкм , 300°C, смещение 120 В) , снижение трения 50%.

3D- печать : SLM-формование сложных инструментов (например, внутренних каналов охлаждения), время цикла сокращено на 20%, точность ± 0,01 мм.

Оптимизация оборудования :

Печь для спекания: регулировка температуры ±3°C, вакуум 10⁻⁵ Па.

Шлифовальный станок с ЧПУ: алмазный шлифовальный круг, отклонение ≤±0,005 мм.

Оборудование для нанесения покрытия: скорость осаждения 12 мкм /ч, отклонение толщины <±0,1 мкм .

Адаптация к условиям труда :

Титановый сплав : сухая резка, покрытие AlTiN , скорость 800-1200 м/мин, главный угол отклонения 75°.

Нержавеющая сталь : мокрая резка, покрытие CrN , скорость 600-1000 м/мин, угол наклона спирали 40°.

Жаропрочный сплав : внутреннее охлаждение (20 бар), покрытие TiAlN , скорость 500-800 м/мин, угол при вершине 135°.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Углеродистый пластик : сухая резка, покрытие DLC, скорость 1500-2000 м/мин, разнонаправленные зубья.

3D-печать металлом : MQL (0,1 л/ч), покрытие TiAlN+CrN, скорость 1000-1200 м/мин, шаровой наконечник.

Тестирование и проверка :

Микроструктура : СЭМ (зерно 0,22 мкм), EBSD (напряжение на границах зерен <5%).

Эксплуатационные характеристики : ASTM G65 (скорость износа <0,03-0,05 мм³/ч), высокотемпературная твердость (>1200 HV, 900°C).

Испытание на резку :

Сила резания: 200550 Н (снижение на 2033%).

Срок службы: 8002000 минут (увеличено в 4,88 раза).

Поверхность: Ra 0,150,3 мкм, точность ±0,0050,01 мм.

Дефект: VB <0,10,2 мм, без сколов/расслоений.

7. Стандарты и спецификации

GB/T 183762014 : Пористость <0,01%, однородность >95%.

GB/T 38502015 : Плотность 14,515,0 г/см³, отклонение <±0,1 г/см³.

GB/T 38512015 : Прочность на изгиб 1,82,8 ГПа.

GB/T 79972017 : Твердость 1400-2200 HV, отклонение <±50 HV.

ASTM G 65 : Скорость износа <0,05 мм³/ч.

ISO 6508 : Испытание на твердость, отклонение < ±50 HV.

ISO 1832 : Геометрия инструмента, отклонение режущей кромки <±0,01 мм.

ISO 8688 : Испытание на стойкость инструмента, время резания >500 минут.

8. Заключение

Высокоскоростной режущий инструмент из цементированного карбида достигает высокой твердости (1800-2200 HV), износостойкости (потери на износ <0,03-0,05 мм³/ч), красностойкости при высоких температурах (800-1000 °C) и стабильности резания (срок службы 800-2000 минут) за счет оптимизации материалов (ультрамелкое зерно WC 0,2-0,5 мкм, низкое содержание Co 68 мас. %, покрытие TiAlN / CrN / DLC 35 мкм) и передовых производственных процессов (спекание HIP 1350 °C, 120 МПа, покрытие PVD 300-400 °C). Инструмент подходит для аэрокосмической (титановый сплав, сплав на основе никеля, CFRP), автомобильной (высокопрочная сталь), пресс-форм (нержавеющая сталь, металл для 3D-печати) и энергетической (CFRP) и других областей, со скоростью резки 500-2000 м/мин, повышением эффективности обработки 50-100%, точностью ±0,005-0,01 мм и Ra 0,15-0,4 мкм. Оптимизация сверхтонких зерен, композитных покрытий, 3D-печати и прецизионной шлифовки может дополнительно снизить затраты (100 500 юаней за штуку) и повысить производительность. Проблемы заключаются в сложности обработки (затраты на алмазную шлифовку увеличиваются на 20%) и адгезии покрытия (требуется >80 Н).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD использует нанопорошок WC (D50 0,20,5 мкм) , спекание HIP (пористость <0,001%) и многослойное PVD-покрытие (TiAlN + CrN , 57 мкм) для разработки высокопроизводительных токарных инструментов, фрез и сверл для удовлетворения потребностей аэрокосмической промышленности (срок службы>1500 минут), автомобилестроения (эффективность увеличена на 30%) и обработки пресс - форм (точность $\pm 0,005$ мм). Продукция проверена SEM, ASTM G65 и ISO 1832 для обеспечения стабильной производительности.

приложение:

Фрезы шаровые твердосплавные

1. Обзор

Фрезы с шаровидным наконечником из карбида вольфрама — это фрезерные инструменты с карбидом на основе вольфрама (например, WC-Co, WC-Ni) в качестве материала режущего элемента или лезвия. Головка режущего элемента сферическая и подходит для обработки сложных трехмерных поверхностей, полостей, форм и прецизионных деталей. Высокая твердость (HV1600-2000), отличная износостойкость и высокая термостойкость (прочность удержания 600-800 °C) делают ее пригодной для обработки стали, чугуна, нержавеющей стали, алюминиевых сплавов и жаропрочных сплавов, что отвечает потребностям аэрокосмической, автомобильной, пресс-форм и медицинской промышленности в высокоточной (IT6-IT7) и высококачественной обработке поверхности.

1. Материалы и производство

Состав материала:

В основном он состоит из карбида вольфрама (WC, на долю которого приходится 80-90%) и связующих веществ (таких как Co и Ni, на долю которых приходится 5-15%), а также TiC и TaC добавляются для повышения износостойкости. Высокое содержание Co (например, WC-10Co) повышает прочность и подходит для прерывистой резки; сплавы на основе Ni устойчивы к коррозии и подходят для влажной обработки.

Процесс производства:

Порошковая металлургия

Смешивают порошки WC и Co (размер частиц 0,4–1,5 мкм), прессуют в форму (давление 300–500 МПа) и спекают в вакууме при температуре 1350–1450 °C до достижения твердости HV1700–1900.

Прецизионная шлифовка

Сферическая режущая головка и спиральная канавка обработаны алмазным шлифовальным кругом с остротой кромки <5 мкм и шероховатостью поверхности Ra <0,2 мкм, что обеспечивает точность резки и плавное удаление стружки.

Технология нанесения покрытий

Нанесение PVD-покрытия (например, TiAlN, AlCrN, DLC) толщиной 2-4 мкм позволяет снизить коэффициент трения до 0,15-0,3 и продлить срок службы инструмента на 50-100%.

Преимущества

По сравнению с быстрорежущими стальными шаровыми концевыми фрезами твердосплавные шаровые концевые фрезы имеют в 2–3 раза большую скорость резания (50–200 м/мин) и в 3–5 раз больший срок службы.

3. Типы и применение

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Стандартные шаровые концевые фрезы

Диаметр 2–20 мм, 2–4 лезвия, подходят для обработки полостей пресс-форм и криволинейных поверхностей, таких как пресс-формы для автомобильных ламп (точность IT7).

Фреза с длинным хвостовиком и сферическим концом

Высокое соотношение сторон ($D/d > 5$), используется для обработки глубоких полостей, например, форм для авиационных лопаток (глубина 50–100 мм).

Концевые микросферические фрезы

Диаметр 0,1–2 мм, подходит для прецизионной обработки, например, медицинских имплантатов (шероховатость поверхности $Ra < 0,2$ мкм).

Фреза с шаровым наконечником высокой твердости

Материалы с твердостью обработки HRC50–65, подходят для литейной стали и жаропрочных сплавов.

Примеры применения:

Аэрокосмическая промышленность: Обработка лопаток турбин из титанового сплава, скорость резки 80 м/мин, допуск < 5 мкм.

Автомобильная промышленность: фрезерование поверхностей пластиковых форм с годовым объемом производства более 5 миллионов деталей и сроком службы инструмента 20 000 деталей на лезвие.

Медицинская промышленность: Обработка ортопедических имплантатов, шероховатость поверхности $Ra < 0,1$ мкм, точность IT6.

4. Технические характеристики

Высокая производительность: скорость резания 50–200 м/мин, подача 0,02–0,2 мм/зуб, производительность обработки увеличивается на 30–50%.

Высокая точность: допуск размеров < 5 мкм, шероховатость поверхности $Ra 0,2–0,4$ мкм, что соответствует стандартам ISO 1832.

Долговечность: срок службы концевых шаровых фрез с покрытием составляет 5000–10 000 единиц, а частота смены инструмента сокращается на 50%.

Вторичная переработка: Отработанные инструменты можно перерабатывать методом плавки цинка или химическими методами, при этом степень извлечения вольфрама составляет более 90%, а затраты снижаются на 30–40%.

5. Тенденции развития

Интеллектуальная оптимизация

В сочетании с искусственным интеллектом для оптимизации радиуса головки инструмента ($R0,5–R10$) и траектории резания погрешность обработки снижается на 25%.

Экологичное производство

Исследования и разработки цементированного карбида с низким содержанием $Co (< 5\%)$ для

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

снижения воздействия на окружающую среду; продвижение технологии электрохимической переработки для снижения выбросов жидких отходов на 60%.

Современные покрытия

Разработать нанокompозитные покрытия (такие как TiAlN /DLC) для повышения износостойкости на 60% и увеличения срока службы в 2 раза.

Высокопроизводительная конструкция

Оптимизированный угол наклона спирали (30–40°) и стружечные канавки снижают усилия резания на 20%, что делает его пригодным для высокоскоростной и сухой обработки.

Концевые шаровые фрезы из карбида стали основными инструментами для сложных поверхностей и точной обработки благодаря своей высокой твердости, износостойкости и высокой точности и широко используются в аэрокосмической, автомобильной, литейной и медицинской промышленности. В будущем, благодаря интеллектуальной оптимизации, зеленой переработке и передовой технологии покрытия, концевые шаровые фрезы из карбида еще больше повысят эффективность обработки, снизят затраты и будут поддерживать устойчивое развитие, помогая повысить конкурентоспособность китайского высокотехнологичного производства.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

приложение:

Концевые фрезы из твердого сплава

1. Обзор

Концевые фрезы из карбида вольфрама представляют собой вертикальные фрезерные инструменты с карбидами на основе вольфрама (например, WC-Co, WC-Ni) в качестве материала режущего тела или лезвия. Они имеют несколько режущих кромок и используются для обработки плоскостей, пазов, ступеней, полостей и сложных криволинейных поверхностей. Их высокая твердость (HV1600-2000), отличная износостойкость и высокая температурная стабильность (прочность удержания 600-800 °C) делают их пригодными для обработки стали, чугуна, нержавеющей стали, алюминиевых сплавов и жаропрочных сплавов, удовлетворяя потребности аэрокосмической, автомобильной, литейной и прецизионной машиностроительной отраслей для высокоточной (IT6-IT8) и высокоэффективной обработки.

2. Материалы и производство

Состав материала

В основном он состоит из карбида вольфрама (WC, на долю которого приходится 80-90%) и связующих веществ (таких как Co и Ni, на долю которых приходится 5-15%), а также TiC и TaC добавляются для повышения износостойкости. Высокое содержание Co (например, WC-10Co) увеличивает прочность и подходит для прерывистой резки; сплавы на основе Ni устойчивы к коррозии и подходят для влажной обработки.

Процесс производства

Порошковая металлургия: смешивание порошков WC и Co (размер частиц 0,5–2 мкм), прессование (давление 300–500 МПа), вакуумное спекание при температуре 1350–1450 °C, твердость достигает HV1700–1900.

Прецизионная шлифовка: для обработки лезвия и спиральной канавки используется алмазный шлифовальный круг с остротой кромки <5 мкм и шероховатостью поверхности Ra <0,2 мкм, что обеспечивает плавный отвод стружки.

Технология покрытия: Нанесение покрытия методом PVD или CVD (например, TiAlN, AlCrN, TiSiN) толщиной 2–5 мкм снижают коэффициент трения до 0,2–0,3 и продлевают срок службы инструмента на 50–100%.

Преимущества: Концевые фрезы из твердого сплава режут в 2–4 раза быстрее (50–250 м/мин) и служат в 3–5 раз дольше, чем концевые фрезы из быстрорежущей стали.

3. Типы и применение

Фрезы с плоским концом из твердого сплава

Для обработки плоскостей и пазов, подходит для полостей автомобильных пресс-форм (глубина 10-50 мм, точность IT7).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Фрезы с круглым концом из твердого сплава

Дуговая лопатка подходит для обработки криволинейных поверхностей и контуров и используется в лопатках авиационных турбин с точностью IT6.

Концевые фрезы со сферическим концом из карбида

Обработка сложных трехмерных поверхностей, таких как формы медицинских имплантатов, с шероховатостью поверхности $Ra < 0,4 \mu\text{м}$.

Концевые фрезы из твердого сплава для черновой обработки

Большой угол наклона спирали ($35-45^\circ$) и волнообразная кромка подходят для эффективного удаления материала, например, с деталей фюзеляжа из алюминиевого сплава.

Примеры применения:

Автомобильная промышленность: обработка канавок корпуса коробки передач с годовым объемом производства более 10 миллионов деталей и сроком службы инструмента 50 000 деталей на лезвие.

Аэрокосмическая промышленность: фрезерование корпуса из титанового сплава, скорость резания 100 м/мин, допуск $< 8 \mu\text{м}$.

Изготовление пресс-форм: обработка пресс-форм из стали высокой твердости (HRC50-60) может увеличить срок службы инструмента на 40%.

2. Технические характеристики

Высокая производительность: скорость резания 50–250 м/мин, подача 0,05–0,3 мм/зуб, производительность обработки увеличивается на 40–60%.

Высокая точность: допуск размеров $< 8 \mu\text{м}$, шероховатость поверхности $Ra 0,4-0,8 \mu\text{м}$, что соответствует стандартам ISO 1832.

Долговечность: срок службы концевых фрез с покрытием составляет 5000–15 000 единиц, а частота смены инструмента сокращается на 50%.

Вторичная переработка: Отработанные инструменты можно перерабатывать методом плавки цинка или химическими методами, при этом степень извлечения вольфрама составляет более 90%, а затраты снижаются на 30–40%.

5. Тенденции развития

Интеллектуальная оптимизация: в сочетании с ИИ для оптимизации количества кромок (2–6 кромок) и параметров резки погрешность обработки снижается на 30%.

Экологичное производство: исследования и разработки карбида вольфрама с низким содержанием Со ($< 5\%$) для снижения воздействия на окружающую среду; продвижение технологии переработки ионных жидкостей для снижения выбросов жидких отходов на 60%.

Современные покрытия: разработка нанокompозитных покрытий (таких как TiAlN /DLC), которые повышают износостойкость на 60% и продлевают срок службы в 2 раза.

Высокопроизводительная конструкция: оптимизированный угол наклона спирали ($30-45^\circ$) и стружечные канавки снижают усилия резания на 20%, подходят для высокоскоростной обработки.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Концевые фрезы из карбида стали основными инструментами для фрезерования благодаря своей высокой твердости, износостойкости и высокой точности и широко используются в аэрокосмической, автомобильной и пресс-формовой промышленности. В будущем, благодаря интеллектуальной оптимизации, экологичной переработке и передовой технологии нанесения покрытий, концевые фрезы из карбида еще больше повысят эффективность обработки, снизят затраты и будут поддерживать устойчивое развитие, помогая повысить конкурентоспособность китайского высокотехнологичного производства.

приложение:

Фреза твердосплавная многозубая

1. Фреза твердосплавная многозубая

Твердосплавные многозубые фрезы представляют собой режущие инструменты с карбидом на основе вольфрама (например, WC-Co, WC-Ni) в качестве материала корпуса или лезвия, с несколькими режущими зубьями, и широко используются при фрезеровании плоскостей, пазов, ступеней, криволинейных поверхностей и сложных поверхностей. Его высокая твердость (HV1600-2000), отличная износостойкость и высокая термостойкость (сохранение прочности 600-800 °C) делают его пригодным для обработки стали, чугуна, нержавеющей стали, алюминиевых сплавов и жаропрочных сплавов, удовлетворяя потребности аэрокосмической, автомобильной, литейной и энергетической промышленности в высокоточной (IT6-IT8) и высокоэффективной обработке.

2. Материалы и изготовление твердосплавных многозубых фрез

Состав материала: в основном состоит из карбида вольфрама (WC, составляет 80-90%) и связующего вещества (например, Co, Ni, составляет 5-15%), с добавлением TiC и TaC для повышения износостойкости. Высокое содержание Co (например, WC-10Co) улучшает прочность и подходит для прерывистого фрезерования; сплавы на основе Ni устойчивы к коррозии и подходят для мокрой обработки.

Процесс производства:

Порошковая металлургия: смешивание порошков WC и Co (размер частиц 0,5–2 мкм), прессование (давление 300–500 МПа), вакуумное спекание при температуре 1350–1450 °C, твердость достигает HV1700–1900.

Прецизионное шлифование: для обработки зубьев и пазов используется шлифовальный круг из КНБ или алмаза с остротой кромки <5 мкм и шероховатостью поверхности Ra <0,2 мкм, что обеспечивает плавный отвод стружки.

Технология покрытия: Нанесение покрытия методом PVD или CVD (например, TiAlN, AlCrN, TiSiN) толщиной 2–5 мкм снижают коэффициент трения до 0,2–0,3 и продлевают срок службы инструмента на 50–100%.

Преимущества: По сравнению с фрезами из быстрорежущей стали твердосплавные многозубые фрезы имеют скорость резания в 2-4 раза выше (50-250 м/мин) и срок службы в 3-5 раз больше.

3. Типы и области применения твердосплавных многозубых фрез

Фрезы концевые твердосплавные многозубые

Многозубая конструкция (4–8 зубьев) подходит для обработки боковых поверхностей и канавок, например, полостей автомобильных пресс-форм (глубина 10–50 мм, точность IT7).

Фреза торцевая твердосплавная многозубая

Большой диаметр и множество зубьев (6-12 зубьев) для эффективной обработки плоских

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

поверхностей, подходят для панелей крыла из авиационного алюминиевого сплава (шероховатость поверхности $Ra < 0,8$ мкм).

твердосплавная многозубая с круглым концом

Дуговой резец подходит для обработки криволинейных поверхностей и используется в турбинных лопатках с точностью IT6.

Фреза шпоночная твердосплавная многозубая

Обработка высокоточных шпоночных пазов, например, главных валов ветряных турбин (ширина паза 5–20 мм, допуск < 10 мкм).

Примеры применения:

Автомобильная промышленность: обработка плоскостей головок цилиндров двигателей с годовым объемом производства более 20 миллионов штук и сроком службы инструмента 50 000 штук на лопатку.

Аэрокосмическая промышленность: Фрезерование корпуса из титанового сплава, скорость резания 100 м/мин, шероховатость поверхности $Ra < 0,4$ мкм.

Изготовление пресс-форм: обработка пресс-форм из стали высокой твердости (HRC50-60) может увеличить срок службы инструмента на 40%.

4. Технические характеристики твердосплавной многозубой фрезы

Высокая производительность: скорость резания 50–250 м/мин, подача 0,05–0,3 мм/зуб, производительность обработки увеличивается на 40–60%.

Высокая точность: допуск размеров < 8 мкм, шероховатость поверхности $Ra 0,4–0,8$ мкм, что соответствует стандартам ISO 1832.

Долговечность: Ресурс фрез с покрытием составляет 5000–15 000 шт., а частота смены инструмента сокращается на 50%.

Вторичная переработка: Отработанные инструменты можно перерабатывать методом плавки цинка или химическими методами, при этом степень извлечения вольфрама составляет более 90%, а затраты снижаются на 30–40%.

5. Тенденция развития твердосплавных многозубых фрез

Интеллектуальная оптимизация

В сочетании с оптимизацией количества зубьев (4–12 зубьев) и параметров резания с помощью искусственного интеллекта погрешность обработки снижается на 30%.

Экологичное производство

Разработать цементированный карбид с низким содержанием Co ($< 5\%$) для снижения воздействия на окружающую среду; продвигать технологию переработки ионных жидкостей для сокращения выбросов жидких отходов на 60%.

Современные покрытия

Разработать нанокompозитные покрытия (такие как TiAlN /Si3N4) для повышения износостойкости на 60% и увеличения срока службы в 2 раза.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Модульная конструкция

Содействовать стандартизации сменных пластин и режущих головок (ISO 1832), что позволит сократить затраты на складские запасы на 20%.

Твердосплавные многозубые фрезы стали основными инструментами для фрезерной обработки благодаря своей высокой твердости, износостойкости и высокой точности и широко используются в аэрокосмической, автомобильной и пресс-формовой промышленности. В будущем, благодаря интеллектуальной оптимизации, экологичной переработке и передовой технологии покрытия, твердосплавные многозубые фрезы еще больше повысят эффективность обработки, снизят затраты и будут поддерживать устойчивое развитие, помогая повысить конкурентоспособность китайского высокотехнологичного производства.

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

приложение:

Твердосплавное цельное сверло

1. Обзор твердосплавных цельных сверл

Твердосплавные сверла представляют собой сверлильные инструменты, изготовленные из карбида на основе вольфрама (например, WC-Co, WC-Ni) в качестве основного материала, и широко используются при обработке отверстий, такой как сверление, развертывание и рассверливание. Его высокая твердость (HV1600-2000), отличная износостойкость и высокая термостойкость (600-800 °C все еще сохраняет прочность) делают его пригодным для обработки стали, чугуна, нержавеющей стали, алюминиевых сплавов и жаропрочных сплавов, отвечая потребностям аэрокосмической, автомобильной, литейной и энергетической промышленности для высокоточной (IT7-IT9) и высокоэффективной обработки отверстий.

2. Материалы и изготовление твердосплавных сверл

Состав материала

В основном он состоит из карбида вольфрама (WC, на долю которого приходится 85-95%) и связующего вещества (например, Co, на долю которого приходится 5-12%), а также TiC и VC добавляются для повышения износостойкости. Высокое содержание Co (например, WC-10Co) улучшает прочность и подходит для прерывистой резки; низкое содержание Co (например, WC-6Co) повышает твердость и подходит для высокоскоростной обработки.

Процесс производства

Порошковая металлургия: смешивание порошков WC и Co (размер частиц 0,4–1,5 мкм), прессование (давление 300–500 МПа), вакуумное спекание при температуре 1350–1450 °C, твердость достигает HV1800–2000.

Прецизионное шлифование: для обработки кромки сверла и спиральной канавки используется алмазный шлифовальный круг, острота кромки составляет <5 мкм, а шероховатость поверхности Ra составляет <0,2 мкм, что обеспечивает плавный отвод стружки.

Технология покрытия: Нанесение PVD-покрытия (например, TiAlN, AlCrN) толщиной 2-4 мкм снижает коэффициент трения до 0,2-0,3 и повышает износостойкость на 50-80%.

Преимущества

По сравнению со сверлами из быстрорежущей стали твердосплавные сверла имеют скорость резания в 2–3 раза выше (30–150 м/мин) и срок службы в 4–6 раз больше.

3. Типы и области применения твердосплавных цельных сверл

Твердосплавное цельное спиральное сверло

Стандартная спиральная конструкция, подходит для общей обработки отверстий, например, отверстий в блоках цилиндров автомобильных двигателей (диаметр 5-50 мм, точность IT8).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Твердосплавное цельное центровое сверло

Используется для позиционирования и предварительного сверления, обработки центровых отверстий авиационных деталей, точность IT7.

Твердосплавное цельное сверло для глубоких отверстий

Высокое соотношение сторон ($D/D > 5$), с внутренним каналом охлаждения, обработка глубоких отверстий корпусов гидравлических клапанов (глубиной 100-500 мм).

Твердосплавное интегральное ступенчатое сверло

Выполняйте многоуровневую обработку отверстий за один раз, подходит для деталей пресс-форм и повышает эффективность на 30%.

Области применения твердосплавных интегральных сверл:

Автомобильная промышленность: обработка отверстий под корпуса коробок передач с годовым объемом производства более 100 миллионов штук и сроком службы сверла 20 000 отверстий на лезвие.

Аэрокосмическая промышленность: сверление отверстий в корпусе из титанового сплава, скорость резки 60 м/мин, допуск на диаметр отверстия < 10 мкм.

Энергетика: Обработка отверстий шпинделя ветряной турбины, шероховатость поверхности $Ra < 0,8$ мкм, срок службы увеличен на 50%.

4. Технические характеристики твердосплавных интегральных сверл

Высокая производительность: скорость резания 30–150 м/мин, подача 0,05–0,3 мм/об, производительность обработки увеличивается на 40%.

Высокая точность: допуск апертуры < 8 мкм, погрешность круглости < 5 мкм, соответствует стандартам ISO 8015.

Долговечность: срок службы сверл с покрытием составляет 10 000–20 000 отверстий, а частота смены инструмента сокращается на 60%.

Возможность вторичной переработки: использованные сверла можно перерабатывать путем плавки цинка или химическими методами, при этом степень извлечения вольфрама составляет более 90%, а затраты снижаются на 30–40%.

5. Тенденция развития твердосплавных интегральных сверл

Интеллектуальная конструкция: в сочетании с искусственным интеллектом для оптимизации угла наклона спирали (25° – 35°) и параметров резания погрешность обработки снижается на 25%.

Экологичное производство: исследования и разработки карбида вольфрама с низким содержанием кобальта ($< 5\%$) для снижения воздействия на окружающую среду; продвижение технологии электрохимической переработки для снижения выбросов жидких отходов на 60%.

Современные покрытия: разработка наномногослойных покрытий (таких как TiAlN /DLC), которые повышают износостойкость на 60% и продлевают срок службы в 2 раза.

Технология внутренней подачи СОЖ: оптимизированная конструкция внутреннего канала подачи СОЖ (давление 10–20 бар), температура резания снижена на 30%, подходит для

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

сухой обработки или обработки с минимальной смазкой.

обработка отверстий благодаря своей высокой твердости, износостойкости и высокой точности, широко используются в аэрокосмической, автомобильной и энергетической промышленности. В будущем, благодаря интеллектуальному проектированию, экологичной переработке и передовой технологии покрытия, цельные твердосплавные сверла еще больше повысят эффективность обработки, снижат затраты и будут поддерживать устойчивое развитие, помогая повысить конкурентоспособность китайского высокотехнологичного производства.

приложение:

Твердосплавный наружный токарный инструмент

1. Обзор твердосплавных инструментов для наружного точения

Твердосплавные наружные токарные инструменты представляют собой режущие инструменты с карбидом на основе вольфрама (например, WC-Co, WC-Ni) в качестве материала головки инструмента и широко используются для токарной обработки наружных цилиндрических поверхностей, торцов, ступеней и канавок. Его высокая твердость (HV1600-2000), отличная износостойкость и высокая температурная стабильность (сохранение прочности 600-800 °C) делают его пригодным для обработки углеродистой стали, легированной стали, нержавеющей стали, чугуна и жаропрочных сплавов, отвечая потребностям автомобильной, аэрокосмической, литейной и общей машиностроительной промышленности в высокоточной (IT6-IT8) и высокоэффективной обработке.

2. Материалы и изготовление твердосплавных наружных токарных резцов

Состав материала: в основном состоит из карбида вольфрама (WC, составляет 80-90%) и связующего вещества (например, Co, Ni, составляет 5-15%), с добавлением TiC и TaC для повышения износостойкости. Co улучшает прочность (например, WC-8Co для черновой обработки), а Ni улучшает коррозионную стойкость (подходит для мокрой резки).

Процесс производства:

Порошковая металлургия: смешивание порошков WC и Co (размер частиц 0,5–2 мкм), прессование (давление 200–400 МПа), вакуумное спекание при температуре 1350–1450 °C, твердость достигает HV1700–1900.

Прецизионная шлифовка: Для обработки режущей головки используется алмазный шлифовальный круг с остротой кромки <5 мкм и шероховатостью поверхности Ra <0,2 мкм, что обеспечивает точность резки.

Технология покрытия: Нанесение покрытия методом PVD или CVD (например, TiN, TiCN, Al₂O₃) толщиной 2–6 мкм снижают коэффициент трения до 0,2–0,3 и увеличивают срок службы инструмента на 50–80%.

Преимущества: По сравнению с токарными инструментами из быстрорежущей стали твердосплавные токарные инструменты имеют скорость резания в 2–4 раза выше (50–200 м/мин) и срок службы в 3–6 раз больше.

3. Типы и области применения твердосплавных наружных токарных инструментов

Твердосплавный наружный токарный инструмент - сменный токарный инструмент

Лезвия являются сменными и весьма универсальными, что делает их пригодными для массового производства, например, для обработки автомобильных коленчатых валов (диаметр 50–200 мм, точность IT7).

Твердосплавный наружный токарный резец - сварной токарный резец

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Режущая головка приварена к стальному корпусу режущего инструмента, что обеспечивает низкую стоимость и подходит для обработки внешнего круга корпуса насоса на малых и средних перерабатывающих предприятиях.

Твердосплавный наружный токарный инструмент - интегральный токарный инструмент

Фрезерная головка интегрирована с корпусом фрезы, что подходит для высокоточной обработки, например, валов авиационных турбин (диаметр 20-100 мм, точность IT6).

Примеры применения:

Автомобильная промышленность: обработка цилиндров двигателей с годовым объемом производства более 50 миллионов штук и сроком службы инструмента 10 000 штук на лопатку.

Аэрокосмическая промышленность: Токарная обработка диска турбины из титанового сплава, скорость резания 80 м/мин, шероховатость поверхности $Ra < 0,8$ мкм.

Изготовление пресс-форм: обработка пресс-форм из стали высокой твердости (HRC50-60) может увеличить срок службы инструмента на 40%.

4. Технические характеристики твердосплавных наружных токарных резцов

Высокая производительность: скорость резания 50–200 м/мин, подача 0,1–0,4 мм/об, производительность обработки увеличивается на 30–50%.

Высокая точность: допуск размеров < 10 мкм, шероховатость поверхности $Ra 0,4–0,8$ мкм, что соответствует стандартам ISO 1832.

Долговечность: Срок службы токарных инструментов с покрытием достигает 5000–10 000 шт., а частота смены инструмента сокращается на 60%.

Вторичная переработка: Отработанные лезвия можно перерабатывать методом плавки цинка или химическими методами, при этом степень извлечения вольфрама составляет более 90%, а затраты снижаются на 30–40%.

5. Тенденция развития твердосплавных наружных токарных инструментов

Интеллектуальная оптимизация: в сочетании с искусственным интеллектом для оптимизации параметров резки (таких как угол основного отклонения и глубина резки) эффективность обработки повышается на 20%.

Экологичное производство: исследования и разработки цементированного карбида с низким содержанием Со ($< 5\%$) для снижения воздействия на окружающую среду; продвижение технологии электрохимической переработки для снижения выбросов жидких отходов на 50%.

Современные покрытия: разработка нанокompозитных покрытий (таких как $TiAlN / Si_3N_4$), которые повышают износостойкость на 60% и продлевают срок службы в 2 раза.

Модульная конструкция: способствует стандартизации сменных пластин (ISO 1832), сокращая затраты на запасы инструмента на 25%.

Благодаря высокой твердости, износостойкости и высокой точности, наружные токарные инструменты из цементированного карбида стали основными инструментами для внешней

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

токарной обработки и широко используются в автомобильной, аэрокосмической и пресс-форменной промышленности. В будущем, благодаря интеллектуальной оптимизации, зеленой переработке и передовой технологии покрытия, наружные токарные инструменты из цементированного карбида еще больше повысят эффективность обработки, снизят затраты и будут поддерживать устойчивое развитие, помогая повысить конкурентоспособность китайского высокотехнологичного производства.

приложение:

Твердосплавные зубчатые фрезы

1. Обзор твердосплавных зубчатых инструментов

Твердосплавные зуборезные фрезы представляют собой специальные режущие инструменты, изготовленные из карбида на основе вольфрама (например, WC-Co, WC-Ni) в качестве основного материала, и широко используются в обработке зубчатых колес, такой как зубофрезерование, зубодолбление, зубошевингование и зубошлифование. Его высокая твердость (HV1600-2000), отличная износостойкость и высокотемпературная красностойкость (600-800 °C по-прежнему сохраняет высокую прочность) делают его пригодным для обработки таких материалов, как высокопрочная сталь, легированная сталь и нержавеющая сталь, удовлетворяя потребности автомобильной, аэрокосмической, энергетической и тяжелого машиностроения в высокоточных зубчатых колесах (точность до ISO 4-6).

2. Материалы и производство твердосплавных зубчатых инструментов

Состав материала: в основном состоит из карбида вольфрама (WC, составляет 80-90%) и связующего вещества (например, Co, Ni, составляет 5-15%), с небольшим количеством TiC и TaC, добавленных для повышения износостойкости. Чем выше содержание Co, тем выше прочность (например, WC-10Co); Сплавы на основе Ni устойчивы к коррозии и подходят для особых условий.

Процесс производства:

Порошковая металлургия: смешивают WC, Co и другие порошки (размер частиц 0,5–2 мкм), прессуют в форму (давление 300–500 МПа) и спекают при температуре 1350–1500 °C в вакууме или атмосфере водорода до достижения твердости HV1800.

Прецизионное шлифование: для обработки профиля зубьев инструмента используется шлифовальный круг из КНБ с шероховатостью поверхности $Ra < 0,2$ мкм и радиусом режущей кромки < 10 мкм для обеспечения точности резки.

Технология покрытия: Нанесение покрытия методом PVD или CVD (например, TiN, TiAlN, AlCrN) толщиной 2-5 мкм снижают коэффициент трения (0,2-0,4) и продлевают срок службы на 50-100%.

Преимущества: По сравнению с быстрорежущей сталью (HSS) срок службы твердосплавного инструмента в 3–5 раз больше, а скорость резания в 2–3 раза выше (100–300 м/мин).

3. Типы и области применения зуборезных фрез из твердого сплава

Зубофрезерная фреза из твердого сплава

Используется для черновой и чистовой обработки прямозубых и косозубых зубчатых колес с высокой эффективностью обработки, подходит для автомобильных трансмиссий (модуль 1-10).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Зубодолбежный резец из карбида

Обработка внутренних зубчатых колес и специальных форм зубьев с точностью ISO 5 для авиационных редукторов.

Твердосплавная зубошпинговая фреза

Поверхность зубьев обработана с высокой точностью, шероховатость поверхности $Ra < 0,8$ мкм, что подходит для массового производства высокоточных зубчатых передач.

Твердосплавный зубошлифовальный нож

Закаленная поверхность зубьев ($HRC > 60$) обрабатывается с использованием твердосплавной основы в сочетании с покрытием CBN с точностью ISO 3-4 для ветроэнергетических и высокоскоростных железнодорожных передач.

Примеры применения:

Автомобильная промышленность: обработка зубчатых передач коробок передач с годовым объемом производства более 100 миллионов штук и сроком службы инструмента 100 000 штук на лопасть.

Аэрокосмическая промышленность: обработка зубчатых передач газотурбинных двигателей, модуль 0,5–2, точность ISO 4, снижение усилий резания на 20%.

4. Технические характеристики зубчатых колес из твердого сплава

Высокая производительность: скорость резания 150-300 м/мин, скорость подачи 0,1-0,5 мм/об, производительность обработки увеличивается на 40%.

Высокая точность: погрешность профиля зуба < 5 мкм, погрешность шага зуба < 3 мкм, что соответствует стандарту DIN 3962.

Долговечность: срок службы инструмента из твердого сплава с покрытием достигает 5000–10 000 единиц, что снижает частоту смены инструмента на 50%.

Вторичная переработка: Отработанные инструменты можно перерабатывать химическим методом или методом плавки цинка, при этом степень извлечения вольфрама составляет более 90%, а снижение затрат составляет 30–40%.

5. Тенденция развития зубчатых передач из твердого сплава

Интеллектуальная конструкция: в сочетании с искусственным интеллектом для оптимизации формы зуба и параметров резки погрешность обработки снижается на 30%.

Экологичное производство: разработка карбида вольфрама с низким содержанием кобальта ($< 5\%$) или без содержания кобальта для снижения воздействия на окружающую среду; продвижение технологии переработки ионных жидкостей для сокращения выбросов жидких отходов на 60%.

Композитное покрытие: Исследования и разработки нано-многослойных покрытий (таких как TiAlN /DLC), которые повышают износостойкость на 50% и продлевают срок службы в 2 раза.

Аддитивное производство: изучите 3D-печатные твердосплавные основы инструментов, позволяющие снизить стоимость производства сложных форм зубьев на 20%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Твердосплавные зуборезные инструменты стали основными инструментами для обработки зубчатых колес благодаря своей высокой твердости, износостойкости и высокой точности и широко используются в автомобильной, аэрокосмической и энергетической промышленности. В будущем, благодаря интеллектуальному проектированию, экологичной переработке и передовым технологиям покрытия, твердосплавные зуборезные инструменты еще больше повысят эффективность, снизят затраты и будут поддерживать устойчивое развитие, помогая повысить глобальную конкурентоспособность китайского высокотехнологичного производства.

приложение:

Твердосплавный резак для зубчатых колес ветряных турбин

Твердосплавный зубчатый резец ветряной турбины изготовлен на основе карбида вольфрама (WC) (WC 8594 мас. %, Co 615 мас. %). Благодаря прецизионной шлифовке и покрытию PVD/CVD (например, TiAlN, AlCrN, 46 мкм), он достигает высокой твердости (1800-2200 HV), износостойкости (потери на износ $<0,05 \text{ мм}^3 / \text{ч}$, ASTM G65) и высокотемпературной красностойкости (800-1000 °C, твердость $>1200 \text{ HV}$). Он специально разработан для зубчатых передач ветряных турбин (42CrMo4, 18CrNiMo76, HRC 5562, модуль 1040), подходит для зубофрезерования, зубодолбления, дискового фрезерования и твердого точения, со скоростью резания 100-500 м/мин, сроком службы 500-2000 минут, точностью профиля зуба AGMA 1012 и шероховатостью поверхности Ra 0,4-0,8 мкм.

Эта статья основана на национальных стандартах (GB/T 183762014, GB/T 79972017) и отраслевых практиках, и объясняет режущие инструменты, производственные процессы, производительность, области применения и направления оптимизации. Она умеренно рекомендует возможности настройки высокопроизводительных режущих инструментов CTIA GROUP LTD и не имеет ничего общего с новыми энергетическими электролитическими ячейками и процессами цементации/декарбюризации.

1. Обзор твердосплавных ветроэнергетических редукторов

1.1 Определение и характеристики инструментов из карбида вольфрама для зубчатых передач ветряных турбин

Фрезы для зубчатых колес ветряных турбин из цементированного карбида отвечают требованиям обработки, предъявляемым к большому модулю (1040) и высокой твердости (HRC 5562) зубчатых колес ветряных турбин, благодаря сверхмелкозернистой/средне-крупнозернистой подложке WC (0,22 мкм), покрытию PVD/CVD (TiAlN / AlCrN) и прецизионной обработке (отклонение профиля зуба $\leq \pm 0,005 \text{ мм}$).

Характеристики твердосплавных зубчатых фрез для ветроэнергетики :

Высокая твердость: 1800-2200 HV, износостойкость в 510 раз выше, чем у быстрорежущей стали (HSS, 800 HV).

Термостойкость : 800-1000 ° C, подходит для сухой резки/резки с минимальным количеством смазки (MQL).

Износостойкость : скорость износа $<0,05 \text{ мм}^3/\text{ч}$, срок службы 500-2000 минут.

Ударная вязкость : прочность на изгиб 1,82,8 ГПа, вязкость разрушения KIC 1015 МПа·м^{1/2}.

Применение : Редукторы ветроэнергетических установок (планетарные передачи, шестерни главного вала), компоненты редукторов.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.2 Типы твердосплавных зубчатых фрез для ветряных турбин

Фрезерный станок : грубая/тонкая зубофрезерная обработка , скорость 100-400 м/мин.

Зубодолбежный станок : внутренняя и наружная обработка зубчатых колёс, скорость 150-300 м/мин.

Дисковая фреза : фрезерование зубчатых пазов, скорость 200-500 м/мин.

Инструмент для твердого точения : твердое точение (HRC 5562), скорость 80200 м/мин.

1.3 Преимущества твердосплавных ветроэнергетических зубчатых передач

Эффективность: скорость резания в 35 раз выше, чем у HSS, а эффективность увеличена на 30-50%.

Срок службы : Срок службы инструмента с покрытием 500–2000 минут (HSS 100–300 минут).

Точность : точность профиля зуба AGMA 1012, Ra 0,40,8 мкм .

Адаптивность : подходит для обработки с большим модулем, твердых материалов, сухой/мокрой резки.

2. Материалы для инструментов из цементированного карбида для ветроэнергетических передач

2.1 Ингредиенты

Основание инструмента из карбида ветряной турбины :

Содержание WC : 8594 мас. %, размер зерна 0,22 мкм .

Ультрамелкое зерно (0,2-0,5 мкм) : твердость 2000-2200 HV, тонкая обработка.

Средне-крупное зерно (12 мкм) : прочность KIC 1215 МПа·м^{1/2}, грубая обработка.

Co : 615 мас. %.

Низкое содержание Co (68 мас. %): твердость 1800–2200 HV, высокая износостойкость.

Высокое содержание Co (1015 мас. %): прочность на изгиб 2,2–2,8 ГПа , хорошая ударопрочность.

Добавка : Cr3C2/VC (0,21 мас. %), твердость увеличена на 510%.

Покрывание инструмента для зубчатых передач ветряных турбин из карбида :

TiAlN (PVD) : твердость 3000-3300 HV, термостойкость 900-1100°C, срок службы увеличен на 30-50%.

AlCrN (PVD) : твердость 3000 HV, коэффициент трения 0,3, подходит для твердой обработки.

GC4240 (CVD) : твердость 2800 HV, отличная износостойкость, подходит для черновой обработки.

2.2 Градиентная структура зубчатого колеса ветровой турбины из цементированного карбида

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Поверхность : низкое содержание Co (68 мас. %), ультрамелкое зерно WC (0,2-0,5 мкм) , твердость 2000-2200 HV.

Сердечник : высокое содержание Co (1012 мас. %), средне-крупнозернистый WC (12 мкм) , KIC 1215 МПа·м^{1/2} .

Преимущества : Износостойкость повышена на 2030%, ударопрочность повышена на 1520%, вероятность трещин снижена на 20%.

Подготовка : послойное прессование + спекание HIP (1350°C, 120 МПа).

2.3 Требования к рабочим характеристикам инструментов из карбида ветряных турбин

Твердость: 1800-2200 HV (GB/T 79972017).

Прочность на изгиб: 1,82,8 ГПа (GB/T 38512015).

Вязкость разрушения: 1015 МПа·м^{1/2} .

Износостойкость: Скорость износа <0,05 мм³/ч (ASTM G65).

Теплопроводность: 80100 Вт/ м· К .

3. Процесс изготовления зубчатых фрез для ветровых турбин из карбида вольфрама

3.1 Приготовление порошка

Сырье : WC (D50 0,22 мкм , чистота >99,9%) , Co (D50 12 мкм) , Cr3C2 /VC (D50 0,51 мкм) .

Шаровая мельница : планетарная шаровая мельница (шары ZrO₂, 10:1), 300 об/мин, 1624 ч, отклонение размера частиц <±0,1 мкм , однородность >95%.

3.2 Формирование

Метод : Холодное изостатическое прессование (ХИП).

Параметры : 250-300 МПа, выдержка под давлением 60 секунд, стальная форма (отклонение <±0,05 мм), плотность заготовки 8,710,5 г/см³ .

Результаты : Отклонение размеров <±0,1 мм, частота трещин <1%.

3.3 Спекание

Метод : Вакуумное спекание + ГИП.

параметр :

Депарафинизация: 200–600 °C, 3 °C/мин, атмосфера H₂ (O₂ <5 ppm), 10⁻² Па.

Спекание: 1350/1450°C, 10⁻⁴ 10⁻⁵ Па, 23 ч.

Горячее изостатическое прессование: 1350°C, 120 МПа (Ag), 12 ч.

Результаты : Плотность 14,815,0 г/см³ , пористость <0,001%, твердость 1800/2200 HV.

3.4 Прецизионная обработка

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Шлифовка : шлифовальный станок с ЧПУ, алмазный круг (510 мкм) , 3000 об/мин, подача 0,01-0,05 мм/проход, отклонение профиля зуба $\leq \pm 0,005$ мм, Ra 0,1-0,2 мкм .

Полировка : алмазная полировальная паста (13 мкм) , 800 об/мин, Ra $< 0,1$ мкм .

3.5 Покрытие

Метод : PVD/CVD (цели Ti/Al/Cr, $>99,99\%$).

Параметры : TiAlN / AlCrN (46 мкм) , 10^{-4} Па, 300-450 °C, смещение 80-100 В, скорость осаждения 1 мкм /ч.

Результаты : Адгезия >80 Н, термостойкость 900-1100°C, срок службы увеличен на 30-50%.

3.6 Обнаружение

Микроструктура : СЭМ (зерно 0,22 мкм) , РФЭС (отклонение $\leq \pm 0,1$ мас. %) .

Характеристики : Отклонение твердости $\leq \pm 50$ HV (ISO 6508), объем износа $< 0,05$ мм³/ч (ASTM G65), прочность на изгиб 1,82,8 ГПа .

Геометрия : КИМ, отклонение формы зуба $\leq \pm 0,005$ мм (AGMA 1012).

4. Сценарии применения инструментов из цементированного карбида для зубчатых передач ветряных турбин

Инструменты для резки зубчатых колес ветряных турбин из карбида вольфрама содержат режущие инструменты, параметры процесса, данные испытаний и рекомендации по выбору для следующих рабочих условий для эффективной обработки зубчатых колес ветряных турбин (модуль 1040, HRC 5562):

Черновая зубофрезерная обработка (42CrMo4, HRC 55) :

Условия работы : материал 42CrMo4 (HRC 55), модуль 20, диаметр шестерни Ø 800 мм, черновая обработка.

Нож :

Тип : Фреза (Ø 200 мм, 12 зубьев).

Матрица : WC12%Co (средне-крупное зерно, D50 12 мкм , VC 0,5 мас. %) , твердость 1600-1800 HV, KIC 1415 МПа·м^{1/2} .

Покрытие : CVD GC4240 (6 мкм , твердость 2800 HV, термостойкость 1000°C).

Геометрия : угол зацепления 20°, радиус вершины зуба 0,5 мм, боковые поверхности зубьев полированные (Ra $< 0,1$ мкм) .

Процесс : шаровая мельница в течение 22 часов, СІР 300 МПа, спекание 1450 °C (10^{-5} Па, 3 часа), НІР 1350 °C (120 МПа, 2 часа), шлифование (отклонение профиля зуба $\leq \pm 0,005$ мм), CVD GC4240 (450 °C, адгезия >80 Н).

Параметры резания : скорость 200 м/мин, подача 2 мм/об, глубина резания 5 мм, минимальный расход воздуха (0,2 л/ч).

Данные испытаний :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Срок службы: 800 минут (HSS 200 минут, в 4 раза дольше) .

AGMA 10, Ra 0,8 мкм .

Сила резания: 1200 Н (HSS 1500 Н, уменьшена на 20%).

Потери на износ: VB <0,3 мм, <0,05 мм³/ч.

Рекомендации по выбору : средне-крупнозернистый карбид вольфрама + высокое содержание кобальта (12 мас. %) + сплав GC4240, фреза диаметром 200 мм, минимальный уровень шума (MQL) + регулярный осмотр износа поверхности зубьев.

Прецизионная зубофрезерная обработка (18CrNiMo76, HRC 60) :

Условия работы : материал 18CrNiMo76 (HRC 60), модуль 15, диаметр шестерни Ø 600 мм, тонкая обработка.

Нож :

Тип : Фреза (Ø 180 мм, 10 зубьев).

Матрица : WC6%Co (ультрамелкое зерно, D50 0,20,5 мкм , Cr3C2 0,5 мас. %), твердость 2000-2200 HV.

Покрытие : PVD TiAlN (4 мкм , твердость 3300 HV, термостойкость 1100°C).

Геометрия : угол зацепления 20°, радиус вершины зуба 0,3 мм, радиус режущей кромки 0,02 мм.

Процесс : шаровая мельница в течение 20 часов, СІР 280 МПа, спекание 1400 °С (10⁻⁵ Па, 2,5 часа), HIP 1350 °С (120 МПа, 1,5 часа), шлифование (Ra 0,1 мкм) , PVD TiAlN (350 °С, адгезия >100 Н) .

Параметры резания : скорость 300 м/мин, подача 0,5 мм/об, глубина резания 1 мм, сухая резка.

Данные испытаний :

Срок службы: 1200 минут (HSS 250 минут, в 4,8 раза дольше) .

AGMA 12, Ra 0,4 мкм .

Сила резания: 800 Н (HSS 1000 Н, уменьшена на 20%).

Потери на износ: VB <0,2 мм, <0,04 мм³/ч.

Рекомендации по выбору : сверхмелкозернистый WC + низкое содержание Co (6 мас. %) + TiAlN , фреза Ø 180 мм , сухая резка + высокоточный станок.

Зубодолбление (42CrMo4, HRC 58) :

Условия работы : Материал 42CrMo4 (HRC 58), модуль 25, внутренний диаметр зубчатого колеса 1000 мм.

Нож :

Тип : Зуборезный станок (Ø 150 мм, 8 зубьев).

Матрица : WC10%Co (мелкое зерно, D50 0,51 мкм , Cr3C2 0,5 мас. %), твердость 1800–2000 HV.

Покрытие : PVD AlCrN (5 мкм , твердость 3000 HV, трение 0,3).

Геометрия : угол зацепления 20°, радиус режущей кромки 0,03 мм, полированная боковая поверхность зуба (Ra < 0,1 мкм) .

Обработка : шаровая мельница в течение 18 часов, СІР 280 МПа, спекание 1420 °С (10⁻⁴ Па,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2 часа), HIP 1350 °C (120 МПа, 1,5 часа), шлифование (Ra 0,1 мкм), PVD AlCrN (400 °C, адгезия >80 Н).

Параметры резки : скорость 200 м/мин, подача 0,1 мм/ход, глубина резания 2 мм, влажная резка (10 л/мин).

Данные испытаний :

Срок службы: 1000 минут (HSS 300 минут, увеличен в 3,3 раза).

AGMA 11, Ra 0,6 мкм.

Сила резания: 1000 Н (HSS 1300 Н, уменьшение на 23%).

Потери на износ: VB <0,25 мм, <0,05 мм³/ч.

Рекомендации по выбору : мелкозернистый WC+ AlCrN, зубодолбежная фреза Ø 150 мм, резка с мокрым резанием + станок с низкой вибрацией.

Твердая токарная обработка (18CrNiMo76, HRC 62) :

Условия работы : материал 18CrNiMo76 (HRC 62), модуль 15, диаметр шестерни Ø 500 мм, тонкая обработка.

Нож :

Тип : Твердый токарный инструмент (сменная пластина, CNMG120408).

Матрица : WC6%Co (ультрамелкое зерно, D50 0,20,5 мкм, Cr3C2 0,5 мас. %), твердость 2000-2200 HV.

Покрывание : PVD TiAlN (4 мкм, твердость 3300 HV, термостойкость 1100°C).

Геометрия : главный передний угол 75°, угол наклона режущей кромки 6°, радиус режущей кромки 0,02 мм, 3D стружколом.

Процесс : шаровая мельница в течение 20 часов, CIP 280 МПа, спекание 1400 °C (10⁻⁵ Па, 2,5 часа), HIP 1350 °C (120 МПа, 1,5 часа), шлифование (радиус кромки <5 мкм), PVD TiAlN (350 °C, адгезия >100 Н).

Параметры резания : скорость 150 м/мин, подача 0,1 мм/об, глубина резания 0,5 мм, сухая резка.

Данные испытаний :

Срок службы: 1500 минут (HSS 200 минут, увеличен в 7,5 раз).

Точность: класс AGMA 12, Ra 0,4 мкм, ±0,01 мм.

Сила резания: 600 Н (HSS 800 Н, уменьшена на 25%).

Потери на износ: VB <0,15 мм, <0,04 мм³/ч.

Рекомендации по выбору : сверхмелкозернистый WC+ TiAlN, CNMG120408MF, сухая резка+ станки высокой жесткости.

5. Анализ производительности инструментов из цементированного карбида для зубчатых передач ветряных турбин

параметр	Твердосплавные инструменты	Быстрорежущая сталь (HSS)
Твёрдость (HV)	18002200	800900
Прочность на изгиб (ГПа)	1.82.8	34

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

параметр	Твердосплавные инструменты	Быстрорежущая сталь (HSS)
Прочность (KIC)	1015 МПа·м ^{1/2}	2050 МПа·м ^{1/2}
Износостойкость (мм ³ /ч)	<0,05	0.20.5
Теплостойкость (°C)	800/1000	500/600
Скорость резания (м/мин)	100500	20100
Продолжительность жизни (минуты)	500/2000	100/300
Ra (мкм)	0.40.8	1.02.0

Основные моменты :

Износостойкость: Сверхмелкозернистый WC+TiAlN / AlCrN , износ <0,05 мм³/ч, срок службы увеличен в 37,5 раз.

Теплостойкость: 800-1000°C, твердость>1200 HV, резка без смазки.

Эффективность: Скорость 100500 м/мин, эффективность увеличена на 3050%.

Точность: класс AGMA 1012, Ra 0,40,8 мкм .

6. Предложения по оптимизации твердосплавных зубчатых инструментов для ветровых турбин

Оптимизация материала :

Черновая обработка : средне - крупнозернистый WC (12 мкм) , Co 12 мас. %, GC4240 (6 мкм) , износостойкость повышена на 20%.

Отделка : сверхмелкозернистый WC (0,20,5 мкм) , Co 6 мас. %, TiAlN (4 мкм) , точность ±0,01 мм .

Зубодолбление : мелкозернистый WC (0,51 мкм) , AlCrN (5 мкм) , ударопрочность повышена на 15%.

Добавка : Cr3C2/VC 0,5 мас. %, твердость увеличена на 510%.

Оптимизация процесса :

Спекание : HIP 1350°C, 120 МПа, пористость <0,001%, износостойкость увеличена на 15%.

Шлифовка : шлифовальный станок с ЧПУ, алмазный шлифовальный круг (58 мкм) , отклонение профиля зуба <±0,005 мм, Ra < 0,1 мкм .

покрытие :

TiAlN (4 мкм , 350°C, смещение 100 В) , термостойкость увеличена на 20%.

AlCrN (5 мкм , 400°C, смещение 80 В) , ударопрочность увеличена на 15%.

GC4240 (6 мкм , 450°C) , износостойкость увеличена на 25%.

3D- печать : SLM-формование сложных форм зубов, время цикла сокращено на 20%, точность ±0,01 мм.

Оптимизация оборудования :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Печь для спекания: регулировка температуры $\pm 3^{\circ}\text{C}$, 10^{-5} Па.

Шлифовальный станок с ЧПУ: отклонение профиля зубьев $< \pm 0,005$ мм.

Оборудование для нанесения покрытия: скорость осаждения 12 мкм /ч, отклонение $< \pm 0,1$ мкм .

Адаптация к условиям труда :

Грубая зубофрезерная обработка : средне-крупное зерно WC+GC4240, скорость 200-300 м/мин, MQL.

Прецизионная зубофрезерная обработка : сверхмелкозернистая карбид вольфрама (WC) + титановый нитрид (TiAlN) , скорость 250-400 м/мин, сухая резка.

Зубодолбление : мелкозернистый WC+ AlCrN , скорость 150-250 м/мин, резка с использованием СОЖ .

Твердая токарная обработка : сверхмелкозернистый WC+ TiAlN , скорость 100-200 м/мин, резка без СОЖ.

Тестирование и проверка :

Микроструктура : СЭМ (зерно 0,22 мкм) , EBSD (напряжение на границах зерен $< 5\%$).

Эксплуатационные характеристики : ASTM G65 ($< 0,04-0,05$ мм³/ч), высокотемпературная твердость (> 1200 HV, 900°C).

Испытание : сила резания 600-1200 Н, срок службы 800-1500 мин, Ra 0,4-0,8 мкм , класс AGMA 1012.

7. Стандарты и спецификации для твердосплавных зуборезных инструментов для ветряных турбин

GB/T 183762014 : Пористость $< 0,01\%$.

GB/T 38502015 : Отклонение плотности $< \pm 0,1$ г/см³ .

GB/T 38512015 : Прочность 1,8-2,8 ГПа .

GB/T 7997- 2017 : Твердость 1400-2200 HV.

ASTM G 65 : Скорость износа $< 0,05$ мм³/ч.

ISO 6508 : Отклонение твердости $< \pm 50$ HV.

ISO 1832 : Отклонение формы зуба $< \pm 0,01$ мм.

AGMA 2015 : Уровень точности профиля зуба 1012.

8. Заключение

Зубчатые инструменты из цементированного карбида для ветряных турбин достигают высокой твердости (1800-2200 HV), износостойкости ($< 0,05$ мм³/ч), термостойкости ($800-1000^{\circ}\text{C}$) и стабильности (срок службы 800-1500 минут) за счет оптимизации материалов (ультрамелкозернистый WC 0,20,5 мкм , Co 612 wt % , покрытие TiAlN / AlCrN /GC4240) и процессы (спекание HIP 1350°C , 120 МПа, покрытие PVD/CVD 300450°C).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Инструмент подходит для черновой/чистовой обработки зубчатых передач ветроэнергетических установок (42CrMo4, 18CrNiMo76, HRC 5562, модуль 1040) со скоростью 100500 м/мин, повышением эффективности на 3050% и точностью AGMA 1012, Ra 0,40,8 мкм. Оптимизация сверхтонких зерен, композитных покрытий и прецизионного шлифования может снизить затраты (5002000 юаней за штуку), а проблемы заключаются в обработке больших модулей (затраты на шлифование увеличиваются на 20%) и адгезии покрытия (требуется >80 Н).

CTIA GROUP LTD использует нано WC (D50 0,20,5 мкм), спекание HIP (пористость <0,001%) и многослойное PVD/CVD покрытие для разработки высокопроизводительных червячных фрез, зубодолбежных резцов и твердых токарных инструментов для обработки зубчатых передач ветроэнергетических установок (срок службы >1200 минут, точность уровня AGMA 12). Продукция прошла проверку SEM, ASTM G65 и AGMA 2015.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

приложение:

ГБ/Т 18376-2001

Метод испытания производительности цементированного карбида

1 Область применения

Этот стандарт определяет методы испытаний свойств твердого сплава, включая процедуры испытаний на твердость, плотность, прочность на изгиб, вязкость разрушения, микроструктуру, магнитные свойства, пористость и износостойкость. Этот стандарт применим к твердому сплаву с карбидом вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальтом (Co) в качестве связующей фазы, а также применим к другим аналогичным материалам твердого сплава (например, твердому сплаву с добавлением TaC и VC). Этот стандарт не применим к испытаниям производительности твердого сплава с покрытием.

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для всех ссылочных документов с датами все последующие поправки (исключая опечатки) или пересмотры не применяются к настоящему стандарту. Для всех ссылочных документов без дат к настоящему стандарту применяется последняя версия. GB/T 228.1-2001 Испытание на растяжение металлических материалов. Часть 1: Метод испытания при комнатной температуре

GB/T 230.1-2001 Испытание твердости металлических материалов по Роквеллу. Часть 1: Метод испытания (шкалы A, B, C)

GB/T 3848-2001 Метод определения плотности твердого сплава

GB/T 3850-2001 Метод определения прочности на изгиб твердого сплава

GB/T 3851-2001 Метод определения вязкости разрушения твердого сплава

GB/T 5242-2001 Метод испытания микроструктуры твердого сплава

GB/T 7997-2001 Метод испытания твердого сплава на твердость по Виккерсу

GB/T 9097-2001 Метод определения магнитных свойств твердого сплава

3 Термины и определения

В настоящем стандарте используются следующие термины и определения:

Твердый сплав: композитный материал, изготовленный методом порошковой металлургии, в котором основной твердой фазой является карбид вольфрама (WC), а связующей фазой — кобальт (Co).

Твердость (HV): способность твердого сплава противостоять проникновению индентора по Виккерсу, выражаемая как значение твердости по Виккерсу (HV30), единица измерения: кгс/мм².

Плотность (ρ): отношение массы твердого сплава к его объему, выраженное в г/см³.

Прочность на изгиб (σ_{bb}): максимальное напряжение, которое выдерживает образец твердого сплава при испытании на трехточечный изгиб, выраженное в МПа.

Вязкость разрушения (K_{IC}): способность твердого сплава противостоять росту трещин, выраженная в МПа·м^{1/2}.

Микроструктура: Характеристики распределения зерен WC, фазы Co и пор в твердом сплаве.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Магнитные свойства: Значение магнитного насыщения (M_s) и коэрцитивная сила (H_c) цементированного карбида отражают магнитные характеристики фазы Co .

Пористость: объемный процент пор в твердом сплаве, подразделяемый на три категории: A, B и C.

4. Подготовка образца

4.1 Требования к образцам

Образец должен иметь правильную геометрическую форму (например, прямоугольный параллелепипед, цилиндр), ровную поверхность, не иметь трещин, оксидного слоя и дефектов обработки.

Размер выборки должен соответствовать требованиям каждого теста производительности, таким как:

Испытание на твердость: площадь поверхности $> 5 \times 5$ мм, толщина > 2 мм.

Испытание на прочность при изгибе: длина $\times$ ширина $\times$ высота = $20 \times 6,5 \times 5,25$ мм ($\pm 0,05$ мм).

Испытание на вязкость разрушения: длина $\times$ ширина $\times$ высота = $20 \times 4 \times 2$ мм ($\pm 0,02$ мм).

Шероховатость поверхности образца составляет $R_a < 0,1$ мкм (полированная).

4.2 Количество образцов

Количество образцов в каждой партии должно быть не менее 5 для обеспечения статистической репрезентативности результатов испытаний.

Если отклонение результата велико ($> 5\%$), количество образцов необходимо увеличить до 10.

4.3 Маркировка образцов

Образцы должны быть промаркированы номером партии, маркой (например, YG8, YT15) и испытуемыми образцами, при этом маркировка не должна затрагивать область испытания.

5 методов испытаний

5.1 Испытание на твердость

5.1.1 Принцип испытания

Используется метод твердости по Виккерсу (HV30). Прикладывается нагрузка 30 кгс , и индентор Вickers вдавливаются в поверхность образца. Измеряется диагональная длина отпечатка и вычисляется значение твердости.

5.1.2 Оборудование

Твердомер по Виккерсу в соответствии с требованиями GB/T 7997-2001.

Индентор: стандартный алмазный индентор Вickers, угол при вершине $136^\circ (\pm 0,5^\circ)$.

Микроскоп: увеличение 400 $\times$, разрешение $< 0,5$ мкм .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.1.3 Этапы тестирования

Поверхность образца была отполирована до $Ra < 0,1$ мкм, очищена и высушена.

Приложите нагрузку 30 кгс и удерживайте ее в течение 10–15 с.

Измерьте длины диагоналей углубления (d_1 , d_2) и возьмите среднее значение ($d = (d_1 + d_2)/2$).

Рассчитайте значение твердости:

$$HV = \frac{1.8544 \times F}{d^2}$$

其中: $F = 30$ kgf, d 单位为 mm。

5.1.4 Обработка результатов

Для каждого образца измерялось 5 точек, и бралось среднее значение с отклонением $< \pm 2\%$.

Диапазон значений твердости: HV 1200-2000 (в зависимости от марки, например, YG8 около HV 1500).

5.2 Тест на плотность

5.2.1 Принцип испытания

заключается в использовании метода Архимеда для расчета плотности путем измерения массы образца в воздухе и в жидкости.

5.2.2 Оборудование

Аналитические весы, точность $\pm 0,0001$ г.

Жидкость: дистиллированная вода, температура 20°C ($\pm 1^\circ\text{C}$).

5.2.3 Этапы тестирования

Взвесьте массу образца в воздухе (m_1) с точностью $\pm 0,0001$ г.

Погрузите образец в дистиллированную воду и взвесьте массу взвешенного вещества (m_2).

Рассчитаем плотность:

$$\rho = \frac{m_1}{m_1 - m_2} \times \rho_{\text{水}}$$

Где: $\rho_{\text{воды}} = 0,9982$ г/см³

5.2.4 Обработка результатов

Каждый образец измерялся 3 раза, и за среднее значение принималось отклонение $< \pm 0,01$ г/см³.

Типичное значение: плотность WC-10Co составляет около 14,5-14,8 г/см³.

5.3 Испытание на прочность при изгибе

5.3.1 Принцип испытания

заключается в использовании метода трехточечного изгиба. Образец подвергается

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

воздействию силы между двумя опорными точками. Максимальная нагрузка при разрыве регистрируется и рассчитывается предел прочности при изгибе.

5.3.2 Оборудование

Универсальная испытательная машина, точность нагрузки $\pm 0,5\%$.

Крепление: Пролет 14,5 мм ($\pm 0,05$ мм), диаметр точки опоры 2 мм.

5.3.3 Этапы тестирования

Размеры образца: 20×6,5×5,25 мм ($\pm 0,05$ мм).

Скорость загрузки: 0,5 мм/мин.

Запишите разрушающую нагрузку F (Н).

Рассчитаем прочность на изгиб:

$$\sigma_{bb} = \frac{3FL}{2bh^2}$$

Где: L = 14,5 мм, b = 6,5 мм, h = 5,25 мм.

5.3.4 Обработка результатов

В каждой группе было протестировано по пять образцов, и было взято среднее значение с отклонением $< \pm 5\%$.

Типичное значение: прочность на изгиб YG8 составляет около 2000–2400 МПа.

5.4 Испытание на трещиностойкость

5.4.1 Принцип испытания Метод балки с односторонним надрезом (SEPB) используется для расчета вязкости разрушения

К_{1с} с путем разрушения предварительно изготовленного образца с надрезом при трехточечном изгибе.

5.4.2 Оборудование

Универсальная испытательная машина, точность нагрузки $\pm 0,5\%$.

Крепление: диапазон 16 мм ($\pm 0,05$ мм).

Микроскоп: измерение глубины надреза с разрешением $< 0,01$ мм.

5.4.3 Этапы тестирования

Размер образца: 20×4×2 мм ($\pm 0,02$ мм).

Готовая насечка: глубина 0,8-1,2 мм, ширина $< 0,2$ мм.

Скорость загрузки: 0,5 мм/мин.

Запишите разрушающую нагрузку F (Н).

Рассчитайте K_{1с} :

$$K_{1c} = Y \times \frac{3FL\sqrt{a}}{2BW^2}$$

Где: Y — геометрический фактор (около 2,8–3,0), a — глубина надреза, L = 16 мм, B = 4 мм,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

W = 2 мм.

5.4.4 Обработка результатов

В каждой группе было протестировано по пять образцов, и было взято среднее значение с отклонением $< \pm 5\%$.

Типичное значение: YG8 K1c около $12-15 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$.

5.5 Проверка микроструктуры

5.5.1 Принцип испытания

Размер зерна WC, распределение фазы Co и пористость наблюдаются под металлографическим микроскопом, а микроструктура классифицируется и оценивается.

5.5.2 Оборудование

Металлографический микроскоп, увеличение 1000×, разрешение $< 0,5 \text{ мкм}$.

Полировальный станок: отполируйте образец до $Ra < 0,05 \text{ мкм}$.

Травитель: реактив Мураками ($K_2Fe(CN)_6$ + раствор NaOH).

5.5.3 Этапы тестирования

После полировки образцы протравливались реактивом Мураками в течение 10–20 с.

Наблюдается при увеличении в 1000 раз:

: Измерьте средний размер зерна ($0,5-2 \text{ мкм}$).

Распределение кофазы: соблюдайте однородность.

Классификация пористости: оценивается по трем категориям: A, B и C ($A < 0,02\%$, $B < 0,2\%$, а C — свободный углерод).

5.5.4 Обработка результатов

образца наблюдалось пять полей зрения, а также регистрировались размер зерна и степень пористости.

Типичные значения: размер зерна YG8 $0,8-1,2 \text{ мкм}$, пористость A02-B00-C00.

5.6 Испытание магнитных свойств

5.6.1 Принцип испытания

Значение магнитного насыщения (M_s) и коэрцитивная сила (H_c) цементированного карбида измеряются для отражения содержания фазы Co и характеристик микроструктуры.

5.6.2 Оборудование

Тестер магнитных свойств, точность $\pm 1\%$.

Образец: диаметр 5 мм, высота 10 мм ($\pm 0,05 \text{ мм}$).

5.6.3 Этапы тестирования

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Образец размагничивается и помещается в тестер.

Измерьте значение магнитного насыщения M_s (единица измерения: $\text{мкТл} \cdot \text{м}^3/\text{кг}$).

Измерьте коэрцитивную силу H_c (единица измерения: кА/м).

5.6.4 Обработка результатов

Каждый образец измерялся 3 раза, и бралось среднее значение с отклонением $< \pm 2\%$.

Типичные значения: YG8 M_s составляет около $150\text{--}160 \text{ мкТл} \cdot \text{м}^3/\text{кг}$, H_c составляет около $15\text{--}20 \text{ кА/м}$.

5.7 Испытание на износостойкость

5.7.1 Принцип испытания

Метод износа шлифовального круга используется для измерения потери массы образца в стандартных условиях износа и оценки износостойкости.

5.7.2 Оборудование

Машина для испытания шлифовального круга на износ, материал шлифовального круга SiC, размер зерна 60#.

Нагрузка: 50 Н.

5.7.3 Этапы тестирования

Размер образца: $10 \times 10 \times 5 \text{ мм}$ ($\pm 0,05 \text{ мм}$).

Скорость вращения шлифовального круга: 200 об/мин, время испытания: 30 мин.

Взвесьте массу образца до и после износа (m_1 , m_2) с точностью $\pm 0,0001 \text{ г}$.

Рассчитаем объем износа: $\Delta m = m_1 - m_2$

5.7.4 Обработка результатов

Каждый образец был протестирован 3 раза, и было взято среднее значение с отклонением $< \pm 5\%$.

Типичное значение: величина износа YG8 составляет около $0,05\text{--}0,08 \text{ г}$.

6 Оценка результатов теста

Результаты испытаний должны соответствовать техническим требованиям марки твердого сплава (например, YG8: твердость HV 1450-1550, прочность на изгиб $> 2000 \text{ МПа}$).

Если отклонение результата превышает допустимый диапазон ($> 5\%$), требуется повторный отбор проб и тестирование.

Отчет об испытаниях должен включать: марку образца, тестовые элементы, условия испытаний, данные результатов и выводы по оценке.

7 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

Информация о образце: марка, номер партии, размер.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Условия испытаний: модель оборудования, температура окружающей среды (20±5°C), влажность (50±10%).

Результаты испытаний: твердость, плотность, прочность на изгиб, вязкость разрушения, микроструктура, магнитные свойства, пористость, износостойкость и т. д.

Анализ отклонений: среднее значение и отклонение каждого параметра.

Заключение: Соответствует ли техническим требованиям.

Приложение А (Информационное приложение) Типичные эталонные значения производительности карбида

Бренд	Твердость (HV30)	Плотность (г/см³)	на изгиб (МПа)	Вязкость разрушения (K _{1с} , МПа·м ^{1/2})	Размер зерна (мкм)	Пористость
YG6	1500-1600	14,8-15,0	1800-2200	14-16	0,8-1,2	A02-B00-C00
YG8	1450-1550	14.6-14.8	2000-2400	12-15	0,8-1,2	A02-B00-C00
YT15	1550-1650	11,0-11,5	1600-2000	10-12	0,6-1,0	A02-B00-C00

Приложение В (информационное приложение) Требования к тестовой среде

Температура: 20±5°C.

Влажность: 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

приложение:

ГБ/Т 230.1-2001

Испытание твердости металлических материалов по Роквеллу

Часть 1: Методы испытаний (шкала А, В, С)

1 Область применения

В настоящем стандарте описывается метод определения твердости металлических материалов при комнатной температуре (от 10 °С до 35 °С) с помощью испытания на твердость по Роквеллу (шкала А, В, С), включая принципы испытания, требования к оборудованию, подготовку образцов, этапы испытания, расчет и оценку результатов, отчет об испытании и т. д. Настоящий стандарт применим к испытанию на твердость стали, цветных металлов и твердого сплава (например, WC-Co).

Шкала HRA: подходит для твердого сплава и стали высокой твердости (диапазон твердости 20–88 HRA).

Шкала HRB: Применима к мягкой стали, цветным металлам (таким как алюминий, медь) (диапазон твердости 20–100 HRB).

Шкала HRC: Применимо к закаленной и отпущенной стали (диапазон твердости 20–70 HRC). Этот стандарт не применим к испытанию на твердость тонкостенных образцов (толщина <0,6 мм) или микрообразцов.

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для датированных ссылочных документов применяется только ссылочная версия. Для недатированных ссылочных документов применяется последняя версия (включая все поправки) настоящего стандарта.

GB/T 230.2-2001 Испытание твердости металлических материалов по Роквеллу. Часть 2: Проверка и калибровка твердомеров

GB/T 230.3-2001 Испытание твердости металлических материалов по Роквеллу. Часть 3: Калибровка стандартных мер твердости

GB/T 4340.1-1999 Испытание твердости по Виккерсу для металлических материалов. Часть 1: Метод испытания

GB/T 13683-1999 Терминология для испытания механических свойств металлических материалов

3 Термины и определения

В настоящем стандарте принят GB/T 13683-1999 и следующие термины и определения:

Твердость по Роквеллу (HR): способность металлического материала противостоять проникновению индентора Роквелла. Она делится на шкалы, такие как HRA, HRB и HRC, и рассчитывается по глубине отпечатка.

Глубина отпечатка (e): Глубина, образующаяся при вдавливании индентора Роквелла в поверхность образца, измеряемая в мм, обратно пропорциональна значению твердости.

Предварительная нагрузка (F_0): начальная нагрузка, приложенная к индентору, в Н (98,07 Н для теста по Роквеллу).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Общая нагрузка (F): Общая нагрузка, приложенная к индентору, в Н (588,4 Н для HRA и HRC, 980,7 Н для HRB).

Шкала твердости: единица твердости (например, HRC), определяемая сочетанием типа индентора и нагрузки.

4 Принцип теста

Испытание твердости по Роквеллу проводится путем вдавливания алмазного конусного индентора (HRA, HRC) или стального шарикового индентора (HRB) в поверхность металлического образца с предварительной нагрузкой, затем приложением полной нагрузки, поддержанием нагрузки в течение определенного периода времени, а затем разгрузкой до предварительной нагрузки, измерением разницы глубины вдавливания (e) и расчетом значения твердости по Роквеллу. Формула расчета твердости по Роквеллу:

HRA, HRC:

$$HR = 100 - \frac{e}{0,002}$$

HRB:

$$HRB = 130 - \frac{e}{0,002}$$

В:

e — разница глубины отпечатка, мм;

0,002 мм — приращение глубины, соответствующее каждому единичному значению твердости;

Диапазон HRA составляет 20–88, диапазон HRB — 20–100, а диапазон HRC — 20–70.

5 Тестовое оборудование

5.1 Твердомер по Роквеллу

Соответствует требованиям проверки и калибровки GB/T 230.2-2001.

Нагрузка: Предварительная нагрузка 98,07 Н (10 кгс), общая нагрузка следующая:

HRA, HRC: 588,4 Н (60 кгс).

HRB: 980,7 Н (100 кгс).

Точность нагрузки: ±0,5%.

Контроль времени удержания: от 5 с до 15 с, отклонение <±0,5 с.

5.2 Индентор

Алмазный конический индентор (HRA, HRC): угол при вершине 120° (±0,5°), радиус верхней сферы 0,2 мм (±0,01 мм).

Стальной шариковый индентор (HRB): диаметр 1,5875 мм (1/16 дюйма, ±0,005 мм), твердость ≥HRC 60.

Поверхность индентора не имеет дефектов и имеет четкие края (микроскопический осмотр, разрешение < 0,5 мкм).

5.3 Измерительное устройство

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Твердомер оснащен цифровой или стрелочной системой считывания показаний с точностью $\pm 0,5$ HR.

5.4 Калибровочный блок

Стандартные калибровочные образцы, соответствующие требованиям GB/T 230.3-2001:

HRA: 70-88 HRA, отклонение $\leq \pm 0,5$ HRA.

HRB: 60-100 HRB, отклонение $\leq \pm 1,0$ HRB.

Твёрдость по Роквеллу: 20-70 HRC, отклонение $\leq \pm 0,5$ HRC.

Шероховатость поверхности калибровочного образца составляет $Ra < 0,05$ мкм.

5.5 Контроль окружающей среды

Температура: от 10°C до 35°C, рекомендуется 20 ± 5 °C.

Влажность: 30%-80%, рекомендуется 50 ± 10 %.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

6. Подготовка образца

6.1 Требования к образцам

Форма образца: кубоид, цилиндр или другая правильная форма, площадь исследуемой поверхности $> 5 \times 5$ мм, толщина следующая:

HRA, HRC: толщина $> 0,8$ мм.

HRB: толщина $> 1,2$ мм.

Испытуемая поверхность должна быть ровной и не иметь трещин, оксидных слоев или дефектов обработки.

Шероховатость поверхности $Ra < 0,1$ мкм (полированная).

Толщина образца должна соответствовать следующим требованиям: толщина $\geq 10 \times$ глубина отпечатка (приблизительно 0,5 мм).

6.2 Количество образцов

Количество образцов в каждой партии должно быть не менее 3 для обеспечения статистической репрезентативности.

Если отклонение результата велико (> 1 HR), количество образцов необходимо увеличить до 5.

6.3 Маркировка образцов

Образцы должны быть маркированы номером партии, маркой (например, сталь 45#, YG8) и испытуемыми элементами, при этом маркировка не должна влиять на область испытания.

6.4 Очистка образцов

Перед испытанием очистите поверхность образца безводным этанолом, чтобы удалить масло и пыль, и используйте его после высыхания.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7 этапов теста

7.1 Калибровка оборудования

Используйте стандартный калибровочный блок для калибровки твердомера и измерьте 3 раза.

Отклонение следующее:

HRA, HRC: $\leq \pm 0,5$ HR.

ЧСС: $\leq \pm 1,0$ ЧСС.

Проверьте состояние индентора, чтобы убедиться в отсутствии износа и дефектов.

7.2 Условия испытаний

Температура окружающей среды: от 10°C до 35°C, рекомендуется $20 \pm 5^\circ\text{C}$.

Относительная влажность: 30%-80%, рекомендуется $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

7.3 Выбор масштаба

Выберите шкалу в зависимости от твердости материала:

Твердый сплав, сталь высокой твердости: HRA.

Мягкая сталь, цветные металлы: HRB.

Закаленная сталь, отпущенная сталь: HRC.

7.4 Тестовая эксплуатация

Поместите образец на рабочий стол твердомера, убедившись, что поверхность испытания ровная.

Приложите предварительную нагрузку 98,07 Н (10 кгс), чтобы обеспечить стабильный контакт индентора с образцом.

Приложите полную нагрузку (588,4 Н или 980,7 Н) и удерживайте ее в течение 5–15 с.

Разгрузите до предварительной нагрузки 98,07 Н и запишите значение твердости (HRA, HRB или HRC).

образца измеряют 5 точек, а расстояние между отпечатками следующее:

HRA, HRC: >3 диаметров отпечатка (приблизительно 0,6 мм).

HRB: >4 диаметра отпечатка (приблизительно 1,5 мм).

Отступ составляет >1 мм от края образца.

7.5 Расчет результата

Твердомер напрямую отображает значение HR или рассчитывает его по формуле:

HRA, HRC:

$$HR = 100 - \frac{e}{0.002}$$

HRB:

$$HRB = 130 - \frac{e}{0.002}$$

За значение твердости образца принимается среднее значение из 5 баллов, а отклонение

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

составляет:

HRA, HRC: $<\pm 1$ HR.

ЧСС: $<\pm 2$ ЧСС.

8 Оценка результатов теста

8.1 Диапазон значений твердости

Диапазон твердости металлических материалов по Роквеллу зависит от масштаба и материала:

Твердый сплав (YG8): HRA 87-89.

Закаленная сталь (сталь 45#, HRC 50): HRC 48-52.

Алюминиевый сплав (6061-T6): HRB 60-70.

8.2 Оценка отклонения

5 пунктов следующие, в противном случае требуется повторное тестирование:

HRA, HRC: $<\pm 1$ HR.

ЧСС: $<\pm 2$ ЧСС.

Если значение твердости превышает технические требования к материалу, необходимо проанализировать причины (например, дефекты поверхности образца и неравномерность микроструктуры).

8.3 Анализ влияющих факторов

Качество поверхности: Шероховатость поверхности $R_a > 0,1$ мкм приведет к более низким значениям твердости (отклонение > 1 HR).

выдержки : время < 5 с или > 15 с повлияет на глубину вдавливания (отклонение $\pm 0,5$ HR).

Толщина образца: Толщина $< 0,8$ мм приведет к эффекту поддержки и более высоким значениям твердости (отклонение > 2 HR).

Микроструктура: Неравномерный размер зерна ($> \pm 0,2$ мкм) или высокая пористость могут привести к колебаниям твердости ($> \pm 1$ HR).

9 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

Информация о образце: тип материала, марка, номер партии, размер.

Условия испытаний: модель оборудования, масштаб (HRA/HRB/HRC), нагрузка, время выдержки (5–15 с), температура окружающей среды (от 10°C до 35°C), влажность (30–80%).

Результаты испытаний: значение твердости (HR), среднее значение и отклонение каждой точки.

Заключение по оценке: соответствует ли материал техническим требованиям.

Дата испытания и подпись оператора.

Приложение А (Информационное приложение) Справочные значения твердости по Роквеллу для типичных металлических материалов

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Тип материала	Бренд/категория	Твёрдость Роквеллу по	Линейка	Типичные применения
Твердый сплав	YG8	87-89	HRA	Режущие инструменты
Закаленная сталь	45# (HRC 50)	48-52	ЧРК	Механические части
Алюминиевый сплав	6061-T6	60-70	ХРБ	Аэрокосмические конструкции
Медный сплав	H62	40-50	ХРБ	Электрические компоненты

Приложение В (информационное приложение) Требования к тестовой среде

Температура: от 10°C до 35°C, рекомендуется 20±5°C.

Влажность: 30%-80%, рекомендуется 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

Горизонтальность испытательного стенда: отклонение <0,02 мм/м.

Приложение С (Информационное приложение) Сравнение шкал твердости Роквелла

Линейка	Тип индентора	Общая нагрузка(Н)	Диапазон твердости	Применимые материалы
HRA	Алмазный конус	588.4	20-88	Твердый сплав, сталь высокой твердости
ХРБ	Стальной шарик (1,5875 мм)	980,7	20-100	Мягкая сталь, цветные металлы
ЧРК	Алмазный конус	588.4	20-70	Закаленная сталь, отпущенная сталь

Подвести итог

GB/T 230.1-2001 «Испытание твердости по Роквеллу для металлических материалов. Часть 1: Метод испытания (шкала А, В, С)» обеспечивает стандартизированную процедуру испытания твердости по Роквеллу металлических материалов, гарантируя точность и повторяемость результатов испытаний посредством стандартизированной подготовки образцов, этапов испытаний и оценки результатов. Реализация этого стандарта применима к оценке твердости стали, цветных металлов и твердого сплава, обеспечивая надежную техническую поддержку для таких областей применения, как машиностроение, аэрокосмическая промышленность и производство пресс-форм.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

GB/T 230.2-2001

Испытание твердости металлических материалов по Роквеллу

Часть 2: Проверка и калибровка твердомеров

1 Область применения

В настоящем стандарте указаны методы прямой и косвенной проверки и калибровки твердомеров (включая шкалы A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T) для определения твердости по Роквеллу металлических материалов, включая принципы проверки, требования к оборудованию, этапы калибровки, оценку результатов и т. д. В настоящем стандарте описывается проверка и калибровка стационарных и переносных твердомеров по Роквеллу для обеспечения соответствия твердомеров требованиям GB/T 230.1-2001 «Тест твердости металлических материалов по Роквеллу. Часть 1. Метод испытания». В настоящем стандарте не описывается калибровка твердомеров для других методов определения твердости.

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для датированных ссылочных документов применяется только ссылочная версия. Для недатированных ссылочных документов применяется последняя версия (включая все поправки) настоящего стандарта.

GB/T 230.1-2001 Испытание твердости металлических материалов по Роквеллу. Часть 1: Метод испытания

GB/T 230.3-2001 Испытание твердости металлических материалов по Роквеллу. Часть 3: Калибровка стандартных мер твердости

GB/T 13683-1999 Терминология для испытания механических свойств металлических материалов

JJG 112-1999 Процедура проверки твердомера по Роквеллу для металлов

3 Термины и определения

В настоящем стандарте принят GB/T 13683-1999 и следующие термины и определения:

Прямая проверка: процесс проверки соответствия требованиям стандарта путем измерения таких параметров, как нагрузка, геометрия индентора, глубина проникновения и время цикла испытания твердомера.

Косвенный контроль: процесс проверки точности измерений и повторяемости твердомера путем измерения значения твердости на стандартном образце известной твердости с использованием стандартного образца твердости.

Калибровка: процесс настройки измерительной системы твердомера для приведения результатов измерений в соответствие со стандартным значением.

Стандартный блок твердости: калиброванный металлический блок с известным значением твердости по Роквеллу, используемый для косвенной проверки твердомера.

4 Принципы проверки и калибровки

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Проверка и калибровка твердомера по Роквеллу осуществляется прямыми и косвенными методами для обеспечения точности измерений и надежности твердомера:

Прямой осмотр: проверьте, соответствуют ли основные параметры твердомера (нагрузка, форма индентора, глубина проникновения, время цикла испытания) требованиям GB/T 230.1-2001.

Косвенный осмотр: Используйте стандартный блок твердости для измерения значения твердости на блоке известной твердости, чтобы оценить отклонение измерения и повторяемость твердомера.

После калибровки отклонение измерения твердомера должно соответствовать следующим требованиям:

HRA, HRC: $\leq \pm 1,0$ HR.

ЧСС: $\leq \pm 2,0$ ЧСС.

5 Оборудование для проверки и калибровки

5.1 Измерительные приборы

Устройство измерения силы: точность $\pm 0,5\%$, используется для измерения предварительной нагрузки и общей нагрузки.

Глубиномер: точность $\pm 0,001$ мм, используется для измерения глубины вдавливания.

Прибор для измерения времени: точность $\pm 0,1$ с, используется для измерения времени выдержки.

Микроскоп или проектор: увеличение 50×-100×, разрешение $< 0,5$ мкм, для проверки геометрии индентора.

5.2 Стандартный блок твердости

В соответствии с GB/T 230.3-2001 диапазон твердости следующий:

HRA: 70-88 HRA, отклонение $\leq \pm 0,5$ HRA.

HRB: 60-100 HRB, отклонение $\leq \pm 1,0$ HRB.

Твёрдость по Роквеллу: 20-70 HRC, отклонение $\leq \pm 0,5$ HRC.

Шероховатость поверхности стандартного образца твердости составляет $Ra < 0,05$ мкм.

5.3 Контроль окружающей среды

Температура: от 10°C до 35°C, рекомендуется 20 ± 5 °C.

Влажность: 30%-80%, рекомендуется $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

6 Этапы проверки и калибровки

6.1 Прямой осмотр

6.1.1 Нагрузочный тест

Измеренная предварительная нагрузка составляет 98,07 Н (10 кгс) с отклонением $\leq \pm 1,0\%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Измерение общей нагрузки:

HRA, HRC: 588,4 Н (60 кгс) , отклонение $< \pm 0,5\%$.

HRB: 980,7 Н (100 кгс) , отклонение $< \pm 0,5\%$.

Нагрузка прикладывается плавно, без ударов и вибраций.

6.1.2 Проверка индентора

Алмазный конический индентор (HRA, HRC):

Угол при вершине $120^\circ (\pm 0,5^\circ)$.

Радиус верхней сферы составляет 0,2 мм ($\pm 0,01$ мм).

Поверхность не имеет дефектов (микроскопический осмотр, разрешение $< 0,5$ мкм) .

Стальной шариковый индентор (HRB):

Диаметр 1,5875 мм ($\pm 0,005$ мм).

Твёрдость $\geq$ HRC 60.

Дефектов поверхности нет.

6.1.3 Проверка системы измерения глубины

Используя стандартный глубиномер, измерьте глубину вмятины с отклонением $< \pm 0,002$ мм.

6.1.4 Проверка времени цикла испытаний

Время удержания 5-15 с, отклонение $< \pm 0,5$ с.

Время приложения и снятия нагрузки < 2 с, без удара.

6.2 Косвенное тестирование

Выберите стандартный образец твердости, соответствующий шкале испытаний (например, HRC 60).

Проведите 5 измерений на стандартном образце твердости и запишите значения твердости.

Вычислите среднее значение и отклонение:

HRA, HRC: отклонение среднего значения $< \pm 1,0$ HR, единичное отклонение $< \pm 1,5$ HR.

HRB: среднее отклонение $< \pm 2,0$ HR, единичное отклонение $< \pm 3,0$ HR.

Если отклонение превышает допустимое значение, твердомер необходимо откалибровать.

6.3 Калибровка

В зависимости от результатов прямых и косвенных испытаний отрегулируйте систему измерения нагрузки и глубины твердомера или замените индентор.

Повторите косвенный тест после калибровки, чтобы убедиться, что отклонение соответствует требованиям.

7 Оценка результатов проверки и калибровки

7.1 Определение квалификации

Прямой осмотр: такие параметры, как нагрузка, напор, глубина, время и т. д., соответствуют требованиям.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Косвенный тест:

HRA, HRC: отклонение среднего значения $< \pm 1,0$ HR, повторяемость $< \pm 1,5$ HR.

HRB: среднее отклонение $< \pm 2,0$ HR, повторяемость $< \pm 3,0$ HR.

7.2 Несоответствующее обращение

Если прямой тест не пройден, необходимо отремонтировать твердомер (заменить индентор, отрегулировать систему нагрузки и т. д.).

Если косвенный тест не пройден, твердомер необходимо откалибровать и провести повторную проверку.

Если результат испытания неудовлетворителен два раза подряд, твердомер использовать нельзя.

7.3 Анализ влияющих факторов

Отклонение нагрузки: Отклонение нагрузки $> \pm 0,5\%$ приведет к слишком высокому или слишком низкому значению твердости ($> \pm 1$ HR).

Износ индентора: Износ индентора может привести к более высоким значениям твердости ($> \pm 1$ HR).

Вибрация окружающей среды: Вибрация может привести к ошибкам измерения глубины ($> \pm 0,5$ HR).

Стандартное качество блока: Отклонение твердости стандартного блока $> \pm 0,5$ HR повлияет на результаты испытаний.

8 Отчет о проверке и калибровке

Отчет о проверке и калибровке должен включать следующее:

Информация о твердомере: модель, номер, производитель.

Условия испытаний: температура окружающей среды (от 10°C до 35°C), влажность (30%-80%), шкала (HRA/HRB/HRC).

Результаты теста:

Прямой контроль: нагрузка, геометрия индентора, глубина, время и другие параметры и отклонения.

Косвенный контроль: номинальное значение, измеренное значение, среднее значение и отклонение стандартного образца твердости.

Заключение о калибровке: квалифицировано ли оно, калибровочные мероприятия (такие как регулировка нагрузки, замена напорной головки).

Дата проверки и подпись оператора.

Приложение А (Информационное приложение) Рекомендуемые значения стандартных блоков твердости

Линейка	Диапазон твердости	Пример номинальной стоимости	Запрос на отклонение
HRA	70-88 HRA	85 HRA	$< \pm 0,5$ HRA
ХРБ	60-100 HRB	90 HRB	$< \pm 1,0$ HRB

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Линейка	Диапазон твердости	Пример номинальной стоимости	Запрос на отклонение
ЧРК	20-70 HRC	60 HRC	<±0,5 HRC

Приложение В (информационное приложение) Требования к тестовой среде
Температура: от 10°C до 35°C, рекомендуется 20±5°C.
Влажность: 30%-80%, рекомендуется 50±10%.
Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.
Горизонтальность испытательного стенда: отклонение <0,02 мм/м.

Приложение С (Информационное приложение) Распространенные проблемы и решения

вопрос		Возможные причины	Обходной путь
Значение	твердости	Изнас индентора	Заменить напорную головку
Низкое	значение	Недостаточная нагрузка	Регулировка системы нагрузки
Плохая повторяемость	твердости	Вибрация окружающей среды	Улучшить тестовую среду
Неточное	измерение	Сбой системы измерения глубины	Калибровка или ремонт систем измерения глубины

Подвести итог
GB/T 230.2-2001 "Испытание твердости по Роквеллу для металлических материалов. Часть 2: Проверка и калибровка твердомеров" обеспечивает стандартизированную процедуру проверки и калибровки твердомеров Роквелла, гарантируя точность измерений и надежность твердомеров с помощью прямых и косвенных методов проверки. Внедрение этого стандарта помогает повысить точность и согласованность результатов испытаний на твердость и применимо к управлению твердомерами в областях машиностроения, испытания материалов и т. д.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

GB/T 230.3-2001 Металлические материалы

Испытание твердости по Роквеллу. Часть 3: Калибровка стандартных мер твердости

1 Область применения

В настоящем стандарте описывается метод калибровки стандартных мер твердости (включая шкалы A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T) для определения твердости по Роквеллу металлических материалов, включая принципы калибровки, требования к оборудованию, этапы калибровки, оценку результатов и т. д. Настоящий стандарт применим к калибровке стандартных мер твердости по Роквеллу, которые производятся заново или находятся в эксплуатации, для обеспечения соответствия их значений твердости требованиям GB/T 230.1-2001 и GB/T 230.2-2001. Настоящий стандарт не применим к калибровке стандартных мер для других методов определения твердости.

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для датированных ссылочных документов применяется только ссылочная версия. Для недатированных ссылочных документов применяется последняя версия (включая все поправки) настоящего стандарта.

GB/T 230.1-2001 Испытание твердости металлических материалов по Роквеллу. Часть 1: Метод испытания

GB/T 230.2-2001 Испытание твердости металлических материалов по Роквеллу. Часть 2: Проверка и калибровка твердомеров

GB/T 13683-1999 Терминология для испытания механических свойств металлических материалов

JJG 112-1999 Процедура проверки твердомера по Роквеллу для металлов

3 Термины и определения

В настоящем стандарте принят GB/T 13683-1999 и следующие термины и определения:

Стандартный блок твердости: калиброванный металлический блок с известным значением твердости по Роквеллу, используемый для косвенной проверки и калибровки твердомеров.

Калибровка: процесс определения значения твердости стандартного образца твердости с использованием стандартного твердомера или прослеживаемого устройства с более высокой точностью.

Равномерность твердости: Постоянство распределения значений твердости на поверхности стандартного образца твердости, выражаемое отклонением точек измерения.

Прослеживаемость: процесс связывания значения твердости эталонного образца твердости с национальным или международным эталоном твердости посредством калибровочной цепи.

4 Принцип калибровки

Калибровка стандартного блока твердости осуществляется с помощью калиброванного высокоточного твердомера по Роквеллу (в соответствии с GB/T 230.2-2001) для выполнения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

множественных измерений твердости на поверхности стандартного блока, расчета среднего значения твердости и однородности твердости, а также обеспечения точности и надежности его значения твердости. Результаты калибровки должны прослеживаться до национальных или международных стандартов твердости для обеспечения согласованности и сопоставимости измерений.

5. Калибровочное оборудование

5.1 Стандартный твердомер по Роквеллу

Он соответствует требованиям GB/T 230.2-2001 и прошел прямые и косвенные испытания. Отклонение измерения:

HRA, HRC: $\leq \pm 0,5$ HR.

ЧСС: $\leq \pm 1,0$ ЧСС.

Твердомер должен соответствовать национальному или международному стандарту твердости.

5.2 Индентор

Алмазный конический индентор (HRA, HRC): угол при вершине $120^\circ (\pm 0,5^\circ)$, радиус верхней сферы 0,2 мм ($\pm 0,01$ мм).

Стальной шариковый индентор (HRB): диаметр 1,5875 мм ($\pm 0,005$ мм), твердость $\geq$ HRC 60.

Поверхность индентора не имела дефектов (микроскопический осмотр, разрешение $< 0,5$ мкм).

5.3 Измерительные приборы

Штангенциркуль: точность $\pm 0,02$ мм, используется для измерения размеров стандартных блоков.

Измеритель шероховатости поверхности: измерение шероховатости поверхности, точность $\pm 0,01$ мкм.

5.4 Контроль окружающей среды

Температура: от 10°C до 35°C , рекомендуется $20 \pm 5^\circ\text{C}$.

Влажность: 30%-80%, рекомендуется $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

6 Стандартные требования к блоку твердости

6.1 Материалы и производство

Стандартный материал блока: высококачественная сталь или другой металл со стабильной твердостью и однородной микроструктурой без сегрегации и пористости.

Размер: Толщина ≥ 6 мм, площадь тестовой поверхности $\geq 30 \times 30$ мм.

Шероховатость поверхности: $R_a < 0,05$ мкм (полированная).

Испытательная поверхность должна быть плоской с параллельностью $< 0,01$ мм.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.2 Диапазон твердости

Рейтинг HRA:70-88.

Тяжесть перелома: 60-100.

Твёрдость по Роквеллу: 20-70 по Роквеллу.

6.3 Маркировка

Стандартный образец должен быть промаркирован с указанием номинального значения твердости, шкалы, номера партии продукции, единицы измерения и другой информации, причем маркировка не должна затрагивать область испытания.

7 шагов калибровки

7.1 Подготовка к калибровке

Проверьте состояние стандартного твердомера, чтобы убедиться, что он соответствует требованиям GB/T 230.2-2001.

Очистите блок стандартной твердости, удалите масло и пыль безводным этанолом и используйте его после высыхания.

Измерьте размер и параллельность стандартного блока и запишите шероховатость поверхности.

7.2 Условия калибровки

Температура окружающей среды: от 10°C до 35°C, рекомендуется 20±5°C.

Относительная влажность: 30%-80%, рекомендуется 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

7.3 Операция калибровки

Пять точек измерения равномерно распределены на испытательной поверхности стандартного образца твердости, при этом расстояние между точками >3 диаметров отпечатка (HRA, HRC около 0,6 мм, HRB около 1,5 мм), а расстояние от края составляет >2,5 мм.

Используйте стандартный твердомер для измерения значений твердости в 5 точках и запишите результаты каждого измерения.

Время удержания : 5-15 с, отклонение ≤±0,5 с.

7.4 Расчет результата

计算 5 个点的平均硬度值:

$$\overline{HR} = \frac{HR_1 + HR_2 + HR_3 + HR_4 + HR_5}{5}$$

计算硬度均匀性 (最大偏差) :

$$\Delta HR = HR_{\max} - HR_{\min}$$

Определение квалификации:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

HRA, HRC: среднее отклонение $< \pm 0,5$ HR, однородность $< 1,0$ HR.

HRB: среднее отклонение $< \pm 1,0$ HR, однородность $< 2,0$ HR.

7.5 Отслеживание

Результаты калибровки должны прослеживаться до национального или международного стандарта твердости, а цепочка прослеживаемости должна быть задокументирована (например, через национальный метрологический институт).

8 Оценка результатов калибровки

8.1 Квалификация

Среднее отклонение значения твердости:

HRA, HRC: $< \pm 0,5$ HR.

ЧСС: $< \pm 1,0$ ЧСС.

Равномерность твердости:

HRA, HRC: $< 1,0$ HR.

ЧСС: $< 2,0$ ЧСС.

Шероховатость поверхности $R_a < 0,05$ мкм, параллельность $< 0,01$ мм.

8.2 Несоответствующее обращение

Если отклонение среднего значения или однородность превышают предел, стандартный блок не должен использоваться.

Проанализируйте причины (например, неровный материал, плохое качество поверхности), переделайте или обработайте стандартный блок, а затем выполните калибровку.

8.3 Анализ влияющих факторов

Однородность материала: Микроструктурные неоднородности (размер зерна $> \pm 0,2$ мкм) могут привести к плохой однородности (> 1 HR).

Качество поверхности: Шероховатость $R_a > 0,05$ мкм приведет к колебаниям значений твердости ($> \pm 0,5$ HR).

Точность твердомера: Отклонение твердомера $> \pm 0,5$ HR повлияет на результат калибровки.

Вибрация окружающей среды: Вибрация может привести к ошибкам измерения ($> \pm 0,5$ HR).

9 Сертификат калибровки

Сертификат калибровки должен содержать следующее:

Информация о стандартном блоке твердости: номинальное значение твердости, шкала, номер партии продукции, единица изготовления.

Условия калибровки: модель твердомера, температура окружающей среды (от 10°C до 35°C), влажность (30%-80%).

Результаты калибровки: значение твердости, среднее значение, однородность, отклонение по 5 точкам.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Информация о прослеживаемости: цепочка прослеживаемости и национальные/международные эталоны.
Заключение по калибровке: квалифицировано или нет.
Дата калибровки и подпись оператора.

Приложение А (Информационное приложение) Примеры калибровочных значений стандартных мер твердости

Линейка	Номинальная стоимость	Значение измерения (ЧСС)	Средний (ЧСС)	Однородность (HR)	Отклонение (HR)
HRA	85	85.1, 85.0, 84.9, 85.2, 85.0	85.0	0.3	±0,1
ХРБ	90	90.2, 89.8, 90.0, 90.1, 89.9	90.0	0.4	±0,2
ЧРК	60	60.1, 60.0, 59.9, 60.2, 60.0	60.0	0.3	±0,1

Приложение В (информационное приложение) Требования к тестовой среде

Температура: от 10°C до 35°C, рекомендуется 20±5°C.
Влажность: 30%-80%, рекомендуется 50±10%.
Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.
Горизонтальность испытательного стенда: отклонение <0,02 мм/м.

Приложение С (Информационное приложение) Распространенные проблемы и решения

вопрос	Возможные причины	Обходной путь
Плохая однородность твердости	Неоднородная микроструктура материала	Заменить материал или провести повторную термическую обработку
Среднее значение отклонения превышено	Твердомер недостаточно точен	Калибровка твердомера
Шероховатость поверхности превышает стандарт	Недостаточная полировка	Повторная полировка
Большие колебания измеренных значений	Вибрация окружающей среды	Улучшить тестовую среду

Подвести итог

GB/T 230.3-2001 "Испытание твердости по Роквеллу для металлических материалов. Часть 3: Калибровка стандартных блоков твердости" обеспечивает стандартизированную процедуру калибровки стандартных блоков твердости по Роквеллу и обеспечивает точность и надежность значений твердости стандартных блоков посредством стандартизированных

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

этапов калибровки и оценки результатов. Внедрение этого стандарта помогает улучшить прослеживаемость и последовательность испытаний на твердость и применимо к таким областям, как испытание материалов и метрологическая калибровка.

приложение:

ГБ/Т 3848-2001

Метод определения плотности твердого сплава

1 Область применения

Этот стандарт устанавливает метод определения плотности твердых сплавов. Плотность рассчитывается путем взвешивания массы образца в воздухе и в жидкости с использованием принципа Архимеда. Этот стандарт применим к твердым сплавам с карбидом вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальтом (Co) в качестве связующей фазы, включая твердые сплавы с другими карбидами (такими как TaC, TiC, VC). Настоящий стандарт не применим к пористым или треснувшим образцам твердого сплава, а также не применим к определению плотности других материалов (таких как сталь или керамика).

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для датированных ссылочных документов применяется только ссылочная версия. Для недатированных ссылочных документов применяется последняя версия (включая все поправки) настоящего стандарта.

GB/T 3847-1983 Метод приготовления образцов из твердого сплава

GB/T 3850-1983 Терминология твердого сплава

JJG 196-1990 Процедуры проверки широко используемых стеклянных измерительных приборов

3 Термины и определения

В настоящем стандарте принят GB/T 3850-1983 и следующие термины и определения:

Плотность (ρ): масса образца твердого сплава, деленная на его объем, выраженная в г/см³.

Закон Архимеда: Когда образец погружен в жидкость, выталкивающая сила, которую он испытывает, равна массе вытесненной им жидкости, а выталкивающая сила равна разнице между массой образца в воздухе и массой в жидкости.

Твердый сплав: композитный материал, изготовленный из карбида вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальта (Co) в качестве связующей фазы с помощью процесса порошковой металлургии.

4. Принцип определения

Плотность твердого сплава определяется на основе закона Архимеда и рассчитывается по следующей схеме:

Взвесьте массу образца на воздухе (m_1);

Взвесьте массу образца в жидкости (обычно деионизированной воде) (m_2);

Объем образца рассчитывается на основе плавучести, а плотность образца рассчитывается на основе плотности жидкости.

Формула расчета плотности:

$$\rho = \frac{m_1}{m_1 - m_2} \times \rho_0$$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

В:

ρ — плотность образца, г/см^3 ;

m_1 — масса образца на воздухе, г ;

m_2 — масса образца в жидкости, г;

ρ_0 — плотность жидкости в г/см^3 ($0,9982 \text{ г/см}^3$ для деионизированной воды при 20°C) .

5. Измерительное оборудование

5.1 Аналитический баланс

Точность: $\pm 0,1 \text{ мг}$.

Диапазон измерения: $0\text{--}200 \text{ г}$.

Оснащен подвесным устройством для взвешивания массы образца в жидкости.

5.2 Жидкая среда

Деионизированная вода, чистота соответствует требованиям GB/T 6682-1992.

Температура: $20 \pm 5^\circ \text{C}$, точность измерения $\pm 0,1^\circ \text{C}$.

см^3 при 20°C) .

5.3 Вспомогательное оборудование

Термометр: точность $\pm 0,1^\circ \text{C}$.

Тонкая металлическая проволока: диаметр $< 0,1 \text{ мм}$, используется для подвешивания образца.

Стакан: Емкость $100\text{--}500 \text{ мл}$ в соответствии с JJG 196-1990.

Ультразвуковой очиститель: частота 40 кГц , используется для очистки образцов.

5.4 Контроль окружающей среды

Температура: от 10°C до 35°C , рекомендуется $20 \pm 5^\circ \text{C}$.

Влажность: $30\%\text{--}80\%$, рекомендуется $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

6. Подготовка образца

6.1 Требования к образцам

Форма образца: правильная геометрическая форма (например, прямоугольный параллелепипед, цилиндр), масса $5\text{--}50 \text{ г}$.

Поверхность образца должна быть ровной и не иметь трещин, пор и оксидных слоев.

Образцы должны соответствовать требованиям по подготовке GB/T 3847-1983.

6.2 Количество образцов

Количество образцов в каждой партии должно быть не менее 3 для обеспечения статистической репрезентативности.

Если отклонение результата велико ($> 0,02 \text{ г/см}^3$), количество образцов необходимо

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

увеличить до 5.

6.3 Очистка образцов

Для очистки поверхности образца от масла и пыли используйте безводный этанол или ацетон. Очистите в ультразвуковой ванне в течение 5 минут (частота 40 кГц). После стирки сушить при температуре 60°C в течение 30 мин или сушить на воздухе до постоянного веса.

6.4 Маркировка образцов

Образцы должны быть промаркированы номером партии, маркой (например, YG8, YT15) и испытываемыми образцами, при этом маркировка не должна затрагивать область испытания.

7 этапов измерения

7.1 Калибровка оборудования

Аналитические весы калибровались с использованием эталонных гирь с отклонением $< \pm 0,1$ мг.

Измерьте температуру жидкости и запишите плотность деионизированной воды (см. Приложение А).

7.2 Условия испытаний

Температура окружающей среды: от 10°C до 35°C, рекомендуется $20 \pm 5^\circ\text{C}$.

Относительная влажность: 30%-80%, рекомендуется $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

7.3 Операция измерения

Взвесьте массу образца в воздухе (m_1) с помощью аналитических весов и запишите с точностью до 0,1 мг.

Образец подвешивали на тонкой металлической проволоке и погружали в деионизированную воду, следя за тем, чтобы образец был полностью погружен и не содержал пузырьков.

Взвесьте массу образца в деионизированной воде (m_2) и запишите с точностью до 0,1 мг.

Каждый образец измерялся 3 раза и выбиралось среднее значение.

Запишите температуру жидкости и определите плотность жидкости (ρ_0) по таблице.

7.4 Расчет результата

Рассчитаем плотность образца:

$$\rho = \frac{m_1}{m_1 - m_2} \times \rho_0$$

За плотность образца принимается среднее значение трех измерений с отклонением $< \pm 0,02$ г/см³.

8 Оценка результатов измерений

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8.1 Диапазон плотности

Диапазон плотности твердого сплава зависит от марки:

YG6 (6% Co): 14,6-14,9 г/см³.

YG8 (8% Co): 14,5-14,8 г/см³.

YT15 (5% Co + TiC) : 12,8-13,2 г/см³.

8.2 Оценка отклонения

Отклонение плотности трех измерений составляет $< \pm 0,02$ г/см³, в противном случае испытание необходимо повторить.

Если значение плотности выходит за пределы ожидаемого диапазона, необходимо проанализировать причину (например, пористость образца, неполная очистка).

8.3 Анализ влияющих факторов

Адгезия пузырьков: Пузырьки на поверхности образца приведут к тому, что m_2 будет слишком большим, а плотность — слишком низкой (отклонение $> 0,05$ г/см³).

Температура жидкости: Отклонение температуры $> \pm 5^\circ\text{C}$ влияет на ρ_0 , отклонение плотности $> 0,01$ г/см³.

Пористость образца: Пористость $> 0,5\%$ приводит к более низкой плотности (отклонение $> 0,1$ г/см³).

Точность весов: Отклонения весов $> \pm 0,1$ мг влияют на расчет плотности (отклонение $> 0,01$ г/см³).

9 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

Информация о образце: марка, номер партии, размер.

Условия испытаний: модель оборудования, жидкая среда (деионизированная вода), температура (°C), влажность (%).

Результаты испытаний: масса в воздухе (m_1), масса в жидкости (m_2), плотность (ρ), среднее значение и отклонение.

Заключение по оценке: соответствует ли оно ожидаемому диапазону.

Дата испытания и подпись оператора.

Приложение А (Информационное приложение) Таблица зависимости плотности деионизированной воды от температуры

Температура (°C)	Плотность (ρ_0) (г/см ³)
15	0,9991
20	0,9982
25	0,9970
30	0,9957

Приложение В (Информационное приложение) Типичные справочные значения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

плотности карбида

Бренд	Содержание Со (мас. %)	Плотность (г/см³)	Типичные применения
YG6	6	14.6-14.9	Горнодобывающие буровые коронки
YG8	8	14,5-14,8	Режущие инструменты
YT15	5	12.8-13.2	Инструменты для отделки

Приложение С (информационное приложение) Требования к тестовой среде

Температура: от 10°C до 35°C, рекомендуется 20±5°C.

Влажность: 30%-80%, рекомендуется 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

Горизонтальность испытательного стенда: отклонение <0,02 мм/м.

Подвести итог

GB/T 3848-2001 «Определение плотности твердого сплава» обеспечивает стандартизированную процедуру определения плотности твердого сплава и обеспечивает точность и повторяемость результатов испытаний с помощью принципа Архимеда. Внедрение этого стандарта помогает контролировать качество твердосплавных материалов и обеспечивает надежную техническую поддержку для высокопроизводительных областей применения, таких как режущие инструменты и горные буры.

приложение:

ГБ/Т 3850-2001

Метод определения прочности на изгиб твердого сплава

1 Область применения

Этот стандарт устанавливает метод определения прочности на изгиб материалов из твердого сплава. Метод испытания на трехточечный изгиб используется для расчета прочности на изгиб (прочности на поперечный разрыв, TRS) путем приложения нагрузки до тех пор, пока образец не сломается. Этот стандарт применим к твердым сплавам с карбидом вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальтом (Co) в качестве связующей фазы, включая твердые сплавы с другими карбидами (такими как TaC, TiC, VC). Настоящий стандарт не применим к пористым или растрескавшимся образцам из твердого сплава, а также не применим к определению прочности на изгиб других материалов (таких как сталь или керамика).

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для датированных ссылочных документов применяется только ссылочная версия. Для недатированных ссылочных документов применяется последняя версия (включая все поправки) настоящего стандарта.

GB/T 3847-1983 Метод приготовления образцов из твердого сплава

GB/T 3851-1983 Терминология по твердым сплавам

GB/T 230.1-2001 Испытание твердости металлических материалов по Роквеллу. Часть 1: Метод испытания

3 Термины и определения

В настоящем стандарте принят GB/T 3851-1983 и следующие термины и определения:

Прочность на изгиб (σ_{bb}) или предел прочности на поперечный разрыв (TRS): максимальное напряжение, которое может выдержать образец твердого сплава при испытании на трехточечный изгиб, выраженное в МПа.

Испытание на трехточечный изгиб: метод испытания, при котором образец помещается на две опорные точки, а нагрузка прикладывается к центру до тех пор, пока образец не сломается.

Твердый сплав: композитный материал, изготовленный методом порошковой металлургии, в котором основной твердой фазой является карбид вольфрама (WC), а связующей фазой — кобальт (Co).

4. Принцип определения

Метод испытания на изгиб в трех точках используется для определения прочности на изгиб твердого сплава. Образец помещается на две опорные точки, и нагрузка прикладывается к центру образца до тех пор, пока образец не сломается. Максимальная разрушающая нагрузка (P) регистрируется, а прочность на изгиб рассчитывается на основе размера образца и пролета. Формула расчета прочности на изгиб:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$$\sigma_{bb} = \frac{3PL}{2bh^2}$$

в:

σ_{bb} — предел прочности при изгибе, МПа;

P — разрушающая нагрузка, в Н;

L — расстояние между точками опоры, мм;

b — ширина образца, мм;

h — толщина образца в мм.

5. Измерительное оборудование

5.1 Универсальная испытательная машина

Диапазон нагрузки: 0-50 кН, точность $\pm 0,5\%$.

Регулировка скорости загрузки: 0,5-5 мм/мин, отклонение $< \pm 0,1$ мм/мин.

Оснащен трехточечным гибочным приспособлением, расстояние между опорными точками регулируется.

5.2 Крепление

Диаметр точки опоры и нагрузки: 2 мм ($\pm 0,02$ мм).

Расстояние между точками опоры: 30 мм ($\pm 0,05$ мм).

Твердость поверхности в точке опоры и точке нагрузки составляет $\geq \text{HRC } 60$, а шероховатость поверхности $R_a < 0,1$ мкм.

5.3 Инструменты измерения

Штангенциркуль: точность $\pm 0,02$ мм, используется для измерения размера образца.

Микрометр: точность $\pm 0,001$ мм, используется для точного измерения толщины.

5.4 Контроль окружающей среды

Температура: от 10°C до 35°C , рекомендуется $20 \pm 5^\circ\text{C}$.

Влажность: 30%-80%, рекомендуется $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

6. Подготовка образца

6.1 Требования к образцам

Форма образца: прямоугольный параллелепипед, размеры $35 \times 5 \times 5$ мм ($\pm 0,1$ мм).

Поверхность образца должна быть ровной и не иметь трещин, пор и оксидных слоев.

Образцы должны соответствовать требованиям по подготовке GB/T 3847-1983.

Шероховатость поверхности образца $R_a < 0,2$ мкм (полированная).

Четыре длинные стороны образца были скошены под углом $0,1 \times 45^\circ$ для снижения концентрации напряжений.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.2 Количество образцов

Количество образцов в каждой партии должно быть не менее 5 для обеспечения статистической репрезентативности.

Если отклонение результата велико ($>10\%$), количество образцов необходимо увеличить до 8.

6.3 Очистка образцов

Очистите поверхность образца от масла и пыли безводным этанолом и используйте его после высыхания.

6.4 Маркировка образцов

Образцы должны быть промаркированы номером партии, маркой (например, YG8, YT15) и испытываемыми образцами, при этом маркировка не должна затрагивать область испытания.

6.5 Образец измерения

Ширину (b) и толщину (h) образцов измеряли с помощью штангенциркуля и микрометра с точностью $\pm 0,02$ мм.

7 этапов измерения

7.1 Калибровка оборудования

Испытательная машина была откалибрована с использованием стандартного датчика силы с отклонением нагрузки $<\pm 0,5\%$.

Проверьте расстояние между точками опоры приспособления, отклонение должно быть $<\pm 0,05$ мм.

7.2 Условия испытаний

Температура окружающей среды: от 10°C до 35°C , рекомендуется $20\pm 5^{\circ}\text{C}$.

Относительная влажность: $30\%-80\%$, рекомендуется $50\pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

7.3 Операция измерения

Поместите образец на две опорные точки приспособления для трехточечного изгиба, убедившись, что образец расположен горизонтально, а пролет L составляет 30 мм ($\pm 0,05$ мм).

Отрегулируйте точку нагрузки так, чтобы она находилась в центре образца.

Прикладывайте нагрузку со скоростью 1 мм/мин ($\pm 0,1$ мм/мин).

Запишите максимальную нагрузку (P) при разрушении образца в Н.

Каждый образец тестировался один раз и повторялся 5–8 раз для обеспечения стабильности результатов.

7.4 Расчет результата

Рассчитаем прочность на изгиб:

$$\sigma_{bb} = \frac{3PL}{2bh^2}$$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Возьмите среднее значение 5-8 образцов с отклонением $\leq \pm 10\%$.

8 Оценка результатов измерений

8.1 Диапазон прочности на изгиб

Диапазон прочности на изгиб твердого сплава зависит от марки:

YG6 (6% Co): 2000-2500 МПа.

YG8 (8% Co): 1800-2200 МПа.

YT15 (5% Co + TiC) : 1300-1600 МПа.

8.2 Оценка отклонения

из 5-8 образцов составляет $\leq \pm 10\%$, в противном случае требуется повторное тестирование.

Если значение прочности на изгиб выходит за пределы ожидаемого диапазона, необходимо проанализировать причину (например, дефекты образца, несоосность креплений) .

8.3 Анализ влияющих факторов

Дефекты образца: Пористость $> 0,5\%$ или микротрещины приведут к снижению прочности (отклонение $> 15\%$).

Выравнивание креплений: Несоосность опорных точек может привести к концентрации напряжений и низкой прочности (отклонение $> 10\%$).

Скорость нагрузки: Скорость > 5 мм/мин приведет к более высокой прочности (отклонение $> 5\%$).

Микроструктура: Неравномерный размер зерна ($> \pm 0,2$ мкм) или неравномерное распределение связующей фазы снизят прочность (отклонение $> 10\%$) .

9 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

Информация о образце: марка, номер партии, размер.

Условия испытаний: модель оборудования, пролет (L), скорость нагрузки, температура окружающей среды (от 10°C до 35°C), влажность (30%-80%).

σ_{bb}), среднее значение и отклонение каждого образца .

Заключение по оценке: соответствует ли оно ожидаемому диапазону.

Дата испытания и подпись оператора.

Приложение А (Информационное приложение) Справочные значения прочности на изгиб типичных твердых сплавов

Бренд	Содержание Co (мас. %)	на изгиб (МПа)	Типичные применения
YG6	6	2000-2500	Горнодобывающие буровые коронки
YG8	8	1800-2200	Режущие инструменты
YT15	5	1300-1600	Инструменты для отделки

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Приложение В (информационное приложение) Требования к тестовой среде

Температура: от 10°C до 35°C, рекомендуется 20±5°C.

Влажность: 30%-80%, рекомендуется 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

Горизонтальность испытательного стенда: отклонение <0,02 мм/м.

Подвести итог

GB/T 3850-2001 «Определение прочности на изгиб твердого сплава» обеспечивает стандартизированную процедуру определения прочности на изгиб твердого сплава и гарантирует точность и повторяемость результатов испытаний с помощью метода испытания на трехточечный изгиб. Внедрение этого стандарта помогает оценить механические свойства твердосплавных материалов и обеспечивает надежную техническую поддержку для высокопроизводительных областей применения, таких как режущие инструменты и горные буры.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

приложение:

ГБ/Т 3851-2001

Метод определения вязкости разрушения твердого сплава

1 Область применения

Этот стандарт определяет метод определения вязкости разрушения (выраженной как коэффициент интенсивности напряжений KIC) материалов из твердого сплава. Метод испытания односторонней надрезной балкой (SENB) используется для расчета вязкости разрушения путем приложения нагрузки к образцу. Этот стандарт применим к твердым сплавам с карбидом вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальтом (Co) в качестве связующей фазы, включая твердые сплавы с другими карбидами (такими как TaC, TiC, VC). Настоящий стандарт не применим к пористым или растрескавшимся образцам твердого сплава, а также не применим для определения вязкости разрушения других материалов (таких как сталь или керамика).

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для датированных ссылочных документов применяется только ссылочная версия. Для недатированных ссылочных документов применяется последняя версия (включая все поправки) настоящего стандарта.

GB/T 3847-1983 Метод приготовления образцов из твердого сплава

GB/T 3850-1983 Терминология твердого сплава

GB/T 230.1-2001 Испытание твердости металлических материалов по Роквеллу. Часть 1: Метод испытания

3 Термины и определения

В настоящем стандарте принят GB/T 3850-1983 и следующие термины и определения:

Вязкость разрушения (K_{IC}): способность образцов твердого сплава противостоять разрушению в состоянии с трещинами, выраженная критическим коэффициентом интенсивности напряжений, с единицей измерения МПа·м^{1/2}.

Испытание балки с односторонним надрезом (SENB): метод испытания, при котором на одной стороне образца создается предварительная трещина и прикладывается нагрузка до разрушения с использованием метода трехточечного изгиба.

Предварительная трещина: начальная трещина, подготовленная путем механической обработки или предварительного усталостного растрескивания для имитации реальных дефектов.

Твердый сплав: композитный материал, изготовленный методом порошковой металлургии, в котором основной твердой фазой является карбид вольфрама (WC), а связующей фазой — кобальт (Co).

4. Принцип определения

Трещиностойкость твердого сплава определяется методом одностороннего надреза (SENB). На одной стороне образца делается предварительно изготовленная трещина, образец

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

помещается на приспособление для трехточечного изгиба, нагрузка прикладывается до тех пор, пока образец не сломается, регистрируется максимальная нагрузка разрушения (P), и трещиностойкость рассчитывается на основе размера образца, длины трещины и пролета. Формула расчета трещиностойкости:

$$K_{IC} = \frac{PL}{BW^{3/2}} \cdot Y$$

в:

K_{IC} — вязкость разрушения, МПа·м^{1/2};

P — разрушающая нагрузка, в Н;

L — расстояние между точками опоры, мм;

B — толщина образца, мм;

W — ширина образца, мм;

Y — геометрический фактор, зависящий от относительной длины трещины a/W (см. Приложение А).

5. Измерительное оборудование

5.1 Универсальная испытательная машина

Диапазон нагрузки: 0-50 кН, точность ±0,5%.

Регулировка скорости загрузки: 0,05-0,5 мм/мин, отклонение <±0,01 мм/мин.

Оснащен трехточечным гибочным приспособлением, расстояние между опорными точками регулируется.

5.2 Крепление

Диаметр точки опоры и нагрузки: 2 мм (± 0,02 мм).

Расстояние между точками опоры: 20 мм (±0,05 мм).

Твердость поверхности в точке опоры и точке нагрузки составляет ≥HRC 60, а шероховатость поверхности Ra < 0,1 мкм.

5.3 Оборудование для подготовки трещин

Прецизионный отрезной станок: используется для обработки начальных надрезов с шириной надреза <0,2 мм и точностью глубины ±0,01 мм.

Микроскоп: увеличение 50×-200×, разрешение <0,5 мкм, используется для измерения длины трещин.

5.4 Инструменты измерения

Штангенциркуль: точность ±0,02 мм, используется для измерения размера образца.

Микрометр: точность ±0,001 мм, используется для точного измерения толщины.

5.5 Контроль окружающей среды

Температура: от 10°C до 35°C, рекомендуется 20±5°C.

Влажность: 30%-80%, рекомендуется 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6. Подготовка образца

6.1 Требования к образцам

Форма образца: прямоугольный параллелепипед, размеры $20 \times 4 \times 2,5$ мм ($\pm 0,1$ мм).

Поверхность образца должна быть ровной, без трещин и оксидного слоя.

Образцы должны соответствовать требованиям по подготовке GB/T 3847-1983.

Шероховатость поверхности $R_a < 0,2$ мкм (полированная).

6.2 Заготовленные трещины

Положение разреза: расположено в нижней центральной части образца, длина a составляет $0,2-0,5$ ширины W образца (т.е. $a/W = 0,2 - 0,5$).

Ширина разреза: $< 0,2$ мм, кончик надреза притуплен до радиуса $0,05$ мм.

Вырезы могут быть подготовлены путем механической обработки или предварительного усталостного растрескивания; для имитации естественных трещин рекомендуется предварительное усталостное растрескивание.

6.3 Количество образцов

Количество образцов в каждой партии должно быть не менее 5 для обеспечения статистической репрезентативности.

Если результаты имеют большое отклонение ($> 10\%$), количество образцов необходимо увеличить до 8.

6.4 Очистка образцов

Очистите поверхность образца от масла и пыли безводным этанолом и используйте его после высыхания.

6.5 Образец измерения

Ширину образца (W), толщину (B) и длину трещины (a) измеряли с помощью штангенциркуля и микрометра с точностью $\pm 0,02$ мм.

7 этапов измерения

7.1 Калибровка оборудования

Испытательная машина была откалибрована с использованием стандартного датчика силы с отклонением нагрузки $\leq \pm 0,5\%$.

Проверьте расстояние между точками опоры приспособления, отклонение должно быть $\leq \pm 0,05$ мм.

Измерение длины трещины калибровалось с помощью микроскопа с отклонением $\leq \pm 0,01$ мм.

7.2 Условия испытаний

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Температура окружающей среды: от 10°C до 35°C, рекомендуется 20±5°C.

Относительная влажность: 30%-80%, рекомендуется 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

7.3 Операция измерения

Образец размещался на двух опорных точках приспособления для трехточечного изгиба с пролетом L 20 мм (±0,05 мм).

Отрегулируйте точку приложения нагрузки так, чтобы она находилась в центре образца и совпадала с предварительно подготовленной трещиной.

Прикладывайте нагрузку со скоростью 0,1 мм/мин (±0,01 мм/мин).

Запишите максимальную нагрузку (P) при разрушении образца в Н.

Каждый образец тестировался один раз и повторялся 5–8 раз для обеспечения стабильности результатов.

7.4 Расчет результата

Рассчитайте геометрический фактор Y (на основе таблицы a/W, см. Приложение А).

Рассчитаем вязкость разрушения:

$$K_{IC} = \frac{PL}{BW^{3/2}} \cdot Y$$

Возьмите среднее значение 5-8 образцов с отклонением <±10%.

8 Оценка результатов измерений

8.1 Диапазон вязкости разрушения

Диапазон вязкости разрушения твердого сплава зависит от марки:

YG6 (6% Co): 10-12 МПа·м^{1/2}.

YG8 (8% Co): 12-15 МПа·м^{1/2}.

YT15 (5% Co + TiC) : 8-10 МПа·м^{1/2}.

8.2 Оценка отклонения

из 5-8 образцов составляет <±10%, в противном случае требуется повторное тестирование.

Если значение вязкости разрушения выходит за пределы ожидаемого диапазона, необходимо проанализировать причину (например, качество трещины, дефекты образца).

8.3 Анализ влияющих факторов

Качество трещины: K_{IC} может быть слишком высоким (отклонение >10%), если ширина среза >0,2 мм или кончик неравномерно затуплен.

Выравнивание приспособления: Неправильное выравнивание точек опоры приведет к неравномерному распределению напряжения и низкому показателю K_{IC} (отклонение > 5%).

Скорость нагрузки: Скорость > 0,5 мм/мин повлияет на характер разрушения, а значение K_{IC} будет слишком высоким (отклонение > 5%).

Микроструктура: Неравномерное распределение связующей фазы (колебание содержания

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$C_o > \pm 0,5\%$) приведет к снижению K_{IC} (отклонение $> 10\%$).

9 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

Информация о образце: марка, номер партии, размер, длина трещины (a).

Условия испытаний: модель оборудования, пролет (L), скорость нагрузки, температура окружающей среды (от 10°C до 35°C), влажность (30%-80%).

K_{IC}), среднее значение и отклонение каждого образца.

Заключение по оценке: соответствует ли оно ожидаемому диапазону.

Дата испытания и подпись оператора.

Приложение А (Информационное приложение) Таблица геометрических факторов Y

a/W	Y
0.2	1.90
0.3	2.10
0.4	2.40
0.5	2.80

注: Y 值为近似值, 实际应用中可参考标准提供的详细表或插值计算。

Приложение В (Информационное приложение) Справочные значения вязкости разрушения типичных твердых сплавов

牌号	Co 含量 (wt%)	断裂韧性 (K_{IC}) (MPa·m ^{1/2})	典型应用
YG6	6	10-12	采矿钻头
YG8	8	12-15	切削工具
YT15	5	8-10	精加工刀具

Приложение С (информационное приложение) Требования к тестовой среде

Температура: от 10°C до 35°C, рекомендуется 20±5°C.

Влажность: 30%-80%, рекомендуется 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

Горизонтальность испытательного стенда: отклонение $< 0,02$ мм/м.

Подвести итог

GB/T 3851-2001 «Метод определения вязкости разрушения твердого сплава» обеспечивает стандартизированную процедуру определения вязкости разрушения твердого сплава и гарантирует точность и повторяемость результатов испытаний с помощью метода одностороннего надрезанного стержня. Внедрение этого стандарта помогает оценить трещиностойкость твердосплавных материалов и обеспечивает надежную техническую поддержку для высокопроизводительных областей применения, таких как режущие инструменты и горные буры.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

приложение:

ГБ/Т 9097-2001

Метод определения магнитных свойств твердого сплава

1 Область применения

Этот стандарт устанавливает метод определения магнитных свойств материалов из твердого сплава, включая определение интенсивности магнитного насыщения (интенсивности намагничивания) и коэрцитивной силы (H_c), с использованием метода электромагнитной индукции и метода петли гистерезиса. Этот стандарт применим к твердому сплаву с карбидом вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальтом (Co) в качестве связующей фазы, включая твердый сплав с другими карбидами (такими как TaC, TiC, VC). Настоящий стандарт не распространяется на неферромагнитные материалы или цементированные карбиды без кобальта.

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для датированных ссылочных документов применяется только ссылочная версия. Для недатированных ссылочных документов применяется последняя версия (включая все поправки) настоящего стандарта.

GB/T 3847-1983 Метод приготовления образцов из твердого сплава

GB/T 3850-1983 Терминология твердого сплава

GB/T 3848-2001 Метод определения плотности твердого сплава

3 Термины и определения

В настоящем стандарте принят GB/T 3850-1983 и следующие термины и определения:

Интенсивность магнитного насыщения (M_s): магнитная напряженность образца твердого сплава, когда он достигает магнитного насыщения под действием достаточно сильного внешнего магнитного поля, выраженная в кА/м или эме/г.

Коэрцитивная сила (H_c): после намагничивания образца из цементированного карбида напряженность магнитного поля, необходимая для того, чтобы внешнее магнитное поле изменилось и интенсивность намагничивания образца стала равной нулю; единица измерения — кА/м.

Петля гистерезиса: замкнутая кривая, образующаяся при изменении интенсивности намагничивания образца в зависимости от напряженности магнитного поля под действием внешнего магнитного поля, которая используется для измерения коэрцитивной силы.

Твердый сплав: композитный материал, изготовленный методом порошковой металлургии, в котором основной твердой фазой является карбид вольфрама (WC), а связующей фазой — кобальт (Co).

4. Принцип определения

Определение магнитных свойств твердого сплава основано на методе электромагнитной индукции и методе петли гистерезиса:

Интенсивность магнитного насыщения (M_s): Интенсивность магнитного насыщения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

образца измеряется путем помещения образца в сильное магнитное поле (обычно >1000 кА/м), чтобы фаза кобальта достигла магнитного насыщения. Интенсивность магнитного насыщения связана с содержанием кобальта и может использоваться для оценки качества фазы кобальта.

коэрцитивной силы (H_c): Рисуя петлю гистерезиса образца, запишите напряженность магнитного поля, которая заставляет интенсивность намагничивания падать до 0, когда внешнее магнитное поле меняется на противоположное, то есть коэрцитивную силу. Коэрцитивная сила отражает магнитную микроструктуру и размер зерна материала.

5. Измерительное оборудование

5.1 Тестер магнитных свойств

Тип оборудования: Прибор для измерения петли гистерезиса (например, магнитометр с колебательным образцом VSM или прибор для измерения методом электромагнитной силы).

Диапазон магнитного поля: 0-2000 кА/м, точность $\pm 0,5\%$.

Диапазон измерения напряженности намагничивания: 0-1000 кА/м или 0-200 эме/г, точность $\pm 0,1\%$.

Оснащены электромагнитами или сверхпроводящими магнитами для создания однородного магнитного поля.

5.2 Вспомогательное оборудование

Аналитические весы: точность $\pm 0,1$ мг, используются для взвешивания массы образца.

Штангенциркуль: точность $\pm 0,02$ мм, используется для измерения размера образца.

5.3 Контроль окружающей среды

рекомендуется 20 ± 5 °C.

Влажность: 30%-80%, рекомендуется $<60\%$.

Отсутствие вибрации, отсутствие помех от внешнего магнитного поля (окружающее магнитное поле $<0,1$ кА/м).

6. Подготовка образца

6.1 Требования к образцам

Форма образца: прямоугольная или цилиндрическая, рекомендуемый размер $6 \times 6 \times 10$ мм или 6 мм в диаметре и 10 мм в высоту.

Масса образца: 0,5-5 г, в зависимости от требований оборудования.

Поверхность образца должна быть ровной, без трещин и оксидного слоя.

Образцы должны соответствовать требованиям по подготовке GB/T 3847-1983.

6.2 Количество образцов

Количество образцов в каждой партии должно быть не менее 3 для обеспечения статистической репрезентативности.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Если отклонение результата велико ($>\pm 2\%$), количество образцов необходимо увеличить до 5.

6.3 Очистка образцов

Очистите поверхность образца от масла и пыли безводным этанолом и используйте его после высыхания.

6.4 Маркировка образцов

Образцы должны быть промаркированы номером партии и наименованием бренда, причем маркировка не должна затрагивать область испытания.

6.5 Образец измерения

Взвесьте массу образца с точностью $\pm 0,001$ г.

Измерьте размер образца с точностью $\pm 0,02$ мм.

7 этапов измерения

7.1 Калибровка оборудования

Для калибровки тестера магнитных свойств используйте стандартные образцы (например, чистый никель или стандартный цементированный карбид).

Откалибруйте напряженность магнитного поля с отклонением $<\pm 0,5\%$.

Калиброванное измерение намагниченности с отклонением $<\pm 0,1\%$.

7.2 Условия испытаний

Температура окружающей среды: 20 ± 5 °C.

Относительная влажность: $<30\%-80\%$.

Отсутствие помех от внешнего магнитного поля ($<0,1$ кА/м).

7.3 Определение интенсивности магнитного насыщения

Поместите образец на предметный столик прибора для определения магнитных свойств, убедившись, что ось образца параллельна направлению магнитного поля.

Приложите сильное магнитное поле (>1000 кА/м), чтобы образец достиг магнитного насыщения.

Запишите намагниченность образца (M) в кА/м или эме/г.

По массе и плотности образца рассчитайте напряженность магнитного насыщения:

或

$$M_s = \frac{M}{m}$$

$$M_s = \frac{M \cdot \rho}{V}$$

В:

M_s — напряженность магнитного насыщения, в эме/г или кА/м;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

M — измеренное значение в эме или кА/м;

m — масса образца, г;

ρ — плотность образца, г/см³ ;

V — объем образца в см³ .

7.4 Определение коэрцитивности

Образец приводится в исходное размагниченное состояние (внешнее магнитное поле равно 0).

Постепенно нарастающее магнитное поле прикладывается до тех пор, пока образец не достигнет магнитного насыщения.

Приложите магнитное поле в противоположном направлении, начертите петлю гистерезиса и запишите напряженность внешнего магнитного поля, соответствующую напряженности намагничивания 0, то есть коэрцитивную силу H_c .

Каждый образец измерялся 3 раза и выбиралось среднее значение.

7.5 Расчет результата

Интенсивность магнитного насыщения: вычислите среднее значение трех измерений с отклонением $< \pm 2\%$.

Коэрцитивность: вычислите среднее значение трех измерений с отклонением $< \pm 2\%$.

8 Оценка результатов измерений

8.1 Диапазон магнитных свойств

Магнитные свойства твердого сплава варьируются в зависимости от марки и содержания кобальта:

YG6 (6% Co): напряженность магнитного насыщения 90-110 эме/г, коэрцитивная сила 5-10 кА/м.

YG8 (8% Co): напряженность магнитного насыщения 110-130 эме/г, коэрцитивная сила 4-8 кА/м.

YT15 (5% Co + TiC) : напряженность магнитного насыщения 70-90 эме/г, коэрцитивная сила 8-12 кА/м.

8.2 Оценка отклонения

Отклонение интенсивности магнитного насыщения и коэрцитивной силы трех образцов составляет $< \pm 3\%$, в противном случае требуется повторное испытание.

Если значение магнитных свойств превышает ожидаемый диапазон, необходимо проанализировать причину (например, неравномерное распределение фазы кобальта и микроструктурные дефекты).

8.3 Анализ влияющих факторов

Распределение фазы кобальта : колебания содержания кобальта ($> \pm 0,5\%$) или неравномерное распределение могут привести к отклонениям магнитных свойств ($> 3\%$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Размер зерна: Неравномерный размер зерна WC ($\geq \pm 0,5$ мкм) влияет на коэрцитивную силу (отклонение $\geq \pm 2\%$).

Внешние магнитные помехи: окружающее магнитное поле $> 0,1$ кА/м приведет к ошибкам измерения ($\geq 5\%$).

Качество образца: Пористость $> 0,5\%$ снизит интенсивность магнитного насыщения (отклонение $> 5\%$).

9 Отчет об испытаниях и

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

Информация о образце: марка, номер партии, размер и качество.

Условия испытаний: модель оборудования, температура окружающей среды (от 10°C до 35°C), влажность (30%-80%), помехи от внешнего магнитного поля.

Результаты испытаний: напряженность магнитного насыщения (Ms), коэрцитивная сила (Hc), среднее значение и отклонение каждого образца.

Заключение по оценке: соответствует ли оно ожидаемому диапазону.

Дата испытания и подпись оператора.

Приложение А (Информационное приложение) Справочные значения магнитных свойств типичных твердых сплавов

Бренд	Содержание Со (мас. %)	Интенсивность магнитного насыщения (эмс/Г)	Коэрцитивная сила (кА/м)	Типичные применения
YG6	6	90-110	5-8	Горнодобывающие буровые коронки
YG8	8	110-130	4-8	Режущие инструменты
YT15	5	70-90	8-12	Инструменты для отделки

Приложение В (информационное приложение) Требования к тестовой среде

рекомендуется 20 ± 5 °C .

Влажность: 30%-80%, рекомендуется $< 60\%$.

Отсутствие внешней вибрации, отсутствие помех от внешнего магнитного поля ($< 0,1$ кА/м).

Горизонтальность испытательного стенда: отклонение $< 0,02$ мм/м.

Подвести итог

GB/T 9097-2001 «Метод определения магнитных свойств твердого сплава» обеспечивает стандартизированную процедуру определения магнитных свойств твердого сплава, включая определение интенсивности магнитного насыщения и коэрцитивной силы, для обеспечения точности и повторяемости результатов испытаний. Внедрение этого стандарта помогает оценить качество и микроструктуру фазы кобальта в твердом сплаве и обеспечивает

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

техническую поддержку для производства материалов и контроля качества. Он применим к режущим инструментам, горным бурам и другим областям.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

приложение:

ГБ/Т 3849-2008

Метод определения твердости твердого сплава по Виккерсу

1 Область применения

В настоящем стандарте описывается метод испытания твердости по Виккерсу (HV) твердого сплава, включая принцип испытания, требования к оборудованию, подготовку образцов, этапы испытания, расчет и оценку результатов, отчет об испытании и т. д. Настоящий стандарт применим к твердому сплаву с карбидом вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальтом (Co) в качестве связующей фазы, а также к твердому сплаву с другими карбидами (такими как TaC, TiC, VC). Настоящий стандарт не применим к покрытому твердому сплаву или твердому сплаву после упрочнения поверхности (например, испытания на твердость цементированного слоя).

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для всех ссылочных документов с датами все последующие поправки (исключая опечатки) или пересмотры не применяются к настоящему стандарту. Для всех ссылочных документов без дат к настоящему стандарту применяется последняя версия.

GB/T 230.1-2004 Испытание твердости металлических материалов по Роквеллу. Часть 1: Метод испытания (шкалы A, B, C)

GB/T 4340.1-1999 Испытание на твердость металла по Виккерсу. Часть 1: Метод испытания

GB/T 5249-2008 Общие технические условия на подготовку образцов из твердого сплава

JJG 151-2006 Процедура проверки твердомера по Виккерсу

3 Термины и определения

В настоящем стандарте используются следующие термины и определения:

Твердый сплав: композитный материал, изготовленный методом порошковой металлургии, в котором основной твердой фазой является карбид вольфрама (WC), а связующей фазой — кобальт (Co).

Твёрдость по Виккерсу (HV): способность твердого сплава противостоять проникновению индентора по Виккерсу, выражаемая значением твёрдости по Виккерсу, единицей измерения которого является кгс /мм².

В качестве стандартного условия испытания в данном стандарте в основном используется HV30 (нагрузка 30 кгс).

Диагональ отпечатка: Длина двух диагоналей квадратного отпечатка, образующегося при вдавливании индентора Виккерса в поверхность образца, в мм.

4 Принцип теста

Испытание на твердость по Виккерсу проводится путем вдавливания стандартного алмазного индентора Виккерса (угол при вершине 136°) в поверхность образца из твердого сплава с заданной нагрузкой (обычно 30 кгс), выдержки в течение определенного периода времени и последующей разгрузки, измерения длины двух диагоналей отпечатка (d1, d2), вычисления

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

средней длины диагонали (d), а затем вычисления значения твердости по Виккерсу (HV).
Формула расчета выглядит следующим образом:

$$HV = \frac{1.8544 \times F}{d^2}$$

其中:

- F 为试验载荷, 单位为 kgf (本标准为 30 kgf) ;
- d 为压痕两条对角线的平均长度, 单位为 mm, $d = \frac{d_1 + d_2}{2}$.

5 Тестовое оборудование

5.1 Твердомер по Виккерсу

Соблюдать требования правил проверки JJG 151-2006.

Диапазон нагрузок: 5-50 кгс , точность $\pm 0,5\%$.

Контроль времени выдержки: 5-60 с, отклонение $< \pm 0,5$ с.

5.2 Напор

Стандартный алмазный индентор Виккерса, угол при вершине $136^\circ (\pm 0,5^\circ)$.

Поверхность индентора не имеет дефектов и имеет четкие края (микроскопический осмотр, разрешение $< 0,5$ мкм) .

5.3 Измерительное устройство

Микроскоп: увеличение $400\times$ - $600\times$, разрешение $< 0,5$ мкм .

Оснащен цифровой системой считывания с точностью измерения $\pm 0,001$ мм.

5.4 Калибровочный блок

Стандартные калибровочные образцы из карбида, диапазон твердости HV 1200-2000, отклонение $< \pm 2\%$.

Шероховатость поверхности калибровочного образца составляет $Ra < 0,05$ мкм .

6. Подготовка образца

6.1 Требования к образцам

Образец должен иметь правильную геометрическую форму (например, прямоугольный параллелепипед, цилиндр), площадь испытываемой поверхности должна быть $> 5 \times 5$ мм, а толщина — > 2 мм.

Испытуемая поверхность должна быть ровной и не иметь трещин, оксидных слоев, следов механической обработки или микроскопических дефектов.

Шероховатость поверхности $Ra < 0,1$ мкм (полированная).

6.2 Количество образцов

Количество образцов в каждой партии должно быть не менее 5 для обеспечения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

статистической репрезентативности результатов испытаний.

Если отклонение результата велико (>3%), количество образцов необходимо увеличить до 10.

6.3 Маркировка образцов

Образцы должны быть промаркированы номером партии, маркой (например, YG8, YT15) и испытываемыми образцами, при этом маркировка не должна затрагивать область испытания.

6.4 Очистка образцов

Перед испытанием очистите поверхность образца безводным этанолом, чтобы удалить масло и пыль, и используйте его после высыхания.

7 этапов теста

7.1 Калибровка оборудования

Твердомер калибровали с использованием стандартного калибровочного образца, нагрузкой 30 кгс, измерение проводили 3 раза с отклонением $\leq \pm 1\%$.

Проверьте состояние индентора, чтобы убедиться в отсутствии износа и дефектов.

7.2 Условия испытаний

Температура окружающей среды: $20 \pm 5^\circ\text{C}$.

Относительная влажность: $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

7.3 Тестовая эксплуатация

Поместите образец на рабочий стол твердомера, убедившись, что поверхность испытания ровная.

Выберите нагрузку 30 кгс (HV30) и время выдержки 10-15 с.

Индентор медленно вдавлируется в поверхность образца и автоматически разгружается после сохранения нагрузки.

Длины двух диагоналей отпечатка (d_1 , d_2) измеряли с помощью микроскопа с точностью $\pm 0,001$ мм.

образца необходимо измерить 5 точек отпечатка, при этом расстояние между отпечатками должно превышать 3 длины диагонали ($> 0,3$ мм), а расстояние от края образца должно составлять $> 0,5$ мм.

7.4 Расчет результата

Рассчитайте среднюю диагональную длину углубления в каждой точке:

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

Рассчитайте значение твердости по Виккерсу в каждой точке:

$$HV = \frac{1.8544 \times 30}{d^2}$$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

За значение твердости образца принимают пять точек отпечатка с отклонением $\leq \pm 3\%$.

8 Оценка результатов теста

8.1 Диапазон значений твердости

Значение твердости по Виккерсу для твердого сплава обычно составляет HV 1200–2000, а конкретный диапазон зависит от марки:

YG6: HV 1500-1600.

YG 8:HV 1450-1550.

YT 15:HV 1550-1650.

8.2 Оценка отклонения

5 точек отпечатка составляют $\leq \pm 3\%$, в противном случае требуется повторное тестирование. Если значение твердости образца превышает технические требования марки, необходимо проанализировать причины (например, неравномерную микроструктуру и чрезмерную пористость), а затем повторно отобрать образец и провести испытания.

8.3 Анализ влияющих факторов

Качество поверхности: Шероховатость поверхности $R_a > 0,1$ мкм приведет к более низким значениям твердости (отклонение $> 5\%$).

Время нагрузки: время выдержки < 10 с или > 15 с повлияет на размер отпечатка (отклонение $\pm 2\%$).

Микроструктура: Неравномерный размер зерна WC ($> \pm 0,2$ мкм) или высокая пористость ($> A02$) могут привести к колебаниям твердости ($> \pm 3\%$).

9 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

Информация о образце: марка, номер партии, размер.

Условия испытаний: модель оборудования, нагрузка (30 кгс), время выдержки (10-15 с), температура окружающей среды ($20 \pm 5^\circ\text{C}$), влажность ($50 \pm 10\%$).

Результаты испытаний: длина диагонали каждой точки отпечатка (d_1, d_2), значение твердости (HV), среднее значение твердости и отклонение.

Заключение по оценке: соответствует ли он техническим требованиям бренда.

Дата испытания и подпись оператора.

Приложение А (Информационное приложение) Справочные значения твердости по Виккерсу типичных твердых сплавов

Бренд	Твёрдость по Виккерсу (HV30)	Содержание Со (мас. %)	Размер зерна (мкм)	Типичные применения
YG6	1500-1600	6	0,8-1,2	Горнодобывающие буровые

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Бренд	Твёрдость по Виккерсу (HV30)	Содержание Со (мас. %)	Размер зерна (мкм)	Типичные применения
				коронки
YG8	1450-1550	8	0,8-1,2	Режущие инструменты
YT15	1550-1650	5	0,6-1,0	Инструменты для отделки

Приложение В (информационное приложение) Требования к тестовой среде

Температура: 20±5°C.

Влажность: 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

Горизонтальность испытательного стенда: отклонение <0,02 мм/м.

Приложение С (Информативное приложение) Сравнительная таблица значений твердости по Виккерсу и длины диагонали (нагрузка 30 кгс)

Средняя длина диагонали d (мм)	Твёрдость по Виккерсу HV30	Средняя длина диагонали d (мм)	Твёрдость по Виккерсу HV30
0.100	5558	0.150	2469
0.110	4587	0.160	2166
0.120	3855	0.170	1915
0.130	3283	0.180	1713
0.140	2832	0.190	1542

Подвести итог

GB/T 3849-2008 «Метод испытания твердости по Виккерсу твердого сплава» обеспечивает стандартизированную процедуру испытания твердого сплава по Виккерсу, гарантируя точность и повторяемость результатов испытаний посредством стандартизированной подготовки образцов, этапов испытаний и оценки результатов. Внедрение стандарта помогает контролировать качество и оценивать эксплуатационные характеристики твердого сплава, а также обеспечивает надежную техническую поддержку для таких областей применения, как режущие инструменты, горные сверла и формы.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

приложение:

ГБ/Т 7997-2010

Метод испытания на трещиностойкость твердого сплава

1 Область применения

В настоящем стандарте описывается метод испытания на вязкость разрушения (K_{Ic}) твердого сплава, включая принципы испытаний, требования к оборудованию, подготовку образцов, этапы испытаний, расчет и оценку результатов, отчет об испытаниях и т. д. Настоящий стандарт применим к твердому сплаву с карбидом вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальтом (Co) в качестве связующей фазы, а также к твердому сплаву с другими карбидами (такими как TaC, TiC, VC). Настоящий стандарт не применим к покрытому твердому сплаву или твердому сплаву после поверхностного упрочнения (например, испытания на вязкость разрушения цементированного слоя).

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для всех ссылочных документов с датами все последующие поправки (исключая опечатки) или пересмотры не применяются к настоящему стандарту. Для всех ссылочных документов без дат к настоящему стандарту применяется последняя версия.

GB/T 3851-2001 Метод определения вязкости разрушения твердого сплава

GB/T 5249-2008 Общие технические условия на подготовку образцов из твердого сплава

GB/T 6397-2002 Метод испытания на однонаправленный рост усталостной трещины металлических материалов

JJG 151-2006 Процедура проверки твердомера по Виккерсу

ISO 23146:2008 Твердый сплав. Метод определения вязкости разрушения

3 Термины и определения

В настоящем стандарте используются следующие термины и определения:

Твердый сплав: композитный материал, изготовленный методом порошковой металлургии, в котором основной твердой фазой является карбид вольфрама (WC), а связующей фазой — кобальт (Co).

Вязкость разрушения (K_{Ic}): способность твердого сплава противостоять распространению трещин, измеряемая в $\text{МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, отражающая сопротивление материала разрушению при наличии надрезов или трещин.

Балка с надрезом с одной стороны (SEPB): тип образца, используемого для испытаний на вязкость разрушения, который имеет надрез с одной стороны для имитации трещины.

4 Принцип теста

Испытание на вязкость разрушения использует метод одностороннего надреза балки (SEPB), в котором на образце предварительно изготавливается односторонний надрез, и образец нагружается до разрушения в испытании на трехточечный изгиб. Нагрузка разрушения регистрируется, а вязкость разрушения K_{Ic} рассчитывается на основе геометрических

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

размеров образца и параметров надреза.

Формула расчета:

$$K_{Ic} = Y \times \frac{3FL\sqrt{a}}{2BW^{1.5}}$$

в:

F — разрушающая нагрузка, в Н;

L — пролет опоры, мм;

a — глубина надреза, мм;

B — толщина образца, мм;

W — высота образца, в мм;

Y — геометрический фактор, который зависит от соотношения a/W (обычно определяется по стандартным таблицам или формулам).

5 Тестовое оборудование

5.1 Универсальная испытательная машина

Диапазон нагрузки: 0-50 кН, точность $\pm 0,5\%$.

Регулировка скорости загрузки: 0,1-1 мм/мин, отклонение $< \pm 0,05$ мм/мин.

5.2 Крепление

Приспособление для трехточечного изгиба с шагом опоры 16 мм ($\pm 0,05$ мм).

Опорная точка имеет диаметр 2 мм ($\pm 0,02$ мм) и гладкую поверхность без кромок и углов.

5.3 Оборудование для подготовки пазов

Проволочно-отрезной станок или алмазная пила, ширина надреза $< 0,2$ мм, точность глубины $\pm 0,01$ мм.

Микроскоп: увеличение 100×, разрешение $< 0,01$ мм, используется для измерения глубины надреза.

5.4 Инструменты измерения

Штангенциркуль: точность $\pm 0,02$ мм.

Цифровой микрометр: точность $\pm 0,001$ мм.

5.5 Контроль окружающей среды

Температура: $20 \pm 5^\circ\text{C}$.

Влажность: $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

6. Подготовка образца

6.1 Требования к образцам

Форма образца: прямоугольный параллелепипед, размеры $20 \times 4 \times 2$ мм ($\pm 0,02$ мм).

Поверхность образца должна быть ровной, без трещин, оксидного слоя и дефектов обработки,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

а шероховатость поверхности $Ra < 0,1$ мкм (обработка полировкой).

Края образцов были скошены под углом $0,1 \times 45^\circ$ для снижения концентрации напряжений.

6.2 Подготовка зазора

умноженное на высоту образца W (0,4–1,0 мм).

Ширина надреза составляет $<0,2$ мм, а радиус дна надреза составляет $<0,05$ мм (осмотр под микроскопом).

6.3 Количество образцов

Количество образцов в каждой партии должно быть не менее 5 для обеспечения статистической репрезентативности результатов испытаний.

Если отклонение результата велико ($>5\%$), количество образцов необходимо увеличить до 10.

6.4 Маркировка образцов

Образцы должны быть промаркированы номером партии, маркой (например, YG8, YT15) и испытываемыми образцами, при этом маркировка не должна затрагивать область испытания.

6.5 Очистка образцов

Перед испытанием очистите поверхность образца безводным этанолом, чтобы удалить масло и пыль, и используйте его после высыхания.

7 этапов теста

7.1 Калибровка оборудования

Универсальная испытательная машина калибруется с использованием стандартного датчика силы с отклонением нагрузки $\leq \pm 0,5\%$.

Проверьте точность приспособления и оборудования для подготовки надреза, отклонение глубины надреза должно быть $\leq \pm 0,01$ мм.

7.2 Условия испытаний

Температура окружающей среды: $20 \pm 5^\circ\text{C}$.

Относительная влажность: $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

7.3 Тестовая эксплуатация

Поместите образец в приспособление для трехточечного изгиба так, чтобы выемка была обращена к точке нагрузки.

Скорость загрузки: 0,5 мм/мин.

Медленно нагружайте образец до тех пор, пока он не сломается, и запишите максимальную разрушающую нагрузку F (Н).

Глубину надреза a измеряли с помощью микроскопа (точность $\pm 0,01$ мм).

Измерьте толщину образца B и высоту W (точность $\pm 0,02$ мм).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.4 Определение геометрических факторов

Найдите таблицу или рассчитайте геометрический фактор Y в соответствии с соотношением a/W (ISO 23146:2008 предоставляет стандартную таблицу).

Например: при $a/W=0,3$, $Y \approx 2,9$.

7.5 Расчет результата

Рассчитаем вязкость разрушения:

$$K_{Ic} = Y \times \frac{3FL\sqrt{a}}{2BW^{1.5}}$$

Каждый образец рассчитывается один раз, и берется среднее значение из 5 образцов с отклонением $< \pm 5\%$.

8 Оценка результатов теста

8.1 Диапазон вязкости разрушения

Значение вязкости разрушения твердого сплава обычно составляет K_{Ic} с 10-20 МПа·м^{1/2}, а конкретный диапазон зависит от марки:

YG6: K_{Ic} с 14-16 МПа·м^{1/2}.

YG8: K_{Ic} с 12-15 МПа·м^{1/2}.

YT15: K_{Ic} с 10-12 МПа·м^{1/2}.

8.2 Оценка отклонения

Отклонение значения K_{Ic} для 5 образцов составляет $< \pm 5\%$, в противном случае требуется повторная выборка и тестирование.

Если значение K_{Ic} превышает технические требования к классу, необходимо проанализировать причины (например, плохое качество надреза, неравномерная микроструктура) и провести повторные испытания.

8.3 Анализ влияющих факторов

Качество надреза: ширина надреза $> 0,2$ мм или радиус дна $> 0,05$ мм приведут к более низкому значению K_{Ic} (отклонение $> 10\%$).

Скорость нагрузки: скорости > 1 мм/мин или $< 0,1$ мм/мин повлияют на разрывную нагрузку (отклонение $\pm 5\%$).

Микроструктура: Неравномерный размер зерна WC ($> \pm 0,2$ мкм) или неравномерное распределение фаз Co могут привести к колебаниям K_{Ic} ($> \pm 6\%$).

9 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

Информация о образце: марка, номер партии, размер, глубина надреза.

Условия испытаний: модель оборудования, скорость нагружения (0,5 мм/мин), температура окружающей среды ($20 \pm 5^\circ\text{C}$), влажность ($50 \pm 10\%$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Значение K_1 с каждого образца, его среднее значение и отклонение.

Заключение по оценке: соответствует ли он техническим требованиям бренда.

Дата испытания и подпись оператора.

Приложение А (Информационное приложение) Справочные значения вязкости разрушения типичных твердых сплавов

Бренд	Вязкость разрушения (K_{IC} , МПа·м ^{1/2})	Содержание Со (мас. %)	Размер зерна (мкм)	Типичные применения
YG6	14-16	6	0,8-1,2	Горнодобывающие буровые коронки
YG8	12-15	8	0,8-1,2	Режущие инструменты
YT15	10-12	5	0,6-1,0	Инструменты для отделки

Приложение В (Информационное приложение) Таблица геометрических факторов Y (соотношение a/W)

a/b 0.2 0.3 0.4 0,5

И 2.6 2.9 3.2 3.5

Примечание: значение Y является приблизительным. Конкретные значения см. в таблице стандарта ISO 23146:2008.

Приложение С (информационное приложение) Требования к тестовой среде

Температура: 20±5°C.

Влажность: 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

Горизонтальность испытательного стенда: отклонение <0,02 мм/м.

GB/T 7997-2010 Метод испытания на вязкость разрушения твердого сплава обеспечивает стандартизированную процедуру испытания на вязкость разрушения твердого сплава и гарантирует точность и повторяемость результатов испытаний посредством стандартизированной подготовки образцов, подготовки надреза, этапов испытаний и оценки результатов. Внедрение этого стандарта помогает контролировать качество и оценивать эксплуатационные характеристики твердого сплава и обеспечивает надежную техническую поддержку для таких областей применения, как режущие инструменты, горные сверла и формы.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

приложение:

ГБ/Т 3488-2008

Метод контроля микроструктуры твердого сплава

1 Область применения

В настоящем стандарте описывается метод проверки микроструктуры твердого сплава, включая принцип проверки, требования к оборудованию, подготовку образцов, этапы проверки, классификацию и оценку микроструктуры, отчет об инспекции и т. д. Настоящий стандарт применим к твердому сплаву с карбидом вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальтом (Co) в качестве связующей фазы, а также к твердому сплаву с другими карбидами (такими как TaC, TiC, VC). Настоящий стандарт не применим к покрытому твердому сплаву или твердому сплаву после поверхностного упрочнения (например, проверки микроструктуры цементированного слоя).

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для всех ссылочных документов с датами все последующие поправки (исключая опечатки) или пересмотры не применяются к настоящему стандарту. Для всех ссылочных документов без дат к настоящему стандарту применяется последняя версия.

GB/T 5249-2008 Общие технические условия на подготовку образцов из твердого сплава

GB/T 4295-2008 Метод оценки микроструктурных дефектов в твердом сплаве

GB/T 5242-2001 Метод испытания микроструктуры твердого сплава (отменен, но некоторые положения упоминаются)

ISO 4499-2:2008 Твердый сплав. Исследование микроструктуры. Часть 2. Метод определения размера зерна.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте используются следующие термины и определения:

Твердый сплав

Композитный материал, изготовленный из карбида вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальта (Co) в качестве связующей фазы с помощью порошковой металлургии.

Микроструктура

Характеристики распределения зерен WC, фазы Co, пор, свободного углерода и η -фазы (фазы карбидных дефектов) в твердом сплаве.

Пористость

Объемный процент пор в твердом сплаве классифицируется по трем категориям: A, B и C.

A : Микропоры (диаметр <10 мкм) .

Класс B: Крупные поры (диаметром 10–25 мкм) .

Класс C: Свободный углерод.

η фаза

Дефектная карбидная фаза (например, W_3Co_3C), образующаяся из-за недостаточного содержания углерода в твердом сплаве, обычно имеет черный или темно-серый цвет.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

зерна : средний размер зерен WC, в мкм .

4 Принцип инспекции

Микроструктурный контроль твердого сплава осуществляется путем наблюдения за полированной и протравленной поверхностью образца через металлографический микроскоп, анализа размера зерна WC, распределения фазы Co, пористости, характеристик свободного углерода и η -фазы, а также классификации и оценки в соответствии со стандартами. Процесс контроля включает:

Образцы были отполированы до зеркального блеска ($Ra < 0,05$ мкм) .

Для выявления микроструктуры используйте травитель, например, реагент Мураками.

Наблюдайте и оценивайте характеристики тканей при заданном увеличении ($100\times$, $1000\times$).

5. Инспекционное оборудование

5.1 Металлографический микроскоп

Увеличение: рекомендуется $50\times$ - $1000\times$, $100\times$ (оценка пористости) и $1000\times$ (измерение размера зерна).

Разрешение: $< 0,5$ мкм .

Оснащен цифровой системой визуализации для записи микроскопических фотографий.

5.2 Оборудование для подготовки проб

Режущий станок: используется для отбора проб, алмазный пильный диск, скорость резки < 500 об/мин.

Монтажная машина: горячая монтажная смола, температура 150 - 180°C , давление 20 - 30 МПа.

Шлифовально-полировальный станок: зернистость наждачной бумаги $400\#$ - $2000\#$, скорость вращения полировального диска 200 - 300 об/мин.

жидкость (размер частиц $0,5$ - 1 мкм) .

5.3 Травитель

Реагент Мураками: $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ (10 г) + NaOH (10 г) + дистиллированная вода (100 мл).

После приготовления тщательно перемешайте перед использованием и храните в светонепроницаемой таре.

5.4 Инструменты измерения

Шкала микроскопа: точность $\pm 0,001$ мм.

Программное обеспечение для анализа изображений: используется для статистики размера зерна, точность $\pm 0,01$ мкм .

5.5 Контроль окружающей среды

Температура: $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Влажность: $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6. Подготовка образца

6.1 Требования к образцам

Размер образца: рекомендуется $10 \times 10 \times 5$ мм ($\pm 0,1$ мм) или образец в соответствии с фактическим размером детали.

Поверхность образца должна быть ровной, без трещин, оксидных слоев и дефектов обработки.

6.2 Резка образцов

Для резки используйте алмазный пильный диск, в качестве охлаждающей жидкости используйте воду, скорость резки < 500 об/мин, избегайте перегрева (температура $< 60^\circ\text{C}$).

6.3 Крепление образца

Если образец небольшой, его необходимо монтировать с помощью горячей заливочной смолы при температуре $150\text{--}180^\circ\text{C}$, давлении $20\text{--}30$ МПа и времени охлаждения $5\text{--}10$ мин.

6.4 Шлифовка и полировка образцов

Грубая шлифовка: используйте наждачную бумагу зернистостью $400\text{--}1200$, чтобы постепенно удалить следы резания со скоростью 200 об/мин.

Тонкая шлифовка: используйте наждачную бумагу зернистостью $1500\#\text{--}2000$, скорость 200 об/мин.

Полировка: используйте алмазную полировальную жидкость (размер частиц $0,5$ мкм), скорость полировального диска 300 об/мин, полировка до $Ra < 0,05$ мкм (зеркальное состояние).

6.5 Очистка образцов

Очистите поверхность образца безводным этанолом, чтобы удалить остатки полировки, и используйте его после высыхания.

6.6 Образец травления

Погрузите образец в реагент Мураками и протравьте в течение $10\text{--}20$ с (в зависимости от степени воздействия на ткань).

Сразу после травления промойте дистиллированной водой, очистите безводным этанолом и высушите.

6.7 Количество образцов

Количество образцов в каждой партии должно быть не менее 3 для обеспечения статистической репрезентативности результатов испытаний.

Если отклонение результата велико (разница в степени пористости > 1 степени), количество образцов необходимо увеличить до 5 .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.8 Маркировка образцов

Образцы должны быть промаркированы номером партии, маркой (например, YG8, YT15) и испытуемыми образцами, при этом маркировка не должна затрагивать область испытания.

7 этапов проверки

7.1 Калибровка оборудования

Металлографический микроскоп калибровался с использованием стандартной микроскопической линейки с отклонением увеличения $< \pm 1\%$.

Проверьте яркость источника света, чтобы обеспечить равномерность поля зрения (отклонение яркости $< 5\%$).

7.2 Условия проверки

Температура окружающей среды: $20 \pm 5^\circ\text{C}$.

Относительная влажность: $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

7.3 Испытание на пористость

Увеличение: $100\times$.

Осмотрите поверхность образца не менее чем в 5 полях зрения (площадь поля зрения приблизительно 1 мм^2).

Пористость оценивается по трем категориям: А, В и С:

Категория А: микропоры (диаметр $< 10 \text{ мкм}$), градация А00 (без пор), А02 ($< 0,02\%$), А04 ($< 0,04\%$), А06 ($< 0,06\%$), А08 ($< 0,08\%$).

Категория В: макропоры (диаметр $10\text{-}25 \text{ мкм}$), градуированные В00 (без пор), В02 ($< 0,02\%$), В04 ($< 0,04\%$), В06 ($< 0,06\%$), В08 ($< 0,08\%$).

Категория С: Свободный углерод, классифицируется как С00 (отсутствует), С02 (небольшое количество), С04 (среднее), С06 (большее) и С08 (большое количество).

Запишите степень пористости каждого поля зрения и примите наихудшую оценку в качестве результата оценки образца.

7.4 Тест фазы η

Увеличение: $100\times\text{-}400\times$.

Осмотрите поверхность образца и найдите η -фазу (черные или темно-серые области).

Оценка по шкале: Е00 (нет η -фазы), Е02 (небольшое количество), Е04 (среднее количество), Е06 (большое количество), Е08 (большое количество).

Запишите распределение и содержание η -фазы и примите наихудшую оценку в качестве результата оценки.

7.5 Измерение размера зерна

Увеличение: $1000\times$.

Случайным образом выбирались пять полей зрения, и размер зерна WC измерялся с помощью программного обеспечения для анализа изображений или метода линейного

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

пересечения.

Метод пересечения: нарисуйте 5 случайных прямых линий, подсчитайте количество зерен на каждой прямой и вычислите средний размер зерен:

$$d = \frac{L}{N \times M}$$

в:

L — общая длина линии реза (мм);

N — количество зерен;

M — увеличение.

В каждом поле зрения измерялось 50 зерен, и бралось среднее значение с отклонением $< \pm 10\%$.

7.6 Наблюдение за распределением фазы Co

Увеличение: 1000×.

, равномерно ли распределена фаза Co (светло-серая область) и имеются ли скопления Co (диаметром $> 5 \mu\text{м}$).

Оценка: равномерно (нет пула Co), слегка неравномерно (небольшое количество пула Co), сильно неравномерно (большое количество пула Co).

8 Оценка результатов теста

8.1 Оценка пористости

Пористость твердого сплава должна соответствовать техническим требованиям марки:

YG6:A02-B00-C00.

YG8:A02-B00-C00.

YT15:A02-B00-C00.

Если степень пористости превышает требуемую (например, $A > A02$ или $B > B00$), образец считается непригодным.

8.2 Оценка фазы η

Содержание η -фазы должно соответствовать требованиям марки:

YG6:E00-E02.

YG8:E00-E02.

YT15:E00-E02.

Если степень η -фазы $> E02$, образец не соответствует требованиям и должен быть проанализирован на содержание углерода ($< 6,1 \text{ мас. \%}$ приведет к образованию η -фазы).

8.3 Оценка размера зерна

Размер зерна должен соответствовать требованиям к марке:

YG6: 0,8-1,2 $\mu\text{м}$.

YG8: 0,8-1,2 $\mu\text{м}$.

YT15: 0,6-1,0 $\mu\text{м}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Отклонение > ±10% или размер зерна вне диапазона требуют анализа процесса спекания (например, температура > 1450°C).

8.4 Оценка распределения Со-фазы

Распределение фазы Со должно быть равномерным, без явных скоплений Со (диаметром > 5 мкм) .

При наличии большого количества пулов Со необходимо проанализировать процесс смешивания или однородность спекания.

8.5 Анализ влияющих факторов

Подготовка образца: Недостаточная полировка (Ra >0,05 мкм) может привести к неправильной интерпретации пористости (отклонение >1 балла).

Время травления: слишком короткое (<10 с) приведет к нечеткой микроструктуре; слишком длинное (>20 с) приведет к перетравливанию (границы зерен WC будут размыты).

Микроструктура: Колебания содержания углерода (отклонение > 0,1 мас. %) могут привести к образованию свободного углерода или η-фазы.

9 Отчет о проверке

Отчет о проверке должен включать следующее:

Информация о образце: марка, номер партии, размер.

Условия контроля: модель оборудования, увеличение, травитель и время травления, температура окружающей среды (20±5°C), влажность (50±10%).

Результаты испытаний: степень пористости, степень η-фазы, размер зерна (среднее значение и отклонение), а также оценка распределения Со-фазы.

Заключение по оценке: соответствует ли он техническим требованиям бренда.

Дата проверки и подпись оператора.

Приложение А (Информационное приложение) Характеристики микроструктуры типичного твердого сплава

Бренд	Пористость	η фаза	Размер зерна (мкм)	Распределение кофазы	Типичные применения
YG6	A02-B00-C00	E00-E02	0,8-1,2	Униформа	Горнодобывающие буровые коронки
YG8	A02-B00-C00	E00-E02	0,8-1,2	Униформа	Режущие инструменты
YT15	A02-B00-C00	E00-E02	0,6-1,0	Униформа	Инструменты для отделки

Приложение В (Информационное приложение) Стандартная диаграмма оценки пористости

A02: Количество микропор в поле зрения менее 10, а диаметр менее 10 мкм .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

B04: В поле зрения имеется 5–10 крупных отверстий диаметром 10–25 мкм .

C06: Зона распределения свободного углерода в поле зрения составляет 0,1%-0,2%.

Примечание: Для получения конкретных стандартных диаграмм см. ISO 4499-2:2008.

Приложение С (информационное приложение) Требования к тестовой среде

Температура: $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Влажность: $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

Горизонтальность испытательного стола: отклонение $< 0,02$ мм/м.

Подвести итог

GB/T 3488-2008 «Методы испытаний микроструктуры твердого сплава» обеспечивает стандартизированную процедуру проверки микроструктуры твердого сплава и гарантирует точность и повторяемость результатов проверки посредством стандартизированной подготовки образцов, этапов проверки и оценки результатов. Внедрение этого стандарта способствует контролю качества и оценке производительности твердого сплава и обеспечивает надежную техническую поддержку для режущих инструментов, горнодобывающих буровых коронок, форм и других областей применения.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

приложение:

Какие серии стандартов ISO относятся к карбидам ?

1. Серия стандартов ISO 3850: Терминология

ISO 3850:2018

Определения терминологии твердого сплава Терминология и определения твердого сплава и связанных с ним материалов охватывают состав материала (например, твердая фаза, связующая фаза), процесс подготовки (например, порошковая металлургия, спекание), микроструктуру (например, зерно, поры), эксплуатационные испытания (например, прочность на изгиб, твердость) и области применения (например, режущие инструменты, износостойкие детали). Этот стандарт является основой стандартов серии твердого сплава и обеспечивает единую терминологическую поддержку.

2. Серия ISO 3847: Подготовка образцов для испытаний

Метод подготовки образцов из твердого сплава ISO 3847:2005

определяет метод подготовки образцов из твердого сплава, включая этапы резки, монтажа, шлифовки, полировки и очистки, чтобы гарантировать, что поверхность образца ровная и неповрежденная, пригодная для последующих испытаний на эксплуатационные характеристики (например, прочность на изгиб, твердость) или проверки микроструктуры. Этот стандарт применим к твердым сплавам с WC в качестве основной твердой фазы и Co в качестве связующей фазы.

3. Серия ISO 4499: Проверка микроструктуры

ISO 4499-1:2006 Твердый сплав. Исследование микроструктуры. Часть 1. Общие указания. В нем

изложены общие принципы исследования микроструктуры твердого сплава, включая основные требования к подготовке образцов, методам микроскопического наблюдения и оценке дефектов, закладывая основу для последующих частей (таких как определение размера зерна).

ISO 4499-2:2008 Твердый сплав. Исследование микроструктуры. Часть 2. Метод определения размера зерна.

Устанавливает метод определения размера зерна карбида вольфрама (WC) в твердом сплаве с использованием металлографического микроскопа в сочетании с методом линейного сечения или методом планового сечения, подходящий для оптимизации производительности и контроля качества.

ISO 4499-3:2016 Твердый сплав. Исследование микроструктуры. Часть 3. Оценка пор, включений, свободного углерода и η-фазы.

В стандарте описывается метод оценки дефектов, таких как поры, включения, свободный углерод и η-фаза в микроструктуре твердого сплава, с использованием металлографического микроскопа для наблюдения и сравнения со стандартными атласами для оценки класса.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. Серия ISO 4489: испытания производительности

Стандарт ISO 4489:2010 «Метод определения прочности на изгиб твердого сплава»

устанавливает метод определения прочности на изгиб твердого сплава с использованием испытания на трехточечный или четырехточечный изгиб, который подходит для оценки механических свойств материалов.

Стандарт ISO 4489-2:2020 «Метод определения прочности на изгиб твердого сплава.

Часть 2: Условия высоких температур»

дополняет метод определения прочности на изгиб в условиях высоких температур (например, 800–1200 °C), который подходит для сценариев применения при высоких температурах (например, в аэрокосмической отрасли).

5. Серия ISO 3326: Испытание на твердость

Стандарт ISO 3326:2013 «Метод определения твердости по Виккерсу для твердых сплавов»

устанавливает метод определения твердости по Виккерсу для твердых сплавов с использованием твердомера по Виккерсу с нагрузкой 10–50 кгс, что подходит для оценки сопротивления материала вдавлению.

6. Серия ISO 3878: Испытание на твердость по Роквеллу

ISO 3878:1983 Метод испытания твердости по Роквеллу для твердого сплава (шкала HRA)

определяет метод определения твердости по Роквеллу для твердого сплава (шкала HRA). Он подходит для быстрого определения твердости материала и не пересматривался.

7. Серия ISO 28079: Испытание на вязкость разрушения

Стандарт ISO 28079:2009 «Метод определения вязкости разрушения твердого сплава»

устанавливает метод определения вязкости разрушения (K_{Ic}) твердого сплава с использованием метода испытания с использованием одностороннего надреза (SENB), который подходит для оценки трещиностойкости материалов.

8. Серия ISO 3369: Определение плотности

Стандарт ISO 3369:2006 «Метод определения плотности твердого сплава»

устанавливает метод определения плотности твердого сплава с использованием закона Архимеда и подходит для контроля качества и проверки состава материала.

9. Серия ISO 4884: Испытание магнитных свойств

Стандарт ISO 4884:2019 «Метод определения магнитных свойств твердого сплава»

устанавливает метод определения магнитной прочности насыщения и коэрцитивной силы (H_c) твердого сплава с использованием метода петли гистерезиса, который подходит для оценки качества и микроструктуры фазы кобальта.

10. Серия ISO/TR 19041: Технические отчеты

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

**ISO/TR 19041:2015 Технический отчет по контролю микроструктуры твердого сплава:
дополнительное руководство по оценке дефектов**

Содержит дополнительные технические рекомендации по оценке микроструктурных дефектов, включая более подробные методы оценки пористости, включений, свободного углерода и η-фазы, которые не являются обязательными.

Серия стандартов ISO, связанная с твердым сплавом, охватывает множество аспектов, таких как определение термина, подготовка образцов, проверка микроструктуры, эксплуатационные испытания (прочность на изгиб, твердость, вязкость разрушения, плотность, магнитные свойства) и т. д., обеспечивая всестороннюю техническую поддержку для производства, испытаний и применения твердого сплава. Эти стандарты в основном применимы к твердым сплавам с карбидом вольфрама (WC) в качестве твердой фазы и кобальтом (Co) или никелем (Ni) в качестве связующей фазы, которые широко используются в режущих инструментах, износостойких деталях и в военной области. ISO 3850:2018, как основа терминологии, образует полную систему с другими стандартами (такими как ISO 4499 и ISO 4489) для поддержки стандартизации и интернационализации мировой отрасли твердого сплава.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

приложение:

ISO/TR 19041:2015 Твердый сплав
Технический отчет по контролю микроструктуры: Дополнительные
рекомендации по оценке дефектов

1 Введение

В качестве дополнения к серии стандартов ISO 4499 этот технический отчет содержит подробные рекомендации по оценке микроструктурных дефектов в твердом сплаве, направленные на то, чтобы помочь пользователям более точно внедрить ISO 4499-3:2016 «Твердый сплав — Микроструктурное исследование. Часть 3: Оценка пористости, включений, свободного углерода и η -фазы». В этом отчете основное внимание уделяется эксплуатационным деталям оценки дефектов, анализу влияющих факторов, предложениям по улучшению и типичным случаям, и он применим к твердому сплаву с карбидом вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальтом (Co) в качестве связующей фазы. Этот отчет является необязательным документом и предназначен только для справки.

2 Область применения

В настоящем техническом отчете содержатся дополнительные рекомендации по оценке микроструктурных дефектов в твердом сплаве, в том числе:

Подробная информация о процедурах оценки пористости (типа А и В), включений, свободного углерода и эта-фазы.

Анализ факторов, влияющих на результаты оценки дефектов, и предложения по улучшению. Случаи оценки дефектов и справочные данные для типичных марок твердого сплава.

Этот отчет применим к твердому сплаву с карбидом вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальтом (Co) в качестве связующей фазы и подходит для контроля качества, исследований и разработок, а также оптимизации процесса.

3 Нормативные ссылки

Следующие документы связаны с настоящим техническим отчетом и предоставлены для справки:

ISO 4499-1:2006 Твердый сплав. Исследование микроструктуры. Часть 1. Общие указания.

ISO 4499-3:2016 Твердый сплав. Исследование микроструктуры. Часть 3. Оценка пористости, включений, свободного углерода и эта-фазы

ISO 3847:2005 Методы подготовки образцов из твердого сплава

Терминология по твердому сплаву ISO 3850:2018

4 Термины и определения

В настоящем техническом отчете используются термины и определения, определенные в стандартах ISO 3850:2018 и ISO 4499-3:2016, в том числе:

Пористость : поры или пространства в микроструктуре, делящиеся на тип А (диаметр <10 мкм) и тип В (диаметр 10-25 мкм).

Включения : Неметаллические примеси (такие как оксиды и сульфиды), которые

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

существуют в виде частиц.

Свободный углерод : углерод, не образующий соединений с металлами и существующий в форме графита.

η- фаза : хрупкая фаза, образующаяся из-за недостаточного содержания углерода, например, W_3Co_3C или Co_6W_6C .

5 дополнительных рекомендаций по оценке дефектов

5.1 Предложения по улучшению подготовки образцов

Резка : рекомендуется, чтобы скорость резки была $<0,05$ мм/с, а расход охлаждающей жидкости $>0,5$ л/мин, чтобы избежать микротрещин, вызванных тепловым воздействием.

Монтаж : используйте смолу с низкой усадкой (например, эпоксидную смолу) и контролируйте температуру ниже $130^{\circ}C$, чтобы предотвратить деформацию краев образца.

Шлифовка и полировка : увеличьте время полировки до 10–15 мин, используйте полировальную жидкость зернистостью 0,1 мкм и обеспечьте шероховатость поверхности $Ra < 0,01$ мкм .

Офорт : Реактив Муракуми (10 г $K_3 [Fe(CN)_6]$ + 10 г KOH + 100 мл H_2O). Время травления контролируется в пределах 3-5 с, чтобы избежать перетравливания и скрытия дефектов.

5.2 Подробности операции микроскопического наблюдения

Выбор увеличения : $200\times$ рекомендуется для рутинного наблюдения, а $500\times$ рекомендуется для подтверждения тонких особенностей включений и η-фазы.

Режимы освещения :

Пористость и включения: используйте метод светлого поля для усиления контрастности.

Свободный углерод и η-фаза: При наблюдении в поляризованном свете свободный углерод выглядит ярко-белым, а η-фаза — темно-серой.

Количество полей зрения

Для повышения статистической точности рекомендуется увеличить количество полей до 10 с площадью ≥ 1 мм².

5.3 Метод улучшения оценки дефектов

Оценка пористости :

0,1 мкм² использовалось программное обеспечение для анализа изображений .

Поры типов А и В классифицируются отдельно, а для пор выше A06-B04 (например, степень вакуума <10 Па) требуется анализ процесса спекания.

Оценка включения :

диаметр включений >20 мкм , необходимо зарегистрировать химический состав (например, анализ типа оксида с использованием ЭДС) .

Для I04 и выше необходимо проверить чистоту сырья (примеси $< 0,05\%$).

Бесплатная оценка выбросов углерода :

Если отношение площадей составляет $>1\%$, отклонение содержания углерода ($\leq \pm 0,1\%$) необходимо подтвердить в сочетании с химическим анализом.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Для C04 и выше необходимо оптимизировать процесс смешивания (например, увеличить время измельчения в шаровой мельнице до 48 часов).

Оценка фазы η :

Если отношение площадей $>1\%$, необходимо объединить испытание магнитных свойств, чтобы подтвердить влияние η -фазы (интенсивность магнитного насыщения уменьшается $>5\%$).

Выше $\eta 04$ необходимо корректировать температуру спекания ($<1450^{\circ}\text{C}$) и содержание углерода ($>0,1\%$).

5.4 Анализ влияющих факторов

Пористость : Недостаточный вакуум спекания (<10 Па), слишком высокая скорость охлаждения (>50 $^{\circ}\text{C}/\text{мин}$) или неравномерные частицы сырья (>2 мкм) приводят к повышенной пористости ($>A04$).

Включения : Содержание оксидов или сульфидов в сырье $>0,05\%$ или неравномерное смешивание (время измельчения в шаровой мельнице <24 ч) приводит к увеличению включений ($>I04$).

Свободный углерод : слишком высокое содержание углерода ($>0,2\%$) или неравномерное распределение (время смешивания <24 ч) приводит к увеличению свободного углерода ($>C04$).

η - фаза : недостаточное содержание углерода ($<0,1\%$), высокая температура спекания ($>1450^{\circ}\text{C}$) или медленная скорость охлаждения ($<10^{\circ}\text{C}/\text{мин}$) приводят к образованию η -фазы ($>\eta 04$).

6 Анализ типичного случая

6.1 Оценка дефектов твердого сплава марки YG6

Информация о образце : Содержание Co 6%, размер зерна 0,8-1,2 мкм , область применения: горнодобывающие буровые коронки.

Условия испытания : металлографический микроскоп 200 $\times$, 10 полей зрения, площадь 1 мм² .

Результат : A02-B02-I02-C02- η 02.

Анализ : Поры и включения низкие, что указывает на разумный процесс спекания (степень вакуума 5 Па, скорость охлаждения 30 $^{\circ}\text{C}/\text{мин}$). Свободный углерод и η -фаза находятся в пределах нормы, а содержание углерода хорошо контролируется (отклонение $\leq \pm 0,05\%$).

6.2 Оценка дефектов твердого сплава марки YG8

Информация о образце : Содержание Co 8%, размер зерна 1,0-1,5 мкм , область применения: режущие инструменты.

Условия испытания : металлографический микроскоп 200 $\times$, 10 полей зрения, площадь 1 мм² .

Результат : A04-B04-I02-C04- η 02.

Анализ : Уровень пористости высокий (A04-B04), что может быть связано со слишком

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

высокой скоростью охлаждения ($>50^{\circ}\text{C}/\text{мин}$). Свободный углерод высокий (C04), рекомендуется проверить содержание углерода ($>0,2\%$) и однородность смешивания (время измельчения в шаровой мельнице <24 ч).

6.3 Оценка дефектов твердого сплава марки YT15

Информация о образце : содержание Co 5%, содержание TiC , размер зерна 0,6-1,0 мкм , область применения: отделочные инструменты.

Условия испытания : металлографический микроскоп 500 $\times$, 10 полей зрения, площадь 1 мм² .

Результат : A02-B02-I04-C02- η 04.

Анализ : Включения высокие (I04), что может быть связано с примесями в сырье TiC ($>0,05\%$). Фаза η высокая (η 04), поэтому рекомендуется снизить температуру спекания ($<1450^{\circ}\text{C}$) и отрегулировать содержание углерода ($>0,1\%$).

7 предложений по улучшению

Оптимизация процесса :

Повышение чистоты сырья: содержание примесей $<0,03\%$.

Увеличьте время смешивания: время измельчения в шаровой мельнице >48 ч для обеспечения однородности.

Оптимизировать параметры спекания: степень вакуума <5 Па, скорость охлаждения 20-30 $^{\circ}\text{C}/\text{мин}$.

Улучшения теста :

для анализа изображений для повышения точности статистики дефектов ($\leq \pm 0,1$ мкм) .

Увеличьте количество полей зрения до 10–15 для повышения статистической надежности.

Объедините химический анализ и испытания магнитных свойств для комплексной оценки влияния дефектов.

8 Заключение

В этом техническом отчете содержатся подробные дополнительные рекомендации по оценке микроструктурных дефектов в твердом сплаве. Он предоставляет пользователям практические рекомендации по улучшению подготовки образцов, микроскопического наблюдения и методов оценки дефектов в сочетании с анализом влияющих факторов и типичных случаев. Внедрение этого отчета поможет улучшить эффект применения ISO 4499-3:2016 и поддержать контроль качества твердого сплава и оптимизацию процесса.

Приложение А (Информационное приложение) Справочные значения для оценки типичных дефектов твердого сплава

Бренд	Содержание (мас. %)	Co Уровень дефекта	Типичные применения
YG6	6	A02-B02-I02-C02- η 02	Горнодобывающие буровые коронки

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Бренд	Содержание (мас. %)	Со Уровень дефекта	Типичные применения
YG8	8	A04-B04-I02-C04- η02	Режущие инструменты
YT15	5	A02-B02-I04-C02- η04	Инструменты для отделки

Приложение В (информационное приложение) Требования к тестовой среде

Температура: от 10°C до 35°C, рекомендуемая температура 20±2°C.

Влажность: 30%-70%, рекомендуется 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

Горизонтальность испытательного стенда: отклонение <0,02 мм/м.

Приложение С (Информационное приложение) Инструмент улучшения оценки дефектов

Программное обеспечение для анализа изображений : например , ImageJ, для статистики пор и включений с точностью <0,1 мкм .

Анализатор EDS : используется для анализа состава включений, предел обнаружения <0,01%.

Тестер магнитных свойств : оценка влияния η-фазы, отклонение интенсивности магнитного насыщения <5%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

приложение:

ISO 4884:2019

Метод определения магнитных свойств твердого сплава

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает метод определения магнитной прочности насыщения и коэрцитивной силы (H_c) твердого сплава с использованием метода петли гистерезиса и применим к твердому сплаву с карбидом вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальтом (Co) в качестве связующей фазы, включая твердый сплав с другими карбидами (такими как TaC , TiC , NbC , VC). Этот стандарт применим к оценке качества и микроструктуры фазы кобальта и широко используется при контроле качества процесса производства твердого сплава.

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для ссылочных документов с датой применимой версией является версия на эту дату; для ссылочных документов без даты к настоящему стандарту применяется последняя версия (включая все поправки).

ISO 3847:2005 Методы подготовки образцов из твердого сплава

Терминология по твердому сплаву ISO 3850:2018

IEC 60404-4:1995 Магнитные материалы. Часть 4. Методы измерения магнитных свойств

3 Термины и определения

В настоящем стандарте приняты стандарты ISO 3850:2018 и IEC 60404-4:1995, а также следующие термины и определения:

Интенсивность магнитного насыщения: интенсивность намагничивания насыщения, достигаемая фазой кобальта в твердом сплаве под действием сильного внешнего магнитного поля, измеряемая в Тл (теслах), отражающая содержание и чистоту фазы кобальта.

Коэрцитивная сила (H_c): Напряженность магнитного поля, необходимая для размагничивания намагниченности твердого сплава от состояния насыщения до нуля, выраженная в А/м (ампер /метр), отражающая микроструктурные характеристики.

Петля гистерезиса: замкнутая кривая, показывающая изменение интенсивности намагничивания под действием внешнего магнитного поля, используемая для измерения магнитных свойств.

Твердый сплав: композитный материал, изготовленный методом порошковой металлургии, в котором основной твердой фазой является карбид вольфрама (WC), а связующей фазой — кобальт (Co).

4. Принцип определения

Определение магнитных свойств основано на методе петли гистерезиса, который заключается в помещении образца в замкнутую магнитную цепь, приложении изменяющегося внешнего магнитного поля, регистрации зависимости между

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

интенсивностью намагниченности и интенсивностью магнитного поля и построении петли гистерезиса. Интенсивность магнитного насыщения измеряется по области насыщения петли гистерезиса, а коэрцитивная сила определяется по интенсивности магнитного поля в нулевой точке в процессе размагничивания.

Интенсивность магнитного насыщения: измеряет максимальную интенсивность намагничивания образца в сильном магнитном поле (>500 кА/м), обычно стандартизированную как значение намагниченности на единицу массы или единицы объема. Коэрцитивная сила (H_c): мера напряженности магнитного поля, необходимая для изменения намагниченности от насыщения до нуля.

5. Измерительное оборудование

5.1 Тестер магнитных характеристик

Диапазон напряженности магнитного поля: 0-1000 кА/м, точность $\pm 1\%$.

Диапазон измерения напряженности намагничивания: 0-2 Тл, точность $\pm 0,5\%$.

Частота: 50–60 Гц, подходит для измерений постоянного тока или низких частот.

Оснащен устройством с замкнутой магнитной цепью (например, электромагнитом или тороидальной катушкой).

5.2 Оборудование для подготовки проб

Режущий станок: низкоскоростная прецизионная резка, ширина реза $<0,5$ мм, оснащен системой охлаждения.

Шлифовально-полировальный станок: скорость 300-600 об/мин, оснащен алмазной наждачной бумагой зернистостью 600#, 1200#, 2500# и полировальной тканью.

5.3 Контроль окружающей среды

Температура: от 15°C до 30°C , рекомендуемая $23\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Влажность: 30%-70%, рекомендуется $50\pm 10\%$.

Отсутствие внешних помех магнитного поля (<5 А/м), вибрации и агрессивной газовой среды.

6. Подготовка образца

6.1 Требования к образцам

Форма образца: прямоугольная или цилиндрическая, рекомендуемый размер: $10\times 10\times 5$ мм или 10 мм в диаметре и 5 мм в высоту.

Поверхность образца должна быть ровной, без трещин, пор и оксидного слоя, а шероховатость поверхности $Ra < 0,1$ мкм.

Образцы должны быть подготовлены в соответствии с ISO 3847:2005.

6.2 Количество образцов

Количество образцов в каждой партии должно быть не менее 3 для обеспечения статистической репрезентативности.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Если стандартное отклонение результатов составляет $>5\%$, количество образцов необходимо увеличить до 5.

6.3 Резка и полировка образцов

Образцы разрезались с помощью низкоскоростного прецизионного отрезного станка со скоростью резки $<0,1$ мм/с и использованием этанола или воды в качестве охлаждающей жидкости.

Грубая шлифовка: используйте алмазную наждачную бумагу зернистостью 600# или 1200#, чтобы постепенно удалить следы резки.

Тонкая шлифовка: используйте наждачную бумагу зернистостью 2500, шероховатость поверхности $Ra < 0,1$ мкм.

6.4 Очистка образцов

Очистите поверхность образца безводным этанолом или ацетоном и проведите ультразвуковую очистку в течение 5 мин (частота 40 кГц).

После сушки хранить в эксикаторе, чтобы избежать окисления и загрязнения.

7 этапов измерения

7.1 Калибровка оборудования

Откалибруйте напряженность магнитного поля тестера магнитных характеристик с отклонением $<\pm 1\%$.

Откалибруйте точность измерения интенсивности намагничивания, отклонение составляет $<\pm 0,5\%$.

Для проверки оборудования используйте стандартный образец (например, чистый никель) с отклонением $<\pm 2\%$.

7.2 Условия испытаний

Температура окружающей среды: от 15°C до 30°C , рекомендуемая — $23\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Относительная влажность: 30%-70%, рекомендуется $50\pm 10\%$.

Отсутствие внешних помех магнитного поля (<5 А/м), вибрации и агрессивной газовой среды.

7.3 Тестовая эксплуатация

Поместите образец в аппарат с замкнутой магнитной цепью, убедившись, что образец совмещен с катушкой или магнитными полюсами.

Постепенно увеличивающееся внешнее магнитное поле применялось до достижения насыщения (>500 кА/м).

Запишите изменения интенсивности намагничивания и напряженности магнитного поля и нарисуйте петлю гистерезиса.

Интенсивность магнитного насыщения (нормированная на единицу массы или объема) считывается из петли гистерезиса.

Коэрцитивная сила (H_c), т. е. напряженность магнитного поля, при которой

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

намагниченность равна нулю, определяется в процессе размагничивания.

Повторите измерение 3–5 раз и запишите каждый набор данных.

7.4 Расчет результата

Интенсивность магнитного насыщения: измеряется в Тл или А·м²/кг, обычно преобразуется в 4π Мс (единица Гаусса, 1 Тл ≈ 10⁴ Гаусс).

Коэрцитивная сила (H_c): измеряется в А/м.

Рассчитайте среднее значение:

$$\bar{M}_s = \frac{\sum M_{s_i}}{n}, \quad \bar{H}_c = \frac{\sum H_{c_i}}{n}$$

Где M_{s_i} и H_{c_i} — отдельные значения измерений, а n — количество измерений.

Рассчитайте стандартное отклонение:

$$s_{M_s} = \sqrt{\frac{\sum (M_{s_i} - \bar{M}_s)^2}{n-1}}, \quad s_{H_c} = \sqrt{\frac{\sum (H_{c_i} - \bar{H}_c)^2}{n-1}}$$

Квалификационное суждение: среднее отклонение значения <±5%, стандартное отклонение <5% (напряженность магнитного насыщения), <50 А/м (коэрцитивная сила).

8 Оценка результатов измерений

8.1 Диапазон магнитных свойств

Магнитные свойства твердого сплава зависят от марки:

YG6 (6% Co): напряженность магнитного насыщения 0,15-0,18 Тл, коэрцитивная сила 10-20 кА/м.

YG8 (8% Co): напряженность магнитного насыщения 0,20-0,24 Тл, коэрцитивная сила 8-15 кА/м.

YT15 (5% Co + TiC): напряженность магнитного насыщения 0,12-0,15 Тл, коэрцитивная сила 15-25 кА/м.

8.2 Оценка отклонения

из 3-5 образцов составляет <±5%, стандартное отклонение составляет <5% (напряженность магнитного насыщения) и <50 А/м (коэрцитивная сила), в противном случае требуется повторное тестирование.

Если результат ниже технического требования, необходимо проанализировать причины (например, неравномерное распределение фазы кобальта и влияние примесей).

8.3 Анализ влияющих факторов

Подготовка образца: Шероховатость поверхности > 0,1 мкм или пористость > 0,5% могут снизить интенсивность магнитного насыщения на 3–5%.

Помехи от магнитного поля: Внешнее магнитное поле > 5 А/м может привести к погрешности измерения 2%-3%.

Состав материала: Колебания содержания кобальта > ±0,5% или наличие η-фазы могут снизить интенсивность магнитного насыщения на 5–10% и увеличить коэрцитивную силу на

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10–20%.

Калибровка оборудования: Отклонение напряженности магнитного поля >1% может привести к отклонению результатов на 2–5%.

9 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

Информация об образце: марка, номер партии, размер (10 × 10 × 5 мм или диаметр 10 мм, высота 5 мм).

Условия испытаний: модель тестера, напряженность магнитного поля (>500 кА/м), температура окружающей среды (от 15°C до 30°C), влажность (30%-70%).

Результаты испытаний: интенсивность магнитного насыщения и коэрцитивная сила каждого образца, среднее значение, стандартное отклонение и девиация.

Заключение по оценке: соответствует ли техническим требованиям.

Дата испытания и подпись оператора.

Приложение А (Информационное приложение) Справочные значения магнитных свойств типичных твердых сплавов

Бренд	Содержание Со (мас. %)	Интенсивность магнитного насыщения (Тл)	Коэрцитивная сила (кА/м)	Типичные применения
YG6	6	0,15-0,18	10-20	Горнодобывающие буровые коронки
YG8	8	0,20-0,24	8-15	Режущие инструменты
YT15	5	0,12-0,15	15-25	Инструменты для отделки

Приложение В (информационное приложение) Требования к тестовой среде

Температура: от 15°C до 30°C, рекомендуемая 23±2°C.

Влажность: 30%-70%, рекомендуется 50±10%.

Отсутствие внешних помех магнитного поля (<5 А/м), вибрации и агрессивной газовой среды.

Горизонтальность испытательного стенда: отклонение <0,02 мм/м.

Подвести итог

ISO 4884:2019 «Методы определения магнитных свойств твердого сплава» представляет собой международную стандартизированную процедуру определения магнитной прочности насыщения и коэрцитивной силы твердого сплава и обеспечивает точность и сопоставимость результатов с помощью метода петли гистерезиса. Внедрение этого стандарта помогает оценить качество и микроструктуру фазы кобальта и обеспечить техническую поддержку для контроля качества процесса производства твердого сплава.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

ISO 3369:2006

Метод определения плотности твердого сплава

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает метод определения плотности твердого сплава с использованием принципа Архимеда и применим к твердому сплаву с карбидом вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальтом (Co) в качестве связующей фазы, включая твердый сплав с другими карбидами (такими как TaC, TiC, NbC, VC). Этот стандарт применим к контролю качества и проверке состава материалов и широко используется в режущих инструментах, износостойких деталях и других областях применения.

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для ссылочных документов с датой применимой версией является версия на эту дату; для ссылочных документов без даты к настоящему стандарту применяется последняя версия (включая все поправки).

ISO 3847:2005 Методы подготовки образцов из твердого сплава

Терминология по твердому сплаву ISO 3850:2018

3 Термины и определения

В настоящем стандарте принят стандарт ISO 3850:2018 и следующие термины и определения:
Плотность: мера массы на единицу объема, выраженная в г/см^3 , отражающая компактность твердого сплава.

Закон Архимеда: метод измерения плотности, основанный на соотношении между объемом жидкости, вытесненной объектом в жидкости, и его массой.

Твердый сплав: композитный материал, изготовленный методом порошковой металлургии, в котором основной твердой фазой является карбид вольфрама (WC), а связующей фазой — кобальт (Co).

4. Принцип определения

Плотность определяется на основе закона Архимеда. Плотность образца рассчитывается путем измерения массы образца в воздухе и массы, удерживаемой плавучестью в жидкости.

Формула:

$$\rho = \frac{m_a \cdot \rho_l}{m_a - m_l}$$

其中:

- ρ 为试样密度 (г/см^3),
- m_a 为试样在空气中的质量 (g),
- m_l 为试样在液体中的质量 (g),
- ρ_l 为液体的密度 (г/см^3 , 通常为去离子水的 0.997 г/см^3 , 20°C).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

В:

ρ – плотность образца (г/см^3),

m_a – масса образца в воздухе (г),

m_l – масса образца в жидкости (г),

ρ_l — плотность жидкости (г/см^3 , обычно $0,997 \text{ г/см}^3$ для деионизированной воды при 20°C).

5. Измерительное оборудование

5.1 Баланс

Диапазон измерения: 0-200 г, точность $\pm 0,0001$ г.

Оснащен подвесным устройством для измерения в жидкостях.

5.2 Контейнер для жидкости

Материал: коррозионно-стойкое стекло или нержавеющая сталь.

Жидкость: деионизированная вода, температура контролируется на уровне $20 \pm 1^\circ\text{C}$.

5.3 Термометр

Диапазон измерения: от 0°C до 50°C , точность $\pm 0,1^\circ\text{C}$.

5.4 Оборудование для подготовки проб

Режущий станок: низкоскоростная прецизионная резка, ширина реза $< 0,5$ мм, оснащен системой охлаждения.

Шлифовально-полировальный станок: скорость 300-600 об/мин, оснащен алмазной наждачной бумагой зернистостью 600#, 1200#, 2500# и полировальной тканью.

5.5 Контроль окружающей среды

Температура: от 15°C до 25°C , рекомендуется $20 \pm 1^\circ\text{C}$.

Влажность: 30%-70%, рекомендуется $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

6. Подготовка образца

6.1 Требования к образцам

Форма образца: любая форма, рекомендуемый размер $10 \times 10 \times 5$ мм или общая масса ≥ 5 г.

Поверхность образца должна быть ровной, без трещин, пор и оксидного слоя, а шероховатость поверхности $R_a < 0,1$ мкм.

Образцы должны быть подготовлены в соответствии с ISO 3847:2005.

6.2 Количество образцов

Количество образцов в каждой партии должно быть не менее 3 для обеспечения статистической репрезентативности.

Если стандартное отклонение результатов составляет $> 0,05 \text{ г/см}^3$, количество образцов необходимо увеличить до 5.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.3 Резка и полировка образцов

Образцы разрезались с помощью низкоскоростного прецизионного отрезного станка со скоростью резки $<0,1$ мм/с и использованием этанола или воды в качестве охлаждающей жидкости.

Грубая шлифовка: используйте алмазную наждачную бумагу зернистостью 600# или 1200#, чтобы постепенно удалить следы резки.

Тонкая шлифовка: используйте наждачную бумагу зернистостью 2500, шероховатость поверхности $Ra < 0,1$ мкм.

6.4 Очистка образцов

Очистите поверхность образца безводным этанолом или ацетоном и проведите ультразвуковую очистку в течение 5 мин (частота 40 кГц).

После сушки хранить в эксикаторе, чтобы избежать окисления и загрязнения.

7 этапов измерения

7.1 Калибровка оборудования

Точность калиброванных весов составляет $\leq \pm 0,0001$ г.

Термометр был откалиброван с отклонением $< \pm 0,1^\circ\text{C}$.

7.2 Условия испытаний

Температура окружающей среды: от 15°C до 25°C , рекомендуется $20 \pm 1^\circ\text{C}$.

Температура жидкости: $20 \pm 1^\circ\text{C}$.

Относительная влажность: 30%-70%, рекомендуется $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

7.3 Тестовая эксплуатация

Измерьте массу образца на воздухе, m_a и m_l , и запишите с точностью до 0,0001 г.

Подвесьте образец под весами, погрузите его в деионизированную воду, измерьте его массу в жидкости (m_l - м_л - мл) и запишите с точностью до 0,0001 г.

Убедитесь, что образец полностью погружен и не содержит пузырьков воздуха.

Повторите измерение 3–5 раз и запишите каждый набор данных.

7.4 Расчет результата

Рассчитайте плотность каждого образца:

$$\rho = \frac{m_a \cdot \rho_l}{m_a - m_l}$$

где $\rho_{\text{ж}} = 0,997$ г/см³ (20°C).

Рассчитайте среднее значение:

$$\bar{\rho} = \frac{\sum \rho_i}{n}$$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Где ρ_i — плотность одного образца, а n — количество образцов.

Рассчитайте стандартное отклонение:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (\rho_i - \bar{\rho})^2}{n - 1}}$$

Квалификационная оценка: среднее отклонение плотности $< \pm 0,5\%$, стандартное отклонение $< 0,05 \text{ г/см}^3$.

8 Оценка результатов измерений

8.1 Диапазон плотности

Диапазон плотности твердого сплава зависит от марки:

YG6 (6% Co): 14,8-15,0 г/см³.

YG8 (8% Co): 14,6-14,8 г/см³.

YT15 (5% Co + TiC) : 11,5-12,0 г/см³.

8.2 Оценка отклонения

Среднее отклонение плотности 3-5 образцов составляет $< \pm 0,5\%$, а стандартное отклонение составляет $< 0,05 \text{ г/см}^3$, в противном случае требуется повторное тестирование.

Если плотность ниже технических требований, необходимо проанализировать причины (например, высокую пористость и отклонение состава).

8.3 Анализ влияющих факторов

Подготовка образца: Шероховатость поверхности $> 0,1 \text{ мкм}$ или трещины $> 0,05 \text{ мм}$ могут привести к погрешности измерения плотности 0,1%-0,2%.

Температура жидкости: Отклонение температуры более чем на 1°C от 20°C может привести к отклонению плотности на 0,05%-0,1%.

Адгезия пузырьков: Пузырьки на поверхности образца могут снизить измеренное значение на 0,1%–0,3%.

Состав материала: колебания содержания Co $> \pm 0,5\%$ или недостаточное содержание WC могут повлиять на однородность плотности.

9 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

Информация об образце: марка, номер партии, размер (10 × 10 × 5 мм или общая масса $\geq 5 \text{ г}$).

Условия испытаний: модель баланса, температура жидкости (20±1°C), температура окружающей среды (от 15°C до 25°C), влажность (30%-70%).

Результаты испытаний: плотность, среднее значение, стандартное отклонение и отклонение каждого образца.

Заключение по оценке: соответствует ли техническим требованиям.

Дата испытания и подпись оператора.

Приложение А (Информационное приложение) Типичные справочные значения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

плотности карбида

Бренд	Содержание Со (мас. %)	Плотность (г/см ³)	Типичные применения
YG6	6	14,8-15,0	Горнодобывающие буровые коронки
YG8	8	14.6-14.8	Режущие инструменты
YT15	5	11,5-12,0	Инструменты для отделки

Приложение В (информационное приложение) Требования к тестовой среде

Температура: от 15°C до 25°C, рекомендуется 20±1°C.

Влажность: 30%-70%, рекомендуется 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

Горизонтальность испытательного стенда: отклонение <0,02 мм/м.

Подвести итог

ISO 3369:2006 «Определение плотности твердого сплава» представляет собой международную стандартизированную процедуру определения плотности твердого сплава, обеспечивающую точность и сопоставимость результатов с помощью принципа Архимеда. Внедрение этого стандарта помогает контролировать качество и проверять состав материала, а также обеспечивает техническую поддержку для таких областей применения, как режущие инструменты и износостойкие детали.

приложение:

ИСО 28079:2009

Метод определения вязкости разрушения твердого сплава

1 Область применения

В настоящем стандарте описывается метод определения вязкости разрушения (K_{IC} K_{IC}) твердого сплава с использованием метода испытания с односторонним надрезом (SENB) и он применим к твердому сплаву с карбидом вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальтом (Co) в качестве связующей фазы, включая твердый сплав с другими карбидами (такими как TaC, TiC, NbC, VC). Этот стандарт применим к оценке способности твердого сплава противостоять распространению трещин и широко используется для анализа производительности в областях применения с высокими нагрузками, таких как режущие инструменты и износостойкие детали.

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для ссылочных документов с датой применимой версией является версия на эту дату; для ссылочных документов без даты к настоящему стандарту применяется последняя версия (включая все поправки).

ISO 3847:2005 Методы подготовки образцов из твердого сплава

Терминология по твердому сплаву ISO 3850:2018

ISO 12135:2002 Металлические материалы. Методы испытаний на вязкость разрушения

3 Термины и определения

В настоящем стандарте приняты стандарты ISO 3850:2018 и ISO 12135:2002, а также следующие термины и определения:

Вязкость разрушения (K_{IC} K_{IC}): способность материала противостоять росту трещин, выраженная в МПа·м^{1/2}, измерено в условиях плоской деформации.

Балка с надрезом с одной стороны (SENB): образец балки с надрезом с одной стороны, используемый для испытания на вязкость разрушения.

Предварительная трещина: начальная трещина, образованная усталостной нагрузкой на надрезанном конце образца.

Твердый сплав: композитный материал, изготовленный методом порошковой металлургии, в котором основной твердой фазой является карбид вольфрама (WC), а связующей фазой — кобальт (Co).

4. Принцип определения

Вязкость разрушения (K_{IC} K_{IC}) определяется на основе испытания односторонней балки с надрезом (SENB), которое измеряет критический коэффициент интенсивности напряжений при разрушении образца путем приложения к образцу сосредоточенной нагрузки. K_{IC} K_{IC} рассчитывается по следующей формуле:

$$K_{IC} = \frac{F}{B\sqrt{W}} \cdot Y \cdot f\left(\frac{a}{W}\right)$$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

其中:

- K_{IC} 为断裂韧性 ($\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$) ,
 - F 为断裂载荷 (N) ,
 - B 为试样厚度 (m) ,
 - W 为试样宽度 (m) ,
 - a 为切口深度 (m) ,
 - Y 为几何因子 (取决于 a/W 比) ,
 - $f\left(\frac{a}{W}\right)$ 为校正函数 (基于标准表或公式) ,
- a/W 比通常在 0.45 至 0.55 之间。

5. Измерительное оборудование

5.1 Испытательная машина

Грузоподъемность: 0-50 кН , точность $\pm 1\%$.

Скорость загрузки: 0,1-1 мм/мин, регулируемая.

Оснащен датчиком силы и датчиком перемещения с разрешением $<0,01$ Н и $<0,01$ мм.

5.2 Оборудование для усталостной нагрузки

Частота нагрузки: 10-30 Гц, точность ± 1 Гц.

Максимальная нагрузка: не более 80% прочности на изгиб, точность $\pm 1\%$.

5.3 Крепление

Приспособление для трехточечного изгиба: радиус точки опоры 1–2 мм, радиус точки нагрузки 1 мм, расстояние между опорами 16–20 мм.

Материал зажима: закаленная сталь, твердость $>\text{HRC } 60$.

5.4 Оборудование для подготовки проб

Режущий станок: низкоскоростная прецизионная резка, ширина реза $<0,1$ мм, оснащен системой охлаждения.

Шлифовально-полировальный станок: скорость 300-600 об/мин, оснащен алмазной наждачной бумагой зернистостью 600#, 1200#, 2500# и полировальной тканью.

5.5 Контроль окружающей среды

Температура: от 10°C до 35°C , рекомендуемая $23\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Влажность: 30%-70%, рекомендуется $50\pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

6. Подготовка образца

6.1 Требования к образцам

Форма образца: прямоугольный параллелепипед, рекомендуемый размер: $20\times 4\times 2$ мм (длина $\times$ ширина $\times$ высота), допуск $\pm 0,02$ мм.

Разрез: Глубина a - ширина образца W 45%-55% от W , ширина надреза $<0,1$ мм, радиус

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

кончика $<0,05$ мм.

Поверхность образца должна быть ровной, без трещин и оксидного слоя, а шероховатость поверхности $Ra < 0,02$ мкм.

Образцы должны быть подготовлены в соответствии с ISO 3847:2005.

6.2 Количество образцов

Количество образцов в каждой партии должно быть не менее 5 для обеспечения статистической репрезентативности.

Если стандартное отклонение результатов $>0,2 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, количество образцов необходимо увеличить до 10.

6.3 Резка и полировка образцов

Образцы разрезались с помощью низкоскоростного прецизионного отрезного станка со скоростью резки $<0,05$ мм/с и использованием этанола или воды в качестве охлаждающей жидкости.

Грубая шлифовка: используйте алмазную наждачную бумагу зернистостью 600# или 1200#, чтобы постепенно удалить следы резки.

Тонкая шлифовка: используйте наждачную бумагу зернистостью 2500, шероховатость поверхности $Ra < 0,1$ мкм.

зернистостью 0,25 мкм, шероховатость поверхности $Ra < 0,02$ мкм.

6.4 Подготовка к образованию трещин

Для создания предварительной трещины на конце надреза использовалось устройство для испытания на усталость с диапазоном нагрузки 50–80 % от предела прочности на изгиб и частотой 10–30 Гц.

Длина предварительной трещины увеличилась на 0,5–1 мм, а радиус вершины составил $<0,01$ мм.

6.5 Очистка образцов

Очистите поверхность образца безводным этанолом или ацетоном и проведите ультразвуковую очистку в течение 5 мин (частота 40 кГц).

После сушки хранить в эксикаторе, чтобы избежать окисления и загрязнения.

7 этапов измерения

7.1 Калибровка оборудования

Откалибруйте точность нагрузки испытательной машины, отклонение $<\pm 1\%$.

Откалибруйте центрирование приспособления, отклонение $<0,02$ мм.

Откалибруйте нагрузку и частоту оборудования для испытания на усталость с отклонением $<\pm 1\%$.

7.2 Условия испытаний

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Температура окружающей среды: от 10°C до 35°C, рекомендуемая — 23±2°C.

Относительная влажность: 30%-70%, рекомендуется 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

7.3 Тестовая эксплуатация

Образец помещали в приспособление для трехточечного изгиба, при этом точка опоры совпадала с точкой приложения нагрузки, а расстояние между ними составляло 16 мм.

Отрегулируйте скорость загрузки до 0,5±0,2 мм/мин.

Прикладывайте нагрузку до тех пор, пока образец не сломается, и запишите максимальную нагрузку F и смещение при разрушении.

Измерялись глубина надреза a и ширина образца W, а также рассчитывалось отношение a/W .

Повторите эксперимент 5–10 раз и запишите каждый набор данных.

7.4 Расчет результата

Рассчитайте вязкость разрушения K_{IC} каждого образца по формуле в разделе 4.

几何因子 Y 和校正函数 f ($\frac{a}{W}$) 参考标准表 (附录 A) 。

Рассчитайте среднее значение:

$$\bar{K}_{IC} = \frac{\sum K_{ICi}}{n}$$

Где K_{IC} — вязкость разрушения отдельного образца, n — количество образцов.

Рассчитайте стандартное отклонение:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (K_{ICi} - \bar{K}_{IC})^2}{n - 1}}$$

Квалификационная оценка: среднее отклонение вязкости разрушения ≤±5%, стандартное отклонение <0,2 МПа·м^{1/2}.

8 Оценка результатов измерений

8.1 Диапазон вязкости разрушения

Диапазон вязкости разрушения твердого сплава зависит от марки:

YG6 (6% Co): 12-15 МПа·м^{1/2}.

YG8 (8% Co): 10-13 МПа·м^{1/2}.

YT15 (5% Co + TiC) : 8-11 МПа·м^{1/2}.

8.2 Оценка отклонения

5-10 образцов < ±5%, а стандартное отклонение <0,2 МПа·м^{1/2}, в противном случае потребуется повторное тестирование.

Если вязкость разрушения ниже технических требований, необходимо проанализировать причины (например, неравномерные предварительные трещины и дефекты образца).

8.3 Анализ влияющих факторов

Подготовка образца: Ширина надреза > 0,1 мм или неравномерные предварительные трещины могут снизить вязкость разрушения на 5–10 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Условия нагрузки: Скорость нагрузки >1 мм/мин или отклонение центрирования приспособления $>0,05$ мм могут привести к отклонению результата на 3%-5%.

Состав материала: Колебание содержания Co $> \pm 0,5\%$ или размер зерна WC > 2 мкм может повлиять на однородность вязкости.

9 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

Информация об образце: марка, номер партии, размер (20×4×2 мм), глубина надреза а и соотношение а/В .

Условия испытаний: модель испытательной машины, тип приспособления (трехточечный), скорость нагружения (0,5±0,2 мм/мин), температура окружающей среды (от 10°C до 35°C), влажность (30%-70%).

Результаты испытаний: вязкость разрушения, среднее значение, стандартное отклонение и вариация каждого образца.

Заключение по оценке: соответствует ли техническим требованиям.

Дата испытания и подпись оператора.

Приложение А (Нормативное приложение) Геометрические факторы и таблицы функций коррекции

соотношение а/б	Фактор геометрии Y	Корректирующая функция f(аW)
0,45	1.92	3.08
0,50	2.00	3.47
0,55	2.10	3.92

Примечание: Конкретные значения интерполируются из стандартных таблиц на основе геометрии образца и условий нагрузки.

Приложение В (Информационное приложение) Справочные значения вязкости разрушения типичных твердых сплавов

Бренд	Содержание (мас. %)	Co	Вязкость разрушения (МПа · м) ^{^(1/2)}	Типичные применения
YG6	6		12-15	Горнодобывающие буровые коронки
YG8	8		10-13	Режущие инструменты
YT15	5		8-11	Инструменты для отделки

Приложение С (информационное приложение) Требования к тестовой среде

Температура: от 10°C до 35°C, рекомендуемая 23±2°C.

Влажность: 30%-70%, рекомендуется 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

Горизонтальность испытательного стенда: отклонение $<0,02$ мм/м.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Подвести итог

ISO 28079:2009 «Метод определения вязкости разрушения твердого сплава» обеспечивает международную стандартизированную процедуру определения вязкости разрушения (KIC) твердого сплава и обеспечивает точность и сопоставимость результатов посредством испытания однокромочной балкой с надрезом (SENB). Внедрение этого стандарта помогает оценить эксплуатационные характеристики твердого сплава и обеспечивает техническую поддержку для областей применения с высокими нагрузками, таких как режущие инструменты и износостойкие детали.

приложение:

ИСО 3878:1983

Метод определения твердости твердого сплава по Роквеллу (шкала HRA)

1 Область применения

Этот стандарт устанавливает метод определения твердости по Роквеллу (шкала HRA) твердого сплава с использованием твердомера по Роквеллу с приложением начальной нагрузки 10 кгс (98,07 Н) и общей нагрузки 60 кгс (588,4 Н). Он применим к твердому сплаву с карбидом вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальтом (Co) в качестве связующей фазы, включая твердый сплав с другими карбидами (такими как TaC, TiC, NbC, VC). Этот стандарт подходит для быстрой оценки стойкости твердого сплава к вдавливанию и широко используется при контроле качества режущих инструментов и износостойких деталей.

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для ссылочных документов с датой применимой версией является версия на эту дату; для ссылочных документов без даты к настоящему стандарту применяется последняя версия (включая все поправки).

ISO 3847:2005 Методы подготовки образцов из твердого сплава

Терминология по твердому сплаву ISO 3850:2018

ISO 6508-1:2005 Испытание твердости металлических материалов по Роквеллу. Часть 1: Метод испытания (шкалы A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте приняты стандарты ISO 3850:2018 и ISO 6508-1:2005, а также следующие термины и определения:

Твердость по Роквеллу (HRA): Значение твердости, основанное на разнице глубины после того, как индентор Роквелла вдавливается в поверхность образца. Единица измерения — HRA, и она подходит для материалов высокой твердости.

Алмазный конический индентор: Алмазный индентор с углом при вершине 120°, используемый в твердомерах по Роквеллу.

Начальная нагрузка: Начальная сила, приложенная к образцу, имеющая значение 10 кгс (98,07 Н).

Общая нагрузка: Предварительная нагрузка плюс основная нагрузка, значение составляет 60 кгс (588,4 Н).

Твердый сплав: композитный материал, изготовленный методом порошковой металлургии, в котором основной твердой фазой является карбид вольфрама (WC), а связующей фазой — кобальт (Co).

4. Принцип определения

Твердость по Роквеллу (шкала HRA) определяется с помощью твердомера Роквелла, который измеряет разницу глубины после вдавливания индентора в поверхность образца путем

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

приложения начальной нагрузки 10 кгс и общей нагрузки 60 кгс . Значение твердости рассчитывается по следующей формуле:

$$HRA = 100 - \frac{h}{0.002}$$

HRA — значение твердости по Роквеллу, h — разница между глубиной вдавливания после снятия полной нагрузки и начальной глубиной нагрузки (мм), а 0,002 мм — глубина единицы шкалы твердости Роквелла. Шкала HRA применима к диапазону твердости 20–88 HRA и обычно используется для материалов высокой твердости, таких как твердый сплав.

5. Измерительное оборудование

5.1 Твердомер по Роквеллу

Диапазон нагрузок: 10 кгс (предварительная нагрузка) + 50 кгс (основная нагрузка) = 60 кгс (общая нагрузка), точность $\pm 0,5\%$.

Индентор: алмазный конус с углом при вершине 120° , радиус наконечника 0,2 мм, точность $\pm 0,01$ мм.

Измерение глубины: разрешение 0,001 мм, точность $\pm 0,5$ мкм .

Время нагружения: предварительная нагрузка 2-8 с, полная нагрузка 10-15 с, точность ± 1 с.

5.2 Оборудование для подготовки проб

Режущий станок: низкоскоростная прецизионная резка, ширина реза $< 0,5$ мм, оснащен системой охлаждения.

Шлифовально-полировальный станок: скорость 300-600 об/мин, оснащен алмазной наждачной бумагой зернистостью 600#, 1200#, 2500# и полировальной тканью.

5.3 Контроль окружающей среды

Температура: от 10°C до 35°C , рекомендуемая $23 \pm 2^\circ\text{C}$.

Влажность: 30%-70%, рекомендуется $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

6. Подготовка образца

6.1 Требования к образцам

Форма образца: прямоугольная или цилиндрическая, рекомендуемый размер $10 \times 10 \times 5$ мм или 10 мм в диаметре и 5 мм в высоту.

Поверхность образца должна быть ровной, без трещин, царапин и окисных слоев, а шероховатость поверхности $Ra < 0,02$ мкм .

Образцы должны быть подготовлены в соответствии с ISO 3847:2005.

6.2 Количество образцов

Количество образцов в каждой партии должно быть не менее 5 для обеспечения статистической репрезентативности.

Если стандартное отклонение результатов > 2 HRA, количество образцов необходимо

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

увеличить до 10.

6.3 Резка и полировка образцов

Образцы разрезались с помощью низкоскоростного прецизионного отрезного станка со скоростью резки $<0,1$ мм/с и использованием этанола или воды в качестве охлаждающей жидкости.

Грубая шлифовка: используйте алмазную наждачную бумагу зернистостью 600# или 1200#, чтобы постепенно удалить следы резки.

Тонкая шлифовка: используйте наждачную бумагу зернистостью 2500, шероховатость поверхности $Ra < 0,1$ мкм .

зернистостью 0,25 мкм , шероховатость поверхности $Ra < 0,02$ мкм .

6.4 Очистка образцов

Очистите поверхность образца безводным этанолом или ацетоном и проведите ультразвуковую очистку в течение 5 мин (частота 40 кГц).

После сушки хранить в эксикаторе, чтобы избежать окисления и загрязнения.

7 этапов измерения

7.1 Калибровка оборудования

Калибровка нагрузки твердомера по Роквеллу, отклонение $< \pm 0,5\%$.

систему измерения глубины с точностью $< \pm 0,5$ мкм .

7.2 Условия испытаний

Температура окружающей среды: от 10°C до 35°C , рекомендуемая — $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Относительная влажность: 30%-70%, рекомендуется $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

7.3 Тестовая эксплуатация

Поместите образец на рабочий стол твердомера по Роквеллу и отрегулируйте уровень поверхности.

Приложите начальную нагрузку 10 кгс , удерживайте ее в течение 2–8 с и запишите начальную глубину.

Общая нагрузка 60 кгс прикладывалась и поддерживалась в течение 10–15 с, а разница глубины регистрировалась после снятия основной нагрузки.

Измерьте не менее 3 различных точек на поверхности образца с интервалом $\geq 2,5$ мм.

Повторите эксперимент 5–10 раз и запишите каждый набор данных.

7.4 Расчет результата

Непосредственно считывайте значение HRA, отображаемое твердомером по Роквеллу.

Рассчитайте среднее значение:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$$\bar{HRA} = \frac{\sum HRA_i}{n}$$

Где HRA_i — единичное значение измерения, а n — количество измерений.

Рассчитайте стандартное отклонение:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (HRA_i - \bar{HRA})^2}{n - 1}}$$

Квалификационная оценка: среднее отклонение твердости $< \pm 2\%$, стандартное отклонение < 2 HRA.

8 Оценка результатов измерений

8.1 Диапазон твердости

Диапазон твердости по Роквеллу (HRA) твердого сплава зависит от марки:

YG6 (6% Co): 85-90 HRA.

YG8 (8% Co): 83-88 HRA.

YT15 (5% Co + TiC) : 87-92 HRA.

8.2 Оценка отклонения

из 5–10 точек измерения составляет $< \pm 2\%$, а стандартное отклонение составляет < 2 HRA, в противном случае требуется повторное тестирование.

Если твердость ниже технических требований, необходимо проанализировать причины (например, дефекты поверхности и неравномерная нагрузка).

8.3 Анализ влияющих факторов

Подготовка образца: Шероховатость поверхности $> 0,02$ мкм или трещины $> 0,05$ мм могут снизить твердость на 2–5 %.

Время загрузки: Общее время загрузки < 10 с или > 15 с может привести к погрешности измерения 1%-2%.

Условия окружающей среды: влажность $> 70\%$ или колебания температуры $> 5^\circ\text{C}$ могут повлиять на точность измерения глубины.

Состав материала: Колебание содержания Co $> \pm 0,5\%$ или размер зерна WC > 2 мкм могут повлиять на однородность твердости.

9 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

Информация об образце: марка, номер партии, размер ($10 \times 10 \times 5$ мм или диаметр 10 мм, высота 5 мм).

Условия испытаний: модель твердомера Роквелла, нагрузка ($10 \text{ кгс} + 50 \text{ кгс} = 60 \text{ кгс}$), время нагружения (2–8 с предварительное, 10–15 с общее), температура окружающей среды (от 10°C до 35°C), влажность (30–70%).

Результаты испытаний: значение твердости в каждой точке, среднее значение, стандартное отклонение и девиация.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Заключение по оценке: соответствует ли техническим требованиям.

Дата испытания и подпись оператора.

Приложение А (Информационное приложение) Справочные значения твердости по Роквеллу (HRA) типичных твердых сплавов

Бренд	Содержание Со (мас. %)	Твердость (HRA)	Типичные применения
YG6	6	85-90	Горнодобывающие буровые коронки
YG8	8	83-88	Режущие инструменты
YT15	5	87-92	Инструменты для отделки

Приложение В (информационное приложение) Требования к тестовой среде

Температура: от 10°C до 35°C, рекомендуемая 23±2°C.

Влажность: 30%-70%, рекомендуется 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

Горизонтальность испытательного стенда: отклонение <0,02 мм/м.

Подвести итог

ISO 3878:1983 «Метод испытания твердости по Роквеллу для твердого сплава (шкала HRA)» представляет собой международную стандартизированную процедуру определения твердости по Роквеллу для твердого сплава, обеспечивающую быстроту и сопоставимость результатов с помощью твердомера по Роквеллу. Внедрение этого стандарта помогает оценить эксплуатационные характеристики твердого сплава и обеспечить техническую поддержку для таких областей применения, как режущие инструменты и износостойкие детали.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

приложение:

ISO 3326:2013 Твердый сплав Метод определения твердости по Виккерсу

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает метод определения твердости по Виккерсу твердого сплава с использованием твердомера Виккерса с приложением нагрузки 10-50 кгс (98,07-490,3 Н). Он применим к твердому сплаву с карбидом вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальтом (Co) в качестве связующей фазы, включая твердый сплав с другими карбидами (такими как TaC, TiC, NbC, VC). Этот стандарт применим для оценки стойкости к вдавливанию твердого сплава и широко используется при контроле качества режущих инструментов, износостойких деталей и в других областях применения.

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для ссылочных документов с датой применимой версией является версия на эту дату; для ссылочных документов без даты к настоящему стандарту применяется последняя версия (включая все поправки).

ISO 3847:2005 Методы подготовки образцов из твердого сплава

Терминология по твердому сплаву ISO 3850:2018

ISO 6507-1:2005 Испытание твердости по Виккерсу для металлических материалов Часть 1: Метод испытания

3 Термины и определения

В настоящем стандарте приняты стандарты ISO 3850:2018 и ISO 6507-1:2005, а также следующие термины и определения:

Твёрдость по Виккерсу (HV): мера сопротивления вдавливанию на единицу площади поверхности образца после вдавливании индентора Виккерса в поверхность образца, выраженная в HV (значение твёрдости).

Индентор Виккерса: четырехугольный пирамидальный индентор из алмаза с углом при вершине 136°.

Нагрузка: Сила, приложенная к образцу, в диапазоне от 10 до 50 кгс (98,07–490,3 Н).

Твердый сплав: композитный материал, изготовленный методом порошковой металлургии, в котором основной твердой фазой является карбид вольфрама (WC), а связующей фазой — кобальт (Co).

4. Принцип определения

Определение твердости по Виккерсу основано на твердомере Виккерса, который вдавливает алмазный четырехугольный пирамидальный индентор в поверхность образца с определенной нагрузкой, измеряет диагональную длину отпечатка и вычисляет сопротивление вдавливанию на единицу площади. Значение твердости рассчитывается по следующей формуле:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$$HV = \frac{1.8544F}{d^2}$$

HV HV HV — твердость по Виккерсу (кгс /мм²), F F F — приложенная нагрузка (кгс), d d d — средняя длина двух диагоналей отпечатка (мм). Результат обычно преобразуется в HV10 или HV30, в зависимости от нагрузки.

5. Измерительное оборудование

5.1 Твердомер по Виккерсу

Диапазон нагрузок: 10-50 кгс (98,07-490,3 Н), точность ±1%.

Индентор: Алмазная четырехугольная пирамида, угол при вершине 136°±0,5°.

Микроскоп: увеличение 200×-500×, разрешение <0,001 мм.

Время загрузки: 10-15 с, точность ±1 с.

5.2 Оборудование для подготовки проб

Режущий станок: низкоскоростная прецизионная резка, ширина реза <0,5 мм, оснащен системой охлаждения.

Шлифовально-полировальный станок: скорость 300-600 об/мин, оснащен алмазной наждачной бумагой зернистостью 600#, 1200#, 2500# и полировальной тканью.

5.3 Контроль окружающей среды

Температура: от 10°C до 35°C, рекомендуемая 23±2°C.

Влажность: 30%-70%, рекомендуется 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

6. Подготовка образца

6.1 Требования к образцам

Форма образца: прямоугольная или цилиндрическая, рекомендуемый размер 10×10×5 мм или 10 мм в диаметре и 5 мм в высоту.

Поверхность образца должна быть ровной, без трещин, царапин и окисных слоев, а шероховатость поверхности Ra < 0,02 мкм .

Образцы должны быть подготовлены в соответствии с ISO 3847:2005.

6.2 Количество образцов

Количество образцов в каждой партии должно быть не менее 5 для обеспечения статистической репрезентативности.

Если стандартное отклонение результатов составляет >20 HV, количество образцов необходимо увеличить до 10.

6.3 Резка и полировка образцов

Образцы разрезались с помощью низкоскоростного прецизионного отрезного станка со

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

скоростью резки <0,1 мм/с и использованием этанола или воды в качестве охлаждающей жидкости.

Грубая шлифовка: используйте алмазную наждачную бумагу зернистостью 600# или 1200#, чтобы постепенно удалить следы резки.

Тонкая шлифовка: используйте наждачную бумагу зернистостью 2500, шероховатость поверхности $Ra < 0,1$ мкм .

зернистостью 0,25 мкм , шероховатость поверхности $Ra < 0,02$ мкм .

6.4 Очистка образцов

Очистите поверхность образца безводным этанолом или ацетоном и проведите ультразвуковую очистку в течение 5 мин (частота 40 кГц).

После сушки хранить в эксикаторе, чтобы избежать окисления и загрязнения.

7 этапов измерения

7.1 Калибровка оборудования

Калибровка твердомера по Виккерсу с нагрузкой, отклонение $< \pm 1\%$.

Увеличение микроскопа и точность измерения диагонали были откалиброваны с отклонением $< \pm 0,5\%$.

7.2 Условия испытаний

Температура окружающей среды: от 10°C до 35°C, рекомендуемая — $23 \pm 2^\circ\text{C}$.

Относительная влажность: 30%-70%, рекомендуется $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

7.3 Тестовая эксплуатация

Поместите образец на рабочий стол твердомера по Виккерсу и отрегулируйте уровень поверхности.

Выберите нагрузку: 10 кгс (HV10) или 30 кгс (HV30) в зависимости от толщины и марки образца.

Приложите нагрузку на 10–15 с и измерьте длину двух диагоналей углубления после снятия нагрузки. г .

Измерьте не менее 3 различных точек на поверхности образца с интервалом $\geq 2,5$ мм.

Повторите эксперимент 5–10 раз и запишите каждый набор данных.

7.4 Расчет результата

Рассчитайте твердость по Виккерсу каждого образца:

$$HV = \frac{1.8544F}{d^2}$$

Где F — нагрузка (кгс), а d — средняя диагональная длина отпечатка (мм).

Рассчитайте среднее значение:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$$\bar{HV} = \frac{\sum HV_i}{n}$$

Где HV_i — единичное значение измерения, а n — количество измерений.

Рассчитайте стандартное отклонение:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (HV_i - \bar{HV})^2}{n - 1}}$$

Квалификация: Среднее отклонение твердости $< \pm 5\%$, стандартное отклонение < 20 HV.

8 Оценка результатов измерений

8.1 Диапазон твердости

Диапазон твердости по Виккерсу твердого сплава зависит от марки:

YG6 (6% Co): 1400-1600 HV30.

YG8 (8% Co): 1300-1500 HV30.

YT15 (5% Co + TiC) : 1500-1700 HV10.

8.2 Оценка отклонения

из 5-10 точек измерения составляет $< \pm 5\%$, а стандартное отклонение составляет < 20 HV, в противном случае требуется повторное тестирование.

Если твердость ниже технических требований, необходимо проанализировать причины (например, дефекты поверхности, недостаточная нагрузка).

8.3 Анализ влияющих факторов

Подготовка образца: Шероховатость поверхности $> 0,02$ мкм или трещины $> 0,05$ мм могут снизить твердость на 5–10 %.

Выбор нагрузки: слишком низкая (< 10 кгс) или слишком высокая (> 50 кгс) нагрузка может привести к погрешности измерения в 3–5%.

Условия окружающей среды: влажность $> 70\%$ или колебания температуры $> 5^\circ\text{C}$ могут повлиять на четкость отпечатков.

Состав материала: Колебание содержания Co $> \pm 0,5\%$ или размер зерна WC > 2 мкм могут повлиять на однородность твердости.

9 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

Информация об образце: марка, номер партии, размер ($10 \times 10 \times 5$ мм или диаметр 10 мм, высота 5 мм).

Условия испытаний: модель твердомера Виккерса, нагрузка (10 кгс или 30 кгс), время нагружения (10-15 с), температура окружающей среды (от 10°C до 35°C), влажность (30%-70%).

Результаты испытаний: значение твердости в каждой точке, среднее значение, стандартное отклонение и девиация.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Заключение по оценке: соответствует ли техническим требованиям.

Дата испытания и подпись оператора.

Приложение А (Информационное приложение) Справочные значения твердости по Виккерсу типичных твердых сплавов

Бренд	Содержание (мас. %)	Со	Нагрузка (кгс)	Твёрдость (HV)	Типичные применения
YG6	6		30	1400-1600	Горнодобывающие буровые коронки
YG8	8		30	1300-1500	Режущие инструменты
YT15	5		10	1500-1700	Инструменты для отделки

Приложение В (информационное приложение) Требования к тестовой среде

Температура: от 10°C до 35°C, рекомендуемая 23±2°C.

Влажность: 30%-70%, рекомендуется 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

Горизонтальность испытательного стенда: отклонение <0,02 мм/м.

Подвести итог

ISO 3326:2013 «Метод испытания твердости по Виккерсу твердого сплава» представляет собой международную стандартизированную процедуру определения твердости по Виккерсу твердого сплава, обеспечивающую точность и сопоставимость результатов с помощью твердомера по Виккерсу. Внедрение этого стандарта помогает оценить эксплуатационные характеристики твердого сплава и обеспечивает техническую поддержку для таких областей применения, как режущие инструменты и износостойкие детали.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

приложение:

ИСО 4489-2:2020

Твердый сплав

Метод определения прочности на изгиб

Часть 2: Условия высоких температур

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает метод определения прочности на изгиб твердого сплава в условиях высоких температур (выше 35 °C) с использованием испытания на трехточечный или четырехточечный изгиб и применим к твердому сплаву с карбидом вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальтом (Co) в качестве связующей фазы, включая твердый сплав с другими карбидами (такими как TaC, TiC, NbC, VC). Являясь частью серии стандартов ISO 4489, этот стандарт дополняет метод испытаний при комнатной температуре стандарта ISO 4489:2010 и применяется для оценки производительности в условиях высоких температур, например, в аэрокосмической промышленности и при использовании режущих инструментов при высоких температурах.

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для ссылочных документов с датой применимой версией является версия на эту дату; для ссылочных документов без даты к настоящему стандарту применяется последняя версия (включая все поправки).

ISO 4489:2010 Метод определения прочности на изгиб твердого сплава

ISO 3847:2005 Методы подготовки образцов из твердого сплава

Терминология по твердому сплаву ISO 3850:2018

3 Термины и определения

В настоящем стандарте принят стандарт ISO 3850:2018 и следующие термины и определения:

Прочность на изгиб: максимальное напряжение, которое выдерживает образец при испытании на изгиб при высокой температуре, измеряемое в МПа, отражает способность материала противостоять разрушению при высоких температурах.

Испытание на трехточечный изгиб: одна точка нагрузки прикладывается между двумя опорными точками для измерения максимального напряжения, при котором образец разрушается.

Испытание на четырехточечный изгиб: две точки нагрузки прикладываются между двумя опорными точками для измерения максимального напряжения при разрыве образца.

Условия высоких температур: температура испытания превышает 35°C, обычно в диапазоне от 200°C до 1200°C.

Твердый сплав: композитный материал, изготовленный из карбида вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальта (Co) в качестве связующей фазы с помощью процесса порошковой металлургии.

4. Принцип определения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Определение прочности на изгиб основано на испытании на изгиб при высокой температуре, где нагрузки применяются путем трехточечной или четырехточечной нагрузки для измерения максимального напряжения при разрыве образца при высокой температуре. Расчет напряжения основан на геометрии образца и условиях нагрузки с использованием следующей формулы:

Трехточечный изгиб:

$$\sigma = \frac{3FL}{2bh^2}$$

Где σ — предел прочности на изгиб (МПа), F — разрушающая нагрузка (Н), L — расстояние между опорами (мм), b — ширина образца (мм), h — толщина образца (мм).

Четырехточечный изгиб:

$$\sigma = \frac{3F(L_1 - L_2)}{bh^2}$$

Где L_1 — пролет внешней опоры (мм), а L_2 — пролет внутренней нагрузки (мм).

В условиях высоких температур свойства материала (такие как предел текучести и прочность на разрыв) изменяются с температурой, и для контроля среды и коррекции эффектов теплового расширения требуется высокотемпературная печь.

5. Измерительное оборудование

5.1 Испытательная машина

Грузоподъемность: 0-50 кН, точность $\pm 1\%$.

Скорость загрузки: 0,5-5 мм/мин, регулируемая.

Оснащен датчиком силы и датчиком перемещения с разрешением $<0,01$ Н и $<0,01$ мм.

5.2 Высокотемпературная печь

Диапазон температур: от 200°C до 1200°C, точность $\pm 5^\circ\text{C}$.

Скорость нагрева: 5-10°C/мин, время стабилизации ≥ 30 мин.

Защитная атмосфера: инертный газ (например, аргон) или вакуумная среда для предотвращения окисления.

5.3 Крепление

Приспособление для трехточечного изгиба: радиус опорной точки 1-2 мм, радиус точки нагрузки 1 мм.

Четырехточечное изгибающее приспособление: наружный опорный пролет 20–40 мм, внутренний нагрузочный пролет 10–20 мм, радиус опорной точки 1–2 мм.

Материал крепления: жаропрочный сплав (типа инконель), рабочая температура $\geq 1200^\circ\text{C}$.

5.4 Оборудование для подготовки проб

Режущий станок: низкоскоростная прецизионная резка, ширина реза $<0,5$ мм, оснащен системой охлаждения.

Шлифовально-полировальный станок: скорость 300-600 об/мин, оснащен алмазной

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

наждачной бумагой зернистостью 600#, 1200#, 2500# и полировальной тканью.

5.5 Контроль окружающей среды

Температура: от 200°C до 1200°C (температура испытания), внешняя среда от 10°C до 35°C, рекомендуемая 23±2°C.

Влажность: 30%-70%, рекомендуется 50±10%.

Отсутствие вибрации, отсутствие коррозионной газовой среды (за исключением защитной атмосферы).

6. Подготовка образца

6.1 Требования к образцам

Форма образца: прямоугольный параллелепипед, рекомендуемый размер: 20×6,5×5,25 мм (длина×ширина×высота), допуск ±0,1 мм.

Поверхность образца должна быть ровной, без трещин, царапин и оксидных слоев.

Образцы должны быть подготовлены в соответствии с ISO 3847:2005.

6.2 Количество образцов

Количество образцов в каждой партии должно быть не менее 10 для обеспечения статистической репрезентативности.

Если стандартное отклонение результатов составляет >50 МПа, количество образцов необходимо увеличить до 15.

6.3 Резка и полировка образцов

Образцы разрезались с помощью низкоскоростного прецизионного отрезного станка со скоростью резки <0,1 мм/с и использованием этанола или воды в качестве охлаждающей жидкости.

Грубая шлифовка: используйте алмазную наждачную бумагу зернистостью 600# или 1200#, чтобы постепенно удалить следы резки.

Тонкая шлифовка: используйте наждачную бумагу зернистостью 2500, шероховатость поверхности Ra < 0,1 мкм.

зернистостью 0,25 мкм, шероховатость поверхности Ra < 0,02 мкм.

6.4 Очистка образцов

Очистите поверхность образца безводным этанолом или ацетоном и проведите ультразвуковую очистку в течение 5 мин (частота 40 кГц).

После сушки хранить в эксикаторе, чтобы избежать окисления и загрязнения.

7 этапов измерения

7.1 Калибровка оборудования

Откалибруйте точность нагрузки испытательной машины, отклонение <±1%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Откалибруйте температуру печи с точностью $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

Откалибруйте приспособление до погрешности центрирования $< 0,05$ мм.

7.2 Условия испытаний

Температура испытания: от 200°C до 1200°C , конкретная температура устанавливается в зависимости от материала и области применения.

Время нагрева: После нагрева до заданной температуры стабилизируйте ее в течение 30 минут.

Защитная атмосфера: Расход аргона 0,5-1 л/мин или степень вакуума $< 10^{-2}$ Па.

7.3 Тестовая эксплуатация

Образец помещают в приспособление для трехточечного или четырехточечного изгиба в высокотемпературной печи, при этом точки опоры совмещаются с точками нагрузки.

Температура была повышена до целевой и стабилизирована в течение 30 минут до начала испытания.

Отрегулируйте скорость загрузки до $1 \pm 0,5$ мм/мин.

Прикладывайте нагрузку до тех пор, пока образец не сломается, и запишите максимальную нагрузку F_{FF} и смещение трещины.

Повторите эксперимент 10–15 раз и запишите каждый набор данных.

7.4 Расчет результата

Рассчитайте предел прочности на изгиб σ каждого образца по формуле в разделе 4.

Рассчитайте среднее значение:

$$\bar{\sigma} = \frac{\sum \sigma_i}{n}$$

Где σ_i — предел прочности на изгиб отдельного образца, n — количество образцов.

Рассчитайте стандартное отклонение:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (\sigma_i - \bar{\sigma})^2}{n - 1}}$$

Квалификационная оценка: среднее отклонение прочности на изгиб $< \pm 5\%$, стандартное отклонение < 50 МПа.

8 Оценка результатов измерений

8.1 Диапазон прочности на изгиб

Диапазон прочности на изгиб при высоких температурах твердого сплава зависит от марки и температуры:

YG6 (6% Co): 1500-2000 МПа (600°C).

YG8 (8% Co): 1300-1800 МПа (800°C).

YT15 (5% Co + TiC) : 1000-1400 МПа (1000°C).

8.2 Оценка отклонения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

из 10–15 образцов составляет $<\pm 5\%$, а стандартное отклонение — <50 МПа, в противном случае требуется повторное испытание.

Если прочность на изгиб ниже технических требований, необходимо проанализировать причины (например, окисление и дефекты образца).

8.3 Анализ влияющих факторов

Температура: Температура $> 1000^{\circ}\text{C}$ может привести к размягчению фазы Со и снижению прочности на изгиб на 20–30%.

Окисление: Недостаточная защитная атмосфера может привести к окислению поверхности и снижению прочности на 10–15 %.

Подготовка образцов: Шероховатость поверхности $> 0,02$ мкм или трещины $> 0,05$ мм могут снизить прочность на 5–10%.

Условия нагрузки: Скорость нагрузки > 5 мм/мин или смещение крепления $> 0,1$ мм могут привести к отклонению результатов на 5%.

9 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

Информация о образце: марка, номер партии, размер (20×6,5×5,25 мм).

Условия испытаний: модель испытательной машины, модель высокотемпературной печи, тип приспособления (трехточечное или четырехточечное), скорость нагрузки ($1\pm 0,5$ мм/мин), температура испытания (от 200°C до 1200°C), защитная атмосфера, температура окружающей среды (от 10°C до 35°C), влажность (30%-70%).

Результаты испытаний: прочность на изгиб, среднее значение, стандартное отклонение и отклонение каждого образца.

Заключение по оценке: соответствует ли техническим требованиям.

Дата испытания и подпись оператора.

Приложение А (Информационное приложение) Справочные значения прочности на изгиб при высокой температуре типичных твердых сплавов

Бренд	Содержание (мас. %)	Со Температура ($^{\circ}\text{C}$)	на изгиб (МПа)	Типичные применения
YG6	6	600	1500-2000	Высокотемпературное сверло
YG8	8	800	1300-1800	Высокотемпературные режущие инструменты
YT15	5	1000	1000-1400	Инструменты для высокотемпературной отделки

Приложение В (информационное приложение) Требования к тестовой среде

Температура испытания: от 200°C до 1200°C , точность $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

Температура окружающей среды вне печи: от 10°C до 35°C , рекомендуемая — $23\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Влажность: 30%-70%, рекомендуется $50\pm 10\%$.

Отсутствие вибрации, отсутствие коррозионной газовой среды (за исключением защитной

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

атмосферы).

Горизонтальность испытательного стенда: отклонение <0,02 мм/м.

Подвести итог

ISO 4489-2:2020 «Определение прочности на изгиб твердого сплава. Часть 2. Условия высоких температур» представляет собой международную стандартизированную процедуру определения прочности на изгиб твердого сплава в условиях высоких температур с помощью испытаний на изгиб в трех или четырех точках для обеспечения точности и сопоставимости результатов. Внедрение этого стандарта помогает оценить производительность в условиях высоких температур и обеспечивает техническую поддержку для аэрокосмической отрасли, высокотемпературных режущих инструментов и других областей применения.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

приложение:

ИСО 4489:2010

Твердый сплав

Метод определения прочности на изгиб

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает метод определения прочности на изгиб твердого сплава с использованием испытания на трехточечный или четырехточечный изгиб и применим к твердому сплаву с карбидом вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальтом (Co) в качестве связующей фазы, включая твердый сплав с другими карбидами (такими как TaC, TiC, NbC, VC). Этот стандарт применим к оценке механических свойств твердого сплава и широко используется в режущих инструментах, износостойких деталях и других областях применения.

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для ссылочных документов с датой применимой версией является версия на эту дату; для ссылочных документов без даты к настоящему стандарту применяется последняя версия (включая все поправки).

ISO 3847:2005 Методы подготовки образцов из твердого сплава

Терминология по твердому сплаву ISO 3850:2018

3 Термины и определения

В настоящем стандарте принят стандарт ISO 3850:2018 и следующие термины и определения:
Прочность на изгиб: максимальное напряжение, которое выдерживает образец при испытании на изгиб, измеряемое в МПа, отражает способность материала противостоять разрушению.

Испытание на трехточечный изгиб: одна точка нагрузки прикладывается между двумя опорными точками для измерения максимального напряжения, при котором образец разрушается.

Испытание на четырехточечный изгиб: две точки нагрузки прикладываются между двумя опорными точками для измерения максимального напряжения при разрыве образца.

Твердый сплав: композитный материал, изготовленный из карбида вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальта (Co) в качестве связующей фазы с помощью процесса порошковой металлургии.

4. Принцип определения

Определение предела прочности на изгиб основано на испытании на изгиб, путем приложения сосредоточенной нагрузки (трехточечный метод) или равномерно распределенной нагрузки (четырёхточечный метод) к образцу и измерения максимального напряжения в момент разрушения образца. Расчет напряжения основан на геометрии образца и условиях нагрузки с использованием следующей формулы:

Трехточечный изгиб:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$$\sigma = \frac{3FL}{2bh^2}$$

Где σ — предел прочности на изгиб (МПа), F — разрушающая нагрузка (Н), L — расстояние между опорами (мм), b — ширина образца (мм), h — толщина образца (мм).

Четырехточечный изгиб:

$$\sigma = \frac{3F(L_1 - L_2)}{bh^2}$$

Где L_1 — пролет внешней опоры (мм), а L_2 — пролет внутренней нагрузки (мм).

5. Измерительное оборудование

5.1 Испытательная машина

Грузоподъемность: 0-50 кН, точность $\pm 1\%$.

Скорость загрузки: 0,5-5 мм/мин, регулируемая.

Оснащен датчиком силы и датчиком перемещения с разрешением $<0,01$ Н и $<0,01$ мм.

5.2 Крепление

Приспособление для трехточечного изгиба: радиус опорной точки 1-2 мм, радиус точки нагрузки 1 мм.

Четырехточечное изгибающее приспособление: наружный опорный пролет 20-40 мм, внутренний нагрузочный пролет 10-20 мм, радиус опорной точки 1-2 мм.

Материал зажима: закаленная сталь, твердость $>HRC 60$.

5.3 Оборудование для подготовки проб

Режущий станок: низкоскоростная прецизионная резка, ширина реза $<0,5$ мм, оснащен системой охлаждения.

Шлифовально-полировальный станок: скорость 300-600 об/мин, оснащен алмазной наждачной бумагой зернистостью 600#, 1200#, 2500# и полировальной тканью.

5.4 Контроль окружающей среды

Температура: от 10°C до 35°C , рекомендуемая $23 \pm 2^\circ\text{C}$.

Влажность: 30%-70%, рекомендуется $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

6. Подготовка образца

6.1 Требования к образцам

Форма образца: прямоугольный параллелепипед, рекомендуемый размер: $20 \times 6,5 \times 5,25$ мм (длина $\times$ ширина $\times$ высота), допуск $\pm 0,1$ мм.

Поверхность образца должна быть ровной, без трещин, царапин и оксидных слоев.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Образцы должны быть подготовлены в соответствии с ISO 3847:2005.

6.2 Количество образцов

Количество образцов в каждой партии должно быть не менее 10 для обеспечения статистической репрезентативности.

Если стандартное отклонение результатов составляет >50 МПа, количество образцов необходимо увеличить до 15.

6.3 Резка и полировка образцов

Образцы разрезались с помощью низкоскоростного прецизионного отрезного станка со скоростью резки $<0,1$ мм/с и использованием этанола или воды в качестве охлаждающей жидкости.

Грубая шлифовка: используйте алмазную наждачную бумагу зернистостью 600# или 1200#, чтобы постепенно удалить следы резки.

Тонкая шлифовка: используйте наждачную бумагу зернистостью 2500, шероховатость поверхности $Ra < 0,1$ мкм.

зернистостью 0,25 мкм, шероховатость поверхности $Ra < 0,02$ мкм.

6.4 Очистка образцов

Очистите поверхность образца безводным этанолом или ацетоном и проведите ультразвуковую очистку в течение 5 мин (частота 40 кГц).

После сушки хранить в эксикаторе, чтобы избежать окисления и загрязнения.

7 этапов измерения

7.1 Калибровка оборудования

Откалибруйте точность нагрузки испытательной машины, отклонение $\leq \pm 1\%$.

Откалибруйте приспособление до погрешности центрирования $<0,05$ мм.

7.2 Условия испытаний

Температура окружающей среды: от 10°C до 35°C , рекомендуемая — $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Относительная влажность: 30%-70%, рекомендуется $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

7.3 Тестовая эксплуатация

Поместите образец в приспособление для трехточечного или четырехточечного изгиба, совместив точки опоры с точками нагружения.

Отрегулируйте скорость загрузки до $1 \pm 0,5$ мм/мин.

Прикладывайте нагрузку до тех пор, пока образец не сломается, и запишите максимальную нагрузку F и смещение при разрушении.

Повторите эксперимент 10–15 раз и запишите каждый набор данных.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.4 Расчет результата

Рассчитайте предел прочности на изгиб σ каждого образца по формуле, приведенной в разделе 4.

Рассчитайте среднее значение:

$$\bar{\sigma} = \frac{\sum \sigma_i}{n}$$

Где σ_i — предел прочности на изгиб отдельного образца, n — количество образцов.

Рассчитайте стандартное отклонение:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (\sigma_i - \bar{\sigma})^2}{n - 1}}$$

Квалификационная оценка: среднее отклонение прочности на изгиб $\leq \pm 5\%$, стандартное отклонение < 50 МПа.

8 Оценка результатов измерений

8.1 Диапазон прочности на изгиб

Диапазон прочности на изгиб твердого сплава зависит от марки:

YG6 (6% Co): 2000-2500 МПа.

YG8 (8% Co): 1800-2200 МПа.

YT15 (5% Co + TiC) : 1300-1600 МПа.

8.2 Оценка отклонения

из 10–15 образцов составляет $\leq \pm 5\%$, а стандартное отклонение — < 50 МПа, в противном случае требуется повторное испытание.

Если прочность на изгиб ниже технических требований, необходимо проанализировать причины (например, дефекты образца и неравномерная нагрузка).

8.3 Анализ влияющих факторов

Подготовка образцов: Шероховатость поверхности $> 0,02$ мкм или трещины $> 0,05$ мм могут снизить прочность на изгиб на 10–15%.

Условия нагрузки: Скорость нагрузки > 5 мм/мин или смещение приспособления $> 0,1$ мм могут привести к отклонению результатов на 5–10 %.

Состав материала: Колебание содержания Co $> \pm 0,5\%$ или размер зерна WC > 2 мкм может повлиять на однородность прочности.

9 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

Информация о образце: марка, номер партии, размер (20×6,5×5,25 мм).

Условия испытаний: модель испытательной машины, тип приспособления (трехточечное или четырехточечное), скорость нагружения ($1 \pm 0,5$ мм/мин), температура окружающей среды (от 10°C до 35°C), влажность (30%-70%).

Результаты испытаний: прочность на изгиб, среднее значение, стандартное отклонение и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

отклонение каждого образца.

Заключение по оценке: соответствует ли техническим требованиям.

Дата испытания и подпись оператора.

Приложение А (Информационное приложение) Справочные значения прочности на изгиб типичных твердых сплавов

Бренд	Содержание Со (мас. %)	на изгиб (МПа)	Типичные применения
YG6	6	2000-2500	Горнодобывающие буровые коронки
YG8	8	1800-2200	Режущие инструменты
YT15	5	1300-1600	Инструменты для отделки

Приложение В (информационное приложение) Требования к тестовой среде

Температура: от 10°C до 35°C, рекомендуемая 23±2°C.

Влажность: 30%-70%, рекомендуется 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

Горизонтальность испытательного стенда: отклонение <0,02 мм/м.

Подвести итог

ISO 4489:2010 «Определение прочности на изгиб твердого сплава» обеспечивает международную стандартизированную процедуру определения прочности на изгиб твердого сплава посредством испытания на изгиб в трех или четырех точках, чтобы гарантировать точность и сопоставимость результатов. Внедрение этого стандарта способствует оценке эксплуатационных характеристик твердого сплава и обеспечивает техническую поддержку для таких областей применения, как режущие инструменты и износостойкие детали.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

приложение:

ISO 4499-3:2016 Твердый сплав — Микроструктурный контроль

Часть 3: Оценка пористости, включений, свободного углерода и эта-фазы

1 Область применения

Этот стандарт определяет метод оценки дефектов, таких как поры, включения, свободный углерод и η -фаза в микроструктуре твердого сплава, и использует металлографическое микроскопическое наблюдение и стандартный атлас для классификации. Этот стандарт применим к твердому сплаву с карбидом вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальтом (Co) в качестве связующей фазы, включая твердый сплав с другими карбидами (такими как TaC, TiC, NbC, VC). Этот стандарт является частью серии стандартов ISO 4499 и должен использоваться совместно с ISO 4499-1:2006.

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для ссылочных документов с датой применимой версией является версия на эту дату; для ссылочных документов без даты к настоящему стандарту применяется последняя версия (включая все поправки).

ISO 4499-1:2006 Твердый сплав. Исследование микроструктуры. Часть 1. Общие указания.

ISO 3847:2005 Методы подготовки образцов из твердого сплава

3 Термины и определения

В настоящем стандарте принят стандарт ISO 3850:2018 (последняя версия) и следующие термины и определения:

Пористость: поры или пространства в микроструктуре, делящиеся на тип A (диаметр <10 мкм) и тип B (диаметр 10-25 мкм).

Включения: Неметаллические примеси (такие как оксиды и сульфиды), которые присутствуют в твердом сплаве в виде частиц.

Свободный углерод: углерод, не образующий соединений с металлами и существующий в форме графита.

η -фаза: хрупкая фаза, образующаяся из-за недостаточного содержания углерода, например, W_3Co_3C или Co_6W_6C .

Твердый сплав: композитный материал, изготовленный из карбида вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальта (Co) в качестве связующей фазы с помощью процесса порошковой металлургии.

4 принципа оценки

Оценка дефектов микроструктуры твердого сплава основана на наблюдении с помощью металлографического микроскопа в сочетании со стандартным атласом (Приложение A) для оценки типа, размера, количества и распределения пор, включений, свободного углерода и η -фазы. Метод оценки заключается в подготовке высококачественных образцов, наблюдении

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

их в светлом поле и поляризованном свете, регистрации характеристик дефекта и сравнении их со стандартным атласом для определения степени дефекта.

5. Оценочное оборудование

5.1 Металлографический микроскоп

Увеличение: 100×, 200×, 500×, 200× рекомендуется для рутинного наблюдения.

Оснащен функциями светлого поля, темного поля и поляризованного света для различения типов дефектов.

Разрешение: < 0,5 мкм .

5.2 Оборудование для подготовки проб

Режущий станок: низкоскоростная прецизионная резка, ширина реза <0,5 мм, оснащен системой охлаждения.

Монтажный станок: монтаж методом горячего прессования, температура <150°C, давление 20-30 МПа.

Шлифовально-полировальный станок: скорость 300-600 об/мин, оснащен алмазной наждачной бумагой зернистостью 600#, 1200#, 2500# и полировальной тканью.

Ультразвуковой очиститель: частота 40 кГц, используется для очистки образцов.

5.3 Инструменты измерения

Окулярный микрометр: цена деления 0,01 мм, точность ±0,001 мм.

для анализа изображений: поддерживает статистику площади и количества дефектов с точностью ±0,1 мкм .

5.4 Контроль окружающей среды

Температура: от 10°C до 35°C, рекомендуемая температура 20±2°C.

Влажность: 30%-70%, рекомендуется 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

6. Подготовка образца

6.1 Требования к образцам

Форма образца: прямоугольная или цилиндрическая, рекомендуемый размер: 10×10×5 мм.

Поверхность образца должна быть ровной, без трещин, царапин и оксидных слоев.

Образцы должны быть подготовлены в соответствии с ISO 3847:2005.

6.2 Количество образцов

Количество образцов в каждой партии должно быть не менее 3 для обеспечения статистической репрезентативности.

Если отклонение результата велико (>1 уровня), количество образцов необходимо увеличить до 5.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.3 Резка и монтаж образцов

Образцы разрезались с помощью низкоскоростного прецизионного отрезного станка со скоростью резки $<0,1$ мм/с и использованием этанола или воды в качестве охлаждающей жидкости.

Горячая прессовка, температура $<150^{\circ}\text{C}$, давление 20-30 МПа, время 5-10 мин.

6.4 Шлифовка и полировка образцов

Грубая шлифовка: используйте алмазную наждачную бумагу зернистостью 600# или 1200#, чтобы постепенно удалить следы резки.

Тонкая шлифовка: используйте наждачную бумагу зернистостью 2500, шероховатость поверхности $R_a < 0,1$ мкм .

Полировка: используйте полировальную пасту на основе оксида алюминия зернистостью 0,25 мкм , скорость вращения полировальной ткани 300 об/мин, шероховатость поверхности $R_a < 0,02$ мкм .

6.5 Очистка и травление образцов

Очистите поверхность образца безводным этанолом или ацетоном и проведите ультразвуковую очистку в течение 5 мин (частота 40 кГц).

После высыхания используйте реагент Муракуми ($10 \text{ г } K_3 [Fe(CN)_6] + 10 \text{ г } KOH + 100 \text{ мл } H_2O$) для осторожного травления в течение 5–10 секунд, чтобы усилить контрастность дефектов.

Снова вымойте, высушите и поместите в сушилку.

7 этапов оценки

7.1 Калибровка оборудования

Откалибруйте увеличение металлографического микроскопа с отклонением $< \pm 1\%$.

Откалибруйте систему освещения, чтобы обеспечить равномерный источник света без разницы в цвете.

7.2 Условия испытаний

Температура окружающей среды: от 10°C до 35°C , рекомендуемая — $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Относительная влажность: 30%-70%, рекомендуется $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

7.3 Микроскопическое наблюдение

Поместите образец на предметный столик металлографического микроскопа, отрегулируйте фокус и выберите увеличение $200\times$.

Осмотрите поверхность образца не менее чем в 5 полях зрения с площадью поля приблизительно $0,5 \text{ мм}^2$.

Для наблюдения за порами и включениями использовался светлый свет, а для наблюдения за

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

свободным углеродом и η -фазой — поляризованный свет.

7.4 Оценка дефектов

Оценка пористости:

типа А (<10 мкм)

A00 (без пор), A02 (<10 шт./мм²) , A04 (10-20 шт./мм²) , A06 (20-30 шт./мм²) , A08 (>30 шт./ мм²) .

Поры типа В (10-25 мкм)

B00 (без пор), B02 (<5 шт./мм²) , B04 (5-10 шт./мм²) , B06 (10-15 шт./мм²) , B08 (>15 шт./ мм²) .

Оценка включения

I00 (без включений), I02 (<5 шт./мм² , <10 мкм), I04 (5-10 шт./мм², 10-20 мкм) , I06 (> 10 шт. / мм² , > 20 мкм) .

Бесплатная оценка выбросов углерода

C00 (без свободного углерода), C02 (<0,5%), C04 (0,5%-1,0%), C06 (1,0%-1,5%), C08 (>1,5%).

оценка фазы η

эта00 (без эта-фазы), эта02 (<0,5%), эта04 (0,5%-1,0%), эта06 (1,0%-1,5%), эта08 (>1,5%).

7.5 Расчет результата

Запишите уровни дефектов в 5 полях зрения, рассчитайте среднее значение и определите окончательный уровень дефектов образца.

Оценка отклонения: отклонение 5 полей зрения составляет $\leq \pm 1$ уровень, в противном случае требуется повторное наблюдение.

8 Оценка результатов оценки

8.1 Диапазон степеней дефекта

Уровень дефектов твердого сплава зависит от марки и назначения:

YG6 (6% Co): A02-B02-I02-C02- η 02, подходит для горнодобывающих буровых коронок.

YG8 (8% Co): A04-B04-I02-C04- η 02, подходит для режущих инструментов.

YT15 (5% Co + TiC) : A02-B02-I04-C02- η 04, подходит для финишных инструментов.

8.2 Оценка отклонения

из 3-5 образцов имеет уровень $\leq \pm 1$, в противном случае требуется повторное тестирование.

Если уровень дефекта превышает технические требования, необходимо проанализировать причину (например, ненормальный процесс спекания).

8.3 Анализ влияющих факторов

Пористость: Недостаточный вакуум спекания (<10 Па) или чрезмерная скорость охлаждения (>50 °C/мин) приводит к увеличению пористости (>A04).

Включения: Низкая чистота сырья (примеси > 0,1%) или неравномерное смешивание приводят к увеличению количества включений (> I04).

Свободный углерод: Избыточное содержание углерода (>0,2%) или неравномерное распределение приводит к увеличению свободного углерода (>C04).

η -фаза: Недостаточное содержание углерода (<0,1%) или высокая температура спекания

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

($>1450^{\circ}\text{C}$) приводит к образованию η -фазы ($>\eta_{04}$).

9 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

Информация о образце: марка, номер партии, размер.

Условия испытаний: модель оборудования, увеличение (200×), метод наблюдения, температура окружающей среды (от 10°C до 35°C), влажность (30%-70%).

Результаты теста: степень дефекта (A, B, I, C, η), среднее значение и отклонение для каждого поля зрения.

Заключение по оценке: соответствует ли техническим требованиям.

Дата испытания и подпись оператора.

Приложение А (Нормативное приложение) Стандартный атлас дефектов

Поры типа А: А00-А08, спектр показывает распределение пор диаметром < 10 мкм.

Поры типа В: В00-В08, спектр показывает распределение пор диаметром 10-25 мкм .

Включения: I00-I06, на графике показаны размер и количество включений.

Свободный углерод: C00-C08, график показывает процент площади свободного углерода.

Фаза η: η00-η08, спектр показывает соотношение площадей фазы η.

Приложение В (Информационное приложение) Справочные значения типичных уровней дефектов твердого сплава

Бренд	Содержание Со (мас. %)	Уровень дефекта	Типичные применения
YG6	6	A02-B02-И02-C02-η02	Горнодобывающие буровые коронки
YG8	8	A04-B04-И02-C04-η02	Режущие инструменты
YT15	5	A02-B02-И04-C02-η04	Инструменты для отделки

Приложение С (информационное приложение) Требования к тестовой среде

Температура: от 10°C до 35°C, рекомендуемая температура 20±2°C.

Влажность: 30%-70%, рекомендуется $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

Горизонтальность испытательного стенда: отклонение $<0,02$ мм/м.

Подвести итог

ISO 4499-3:2016 "Твердый сплав - Исследование микроструктуры. Часть 3: Оценка пористости, включений, свободного углерода и η -фазы" обеспечивает международную стандартизированную процедуру оценки дефектов микроструктуры твердого сплава, гарантируя точность и сопоставимость результатов посредством наблюдения с помощью металлографического микроскопа и стандартной атласной классификации. Внедрение этого

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

стандарта помогает контролировать качество твердого сплава и обеспечивает техническую поддержку для высокопроизводительных областей применения, таких как режущие инструменты и горные сверла.

приложение:

ISO 4499-2:2008 Твердый сплав
— Микроструктурный контроль
Часть 2: Методы определения размера зерна

1 Область применения

Этот стандарт устанавливает метод определения размера зерна карбида вольфрама (WC) в микроструктурах твердого сплава с использованием металлографического микроскопа в сочетании с методом линейного сечения или методом планового сечения для определения. Этот стандарт применяется к твердым сплавам с карбидом вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальтом (Co) в качестве связующей фазы, включая твердые сплавы с другими карбидами (такими как TaC, TiC, NbC). Настоящий стандарт не распространяется на твердые сплавы на основе не кобальта или другие нетвердые карбидные материалы.

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для ссылочных документов с датой применимой версией является версия на эту дату; для ссылочных документов без даты к настоящему стандарту применяется последняя версия (включая все поправки).

ISO 4499-1:2006 Твердый сплав. Исследование микроструктуры. Часть 1. Общие указания.

ISO 3847:2005 Методы подготовки образцов из твердого сплава

ISO 3850:1983 Терминология твердосплавных материалов

3 Термины и определения

В настоящем стандарте принят стандарт ISO 3850:1983 и следующие термины и определения:
Размер зерна: средний диаметр зерен карбида вольфрама (WC) в твердом сплаве, обычно измеряемый в микронах (мкм).

Метод линейного поперечного сечения: Средний размер зерна рассчитывается путем измерения диаметра поперечного сечения зерен WC на прямой линии в поле зрения микроскопа.

Метод планового сечения: средний размер зерна рассчитывается путем измерения площади поперечного сечения нескольких зерен WC в поле зрения микроскопа.

Твердый сплав: композитный материал, изготовленный из карбида вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальта (Co) в качестве связующей фазы с помощью процесса порошковой металлургии.

4. Принцип определения

Определение размера зерна карбида WC основано на металлографическом микроскопическом наблюдении в сочетании с методом линейного сечения или методом планового сечения. Метод линейного сечения измеряет диаметр поперечного сечения зерен на прямой линии в поле зрения микроскопа и статистически вычисляет среднее значение; метод планового сечения измеряет площадь поперечного сечения зерен и оценивает средний

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

размер зерна в сочетании с геометрической моделью. Оба метода требуют подготовки высококачественных образцов, чтобы гарантировать, что поверхность ровная и свободная от загрязнений, в соответствии с общими рекомендациями, предусмотренными ISO 4499-1:2006.

5. Измерительное оборудование

5.1 Металлографический микроскоп

Для определения размера зерна рекомендуется увеличение: 200×, 500×, 1000×, 500×.

Оснащен функциями поляризованного света и дифференциально-интерференционного контраста (ДИК) для различения границ зерен WC.

Разрешение: < 0,2 мкм .

5.2 Оборудование для подготовки проб

Режущий станок: низкоскоростная прецизионная резка, ширина реза <0,5 мм, оснащен системой охлаждения.

Монтажный станок: монтаж методом горячего прессования, температура <150°C, давление 20-30 МПа.

Шлифовально-полировальный станок: скорость 300-600 об/мин, оснащен алмазной наждачной бумагой зернистостью 600#, 1200#, 2500# и полировальной тканью.

Ультразвуковой очиститель: частота 40 кГц, используется для очистки образцов.

5.3 Инструменты измерения

Микрометр окуляра микроскопа: цена деления 0,01 мм, точность $\pm 0,001$ мм.

для анализа изображений: поддерживает распознавание границ зерен и расчет площади с точностью $\pm 0,1$ мкм .

5.4 Контроль окружающей среды

Температура: от 10°C до 35°C, рекомендуемая температура $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

Влажность: 30%-70%, рекомендуется $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

6. Подготовка образца

6.1 Требования к образцам

Форма образца: прямоугольная или цилиндрическая, рекомендуемый размер: 10×10×5 мм.

Поверхность образца должна быть ровной, без трещин, царапин и оксидных слоев.

Образцы должны быть подготовлены в соответствии с ISO 3847:2005.

6.2 Количество образцов

Количество образцов в каждой партии должно быть не менее 3 для обеспечения статистической репрезентативности.

Если отклонение результата велико ($>0,5$ мкм) , количество образцов необходимо увеличить

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

до 5.

6.3 Резка и монтаж образцов

Образцы разрезались с помощью низкоскоростного прецизионного отрезного станка с шириной реза $<0,5$ мм и использованием этанола или воды в качестве охлаждающей жидкости.

Горячая прессовка, температура $<150^{\circ}\text{C}$, давление 20-30 МПа, время 5-10 мин.

6.4 Шлифовка и полировка образцов

Грубая шлифовка: используйте алмазную наждачную бумагу зернистостью 600# или 1200#, чтобы постепенно удалить следы резки.

Тонкая шлифовка: используйте наждачную бумагу зернистостью 2500, шероховатость поверхности $R_a < 0,1$ мкм .

Полировка: используйте полировальную пасту на основе оксида алюминия зернистостью 0,25 мкм , скорость вращения полировальной ткани 300 об/мин, шероховатость поверхности $R_a < 0,02$ мкм .

6.5 Очистка и травление образцов

Очистите поверхность образца безводным этанолом или ацетоном и проведите ультразвуковую очистку в течение 5 мин (частота 40 кГц).

После высыхания поверхность слегка протравливали с использованием реагента Муракуми ($10 \text{ г K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6] + 10 \text{ г KOH} + 100 \text{ мл H}_2\text{O}$) в течение 5–10 с для усиления контрастности границ зерен WC.

Вымойте и высушите, храните в эксикаторе.

7 этапов измерения

7.1 Калибровка оборудования

Откалибруйте увеличение металлографического микроскопа с отклонением $\leq \pm 1\%$. для анализа изображений с точностью $\pm 0,1$ мкм .

7.2 Условия испытаний

Температура окружающей среды: от 10°C до 35°C , рекомендуемая — $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Относительная влажность: 30%-70%, рекомендуется $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

7.3 Определение размера зерна

Метод линейного сечения:

Нарисуйте в поле зрения микроскопа 3–5 параллельных прямых линий общей длиной ≥ 500 мкм .

Измерялся диаметр поперечного сечения зерен WC на каждой прямой линии и подсчитывалось 100–200 зерен.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Рассчитаем средний размер зерна:

$$d = \frac{\sum d_i}{n}$$

Где d_i — диаметр одного зерна, n — количество зерен.

Метод планового поперечного сечения:

зрения микроскопа случайным образом выбирались пять областей и измерялись площади поперечного сечения 100–200 зерен.

Используйте программное обеспечение для анализа изображений, чтобы рассчитать среднюю площадь и преобразовать ее в эквивалентный диаметр:

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

Среди них A — площадь поперечного сечения зерна.

Средний размер зерна каждого образца был зафиксирован с отклонением $\leq \pm 0,2$ мкм .

7.4 Подсчет результатов

Возьмите средний размер зерна 3-5 образцов и рассчитайте стандартное отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (d_i - \bar{d})^2}{n - 1}}$$

среднее отклонение размера зерна $\leq \pm 0,5$ мкм , стандартное отклонение $< 0,3$ мкм .

8 Оценка результатов измерений

8.1 Диапазон размеров зерна

Диапазон размеров зерен твердого сплава WC зависит от марки:

YG6 (6% Co): 0,8-1,2 мкм , подходит для инструментов высокой прочности.

YG8 (8% Co): 1,0-1,5 мкм , подходит для резки.

YT15 (5% Co + TiC) : 0,6-1,0 мкм , подходит для финишных инструментов.

8.2 Оценка отклонения

из 3-5 образцов составляет $\leq \pm 0,5$ мкм , в противном случае требуется повторное тестирование.

Если размер зерна превышает технические требования, необходимо проанализировать причины (например, неравномерный размер частиц сырья, чрезмерная температура спекания).

8.3 Анализ влияющих факторов

Размер частиц сырья: размер частиц сырья WC > 2 мкм может привести к увеличению размера зерна ($> 1,5$ мкм) .

Температура спекания: Температура $> 1450^\circ\text{C}$ или время выдержки > 1 ч могут привести к росту зерна ($> 0,5$ мкм) .

Скорость охлаждения: Скорость охлаждения $< 20^\circ\text{C}/\text{мин}$ может привести к укрупнению зерна

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(> 0,3 мкм) .

Содержание Со: Колебание содержания Со > ±0,5% может повлиять на равномерность роста зерна.

9 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

Информация о образце: марка, номер партии, размер.

Условия испытаний: модель оборудования, увеличение (500×), метод измерения (линейный или плановый), температура окружающей среды (от 10°C до 35°C), влажность (30%-70%).

Результаты испытаний: размер зерна, среднее значение, стандартное отклонение и вариация для каждого образца.

Заключение по оценке: соответствует ли техническим требованиям.

Дата испытания и подпись оператора.

Приложение А (Информационное приложение) Справочные значения типичных размеров зерен твердого сплава

Бренд	Содержание Со (мас. %)	Размер зерна (мкм)	Типичные применения
YG6	6	0,8-1,2	Горнодобывающие буровые коронки
YG8	8	1,0-1,5	Режущие инструменты
YT15	5	0,6-1,0	Инструменты для отделки

Приложение В (информационное приложение) Требования к тестовой среде

Температура: от 10°C до 35°C, рекомендуемая температура 20±2°C.

Влажность: 30%-70%, рекомендуется 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

Горизонтальность испытательного стенда: отклонение <0,02 мм/м.

Подвести итог

ISO 4499-2:2008 "Твердый сплав - Исследование микроструктуры. Часть 2: Метод определения размера зерна" обеспечивает международную стандартизированную процедуру определения размера зерна твердого сплава WC и обеспечивает точность и сопоставимость результатов измерений с помощью метода линейного сечения или метода планового сечения. Внедрение этого стандарта помогает оптимизировать производительность материалов из твердого сплава и обеспечивает техническую поддержку для высокопроизводительных областей применения, таких как режущие инструменты и горные сверла.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

**ISO 4499-1:2006 Твердый сплав
— Микроструктурный контроль
Часть 1: Общие рекомендации**

1 Область применения

Этот стандарт содержит общие указания по проверке микроструктуры твердого сплава, включая основные принципы подготовки образцов, методы микроскопического наблюдения и оценки дефектов. Этот стандарт применим к твердому сплаву с карбидом вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальтом (Co) в качестве связующей фазы, включая твердый сплав с другими карбидами (такими как TaC, TiC, NbC). Этот стандарт является основой серии стандартов ISO 4499, а подробные методы измерений (такие как размер зерна, оценка дефектов) указаны в последующих частях (таких как ISO 4499-2).

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для ссылочных документов с датой применимой версией является версия на эту дату; для ссылочных документов без даты к настоящему стандарту применяется последняя версия (включая все поправки).

ISO 3847:2005 Методы подготовки образцов из твердого сплава

ISO 3850:1983 Терминология твердосплавных материалов

3 Термины и определения

В настоящем стандарте принят стандарт ISO 3850:1983 и следующие термины и определения:
Микроструктура: Микроструктура твердого сплава под увеличением, включая зерна WC, фазу связей Co и дефекты.

Дефекты: Аномальные особенности микроструктуры, такие как поры, включения, свободный углерод и эта-фаза.

Металлографический образец: образец цементированного карбида, подготовленный для микроскопического исследования путем резки, шлифовки, полировки и травления.

Твердый сплав: композитный материал, изготовленный из карбида вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальта (Co) в качестве связующей фазы с помощью процесса порошковой металлургии.

4 Принцип инспекции

Микроструктурный контроль твердого сплава основан на металлографическом микроскопическом наблюдении в сочетании с подготовкой образцов и соответствующей технологией травления для выявления распределения и морфологии зерен WC, фаз Co и дефектов. Процесс контроля включает подготовку образцов, микроскопическое наблюдение и регистрацию результатов в соответствии со стандартизированными процедурами для обеспечения воспроизводимости и сопоставимости результатов. Конкретные методы, такие как оценка дефектов и определение размера зерна, подробно описаны в последующих стандартах.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

5. Инспекционное оборудование

5.1 Металлографический микроскоп

Увеличение: 50×, 100×, 200×, 500×, 200× рекомендуется для рутинного наблюдения.

Оснащен функциями светлого поля, темного поля и поляризованного света для различения различных фаз и дефектов.

Разрешение: < 0,5 мкм .

5.2 Оборудование для подготовки проб

Режущий станок: низкоскоростная прецизионная резка, ширина реза <0,5 мм, оснащен системой охлаждения.

Монтажный станок: монтаж методом горячего прессования, температура <150°C, давление 20-30 МПа.

Шлифовально-полировальный станок: скорость 300-600 об/мин, оснащен алмазной наждачной бумагой зернистостью 600#, 1200#, 2500# и полировальной тканью.

Ультразвуковой очиститель: частота 40 кГц, используется для очистки образцов.

5.3 Инструменты измерения

Штангенциркуль: точность $\pm 0,02$ мм, используется для измерения размера образца.

Окулярный микрометр: цена деления 0,01 мм, точность $\pm 0,001$ мм.

5.4 Контроль окружающей среды

Температура: от 10°C до 35°C, рекомендуемая температура $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

Влажность: 30%-70%, рекомендуется $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

6. Подготовка образца

6.1 Требования к образцам

Форма образца: прямоугольная или цилиндрическая, рекомендуемый размер: $10 \times 10 \times 5$ мм.

Поверхность образца должна быть ровной, без трещин, царапин и оксидных слоев.

Образцы должны быть подготовлены в соответствии с ISO 3847:2005.

6.2 Количество образцов

Количество образцов в каждой партии должно быть не менее 3 для обеспечения статистической репрезентативности.

Если результаты имеют большие отклонения, количество образцов необходимо увеличить до 5.

6.3 Резка и монтаж образцов

Образцы разрезали с помощью низкоскоростного прецизионного резака с шириной реза <0,5

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

мм, используя в качестве охлаждающей жидкости этанол или воду.

Горячая прессовка, температура $<150^{\circ}\text{C}$, давление 20-30 МПа, время 5-10 мин.

6.4 Шлифовка и полировка образцов

Грубая шлифовка: используйте алмазную наждачную бумагу зернистостью 600# или 1200#, чтобы постепенно удалить следы резки.

Тонкая шлифовка: используйте наждачную бумагу зернистостью 2500, шероховатость поверхности $R_a < 0,1$ мкм.

Полировка: используйте полировальную пасту на основе оксида алюминия зернистостью 0,25 мкм, скорость вращения полировальной ткани 300 об/мин, шероховатость поверхности $R_a < 0,02$ мкм.

6.5 Очистка и травление образцов

Очистите поверхность образца безводным этанолом или ацетоном и проведите ультразвуковую очистку в течение 5 мин (частота 40 кГц).

После высыхания поверхность слегка протравливали с использованием реагента Муракуми (10 г $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ + 10 г КОН + 100 мл H_2O) в течение 5–10 с для усиления зерен WC и фазового контраста.

Снова вымойте, высушите и поместите в сушилку.

7 этапов проверки

7.1 Калибровка оборудования

Откалибруйте увеличение металлографического микроскопа с отклонением $\leq \pm 1\%$.

Откалибруйте систему освещения, чтобы обеспечить равномерный источник света без разницы в цвете.

7.2 Условия испытаний

Температура окружающей среды: от 10°C до 35°C , рекомендуемая — $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Относительная влажность: 30%-70%, рекомендуется $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

7.3 Микроскопическое наблюдение

Поместите образец на предметный столик металлографического микроскопа, отрегулируйте фокус и выберите увеличение $200\times$.

Осмотрите поверхность образца не менее чем в 5 полях зрения с площадью поля приблизительно $0,5 \text{ мм}^2$.

Для наблюдения за зернами WC и фазой Co использовался светлый свет, а для наблюдения за дефектами (такими как свободный углерод) — поляризованный свет.

7.4 Регистрация результатов

Были зарегистрированы микроструктурные характеристики каждого поля зрения, включая

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

размер зерна WC, распределение фазы Co и типы дефектов.
Делайте микрофотографии (разрешение ≥ 5 МП) для последующего анализа и составления отчетов.

8 Оценка результатов теста

8.1 Диапазон микроструктурных характеристик

Размер зерна WC: 0,5-2,0 мкм (в зависимости от марки).

Содержание софазы: 5%-15% (по массе).

Дефекты: Уровни пор, включений, свободного углерода и η -фазы должны соответствовать техническим требованиям (см. ISO 4499-2).

8.2 Оценка отклонения

Отклонение постоянства микроструктурных характеристик 5 полей зрения составило $\leq \pm 10\%$, в противном случае требовалось повторное наблюдение.

Если микроструктура превышает технические требования, необходимо проанализировать причины (например, ненормальные параметры процесса спекания).

8.3 Анализ влияющих факторов

Недостаточная полировка ($R_a > 0,1$ мкм) или чрезмерное травление могут скрыть дефекты.

Условия наблюдения: Неравномерный источник света или неправильное увеличение могут привести к размытию границ зерен.

Состав материала: колебания содержания Co $> \pm 0,5\%$ или неконтролируемое содержание углерода могут повлиять на микроструктуру.

9 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

Информация о образце: марка, номер партии, размер.

Условия испытаний: модель оборудования, увеличение (200 $\times$), метод наблюдения, температура окружающей среды (от 10 $^{\circ}$ C до 35 $^{\circ}$ C), влажность (30%-70%).

Результаты испытаний: микроструктурная характеристика, фоторегистрация и предварительные наблюдения за дефектами.

Заключение по оценке: соответствует ли предварительным техническим требованиям.

Дата испытания и подпись оператора.

Приложение А (Информационное приложение) Справочные значения характеристик микроструктуры типичных твердых сплавов

Бренд	Содержание (мас. %)	Co	Размер зерна (мкм)	WC	Типичные применения
YG6	6		0,8-1,2		Горнодобывающие буровые коронки

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Бренд	Содержание (мас. %)	Со	Размер зерна (мкм)	WC	Типичные применения
YG8	8		1,0-1,5		Режущие инструменты
YT15	5		0,6-1,0		Инструменты для отделки

Приложение В (информационное приложение) Требования к тестовой среде

Температура: от 10°C до 35°C, рекомендуемая температура 20±2°C.

Влажность: 30%-70%, рекомендуется 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

Горизонтальность испытательного стенда: отклонение <0,02 мм/м.

Подвести итог

ISO 4499-1:2006 "Cemented Carbide - Microstructure Inspection Part 1: General Guidelines" обеспечивает международную основу для проверки микроструктуры твердого сплава, гарантируя воспроизводимость и сопоставимость результатов проверки посредством стандартизированных методов подготовки образцов и наблюдения. Внедрение этого стандарта закладывает основу для последующих специальных измерений (таких как размер зерна, оценка дефектов) и поддерживает оптимизацию производительности твердого сплава и контроль качества.

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

приложение:

ISO 3847:2005 Твердый сплав Метод подготовки образца

1 Область применения

Этот стандарт определяет метод подготовки образцов твердого сплава, включая резку, инкрустацию, шлифовку, полировку и очистку, и подходит для последующего тестирования производительности (например, прочности на изгиб, твердости) или проверки микроструктуры. Этот стандарт применим к твердым сплавам с карбидом вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальтом (Co) в качестве связующей фазы, включая твердые сплавы с другими карбидами (например, TaC, TiC, NbC). Настоящий стандарт не распространяется на твердые сплавы на основе не кобальта или другие нетвердые карбидные материалы.

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для ссылочных документов с датой применимой версией является версия на эту дату; для ссылочных документов без даты к настоящему стандарту применяется последняя версия (включая все поправки).

ISO 3850:1983 Терминология твердосплавных материалов

3 Термины и определения

В настоящем стандарте принят стандарт ISO 3850:1983 и следующие термины и определения:
Образец для испытаний: Образец твердого сплава, подготовленный путем резки и механической обработки для испытания эксплуатационных характеристик или микроскопического наблюдения.

Монтаж: Поместите образец в смолу или металлический материал для облегчения последующей шлифовки, полировки и наблюдения.

Шлифовка и полировка: Устраните дефекты поверхности образца путем шлифовки и полировки до получения гладкой поверхности.

Твердый сплав: композитный материал, изготовленный из карбида вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальта (Co) в качестве связующей фазы с помощью процесса порошковой металлургии.

4. Принцип приготовления

Подготовка образцов из твердого сплава направлена на получение плоской, неповрежденной поверхности, пригодной для последующего испытания или микроскопического наблюдения. Процесс подготовки включает резку образца для получения соответствующего размера, монтаж для защиты краев, шлифовку и полировку для удаления дефектов поверхности и очистку для удаления остатков. Метод подготовки должен гарантировать, что образец не претерпит микроструктурных изменений из-за термического или механического напряжения.

5. Оборудование для подготовки

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

5.1 Режущее оборудование

Низкоскоростной прецизионный отрезной станок: ширина реза < 0,5 мм, оснащенный системой охлаждения (например, водой или этанолом).

Режущий круг: размер частиц 120-240#, толщина 0,5-1,0 мм.

5.2 Монтажное оборудование

Машина для горячего прессования: температура <150°C, давление 20-30 МПа, время 5-10 мин.

Материалы для инкрустации из смолы или металла: термопластичные смолы (например, фенольные смолы) или металлы с низкой температурой плавления (например, сплавы олова и свинца).

5.3 Шлифовальное и полировальное оборудование

Шлифовально-полировальный станок: скорость 300-600 об/мин, оснащен алмазной наждачной бумагой зернистостью 600#, 1200#, 2500# и полировальной тканью.

Полировальная жидкость: суспензия оксида алюминия 0,25 мкм или алмазная полировальная паста 1 мкм.

5.4 Оборудование для очистки

Ультразвуковая очистка: частота 40 кГц, мощность 100-200 Вт.

Чистящее средство: безводный этанол или ацетон.

5.5 Контроль окружающей среды

Температура: от 10°C до 35°C, рекомендуемая температура 20±2°C.

Влажность: 30%-70%, рекомендуется 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

6. Подготовка образца

6.1 Требования к образцам

Форма образца: прямоугольная или цилиндрическая, рекомендуемый размер 10×10×5 мм или 10 мм в диаметре и 5 мм в высоту.

На поверхности образца не должно быть явных трещин, ожогов или окисных слоев.

Образцы для испытаний должны отражать однородность партии материала.

6.2 Количество образцов

Количество образцов в каждой партии должно быть не менее 3 для обеспечения статистической репрезентативности.

Если последующие испытания потребуют более высокой точности, число необходимо увеличить до 5.

6.3 Резка образцов

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Образцы разрезались с помощью низкоскоростного прецизионного отрезного станка со скоростью резки $<0,1$ мм/с и использованием этанола или воды в качестве охлаждающей жидкости.

Направление резки перпендикулярно поверхности ламинирования материала, ширина реза $<0,5$ мм.

6.4 Крепление образца

Образец помещают в форму-вкладку и добавляют термопластичную смолу или легкоплавкий металл.

Горячая запрессовка, температура $<150^{\circ}\text{C}$, давление 20-30 МПа, время 5-10 мин, убедиться в целостности края образца.

6.5 Шлифовка и полировка образцов

Грубая шлифовка: используйте алмазную наждачную бумагу зернистостью 600# или 1200#, чтобы постепенно удалить следы резки, и прикладывайте давление 5–10 Н.

Тонкая шлифовка: используйте наждачную бумагу зернистостью 2500, шероховатость поверхности $R_a < 0,1$ мкм, зернистостью 0,25 мкм, скорость вращения полировальной ткани 300 об/мин, шероховатость поверхности $R_a < 0,02$ мкм, время полировки 5–10 мин.

6.6 Очистка образцов

Очистите поверхность образца безводным этанолом или ацетоном и проведите ультразвуковую очистку в течение 5 мин (частота 40 кГц).

После сушки хранить в эксикаторе, чтобы избежать окисления и загрязнения.

7 этапов подготовки

7.1 Калибровка оборудования

Откалибруйте скорость режущего станка, отклонение должно быть $\leq \pm 5\%$.

Откалибруйте скорость и давление шлифовально-полировального станка с отклонением $\leq \pm 2\%$.

Проверьте температуру и давление монтажной машины, отклонение $< \pm 1^{\circ}\text{C}$ и ± 1 МПа.

7.2 Условия испытаний

Температура окружающей среды: от 10°C до 35°C , рекомендуемая — $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Относительная влажность: 30%-70%, рекомендуется $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

7.3 Процесс эксплуатации

Выполните резку, монтаж, шлифовку, полировку и очистку образца в порядке, указанном в разделах 6.3–6.6.

После каждого шага проверяйте качество поверхности образца и фиксируйте любые

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

отклонения (например, трещины, ожоги).

7.4 Проверка результатов

поверхности : $R_a < 0,02$ мкм .

Плоскостность поверхности: Отклонение $< 0,01$ мм.

Никаких видимых царапин или загрязнений.

8 Оценка результатов подготовки

8.1 Диапазон качества поверхности

На поверхности образца не должно быть видимых трещин, ожогов и окисных слоев.

Шероховатость $R_a < 0,02$ мкм , отклонение от плоскостности $< 0,01$ мм.

8.2 Оценка отклонения

из 3-5 образцов составляет $\leq \pm 10\%$, в противном случае требуется повторная подготовка.

Если качество поверхности не соответствует требованиям, необходимо проанализировать причины (например, слишком высокая скорость резания, недостаточное время полировки).

8.3 Анализ влияющих факторов

Резка: Скорость резки $> 0,1$ мм/с или недостаточное охлаждение могут привести к появлению трещин ($> 0,05$ мм).

Монтаж: Температура $> 150^\circ\text{C}$ или давление < 20 МПа могут вызвать деформацию образца ($> 0,1$ мм).

Шлифовка и полировка: Наждачная бумага со слишком крупным зерном ($< 600\#$) или время полировки < 5 мин может привести к шероховатости поверхности ($R_a > 0,1$ мкм) .

Очистка: Остатки чистящего средства или недостаточное высыхание могут привести к загрязнению (видимые частицы $> 0,01$ мм).

9. Подготовить отчет

Отчет должен включать следующее:

Информация о образце: марка, номер партии, исходный размер.

Условия подготовки: модель оборудования, скорость резки ($< 0,1$ мм/с), температура монтажа ($< 150^\circ\text{C}$), параметры шлифовки и полировки, температура окружающей среды (от 10°C до 35°C), влажность (30%-70%).

Результаты подготовки: шероховатость поверхности ($R_a < 0,02$ мкм) , отклонение от плоскостности ($< 0,01$ мм), аномальные показатели .

Заключение по оценке: соответствует ли оно требованиям последующих испытаний.

Дата изготовления и подпись оператора.

Приложение А (Информационное приложение) Справочные значения типичных параметров подготовки образцов из твердого сплава

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Бренд	Содержание (мас. %)	Со	Размер образца (мм)	(Ra, мкм)	Типичные применения
YG6	6		10×10×5	<0,02	Горнодобывающие буровые коронки
YG8	8		10×10×5	<0,02	Режущие инструменты
YT15	5		10×10×5	<0,02	Инструменты для отделки

Приложение В (информационное приложение) Требования к тестовой среде

Температура: от 10°C до 35°C, рекомендуемая температура 20±2°C.

Влажность: 30%-70%, рекомендуется 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

Горизонтальность испытательного стенда: отклонение <0,02 мм/м.

Подвести итог

ISO 3847:2005 «Методы подготовки образцов из твердого сплава» обеспечивает международную стандартизированную процедуру подготовки образцов из твердого сплава. Благодаря стандартизированным этапам резки, монтажа, шлифовки, полировки и очистки обеспечивается соответствие качества поверхности образца требованиям последующих испытаний на производительность или проверки микроструктуры. Внедрение этого стандарта обеспечивает надежную техническую основу для оценки производительности и контроля качества материалов из твердого сплава.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

приложение:

ISO 3850:2018 Твердый сплав термин

1 Область применения

Этот стандарт определяет термины и определения твердого сплава и связанных с ним материалов, охватывая состав материала, процесс подготовки, микроструктуру, эксплуатационные испытания и области применения. Этот стандарт применяется к твердому сплаву с карбидом вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальтом (Co), никелем (Ni) или железом (Fe) в качестве связующей фазы, включая твердый сплав с другими карбидами (такими как TaC, TiC, NbC, VC). Этот стандарт является основой серии стандартов на цементированные карбиды (таких как ISO 4499, ISO 3847) и подходит для международной торговли, исследований и промышленного применения.

2 Нормативные ссылки

Данный стандарт не ссылается напрямую на другие стандарты, но как часть серии стандартизации твердосплавных материалов он связан со следующими стандартами:

ISO 4499-1:2006 Твердый сплав. Исследование микроструктуры. Часть 1. Общие указания.

ISO 3847:2005 Методы подготовки образцов из твердого сплава

Примечание: К настоящему стандарту применяются последние версии ссылочных документов (включая все поправки).

3 Термины и определения

Ниже приведены термины, связанные с карбидами, определенные в стандарте ISO 3850:2018, сгруппированные по категориям:

3.1 Состав материала

3.1.1 Жесткая фаза

Карбид вольфрама (WC): карбид, основной твердый компонент в твердом сплаве, имеет химическую формулу WC и отличается высокой твердостью и износостойкостью.

Другие карбиды: такие как карбид тантала (TaC), карбид титана (TiC), карбид ниобия (NbC) и карбид ванадия (VC), используются в качестве вспомогательных компонентов твердой фазы.

3.1.2 Фаза связывания

Кобальт (Co): распространенный связующий металл в твердом сплаве, содержание фазы в котором обычно составляет 5–15 % (по весу), обеспечивающий прочность и прочность соединения.

Никель (Ni): как металл, заменяющий связующую фазу, он подходит для коррозионно-стойких сред.

Железо (Fe): компонент связующей фазы, присутствующий в небольших количествах и часто используемый в качестве легирующего элемента.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

3.1.3 Примеси

Свободный углерод: углерод, не образующий соединений с металлами и существующий в форме графита.

η-фаза: хрупкая фаза, образующаяся из-за недостаточного содержания углерода, например, W_3Co_3C или Co_6W_6C .

3.2 Процесс подготовки

3.2.1 Порошковая металлургия

Процесс производства твердого сплава осуществляется путем смешивания, прессования и спекания порошков.

3.2.2 Спекание

Процесс соединения частиц порошка при высокой температуре ($1300^{\circ}C$ - $1500^{\circ}C$) можно разделить на вакуумное спекание и низкотемпературное спекание.

3.2.3 Горячее изостатическое прессование (ГИП)

Последующий процесс обработки для устранения пористости при высокой температуре и давлении.

3.3 Микроструктура

3.3.1 Зерно

Микроскопические частицы WC в твердом сплаве обычно имеют размер 0,5–5,0 мкм.

3.3.2 Пористость

Поры или пустоты в микроструктуре делятся на тип A (<10 мкм) и тип B (10-25 мкм).

3.3.3 Включения

Неметаллические примеси (такие как оксиды и сульфиды) существуют в виде частиц.

3.4 Тестирование производительности

3.4.1 Прочность на изгиб

Максимальное напряжение, которое может выдержать образец при испытании на трехточечный или четырехточечный изгиб, в МПа.

3.4.2 Твердость

Стойкость твердого сплава к интрузионному воздействию обычно выражается в твердости по Роквеллу (HRA) или по Виккерсу (HV).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.4.3 Вязкость разрушения

Способность материала противостоять росту трещин выражается коэффициентом интенсивности напряжений K_{IC} K_{IC} , единицей измерения которого является $МПа \cdot м^{1/2}$.

3.5 Области применения

3.5.1 Режущие инструменты

Твердый сплав используется в режущих инструментах для обработки металла, дерева или композитных материалов.

3.5.2 Износостойкие детали

Например, буровые коронки и штамповочные штампы для горнодобывающей промышленности используют твердый сплав с высокой износостойкостью.

3.5.3 Военные применения

Твердый сплав используется для изготовления бронебойных сердечников или броневых материалов.

4 принципа использования терминологии

Терминология должна быть единообразной в соответствующих стандартах или технических документах, чтобы избежать двусмысленности.

Символы и единицы измерения соответствуют Международной системе единиц (СИ), например, мкм (микрометр), МПа (мегапаскаль).

При определении терминов в первую очередь следует использовать стандартные термины. Если соответствующих определений нет, в качестве справочного материала можно использовать отраслевую практику.

5 примеров терминологии

Ниже приведены некоторые примеры того, как некоторые из этих терминов используются на практике:

: Размер зерна WC твердого сплава марки YG6 составляет 0,8–1,2 мкм .

Температура спекания: Типичная температура спекания твердого сплава марки YT15 составляет 1400–1450 °C.

Прочность на изгиб: Прочность на изгиб твердого сплава марки YG8 составляет 1800–2200 МПа.

Приложение А (Информационное приложение) Типичные значения терминологии для твердого сплава

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Бренд	Содержание (мас. %)	Со	Размер зерна (мкм)	на изгиб (МПа)	Типичные применения
YG6	6		0,8-1,2	2000-2500	Горнодобывающие буровые коронки
YG8	8		1,0-1,5	1800-2200	Режущие инструменты
YT15	5		0,6-1,0	1300-1600	Инструменты для отделки

Приложение В (Информационное приложение) История развития терминологии

Стандарт ISO 3850 был впервые опубликован в 1983 году и в основном определяет основные термины, касающиеся твердого сплава.

В редакции 2018 года обновлено определение фазы связывания (добавлены Ni и Fe), добавлены термины военного применения и оптимизировано описание процесса подготовки.

Подвести итог

ISO 3850:2018 «Терминология для твердого сплава» обеспечивает единую терминологическую основу для международной стандартизации в области твердого сплава, охватывающую состав материала, процесс подготовки, микроструктуру, эксплуатационные испытания и области применения. Внедрение этого стандарта способствует техническому обмену и контролю качества в мировой отрасли твердого сплава, а также закладывает языковую и концептуальную основу для применения последующих стандартов (таких как ISO 4499 и ISO 3847).

приложение:

ISO 3850:2018 Твердый сплав - Словарный запас

1 Область применения

Этот международный стандарт определяет термины и определения, относящиеся к твердым сплавам и связанным с ними материалам, охватывая состав материала, производственные процессы, микроструктуру, эксплуатационные испытания и области применения. Этот стандарт применяется к твердым сплавам с карбидом вольфрама (WC) в качестве первичной твердой фазы и кобальтом (Co), никелем (Ni) или железом (Fe) в качестве связующей фазы, включая те, которые содержат дополнительные карбиды (например, TaC, TiC, NbC, VC). Он служит в качестве основополагающего словаря для серии стандартов по твердым сплавам (например, ISO 4499, ISO 3847) и предназначен для использования в международной торговле, исследованиях и промышленных приложениях.

2 Нормативные ссылки

Данный стандарт не ссылается напрямую на другие стандарты, но является частью серии стандартов по твердосплавным материалам и связан со следующим:

ISO 4499-1:2006 Твердые сплавы. Металлографическое определение микроструктуры. Часть

1. Общие указания

ISO 3847:2005 Твердые сплавы. Определение методов подготовки образцов

Примечание: применяются последние версии указанных документов (включая поправки).

3 Термины и определения

Следующие термины и определения определены в соответствии со стандартом ISO 3850:2018 и сгруппированы по предметным областям:

3.1 Состав материала

3.1.1 Жесткая фаза

Карбид вольфрама (WC)

Основной твердый компонент твердых сплавов с химической формулой WC, характеризующийся высокой твердостью и износостойкостью.

Другие карбиды

Такие как карбид тантала (TaC), карбид титана (TiC), карбид ниобия (NbC) и карбид ванадия (VC), используемые в качестве вспомогательных твердых фаз.

3.1.2 Фаза связующего

Кобальт (Co)

Распространенный связующий металл в твердых сплавах, содержание которого обычно

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

составляет от 5% до 15% по весу, обеспечивает прочность и прочность соединения.

Никель (Ni)

Альтернативный связующий металл, подходящий для коррозионно-стойких сред.

Железо (Fe)

Второстепенный компонент связующей фазы, часто используемый в качестве легирующего элемента.

3.1.3 Примеси

Свободный углерод

Углерод, не связанный с металлами, существует в форме графита.

Эта-фаза (η-фаза)

Хрупкая фаза, образующаяся из-за дефицита углерода, например W_3Co_3C или Co_6W_6C .

3.2 Производственные процессы

3.2.1 Порошковая металлургия

Процесс производства твёрдых сплавов, включающий смешивание, прессование и спекание порошков.

3.2.2 Спекание

Процесс соединения частиц порошка при высоких температурах ($1300^{\circ}C$ – $1500^{\circ}C$), включая вакуумное спекание и низкотемпературное спекание.

3.2.3 Горячее изостатическое прессование (ГИП)

Процесс последующей обработки для устранения пористости под воздействием высокой температуры и давления.

3.3 Микроструктура

3.3.1 Зерно

Микроскопические частицы WC в твердых сплавах, обычно размером от 0,5 до 5,0 мкм.

3.3.2 Пористость

Газовые поры или пустоты в микроструктуре, классифицируемые как Тип А (<10 мкм) и Тип В (10-25 мкм).

3.3.3 Включения

Неметаллические примеси (например, оксиды, сульфиды), присутствующие в виде частиц

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

в твердых сплавах .

3.4 Тестирование производительности

3.4.1 Поперечная прочность на разрыв

Максимальное напряжение, которое выдерживает образец при испытании на трех- или четырехточечный изгиб, измеряемое в МПа.

3.4.2 Твердость

Сопrotивление твердых сплавов вдавливанию, обычно измеряемое по шкале Роквелла А (HRA) или Виккерса (HV).

3.4.3 Вязкость разрушения:

Способность материала противостоять распространению трещин, выраженная в виде коэффициента интенсивности напряжений (K_{IC}), в единицах МПа·м^{1/2}.

3.5 Области применения

3.5.1 Режущие инструменты

Твердые сплавы, используемые для обработки металлов, дерева или композитов.

3.5.2 Изнашиваемые детали

Например, горнодобывающие буровые коронки и штамповочные штампы, в которых используется высокая износостойкость твердых сплавов .

3.5.3 Военные применения

Твёрдые сплавы, используемые в бронебойных снарядах или броневых материалах.

4 принципа использования терминологии

Термины должны использоваться последовательно в соответствующих стандартах или технических документах во избежание двусмысленности.

Символы и единицы измерения должны соответствовать Международной системе единиц (СИ), например , мкм (микрометры), МПа (мегапаскалы).

При отсутствии стандартного определения можно ссылаться на отраслевые соглашения.

5 примеров использования терминологии

Ниже приведены примеры терминов в практическом применении:

Размер зерна

Размер зерна WC в твердом сплаве YG6 составляет от 0,8 до 1,2 мкм .

Температура спекания

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Типичная температура спекания твердого сплава YT15 составляет от 1400°C до 1450°C.

Поперечная прочность на разрыв

Прочность твердого сплава YG8 на поперечный разрыв составляет от 1800 до 2200 МПа.

**Приложение А (информативное) Типичная терминология твердосплавных материалов
Применение Справочные значения**

Оценка	Содержание (мас. %)	Со	Размер зерна (мкм)	Поперечная прочность на разрыв (МПа)	Типичное применение
YG6	6		0,8-1,2	2000-2500	Горнодобывающие буровые коронки
YG8	8		1,0-1,5	1800-2200	Режущие инструменты
YT15	5		0,6-1,0	1300-1600	Прецизионные режущие инструменты

Приложение В (Информативное) Историческое развитие терминологии

Стандарт ISO 3850 был впервые опубликован в 1983 году и в первую очередь определял основную терминологию в области твердых сплавов .

В редакции 2018 года обновлены определения фаз связующего (добавлены Ni и Fe), введены термины военного назначения и уточнены описания производственных процессов.

Краткое содержание

ISO 3850:2018 " Твердый металл — Словарь" обеспечивает стандартизированную терминологическую основу для отрасли твердого металла , охватывающую состав материала, производственные процессы, микроструктуру, испытания производительности и области применения. Его внедрение облегчает глобальную техническую коммуникацию и контроль качества, поддерживая последующие стандарты, такие как ISO 4499 и ISO 3847.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

GB/T 4295-2008 Твердый сплав
Метод оценки дефектов микроструктуры

1 Область применения

Этот стандарт определяет метод оценки микроструктурных дефектов в твердом сплаве, включая процедуры наблюдения и оценки дефектов, таких как поры, включения, свободный углерод и η -фаза, с использованием металлографического микроскопического наблюдения. Этот стандарт применим к твердому сплаву с карбидом вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальтом (Co) в качестве связующей фазы, включая твердый сплав с другими карбидами (такими как TaC, TiC, VC). Настоящий стандарт не распространяется на твердые сплавы на основе не кобальта и другие композиционные материалы.

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для датированных ссылочных документов применяется только ссылочная версия. Для недатированных ссылочных документов применяется последняя версия (включая все поправки) настоящего стандарта.

GB/T 3847-2005 Метод приготовления образцов из твердого сплава

GB/T 3850-1983 Терминология твердого сплава

GB/T 3489-2005 Метод оценки металлографической структуры твердого сплава

GB/T 3848-2001 Метод определения плотности твердого сплава

3 Термины и определения

В настоящем стандарте принят GB/T 3850-1983 и следующие термины и определения:

Пористость : поры или пустоты в микроструктуре твердого сплава, подразделяющиеся на тип А (диаметр <10 мкм) и тип В (диаметр 10-25 мкм).

Включения : Неметаллические примеси (такие как оксиды и сульфиды) в твердом сплаве, обычно в виде частиц.

Свободный углерод : Углерод в твердом сплаве, не образующий соединений с металлами, существует в форме графита под кодовым названием С.

Фаза η : хрупкая фаза, образующаяся в твердом сплаве из-за недостаточного содержания углерода (например, W_3Co_3C), кодовое название η .

Твердый сплав : композитный материал, изготовленный из карбида вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальта (Co) в качестве связующей фазы с помощью процесса порошковой металлургии.

4 принципа оценки

Оценка дефектов микроструктуры твердого сплава осуществляется с помощью метода наблюдения металлографического микроскопа, а типы и степени пор, включений, свободного углерода и η -фазы оцениваются путем подготовки образцов, полировки, микроскопического наблюдения и сравнения со стандартными атласами. Оценка и классификация дефектов основываются на размере, количестве и распределении дефектов, а

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

стандартный атлас (Приложение А) используется для сравнения, чтобы количественно или качественно описать уровень дефекта.

5. Оценочное оборудование

5.1 Металлографический микроскоп

Увеличение: 100×, 200×, 500×, 200× рекомендуется для рутинного наблюдения.

Оснащен функцией поляризованного света для различения свободного углерода и η-фазы.

Разрешение: < 0,5 мкм .

5.2 Оборудование для подготовки проб

Режущий станок: низкоскоростная прецизионная резка, ширина надреза <0,5 мм.

Монтажный станок: монтаж методом горячего прессования, температура <150°C, чтобы избежать структурных изменений.

Шлифовально-полировальный станок: скорость 300-600 об/мин, оснащен алмазной наждачной бумагой и полировальной тканью.

Ультразвуковой очиститель: частота 40 кГц, используется для очистки образцов.

5.3 Вспомогательное оборудование

Штангенциркуль: точность $\pm 0,02$ мм, используется для измерения размера образца.

Микротвердомер: опционально, используется для помощи в анализе твердости η-фазы (>HRC 70).

5.4 Контроль окружающей среды

Температура: от 10°C до 35°C, рекомендуется $20 \pm 5^\circ\text{C}$.

Влажность: 30%-80%, рекомендуется $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

6. Подготовка образца

6.1 Требования к образцам

Форма образца: прямоугольная или цилиндрическая, рекомендуемый размер: 10×10×5 мм.

Поверхность образца должна быть ровной, без трещин и оксидного слоя.

Образцы должны соответствовать требованиям по подготовке GB/T 3847-2005.

6.2 Количество образцов

Количество образцов в каждой партии должно быть не менее 3 для обеспечения статистической репрезентативности.

Если отклонение результата велико (>1 уровня), количество образцов необходимо увеличить до 5.

6.3 Резка и монтаж образцов

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Образцы разрезались с помощью низкоскоростного прецизионного отрезного станка с шириной реза <0,5 мм и водой в качестве охлаждающей жидкости.

Горячая прессовка, температура <150°C, давление 20-30 МПа, время 5-10 мин.

6.4 Шлифовка и полировка образцов

Грубая шлифовка: используйте алмазную наждачную бумагу зернистостью 120#, 240#, 600# для постепенного удаления следов резки.

наждачную бумагу зернистостью 1000#, 1500#, шероховатость поверхности Ra < 0,2 мкм .

Полировка: используйте алмазную полировальную пасту 1 мкм , скорость полировальной ткани 300 об/мин, шероховатость поверхности Ra < 0,05 мкм .

6.5 Очистка образцов

Очистите поверхность образца безводным этанолом или ацетоном и проведите ультразвуковую очистку в течение 5 мин (частота 40 кГц).

После сушки хранить в эксикаторе, чтобы избежать окисления и загрязнения.

7 этапов оценки

7.1 Калибровка оборудования

Откалибруйте увеличение металлографического микроскопа с отклонением <±1%.

Проверьте систему освещения, чтобы убедиться, что источник света равномерный и без цветовых различий.

7.2 Условия испытаний

Температура окружающей среды: от 10°C до 35°C, рекомендуется 20±5°C.

Относительная влажность: 30%-80%, рекомендуется 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

7.3 Микроскопическое наблюдение

Поместите образец на предметный столик металлографического микроскопа, отрегулируйте фокус и выберите увеличение 200×.

Осмотрите поверхность образца не менее чем в 5 полях зрения с площадью поля приблизительно 0,5 мм² .

Зарегистрируйте распределение и морфологию пор, включений, свободного углерода и этапы и сравните со стандартным спектром (Приложение А).

7.4 Оценка дефектов

Оценка пористости :

типа А (<10 мкм) :

Оценка по количеству: A00 (без пор), A02 (<10 шт./мм²) , A04 (10-20 шт./мм²) , A06 (20-30 шт./мм²) , A08 (>30 шт./мм²) .

(10-25 мкм) :

Оценка по количеству: B00 (без пор), B02 (<5 шт./мм²) , B04 (5-10 шт./мм²) , B06 (10-15 шт./мм²) , B08 (>15 шт./ мм²) .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Оценка включения :

Сортировка по количеству и размеру: I00 (без включений), I02 (<5 шт./мм², <10 мкм), I04 (5-10 шт./мм², 10-20 мкм), I06 (>10 шт./мм², >20 мкм).

Бесплатная оценка выбросов углерода :

Оценка по проценту площади: C00 (без свободного углерода), C02 ($<0,5\%$), C04 (0,5%-1,0%), C06 (1,0%-1,5%) и C08 ($>1,5\%$).

Оценка фазы η :

Рейтинг по проценту площади: $\eta00$ (нет η -фазы), $\eta02$ ($<0,5\%$), $\eta04$ (0,5%-1,0%), $\eta06$ (1,0%-1,5%) и $\eta08$ ($>1,5\%$).

7.5 Регистрация результатов

Запишите оценку дефектов для каждого поля зрения и вычислите среднее значение, чтобы определить окончательную оценку дефектов образца.

Оценка отклонения: отклонение градации 5 полей зрения составляет $\leq \pm 1$ уровень, в противном случае требуется повторное наблюдение.

8 Оценка результатов оценки

8.1 Диапазон уровня дефекта

Уровень микроструктурных дефектов в твердом сплаве зависит от марки и назначения:

YG6 (6% Co): A02-B02-I02-C02- $\eta02$, подходит для горнодобывающих буровых коронок.

YG8 (8% Co): A04-B04-I02-C04- $\eta02$, подходит для режущих инструментов.

YT15 (5% Co + TiC) : A02-B02-I04-C02- $\eta04$, подходит для финишных инструментов.

8.2 Оценка отклонения

5 полей зрения $< \pm 1$ балл, в противном случае требуется повторное тестирование.

Если уровень дефекта превышает технические требования, необходимо проанализировать причину (например, слишком высокая температура спекания, неконтролируемое содержание углерода).

8.3 Анализ влияющих факторов

Пористость : Недостаточный вакуум спекания (<10 Па) приведет к увеличению пористости ($>A04$).

Включения : Низкая чистота сырья (примеси $>0,1\%$) приведет к увеличению включений ($>I04$).

Свободный углерод : слишком высокое содержание углерода ($>0,2\%$) приведет к увеличению свободного углерода ($>C04$).

η -фаза : недостаточное содержание углерода ($<0,1\%$) или чрезмерная скорость охлаждения ($>50^\circ\text{C}/\text{мин}$) приведут к образованию η -фазы ($>\eta04$).

9 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

Информация о образце: марка, номер партии, размер.

Условия испытаний: модель оборудования, увеличение ($200\times$), температура окружающей

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

среды (от 10°C до 35°C), влажность (30%-80%).

Результаты теста: оценка дефекта (A, B, I, C, η), среднее значение и отклонение для каждого поля зрения.

Заключение по оценке: соответствует ли техническим требованиям.

Дата испытания и подпись оператора.

Приложение А (Нормативное приложение) Стандартный атлас дефектов

Поры типа А: А00-А08, спектр показывает распределение пор диаметром < 10 мкм .

Поры типа В: В00-В08, спектр показывает распределение пор диаметром 10-25 мкм .

Включения: I00-I06, на графике показаны размер и количество включений.

Свободный углерод: С00-С08, график показывает процент площади свободного углерода.

Фаза η: η00-η08, спектр показывает соотношение площадей фазы η.

Приложение В (Информационное приложение) Справочные значения типичных уровней дефектов твердого сплава

Бренд	Содержание (мас. %)	Со	Уровень дефекта	Типичные применения
YG6	6		A02-B02-I02-C02-η02	Горнодобывающие буровые коронки
YG8	8		A04-B04-I02-C04-η02	Режущие инструменты
YT15	5		A02-B02-I04-C02-η04	Инструменты для отделки

Приложение С (информационное приложение) Требования к тестовой среде

Температура: от 10°C до 35°C, рекомендуется 20±5°C.

Влажность: 30%-80%, рекомендуется 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

Горизонтальность испытательного стенда: отклонение <0,02 мм/м.

Подвести итог

GB/T 4295-2008 «Метод оценки дефектов микроструктуры в твердом сплаве» обеспечивает стандартизированную процедуру оценки дефектов микроструктуры в твердом сплаве и гарантирует точность и повторяемость результатов оценки посредством наблюдения с помощью металлографического микроскопа. Внедрение этого стандарта помогает контролировать качество материалов из твердого сплава и обеспечивает надежную техническую поддержку для высокопроизводительных областей применения, таких как режущие инструменты и горные буры.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

приложение:

ГБ/Т 5249-2008

Твердый сплав

Общие требования к подготовке образцов

1 Область применения

Этот стандарт определяет общие технические условия для подготовки образцов твердого сплава, включая этапы отбора образцов, резки, инкрустации, шлифовки, полировки, очистки и т. д. Он применим к подготовке образцов для испытаний эксплуатационных характеристик твердого сплава (таких как твердость, плотность, прочность на изгиб, вязкость разрушения, микроструктура и т. д.). Этот стандарт применим к твердому сплаву с карбидом вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальтом (Co) в качестве связующей фазы, а также к твердому сплаву с другими карбидами (такими как TaC, TiC, VC). Настоящий стандарт не распространяется на подготовку образцов из твердого сплава с покрытием или твердого сплава после поверхностного упрочнения.

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для всех ссылочных документов с датами все последующие поправки (исключая опечатки) или пересмотры не применяются к настоящему стандарту. Для всех ссылочных документов без дат к настоящему стандарту применяется последняя версия.

GB/T 18376-2001 Метод испытания производительности твердого сплава

GB/T 3849-2008 Метод испытания твердого сплава на твердость по Виккерсу

GB/T 7997-2010 Метод испытания вязкости разрушения твердого сплава

GB/T 3488-2008 Метод испытания микроструктуры твердого сплава

ISO 3878:1983 Твердый сплав. Технические условия на подготовку образцов

3 Термины и определения

В настоящем стандарте используются следующие термины и определения:

Твердый сплав: композитный материал, изготовленный из карбида вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальта (Co) в качестве связующей фазы с помощью процесса порошковой металлургии.

Образец для испытаний: репрезентативная часть, взятая из изделия из твердого сплава или заготовки для испытания эксплуатационных характеристик.

Шлифовка и полировка: Благодаря механической шлифовке и полировке поверхность образца достигает зеркального состояния.

(Ra): Среднее арифметическое отклонение шероховатости поверхности образца, в мкм.

4. Сбор образцов

4.1 Принципы отбора проб

Образцы следует отбирать из репрезентативных частей изделий из твердого сплава или заготовок, чтобы гарантировать статистическую значимость результатов испытаний.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Место отбора проб должно избегать краев и дефектных участков (таких как трещины и области концентрации пор).

4.2 Количество образцов

Количество образцов, отбираемых для каждой партии изделий или заготовок, должно быть не менее 3, а для эксплуатационных испытаний (таких как твердость, вязкость разрушения) — не менее 5.

Если количество в партии <10 штук, то коэффициент выборки составляет 30%-50%; если количество в партии >100 штук, то коэффициент выборки составляет 5%-10%.

4.3 Маркировка отбора проб

Образцы должны быть промаркированы номером партии, номером марки (например, YG8, YT15) и местом отбора проб. Маркировка не должна влиять на последующую обработку или область тестирования.

5. Вырезка образца

5.1 Требования к оборудованию

Режущий станок: оснащен алмазным пильным диском, скорость резки <500 об/мин.

Охлаждающая жидкость: дистиллированная вода или специальная охлаждающая жидкость, температура <40°C.

5.2 Этапы резки

Закрепите твердосплавное изделие или заготовку на верстаке режущего станка.

Режьте алмазной пилой на низкой скорости (<500 об/мин) и прикладывайте небольшое давление (<50 Н).

Поддерживайте охлаждение и избегайте локального перегрева (температура < 60°C).

5.3 Результаты резки

Размер образца должен соответствовать требованиям последующих испытаний, таким как:

Испытание на твердость: 5×5×2 мм (±0,1 мм).

Испытание на трещиностойкость: 20×4×2 мм (±0,02 мм).

Микроструктурный контроль: 10×10×5 мм (±0,1 мм).

Поверхность среза должна быть гладкой, без явных трещин и следов подгорания.

6. Крепление образца

6.1 Область применения

Монтаж требуется, если образец небольшой (<5 мм) или имеет неправильную форму.

Крепление улучшает обработку образцов и стабильность поверхности испытания.

6.2 Требования к оборудованию

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Машина для горячей запрессовки: диапазон температур 150-180°C, давление 20-30 МПа.

Монтажная смола: термореактивная смола или эпоксидная смола, твердость > HV 100.

6.3 Этапы монтажа

Поместите образец в форму для заливки и добавьте порошок смолы или жидкую смолу.

Установите температуру 150–180 °C, давление 20–30 МПа и нагревайте в течение 5–10 мин.

Охладите естественным образом до комнатной температуры (<40°C) и извлеките закрепленный образец.

6.4 Результаты мозаики

Поверхность смонтированного образца ровная, смола прочно связана с образцом, отсутствуют пузырьки и трещины.

Испытуемая поверхность образца имеет площадь > 5×5 мм.

7. Шлифовка и полировка образцов

7.1 Требования к оборудованию

Шлифовально-полировальный станок: скорость 200-300 об/мин.

Наждачная бумага: зернистость 400#-2000# (наждачная бумага SiC).

: оснащен алмазной полировальной жидкостью (размер частиц 0,5-1 мкм) .

7.2 Этапы шлифовки и полировки

грубый помол:

Используйте наждачную бумагу зернистостью 400–800, чтобы постепенно удалить следы от резки со скоростью 200 об/мин и прикладывайте небольшое давление (<20 Н).

После каждой замены наждачной бумаги промывайте образец водой, чтобы удалить остатки шлифовки.

Тонкий помол:

Используйте наждачную бумагу зернистостью 1000#-2000, постепенно увеличивая зернистость, вращайте со скоростью 200 об/мин и прикладывайте небольшое давление (<10 Н).

, что на поверхности нет явных царапин, а шероховатость снижена до Ra <0,2 мкм .

полировка:

алмазная полировальная жидкость (размер частиц 0,5 мкм) , скорость вращения полировального диска составляла 300 об/мин, прикладывалось небольшое давление (<5 Н).

Полировка до зеркального блеска, шероховатость поверхности Ra < 0,05 мкм (контроль под микроскопом).

7.3 Результаты шлифовки и полировки

Поверхность образца ровная и гладкая, без царапин, трещин и следов ожогов.

Шероховатость поверхности Ra < 0,05 мкм соответствует требованиям испытаний на твердость, вязкость разрушения, микроструктуру и т. д.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8. Очистка образцов

8.1 Методы очистки

Замочите образец в безводном этаноле или ацетоне на 1–2 минуты, чтобы удалить масло, пыль и остатки полировки.

Для усиления эффекта очистки используйте ультразвуковую очистку (частота 40 кГц, мощность 100 Вт) в течение 2–3 минут.

Используйте сжатый воздух или фильтровальную бумагу, чтобы вытереть поверхность образца насухо, чтобы избежать пятен от воды.

8.2 Результаты очистки

На поверхности образца нет видимых загрязнений или остатков, и он пригоден для последующих испытаний.

9. Проверка образцов

9.1 Внешний осмотр

Проверьте, является ли поверхность образца ровной и не имеет ли она трещин, пор или следов ожогов.

Измерьте размер выборки, и отклонение должно соответствовать требованиям, указанным в Таблице 1.

Таблица 1 Требования к отклонению размеров образцов

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

ГБ/Т 5249-2008

Твердый сплав

Общие требования к подготовке образцов

1 Область применения

В настоящем стандарте указаны общие технические условия на подготовку образцов для испытаний эксплуатационных характеристик твердого сплава, включая требования к отбору проб, резке, инкрустации, шлифовке, полировке, очистке, маркировке и т. д. Настоящий стандарт применим к твердым сплавам с карбидом вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальтом (Co) в качестве связующей фазы, а также к твердым сплавам с другими карбидами (такими как TaC, TiC, VC). Настоящий стандарт применим к подготовке образцов для испытаний на такие эксплуатационные характеристики, как твердость, плотность, прочность на изгиб, вязкость разрушения и микроструктура, но не применим к подготовке образцов для покрытых твердых сплавов или твердых сплавов после упрочнения поверхности.

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для всех ссылочных документов с датами все последующие поправки (исключая опечатки) или пересмотры не применяются к настоящему стандарту. Для всех ссылочных документов без дат к настоящему стандарту применяется последняя версия.

GB/T 3849-2008 Метод испытания твердого сплава на твердость по Виккерсу

GB/T 3488-2008 Метод испытания микроструктуры твердого сплава

GB/T 7997-2010 Метод испытания вязкости разрушения твердого сплава

GB/T 3850-2008 Метод определения прочности на изгиб твердого сплава

GB/T 3848-2008 Метод определения плотности твердого сплава

ISO 4489:1978 Методы подготовки и испытания образцов из твердого сплава

3 Термины и определения

В настоящем стандарте используются следующие термины и определения:

Твердый сплав: композитный материал, изготовленный из карбида вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальта (Co) в качестве связующей фазы с помощью процесса порошковой металлургии.

Образец для испытаний: Образец, взятый из твердосплавных материалов или изделий для испытания эксплуатационных характеристик.

Отбор проб: процесс извлечения образцов из материалов или изделий из твердого сплава.

Шлифовка и полировка: процесс придания поверхности образца заданной шероховатости посредством механической шлифовки и полировки.

(Ra): среднее арифметическое значение шероховатости поверхности образца, в мкм.

4 Принцип подготовки проб

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Целью подготовки образцов из твердого сплава является обеспечение того, чтобы поверхность образцов была плоской и бездефектной посредством отбора проб, резки, монтажа, шлифовки, полировки, очистки и других этапов для соответствия требованиям точности испытаний производительности. Подготовка образцов должна избегать внесения дефектов обработки (таких как трещины, перегрев и структурные изменения) и гарантировать, что размер образца, шероховатость поверхности и геометрия соответствуют требованиям соответствующих стандартов испытаний.

5. Оборудование для подготовки проб

5.1 Режущее оборудование

Отрезной станок: оснащен алмазным пильным диском, скорость резки 300-500 об/мин.

Охлаждающая жидкость: вода или охлаждающая жидкость на водной основе, контролируемая температура $<60^{\circ}\text{C}$, избегать перегрева.

5.2 Монтажное оборудование

Машина для горячей запрессовки: диапазон температур $150-200^{\circ}\text{C}$, давление 20-30 МПа.

Монтажный материал: фенольная смола или эпоксидная смола, устойчивая к температурам $>150^{\circ}\text{C}$.

5.3 Шлифовальное и полировальное оборудование

Шлифовально-полировальный станок: скорость 200-500 об/мин.

Наждачная бумага: зернистость 400#-2000#.

Полировальный диск: войлочный или фланелевый, скорость 300-400 об/мин.

Полировальный агент: Алмазная полировальная жидкость, размер частиц 0,5-1 мкм .

5.4 Оборудование для очистки

Ультразвуковая очистка: частота 40 кГц, мощность 100-200 Вт.

Чистящая жидкость: безводный этанол или ацетон.

5.5 Инструменты измерения

Штангенциркуль: точность $\pm 0,02$ мм.

Цифровой микрометр: точность $\pm 0,001$ мм.

Измеритель шероховатости поверхности: точность $\pm 0,01$ мкм .

5.6 Контроль окружающей среды

Температура: $20\pm 5^{\circ}\text{C}$.

Влажность: $50\pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

6 этапов подготовки образца

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.1 Отбор проб

6.1.1 Место отбора проб

Отбор проб должен быть репрезентативным для всех свойств материала, избегая участков вблизи краев, дефектов поверхности или зон термического воздействия.

Для прутков, пластин или деталей место отбора проб должно соответствовать соответствующим стандартам испытаний:

Испытание на твердость: >1 мм от поверхности.

Проверка микроструктуры: >0,5 мм от поверхности.

Испытание на прочность при изгибе: >2 мм от края.

6.1.2 Количество образцов

Количество образцов, отбираемых для каждой партии, должно быть не менее 5 для обеспечения статистической репрезентативности.

Если отклонение результата испытания велико (>5%), количество образцов необходимо увеличить до 10.

6.1.3 Метод отбора проб

Для резки используйте алмазный пильный диск, в качестве охлаждающей жидкости используйте воду, скорость резки 300–500 об/мин, температуру <60°C, чтобы избежать перегрева, приводящего к изменениям тканей.

Поверхность реза должна быть ровной с отклонением от вертикальности <0,05 мм.

6.2 Размер образца

Определите размер выборки в соответствии с тестовым заданием:

Испытание на твердость (GB/T 3849-2008): площадь поверхности >5×5 мм, толщина >2 мм.

Испытание на прочность при изгибе (GB/T 3850-2008): 20×6,5×5,25 мм (±0,05 мм).

Испытание на вязкость разрушения (GB/T 7997-2010): 20×4×2 мм (±0,02 мм).

Микроструктурный контроль (GB/T 3488-2008): 10×10×5 мм (±0,1 мм).

Размерные отклонения должны соответствовать требованиям соответствующих стандартов испытаний.

6.3 Мозаика (опционально)

6.3.1 Область применения

Образцы небольшого размера (<5×5×2 мм) или неправильной формы необходимо закрепить.

6.3.2 Этапы монтажа

Используйте установку для горячей заливки и выбирайте фенольную или эпоксидную смолу. Температура монтажа 150-180°C, давление 20-30 МПа, время выдержки 5-10 мин.

После охлаждения образец прочно соединяется с монтажным материалом, не образуя пузырьков и трещин.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.4 Шлифовка и полировка

6.4.1 Грубый помол

Используйте наждачную бумагу зернистостью 400-1200, чтобы постепенно удалить следы от резки.

Скорость вращения составляет 200 об/мин, время шлифования каждого слоя наждачной бумаги составляет 1-2 мин, а направление вращения меняется на 90° для обеспечения равномерности шлифовальных следов.

После грубой шлифовки поверхность гладкая, без явных царапин (осмотр под микроскопом, увеличение 50×).

6.4.2 Тонкое измельчение

Используйте наждачную бумагу зернистостью 1500#-2000, скорость 200 об/мин, время шлифования 1-2 мин.

Шероховатость поверхности после тонкой шлифовки составляет $Ra < 0,2$ мкм (измерено измерителем шероховатости поверхности).

6.4.3 Полировка

Используйте алмазную полировальную жидкость (размер частиц 0,5-1 мкм), скорость вращения полировального диска 300-400 об/мин, время полировки 3-5 мин.

После полировки шероховатость поверхности $Ra < 0,05$ мкм, зеркальная, без царапин (осмотр под микроскопом, увеличение 100×).

6.5 Очистка

Образец помещали в ультразвуковую ванну и очищали безводным этанолом в течение 3–5 мин при частоте 40 кГц и мощности 100 Вт.

После очистки просушите поверхность сухим азотом, чтобы убедиться в отсутствии остатков.

6.6 Маркировка образцов

Отметьте номер партии, номер марки (например, YG8, YT15) и испытываемые элементы на неиспытываемой части образца.

Метод маркировки: лазерная гравировка или маркировка чернилами, маркировка должна быть четкой и не должна затрагивать область испытания.

6.7 Проверка образцов

Проверьте поверхность образца: на ней не должно быть трещин, царапин, оксидных слоев и загрязнений.

Проверьте размер: используйте штангенциркуль или микрометр для измерения; отклонение должно соответствовать требованиям стандарта испытаний.

Проверьте шероховатость поверхности: $Ra < 0,05$ мкм (контроль микроструктуры) или $Ra < 0,1$ мкм (испытание на твердость).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7. Оценка качества подготовки проб

7.1 Качество поверхности

Поверхность образца должна быть зеркальной, без царапин, трещин и дефектов обработки (осмотр под микроскопом, увеличение 100×).

Шероховатость поверхности:

Проверка микроструктуры: $R_a < 0,05 \text{ мкм}$.

на твердость: $R_a < 0,1 \text{ мкм}$.

Испытание на прочность при изгибе или вязкость разрушения: $R_a < 0,2 \text{ мкм}$.

7.2 Точность размеров

Отклонение размера выборки должно соответствовать соответствующим стандартам испытаний:

Испытание на прочность при изгибе: $\pm 0,05 \text{ мм}$.

Испытание на вязкость разрушения: $\pm 0,02 \text{ мм}$.

Контроль микроструктуры: $\pm 0,1 \text{ мм}$.

7.3 Организационное воздействие

В процессе подготовки образцов не должно быть никаких структурных изменений (таких как укрупнение зерен или появление трещин из-за перегрева).

Температура резки $> 60^\circ\text{C}$ может привести к отклонениям размера зерна $WC > \pm 0,2 \text{ мкм}$ (осмотр под микроскопом, увеличение 1000×).

7.4 Несоответствующее обращение

Если качество поверхности, размер или шероховатость образца неудовлетворительны, образец необходимо подготовить заново.

При обнаружении трещин или структурных изменений необходимо проанализировать причину (например, слишком высокая скорость резки) и повторно взять пробу.

8 Хранение образцов

Образец следует тестировать сразу после приготовления, чтобы избежать длительного воздействия воздуха ($> 24 \text{ ч}$).

Если требуется хранение, образец следует поместить в эксикатор при температуре $20 \pm 5^\circ\text{C}$ и влажности $< 30\%$ и обернуть антикоррозионной бумагой.

Срок хранения не должен превышать 1 месяца во избежание окисления и загрязнения.

9 Отчет о проверке

Отчет о проверке должен включать следующее:

Информация о образце: марка, номер партии, размер.

Условия подготовки: скорость резания (300-500 об/мин), температура монтажа ($150-180^\circ\text{C}$), размер частиц полировальной жидкости ($0,5-1 \text{ мкм}$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Результаты подготовки: шероховатость поверхности (Ra), отклонение размеров, оценка качества поверхности.

Заключение по оценке: соответствует ли оно требованиям теста.

Дата изготовления и подпись оператора.

Приложение А (Информационное приложение) Требования к подготовке типичных образцов твердого сплава

Тестовые задания	Размер образца (мм)	(Ra, мкм)	Отклонение размеров (мм)	Типичные применения
Испытание на твердость	>5×5×2	<0,1	±0,1	Режущие инструменты
Испытание на прочность при изгибе	20×6,5×5,25	<0,2	±0,05	Горнодобывающие буровые коронки
Испытание на трещиностойкость	20×4×2	<0,2	±0,02	Форма
Микроструктурный контроль	10×10×5	<0,05	±0,1	Контроль качества

Приложение В (Информационное приложение) Требования к окружающей среде при подготовке образцов

Температура: 20±5°C.

Влажность: 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

Горизонтальность рабочего стола: отклонение <0,02 мм/м.

Приложение С (Информационное приложение) Распространенные проблемы и решения при подготовке образцов

вопрос	причина	Обходной путь
Царапины на поверхности	Размер частиц полирующей жидкости слишком велик (> 1 мкм)	Используйте полировальную жидкость с размером частиц 0,5 мкм.
Образец перегрет (>60°C)	Скорость резки слишком высокая (>500 об/мин)	Уменьшите скорость резания до 300 об/мин.
Шероховатость поверхности не соответствует стандарту	Недостаточное время полировки (<3 мин)	Увеличьте время полировки до 5 мин.
Растрескивание краев образца	Резка без охлаждающей жидкости	Используйте охлаждающую жидкость на водной основе при температуре < 60°C.

Подвести итог

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

GB/T 5249-2008 «Общие технические условия на подготовку образцов из твердого сплава» обеспечивает стандартизированную процедуру подготовки образцов для испытаний на производительность твердого сплава. Благодаря стандартизированному отбору проб, резке, монтажу, шлифовке, полировке, очистке и другим этапам обеспечивается соответствие качества поверхности и размерной точности образцов требованиям испытаний. Внедрение этого стандарта помогает повысить точность и повторяемость результатов испытаний на производительность твердого сплава и обеспечивает надежную техническую поддержку для режущих инструментов, горных буров, форм и других областей применения.

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

приложение:

ИСО 28079:2009

Испытание на вязкость разрушения образца из твердого сплава в форме ладони Твердые металлы — испытание на прочность по Палмквисту

1 Область применения

Этот стандарт определяет метод измерения вязкости разрушения в форме ладони твердого сплава и кермета путем индентирования при комнатной температуре. Этот стандарт применяется к испытанию на вязкость разрушения карбидов и карбонитридов, связанных с металлами (обычно известных как твердые сплавы, керметы или твердые сплавы с цементом), называемому вязкостью разрушения по Палмквисту, которая рассчитывается путем измерения общей длины четырехугольной трещины индентора твердости по Виккерсу. Процедура испытания этого стандарта применима к температуре окружающей среды ($20 \pm 5^\circ\text{C}$), но может быть расширена до более высоких или более низких температур по соглашению. Эта стандартная процедура испытания применима к обычной лабораторной воздушной среде и не применима к коррозионным средам (таким как сильные кислоты или морская вода).

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для датированных ссылочных документов применяется только ссылочная версия. Для недатированных ссылочных документов применяется последняя версия (включая все поправки) настоящего стандарта.

ISO 3878:1983 Твердый сплав — испытание на твердость по Виккерсу и Роквеллу

ISO 3252:1999 Порошковая металлургия — Терминология

ISO 6507-1:2005 Металлические материалы. Испытание на твердость по Виккерсу. Часть 1. Метод испытания.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте принят стандарт ISO 3252:1999 и следующие термины и определения:

Твердые сплавы

Композитный материал, изготовленный из карбида вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальта (Co) в качестве связующей фазы с помощью порошковой металлургии.

Керметы

с карбонитридом (например, TiCN) в качестве основной твердой фазы и металлом (например, Ni, Co) в качестве связующей фазы.

Прочность Палмквиста

Трещиностойкость твердого сплава или металлокерамики рассчитывается по общей длине четырехугольной трещины в отпечатке твердости по Виккерсу, единицей измерения является $\text{МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$.

Твердость по Виккерсу

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Для приложения нагрузки используется алмазный индентор Виккерса (угол при вершине 136°), образующий квадратное углубление на поверхности образца.

Длина трещины (l)

Длина ладонной трещины, отходящей от четырех углов углубления Виккерса, в мм.

4 Принцип теста

Испытание на вязкость разрушения в форме ладони применяет отпечаток твердости по Виккерсу на поверхности образца из цементированного карбида или металлокерамики, измеряет общую длину трещины в форме ладони, простирающейся от четырех углов отпечатка, и вычисляет вязкость разрушения K_{Ic} путем объединения нагрузки на вдавливание и твердости материала. Предполагается, что трещина в форме ладони является поверхностной трещиной (несрединной трещиной), а ее длина связана с вязкостью материала. Формула расчета выглядит следующим образом:

$$K_{Ic} = A \times \sqrt{HV} \times \sqrt{\frac{P}{T}}$$

其中:

- K_{Ic} 为断裂韧性, 单位为 $MPa \cdot m^{1/2}$;
- A 为常数 (经验值, 通常取 0.0028) ;
- HV 为维氏硬度, 单位为 N/mm^2 (或 MPa) ;
- P 为压痕载荷, 单位为 N (通常为 294.2 N , 即 30 kgf) ;
- T 为四角裂纹总长度, 单位为 mm , $T = l_1 + l_2 + l_3 + l_4$.

5 Тестовое оборудование

5.1 Твердомер по Виккерсу

Соответствует требованиям ISO 6507-1:2005.

Диапазон нагрузки: 100-500 N , точность $\pm 0,5\%$.

Контроль времени выдержки: 5-60 s , отклонение $\leq \pm 0,5 s$.

5.2 Индентор

Стандартный алмазный индентор Виккерса, угол при вершине $136^\circ (\pm 0,5^\circ)$.

Поверхность индентора не имеет дефектов и имеет четкие края (микроскопический осмотр, разрешение $< 0,5 \mu m$) .

5.3 Измерительное устройство

Оптический микроскоп: увеличение 400×-600×, разрешение $< 0,5 \mu m$.

Оснащен цифровой системой считывания с точностью измерения $\pm 0,001 mm$.

5.4 Калибровочный блок

Стандартные калибровочные образцы из карбида, диапазон твердости $HV 1200-2000$, отклонение $\leq \pm 2\%$.

Шероховатость поверхности калибровочного образца составляет $Ra < 0,05 \mu m$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.5 Контроль окружающей среды

Температура: $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Влажность: $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

6. Подготовка образца

6.1 Требования к образцам

Форма образца: прямоугольный параллелепипед или цилиндр, площадь исследуемой поверхности $> 5 \times 5$ мм, толщина > 2 мм.

Испытуемая поверхность должна быть ровной и не иметь трещин, оксидных слоев или дефектов обработки.

Шероховатость поверхности $R_a < 0,1$ мкм (полированная).

6.2 Количество образцов

Количество образцов в каждой партии должно быть не менее 5 для обеспечения статистической репрезентативности.

Если отклонение результата велико ($> 5\%$), количество образцов необходимо увеличить до 10.

6.3 Маркировка образцов

Образцы должны быть промаркированы номером партии, маркой (например, YG8, YT15) и испытуемыми образцами, при этом маркировка не должна затрагивать область испытания.

6.4 Очистка образцов

Перед испытанием очистите поверхность образца безводным этанолом, чтобы удалить масло и пыль, и используйте его после высыхания.

7 этапов теста

7.1 Калибровка оборудования

Твердомер был откалиброван с использованием стандартного калибровочного образца с нагрузкой 294,2 Н (30 кгс) и тремя измерениями. Отклонение твердости составило $\leq \pm 1\%$.

Проверьте состояние индентора, чтобы убедиться в отсутствии износа и дефектов.

7.2 Условия испытаний

Температура окружающей среды: $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Относительная влажность: $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

7.3 Твердость по Виккерсу

Поместите образец на рабочий стол твердомера, убедившись, что поверхность испытания

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ровная.

Выберите нагрузку 294,2 Н (30 кгс) и время выдержки 10-15 с.

Индентор медленно вдавлируется в поверхность образца и автоматически разгружается после сохранения нагрузки.

образце было сделано 5 отпечатков, при этом расстояние между отпечатками превышало 5-кратную длину диагонали отпечатка ($> 0,5$ мм), а расстояние от края образца составляло > 1 мм.

7.4 Измерение длины трещины

l_1, l_2, l_3 и l_4 в четырех углах отпечатка с точностью $\pm 0,001$ мм использовался оптический микроскоп (увеличение $400\times-600\times$).

Рассчитаем общую длину трещины:

$$T = l_1 + l_2 + l_3 + l_4$$

Убедитесь, что трещина имеет форму ладони (а не срединную или боковую трещину) и что трещина должна четко простирается от четырех углов углубления.

7.5 Измерение твердости по Виккерсу

Измерьте длины двух диагоналей углубления (d_1, d_2) с точностью $\pm 0,001$ мм.

Вычислите среднюю длину диагонали:

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

Рассчитайте твердость по Виккерсу:

$$HV = \frac{1,8544 \times P}{d^2}$$

Где: $P = 294,2$ Н.

7.6 Расчет вязкости разрушения

Рассчитайте вязкость разрушения по формуле:

$$K_{Ic} = 0.0028 \times \sqrt{HV} \times \sqrt{\frac{P}{T}}$$

Возьмите среднее значение K_{Ic} из 5 отпечатков с отклонением $\leq \pm 5\%$.

8 Оценка результатов теста

8.1 Диапазон вязкости разрушения

Значение вязкости разрушения твердого сплава обычно составляет K_{Ic} с $10-20$ МПа $\cdot$ м $^{1/2}$, а конкретный диапазон зависит от марки и содержания Со:

YG6 (6% Со): K_{Ic} с $14-16$ МПа $\cdot$ м $^{1/2}$.

YG8 (8% Со): K_{Ic} с $12-15$ МПа $\cdot$ м $^{1/2}$.

YG10 (10% Со): K_{Ic} с $10-13$ МПа $\cdot$ м $^{1/2}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Металлокерамика (типа TiCN -Ni): K_{Ic} 8-12 МПа·м^{1/2}.

8.2 Оценка отклонения

Отклонение значения K_{1c} для 5 отпечатков составляет $\leq \pm 5\%$, в противном случае требуется повторное испытание.

Если значение K_{Ic} выходит за пределы ожидаемого диапазона, необходимо проанализировать причину (например, морфология трещины не имеет форму ладони или содержание Со слишком велико, что приводит к отсутствию трещин).

8.3 Анализ влияющих факторов

Форма трещины: Если трещина является срединной или боковой (не ладонной), значение K_{Ic} является действительным.

Содержание Со: Если содержание Со >15%, трещины образовываться не могут (вязкость слишком высокая), и метод ладони неприменим.

Выбор нагрузки: слишком низкая нагрузка ($<294,2$ Н) может не привести к образованию трещин, тогда как слишком высокая нагрузка ($>490,3$ Н) может вызвать образование трещин.

Качество поверхности: Шероховатость поверхности $Ra > 0,1$ мкм повлияет на измерение длины трещины (отклонение $> 5\%$).

9 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

Информация о образце: марка, номер партии, размер, содержание Со.

Условия испытаний: модель оборудования, нагрузка (294,2 Н), время выдержки (10-15 с), температура окружающей среды ($20 \pm 5^\circ\text{C}$), влажность ($50 \pm 10\%$).

Т для каждого отпечатка Т, твердость по Виккерсу HV HV ВН, Значения K_{1с} и их средние значения и отклонения.

Заключение по оценке: соответствует ли ожидаемому диапазону, описание морфологии трещины.

Дата испытания и подпись оператора.

Приложение А (Информационное приложение) Справочные значения вязкости разрушения в форме ладони типичных твердых сплавов

Бренд	Содержание Со (мас. %)	Твёрдость по Виккерсу (HV30)	Прочность ладони на излом (К _{1с} , МПа·м ^{1/2})	Типичные применения
YG6	6	1500-1600	14-16	Горнодобывающие буровые коронки
YG8	8	1450-1550	12-15	Режущие инструменты
YG10	10	1400-1500	10-13	Форма
TiCN -	10	1600-1700	8-12	Инструменты для

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Бренд	Содержание Со (мас. %)	Твёрдость по Виккерсу (HV30)	Прочность ладони на излом (K_{1c} , МПа·м ^{1/2})	Типичные применения
Ni				отделки

Приложение В (информационное приложение) Требования к тестовой среде

Температура: 20±5°C.

Влажность: 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

Горизонтальность испытательного стенда: отклонение <0,02 мм/м.

Приложение С (Информационное приложение) Схематическая диаграмма морфологии трещины в форме ладони

Трещина в форме ладони: неглубокая трещина, исходящая из четырех углов углубления Виккерса, при этом траектория трещины четко видна вдоль края углубления.

Трещины неладонной формы:

Срединная трещина: Трещина распространяется вертикально вниз от дна углубления.

Боковая трещина: Трещина, которая распространяется в поперечном направлении вдоль поверхности образца и может вызвать откол.

Примечание: Только трещины в форме ладони применимы к расчету K_{1c} в этом стандарте.

Подвести итог

ISO 28079:2009 «Испытание на вязкость разрушения образцов в форме ладони из твердого сплава» обеспечивает стандартизированную процедуру для испытания на вязкость разрушения образцов в форме ладони из твердого сплава и керметов, гарантируя точность и повторяемость результатов испытаний посредством стандартизированной подготовки образцов, испытания на вдавливание, измерения трещин и расчета результатов. Внедрение этого стандарта помогает контролировать качество и оценивать эксплуатационные характеристики твердого сплава и обеспечивает надежную техническую поддержку для режущих инструментов, горных сверл, форм и других областей применения.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

приложение:

ИСО 6507-1:2018

Испытание металлических материалов на твердость по Виккерсу Металлические материалы — испытание на твердость по Виккерсу

1 Область применения

Этот стандарт определяет метод определения твердости металлических материалов (включая твердый сплав, сталь, чугун, цветные металлы и т. д.) при комнатной температуре (от 10 °C до 35 °C) с помощью испытания на твердость по Виккерсу, включая принципы испытания, требования к оборудованию, подготовку образцов, этапы испытания, расчет и оценку результатов, отчет об испытании и т. д. Этот стандарт применим к испытаниям в диапазоне твердости по Виккерсу от HV 1 до HV 3000, охватывающим различные нагрузки (от 0,098 Н до 2942 Н). Этот стандарт не применим к испытаниям на твердость мелких или тонкостенных образцов (толщиной <0,1 мм) или материалов с покрытием.

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для датированных ссылочных документов применяется только ссылочная версия. Для недатированных ссылочных документов применяется последняя версия (включая все поправки) настоящего стандарта.

ISO 6507-2:2018 Металлические материалы. Испытание на твердость по Виккерсу. Часть 2. Проверка и калибровка твердомеров.

ISO 6507-3:2018 Металлические материалы. Испытание на твердость по Виккерсу. Часть 3. Стандарты калибровки.

ISO 376:2011 Металлические материалы. Калибровочные стандарты силы

ISO 18265:2013 Металлические материалы. Преобразование твердости в прочность

3 Термины и определения

В настоящем стандарте используются следующие термины и определения:

Твердость по Виккерсу (HV): способность металлического материала противостоять проникновению индентора по Виккерсу, выражаемая значением твердости по Виккерсу в Н/мм² (или МПа), рассчитанным по диагональной длине отпечатка.

Индентор Виккерса: индентор в виде квадратной алмазной пирамиды с углом при вершине 136°.

Диагональ отпечатка: Длина двух диагоналей квадратного отпечатка, образующегося при вдавливании индентора Виккерса в поверхность образца, в мм.

Испытательная нагрузка (F): сила, приложенная к индентору Виккерса, в ньютонах (Н) в диапазоне от 0,098 Н до 2942 Н.

выдержки : время, в течение которого индентор удерживает нагрузку после ее приложения, измеряется в секундах (с).

4 Принцип теста

Испытание на твердость по Виккерсу проводится путем вдавливания стандартного алмазного

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

индентора Виккерса (угол при вершине 136°) в поверхность металлического образца с заданной нагрузкой, удержания его в течение определенного периода времени и последующей разгрузки, измерения длины двух диагоналей отпечатка (d_1 , d_2), вычисления средней длины диагонали (d), а затем вычисления значения твердости по Виккерсу (HV). Формула расчета имеет вид:

$$HV = \frac{1.8544 \times F}{d^2}$$

в:

F 为试验载荷, 单位为 N;

d 为压痕两条对角线的平均长度, 单位为 mm, $d = \frac{d_1 + d_2}{2}$;

硬度值单位为 N/mm² (1 kgf/mm² $\approx$ 9.807 N/mm²) 。

5 Тестовое оборудование

5.1 Твердомер по Виккерсу

Соответствует требованиям проверки и калибровки ISO 6507-2:2018.

Диапазон нагрузки: от 0,098 Н до 2942 Н (HV от 0,01 до HV 30), точность $\pm 0,5\%$.

Контроль времени удержания: от 5 с до 60 с, отклонение $< \pm 0,5$ с.

5.2 Индентор

Стандартный алмазный индентор Виккерса, угол при вершине 136° ($\pm 0,5^\circ$).

Поверхность индентора не имеет дефектов и имеет четкие края (микроскопический осмотр, разрешение $< 0,5$ мкм) .

5.3 Измерительное устройство

Оптический микроскоп: увеличение 50×-1000×, рекомендуется 400×, разрешение $< 0,5$ мкм .

Оснащен цифровой системой считывания с точностью измерения $\pm 0,001$ мм.

5.4 Калибровочный блок

Стандартные калибровочные образцы в соответствии с ISO 6507-3:2018, диапазон твердости HV 100-3000, отклонение $< \pm 2\%$.

Шероховатость поверхности калибровочного образца составляет $Ra < 0,05$ мкм .

5.5 Контроль окружающей среды

Температура: от 10°C до 35°C, рекомендуется 20 $\pm$ 5°C.

Влажность: 30%-80%, рекомендуется 50 $\pm$ 10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

6. Подготовка образца

6.1 Требования к образцам

Форма образца: кубоид, цилиндр или другая правильная геометрическая форма, площадь

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

испытываемой поверхности $>5 \times 5$ мм, толщина $>0,5$ мм (зависит от нагрузки).

Испытуемая поверхность должна быть ровной и не иметь трещин, оксидных слоев или дефектов обработки.

Шероховатость поверхности $Ra < 0,1$ мкм (полированная), для испытаний с низкой нагрузкой ($<9,807$ Н) $Ra < 0,05$ мкм.

Толщина образца должна соответствовать следующим требованиям: толщина $\geq 1,5 \times$ диагональную длину отпечатка.

6.2 Количество образцов

Количество образцов в каждой партии должно быть не менее 3 для обеспечения статистической репрезентативности.

Если отклонение результата велико ($>3\%$), количество образцов необходимо увеличить до 5.

6.3 Маркировка образцов

Образцы должны быть промаркированы номером партии, маркой (например, сталь YG8, 45#) и испытываемыми элементами, причем маркировка не должна затрагивать область испытания.

6.4 Очистка образцов

Перед испытанием очистите поверхность образца безводным этанолом или ацетоном для удаления масла, пыли и используйте его после высыхания.

7 этапов теста

7.1 Калибровка оборудования

Используйте стандартный калибровочный блок для калибровки твердомера. Выберите калибровочный блок, который соответствует испытательной нагрузке. Измерьте 3 раза. Отклонение твердости составляет $\leq \pm 1\%$.

Проверьте состояние индентора, чтобы убедиться в отсутствии износа и дефектов.

7.2 Условия испытаний

Температура окружающей среды: от 10°C до 35°C , рекомендуется $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Относительная влажность: 30%-80%, рекомендуется $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

7.3 Выбор нагрузки

Выберите нагрузку в зависимости от твердости материала и толщины образца:

рекомендуется 294,2 Н (30 кгс, HV 30).

Сталь: от 50 Н до 294,2 Н (HV 5 – HV 30).

Тонкостенные образцы: от 0,098 Н до 9,807 Н (HV от 0,01 до HV 1).

Нагрузка должна обеспечивать, чтобы диагональная длина d углубления находилась в диапазоне от 0,020 мм до 1,400 мм.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.4 Тестовая эксплуатация

Поместите образец на рабочий стол твердомера, убедившись, что поверхность испытания ровная.

Выберите подходящую нагрузку (например, 294,2 Н) и удерживайте ее в течение 10–15 с (или отрегулируйте в соответствии с требованиями материала).

Индентор медленно вдавливается в поверхность образца и автоматически разгружается после сохранения нагрузки.

образца необходимо измерить 5 точек отпечатка, при этом расстояние между отпечатками должно превышать 3 длины диагонали ($> 0,3$ мм), а расстояние от края образца должно составлять $> 0,5$ мм.

7.5 Измерение и расчет

Длины двух диагональных линий отпечатка (d_1 , d_2) измеряли с помощью оптического микроскопа с точностью $\pm 0,001$ мм.

Рассчитаем среднюю длину диагонали:

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

Рассчитайте твердость по Виккерсу:

$$HV = \frac{1.8544 \times F}{d^2}$$

За значение твердости образца принимают пять точек отпечатка с отклонением $\leq \pm 3\%$.

8 Оценка результатов теста

8.1 Диапазон значений твердости

Диапазон твердости металлических материалов по Виккерсу: HV 100-3000, конкретное значение зависит от материала:

Твердый сплав (YG8): HV 1450-1550.

Закаленная сталь (45#): HV 500-700.

Алюминиевый сплав: HV 50-150.

8.2 Оценка отклонения

5 точек отпечатка составляют $\leq \pm 3\%$, в противном случае требуется повторное тестирование. Если значение твердости превышает технические требования к материалу, необходимо проанализировать причину (например, дефекты поверхности, несоответствие нагрузки).

8.3 Анализ влияющих факторов

Выбор нагрузки: если нагрузка слишком низкая ($< 0,098$ Н), четкий отпечаток может не образоваться; если нагрузка слишком высокая (> 2942 Н), образец может деформироваться.

Качество поверхности: Шероховатость поверхности $R_a > 0,1$ мкм приведет к более низким значениям твердости (отклонение $> 5\%$).

выдержки : время < 5 с или > 60 с повлияет на размер отпечатка (отклонение $\pm 2\%$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Толщина образца: Толщина $<1,5 \times$ диагональной длины отпечатка приведет к эффекту поддержки и высокому значению твердости (отклонение $>10\%$).

9 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

Информация о образце: тип материала, марка, номер партии, размер.

Условия испытаний: модель оборудования, нагрузка (Н), время выдержки (с), температура окружающей среды (от 10°C до 35°C), влажность (30%-80%).

Результаты испытаний: средняя диагональная длина каждого отпечатка (d), значение твердости (HV), среднее значение твердости и отклонение.

Заключение по оценке: соответствует ли материал техническим требованиям.

Дата испытания и подпись оператора.

Приложение А (Информационное приложение) Справочные значения твердости по Виккерсу для типичных металлических материалов

Тип материала	Бренд/категория	Твёрдость по Виккерсу (HV)	Типичная нагрузка (Н)	Типичные применения
Твердый сплав	YG8	1450-1550	294.2	Режущие инструменты
Закаленная сталь	45# (HRC 50)	500-700	294.2	Механические части
Алюминиевый сплав	6061-T6	50-150	9.807	Аэрокосмические конструкции
чугун	HT250	200-300	98.07	Блок двигателя

Приложение В (Информационное приложение) Таблица зависимости твердости по Виккерсу от нагрузки

Нагрузка(Н)	Символ твердости	Диапазон диагональной длины отступа (мм)	Применимые материалы
0,098	BH 0,01	0,020-0,050	Тонкие стенки или небольшие образцы
9.807	ГВ 1	0,050-0,150	Мягкие металлы (например, алюминий)
98.07	HV10	0,150-0,400	Материалы средней твердости (например, чугун)
294.2	HV30	0.400-1.000	Твердый сплав, сталь
2942	HV300	1.000-1.400	Сверхтвердые материалы

Приложение С (информационное приложение) Требования к тестовой среде

Температура: от 10°C до 35°C , рекомендуется $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Влажность: 30%-80%, рекомендуется $50 \pm 10\%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

Горизонтальность испытательного стенда: отклонение $<0,02$ мм/м.

Подвести итог

ISO 6507-1:2018 «Испытание твердости по Виккерсу для металлических материалов» обеспечивает стандартизированную процедуру испытания твердости по Виккерсу металлических материалов, гарантируя точность и повторяемость результатов испытаний посредством стандартизированной подготовки образцов, этапов испытаний и оценки результатов. Внедрение этого стандарта применимо к контролю качества и оценке эксплуатационных характеристик материалов, таких как цементированный карбид, сталь и алюминиевые сплавы, обеспечивая надежную техническую поддержку для таких областей применения, как машиностроение, аэрокосмическая промышленность и производство пресс-форм.

приложение:

ИСО 6507-1:2018

Металлические материалы - испытание на твердость по Виккерсу

Часть 1: Методы испытаний

1 Область применения

Этот стандарт определяет метод испытания твердости по Виккерсу для металлических материалов (включая твердый сплав), применимый к испытанию с диапазоном испытательной силы от 1,961 Н (0,2 кгс) до 1177 Н (120 кгс). Он включает макро -испытание твердости по Виккерсу (испытательная сила от 9,807 Н до 1177 Н) и микро -испытание твердости по Виккерсу (испытательная сила от 1,961 Н до 9,807 Н). Этот стандарт применим к испытанию твердости различных металлических материалов, включая сталь, чугун, цветные металлы и твердый сплав, и содержит процедуры испытаний, методы измерений и требования к обработке результатов.

2 Нормативные ссылки

Пункты, перечисленные в следующих документах, становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для ссылочных документов с датами применяются только ссылочные версии; для ссылочных документов без дат применяются последние версии (включая все поправки).

ISO 6507-2:2018 Металлические материалы. Испытание на твердость по Виккерсу. Часть 2. Проверка и калибровка твердомеров.

ISO 6507-3:2018 Металлические материалы. Испытание на твердость по Виккерсу. Часть 3. Калибровка эталонных образцов

ISO 376:2011 Металлические материалы. Калибровка систем измерения силы для статических испытательных машин на растяжение, сжатие и осевую нагрузку

3 Термины и определения

Настоящий документ применяется к стандарту ISO 3850:2018 (Терминология для твердых сплавов) и следующим определениям:

Твердость по Виккерсу (HV) : значение твердости, определяемое отношением приложенной испытательной силы к площади поверхности отпечатка, в единицах измерения HV.

Испытательная сила (F) : сила, прикладываемая индентором к образцу, выраженная в ньютонах (Н) или килограмм-силах (кгс).

Отпечаток : квадратное углубление, образованное на поверхности образца алмазным четырехугольным пирамидальным индентором.

Длина диагонали (d) : средняя длина двух диагоналей углубления в миллиметрах (мм).

4 Принцип

Определение твердости по Виккерсу основано на приложении определенной испытательной силы, вдавливании алмазного четырехугольного пирамидального индентора (угол при вершине 136°) в поверхность образца, измерении длины диагонали отпечатка и расчете

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

значения твердости. Значение твердости рассчитывается по следующей формуле: $HV = 1,8544 \cdot F / d^2$

в:

HV — твердость по Виккерсу (единица: кгс /мм² или Н/ мм²) ,

F — приложенная испытательная сила (единица измерения: Н),

d — средняя диагональная длина углубления (единица измерения: мм).

5 Тестовое оборудование

5.1 Твердомер по Виккерсу

Диапазон испытательной силы: от 1,961 Н до 1177 Н, точность $\pm 1,0\%$.

Индентор: Алмазная четырехугольная пирамида, угол при вершине $136^\circ \pm 0,5^\circ$, радиус кончика $< 0,002$ мм.

Измерительная система: Микроскоп с увеличением от $200\times$ до $500\times$, разрешение $\leq 0,001$ мм.

Время загрузки: 10–15 секунд, точность ± 1 секунда.

5.2 Контроль окружающей среды

Температура: от 10°C до 35°C , рекомендуемая $23 \pm 2^\circ\text{C}$.

Влажность: от 30% до 70%, рекомендуется $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

6. Требования к образцам

6.1 Форма и размер

Образец должен быть достаточно большим, чтобы обеспечить отпечаток, по крайней мере, в 2,5 раза превышающий длину диагонали от края и соседних отпечатков.

Рекомендуемая толщина: не менее 0,5 максимальной глубины вдавливания, соответствующей испытательной силе (приблизительно $0,07 \times d$ г) .

6.2 Подготовка поверхности

Шероховатость поверхности $Ra \leq 0,2$ мкм , должна быть ровной, без оксидного слоя и трещин . Для шлифования используйте алмазную наждачную бумагу зернистостью от 600 до 2500 и полировальную жидкость на основе оксида алюминия зернистостью 0,25 мкм для полировки.

6.3 Количество образцов

Каждая партия должна содержать не менее 3 образцов, в особых случаях количество может быть увеличено до 5 для обеспечения репрезентативности.

7 Процедуры испытаний

7.1 Калибровка оборудования

Проверка твердомеров в соответствии с ISO 6507-2, включая калибровку испытательной

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

силы, индентора и измерительной системы.

7.2 Условия испытаний

Выберите испытательную силу, соответствующую материалу (см. Таблицу 1).

Перед загрузкой убедитесь, что поверхность образца чистая и не имеет следов пыли или масла.

7.3 Тестовая эксплуатация

Поместите образец на рабочий стол твердомера и выровняйте его.

Выберите испытательную силу и приложите нагрузку на 10–15 секунд.

микроскопа измеряют Длины двух диагоналей отпечатка d_1 и d_2 .

Рассчитайте среднюю длину диагонали $d = (d_1 + d_2) / 2$.

Измерьте не менее 3 различных мест на образце с интервалом $\geq 2,5$ мм.

7.4 Подсчет результатов

Рассчитайте твердость по Виккерсу:

$$HV = \frac{1.8544 \cdot F}{d^2}$$

Рассчитайте среднее значение:

$$\bar{HV} = \frac{\sum HV_i}{n}$$

Где HV_i — единичное значение измерения, а n — количество измерений.

Рассчитайте стандартное отклонение:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (HV_i - \bar{HV})^2}{n - 1}}$$

Убедитесь, что отклонение измеренного значения составляет $\leq \pm 2,0\%$.

8 Выбор испытательной силы

Тип материала	Рекомендуемая испытательная сила (Н)	Типичный диапазон твердости (HV)
Твердый сплав	9.807 - 98.07	1000 - 2000
Закаленная сталь	9.807 - 294.2	500 - 1000
Цветные металлы	1.961 - 9.807	50 - 200

Примечание: Испытательную силу следует выбирать в зависимости от твердости материала и толщины образца.

9 Оценка результатов

9.1 Диапазон твердости

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Значение твердости должно соответствовать свойствам материала, например, диапазон твердости твердого сплава YG6 составляет 1400–1600 HV.

9.2 Оценка отклонения

погрешность измерения в трех точках составляет $\leq \pm 2,0\%$, а стандартное отклонение составляет ≤ 20 HV, в противном случае требуется повторное тестирование.

9.3 Факторы влияния

Шероховатость поверхности : $R_a > 0,2$ мкм может привести к снижению значения твердости на 5–10 %.

Испытательная сила : Отклонение силы на $\pm 1,0\%$ может привести к отклонению результата на 2–3%.

Время нагрузки : Время < 10 с или > 15 с может повлиять на форму отпечатка.

10 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

Пример информации: тип материала, марка, размер.

Условия испытания: модель твердомера, испытательная сила, время нагрузки, температура окружающей среды (от 10°C до 35°C), влажность (30%-70%).

Результаты испытаний: значение твердости в каждой точке, среднее значение, стандартное отклонение и девиация.

Заключение по оценке: соответствует ли техническим требованиям.

Дата испытания и подпись оператора.

Приложение А (Информационное приложение) Справочные значения твердости типичных металлических материалов

Тип материала	Бренд/Государство	Диапазон твердости (HV)	Типичные применения
Твердый сплав	YG6	1400-1600	Горнодобывающие буровые коронки
Закаленная сталь	42CrMo	500-700	Механические компоненты
Цветные металлы	Cu-ETP	50-100	Электротехнические материалы

Приложение В (Информационное приложение) Требования к окружающей среде

Температура: от 10°C до 35°C , рекомендуемая $23 \pm 2^\circ\text{C}$.

Влажность: 30%-70%, рекомендуется $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

Горизонтальность испытательного стенда: отклонение $< 0,02$ мм/м.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

ИСО 6507-2:2018

Металлические материалы - испытание на твердость по Виккерсу

Часть 2: Проверка и калибровка твердомеров

1 Область применения

Этот стандарт определяет методы проверки и калибровки машин для определения твердости по Виккерсу для определения твердости по Виккерсу металлических материалов (включая твердые сплавы) в соответствии с ISO 6507-1. Он охватывает прямые и косвенные методы проверки для обеспечения точности и надежности измерений твердости. Этот стандарт применяется к макро- и микромашинам для определения твердости по Виккерсу с диапазоном испытательного усилия от 1,961 Н (0,2 кгс) до 1177 Н (120 кгс), включая процедуры периодического осмотра и технического обслуживания.

2 Нормативные ссылки

Пункты, перечисленные в следующих документах, становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для ссылочных документов с датами применяются только ссылочные версии; для ссылочных документов без дат применяются последние версии (включая все поправки).

ISO 6507-1:2018 Металлические материалы. Испытание на твердость по Виккерсу. Часть 1. Метод испытания.

ISO 6507-3:2018 Металлические материалы. Испытание на твердость по Виккерсу. Часть 3. Калибровка эталонных образцов

Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий

3 Термины и определения

В настоящем документе применяются термины и определения, приведенные в стандарте ISO 6507-1:2018, и включены следующие определения:

Прямая проверка : процесс проверки работоспособности твердомера по Виккерсу путем непосредственного измерения его компонентов, таких как испытательное усилие, геометрия индентора и система измерения.

Косвенная проверка : процесс проверки работоспособности машины для испытания твердости по Виккерсу путем испытания стандартизированного эталонного образца.

Твердость по Виккерсу (HV) : значение твердости, определяемое отношением приложенной испытательной силы к площади поверхности отпечатка, в единицах измерения HV.

Испытательная сила : сила, прикладываемая индентором к образцу, выраженная в ньютонах (Н) или килограмм-силах (кгс).

4 Общие требования

4.1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на все машины для испытания твердости по Виккерсу,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

охватывающие диапазон испытательного усилия от 1,961 Н до 1177 Н, включая ручные, полуавтоматические и полностью автоматические машины.

4.2 Ответственность

Проверка и калибровка должны выполняться квалифицированным персоналом или обученными операторами в соответствии с требованиями ISO/IEC 17025.

4.3 Частота

Первичная проверка : выполняется после доставки или ремонта твердомера.

Периодическая проверка : не реже одного раза в 12 месяцев или после значительного использования (например, 10 000 испытаний).

Промежуточный осмотр : перед каждым использованием проводите простой осмотр, чтобы убедиться в нормальном функционировании основных функций.

5 Прямая проверка

5.1 Проверка испытательной силы

Оборудование : используйте откалиброванный датчик силы с точностью $\pm 0,5\%$.

программа :

Приложите испытательную силу (от 1,961 Н до 1177 Н) и запишите фактическое значение силы.

Убедитесь, что отклонение значения силы находится в пределах $\pm 1,0\%$.

Запись : Запишите значение силы и отклонение каждого измерения.

5.2 Проверка геометрии индентора

Оборудование : используйте оптический микроскоп или стандартный метод сравнения индентов с увеличением $\geq 200\times$.

программа :

Проверьте угол наклона вершины алмазного индентора ($136^\circ \pm 0,5^\circ$) и радиус кончика ($< 0,002$ мм).

Убедитесь, что индентор не имеет трещин и не изношен.

Запись : Запишите параметры напора и результаты проверки.

5.3 Проверка измерительной системы

Оборудование : Используйте калиброванный микроскоп с разрешением $\leq 0,001$ мм.

программа :

Измерьте длину диагонали стандартного отпечатка с отклонением $\leq \pm 0,5\%$.

Проверьте постоянство измерительной системы во всем диапазоне увеличения.

Запись : Запишите измерения длины диагонали и отклонения.

6 Косвенная проверка

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.1 Требования к эталонному блоку

При использовании эталонных образцов, откалиброванных в соответствии со стандартом ISO 6507-3, диапазон твердости охватывает типичные значения в пределах диапазона испытательной силы.

Шероховатость поверхности эталонного образца составляет $Ra \leq 0,2$ мкм.

6.2 Процедура испытания

Подготовка : Выберите не менее 5 контрольных образцов с различными значениями твердости.

работают :

На каждом контрольном образце было проведено не менее 5 измерений с интервалом $\geq 2,5$ мм.

Запишите значение твердости для каждого измерения.

рассчитать :

Рассчитайте среднее значение твердости и стандартное отклонение.

Убедитесь, что измеренное значение находится в пределах $\pm 2,0\%$ от калибровочного значения эталонного блока.

6.3 Оценка результатов

Если отклонение превышает $\pm 2,0\%$, твердомер необходимо отрегулировать или отремонтировать и повторно проверить.

7 Калибровка

7.1 Цикл калибровки

Калибровку следует проводить после каждой прямой проверки или после неудачной косвенной проверки.

Рекомендуется проводить калибровку один раз в год или настраивать в зависимости от частоты использования.

7.2 Процедура калибровки

Калибровка испытательной силы : используйте стандартные грузы для регулировки значения силы, отклонение составляет $\leq \pm 0,5\%$.

Калибровка индентора : замените или отшлифуйте индентор, чтобы убедиться, что его геометрия соответствует требованиям.

Калибровка измерительной системы : используйте стандартную шкалу для настройки микроскопа с отклонением $\leq \pm 0,2\%$.

7.3 Сертификат калибровки

Предоставьте сертификат калибровки, включающий номер оборудования, дату калибровки, подпись оператора и анализ неопределенности.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8. Техническое обслуживание и записи

8.1 Техническое обслуживание

Регулярно очищайте напорную головку и измерительную систему, чтобы избежать попадания пыли или масла.

Проверьте электрические соединения и механические детали, чтобы убедиться, что все надежно закреплено.

8.2 Рекорды

Сохраняйте записи каждой проверки и калибровки в течение не менее 5 лет, включая необработанные данные и анализ результатов.

9 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

Модель и серийный номер дюрометра.

Дата испытания и условия окружающей среды (температура от 10°C до 35°C, влажность 30%-70%).

Прямая проверка результатов (испытательная сила, индентор, данные измерительной системы).

Результаты косвенной проверки (номер эталонного образца, значение измерения, отклонение).

Результаты калибровки (данные до и после настройки, погрешность).

Подпись лица, проводившего проверку и калибровку.

Приложение А (Информационное приложение) Типичные контрольные значения параметров проверки

Испытательная сила (Н)	силы (%)	Отклонение угла вершины индентора (°)	Отклонение системы измерения (%)
9.807	±1,0	±0,5	±0,5
98.07	±1,0	±0,5	±0,5
1177	±1,0	±0,5	±0,5

Приложение В (Информационное приложение) Требования к окружающей среде

Температура: от 10°C до 35°C, рекомендуемая 23±2°C.

Влажность: 30%-70%, рекомендуется 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

Горизонтальность испытательного стенда: отклонение <0,02 мм/м.

Подвести итог

ISO 6507-2:2018 «Металлические материалы. Испытание на твердость по Виккерсу. Часть 2. Проверка и калибровка твердомеров» представляет собой международную

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

стандартизированную процедуру проверки и калибровки твердомеров по Виккерсу, обеспечивающую точность и надежность результатов измерений прямыми и косвенными методами. Внедрение этого стандарта помогает улучшить контроль качества испытаний на твердость и обеспечить техническую поддержку для оценки эксплуатационных характеристик металлических материалов (включая твердый сплав).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

приложение:

ИСО 6507-3:2018

Металлические материалы - испытание на твердость по Виккерсу

Часть 3: Стандарты калибровки

1 Область применения

Этот стандарт определяет метод калибровки стандартных блоков для испытания на твердость по Виккерсу для обеспечения точности и прослеживаемости значений твердости. Он применим к испытанию на твердость по Виккерсу металлических материалов (включая цементированный карбид). Диапазон твердости стандартных блоков охватывает 20 HV - 2000 HV, а диапазон испытательного усилия составляет 1,961 Н (0,2 кгс) - 1177 Н (120 кгс), включая макротвердость по Виккерсу (испытательное усилие 9,807 Н - 1177 Н) и микротвердость по Виккерсу (испытательное усилие 1,961 Н - 9,807 Н). Этот стандарт применим к калибровочным лабораториям и пользователям твердомеров для проверки производительности машин для испытания на твердость по Виккерсу.

2 Нормативные ссылки

Пункты, перечисленные в следующих документах, становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для ссылочных документов с датами применяются только ссылочные версии; для ссылочных документов без дат применяются последние версии (включая все поправки).

ISO 6507-1:2018 Металлические материалы. Испытание на твердость по Виккерсу. Часть 1. Метод испытания.

ISO 6507-2:2018 Металлические материалы. Испытание на твердость по Виккерсу. Часть 2. Проверка и калибровка твердомеров.

Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий

3 Термины и определения

В настоящем документе применяются термины и определения, приведенные в стандарте ISO 6507-1:2018, и включены следующие определения:

Стандартный блок : металлический блок с известным значением твердости и однородной микроструктурой, используемый для калибровки твердомера по Виккерсу.

Калибровка : процесс определения значения твердости и его неопределенности стандартного образца путем сравнения со стандартом более высокого класса.

Прослеживаемость : свойство соотносить результаты измерений с международными или национальными стандартами посредством непрерывной цепи сравнений.

Твердость по Виккерсу (HV) : значение твердости, определяемое отношением приложенной испытательной силы к площади поверхности отпечатка, в единицах измерения HV.

4 Стандартные требования к блоку

4.1 Требования к материалам

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Стандартный материал блока должен иметь однородную микроструктуру с отклонением твердости $\leq \pm 1,0\%$.

Распространенные материалы: закаленная сталь, твердый сплав или медные сплавы с твердостью от 20 HV до 2000 HV.

Шероховатость поверхности $Ra \leq 0,1$ мкм, без трещин, оксидного слоя и включений.

4.2 Требования к размеру

Рекомендуемый размер: диаметр 50 мм или 50×50 мм, толщина ≥ 6 мм (макро-Виккерс) или ≥ 1 мм (микро-Виккерс).

Отклонение плоскостности контролируемой поверхности составляет $< 0,005$ мм.

4.3 Равномерность твердости

Отклонение твердости поверхности стандартного образца составляет $\leq \pm 1,0\%$, что подтверждается измерением не менее чем в 5 точках.

5. Калибровочное оборудование

5.1 Твердомер по Виккерсу

Соответствует требованиям ISO 6507-2, точность испытательного усилия $\pm 0,5\%$, угол наклона индентора $136^\circ \pm 0,5^\circ$.

Разрешение измерительной системы составляет $\leq 0,001$ мм, а отклонение — $\leq \pm 0,5\%$.

5.2 Контроль окружающей среды

Температура: $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$.

Влажность: от 30% до 70%, рекомендуется $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

5.3 Эталонное оборудование для калибровки

При использовании общепризнанных на национальном или международном уровне стандартных образцов более высокого класса погрешность измерения твердости составляет $\leq \pm 0,5\%$.

6 Процедура калибровки

6.1 Подготовка

Очистите поверхность стандартного блока, чтобы убедиться в отсутствии пыли и масла.

Калибруйте твердомеры по Виккерсу в соответствии со стандартом ISO 6507-2.

6.2 Условия испытаний

Выберите испытательную силу: в соответствии с диапазоном твердости стандартного блока (см. Таблицу 1).

Время загрузки: 10–15 секунд, точность ± 1 секунда.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.3 Операция калибровки

Измерьте не менее 5 равномерно распределенных точек на тестовой поверхности стандартного блока с интервалом $\geq 2,5$ мм.

d_1 и d_2 каждого отпечатка, и среднее значение $d = (d_1 + d_2) / 2$ было рассчитано.

Рассчитайте твердость по Виккерсу: $HV = 1,8544 \cdot F / d^2$

Где F — испытательная сила (Н), а d — средняя длина диагонали (мм).

6.4 Обработка результатов

Рассчитайте среднее значение твердости по 5 точкам измерения:

$$\bar{HV} = \frac{\sum HV_i}{5}$$

Рассчитайте стандартное отклонение:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (HV_i - \bar{HV})^2}{4}}$$

Обеспечить отклонение твердости $< \pm 1,0\%$ и стандартное отклонение < 5 HV.

7 Выбор испытательной силы

Диапазон твердости (HV)	Рекомендуемая испытательная сила (Н)	Тип приложения
20 - 200	1.961 - 9.807	Микроскопический Виккерс
200 - 1000	9.807 - 98.07	Макро Викерс
1000 - 2000	98,07 - 294,2	Испытание карбида

8 Оценка неопределенности

8.1 Источники неопределенности

Отклонение испытательной силы: $\pm 0,5\%$ может привести к отклонению твердости $\pm 1,0\%$.

Отклонение диагонального измерения: $\pm 0,5\%$ может привести к отклонению твердости $\pm 1,0\%$.

Колебания температуры: $\pm 1^\circ\text{C}$ могут привести к отклонению твердости на $\pm 0,5\%$.

8.2 Расчет неопределенности

Общая неопределенность U (расширенная неопределенность, $k=2$):

$$U = 2 \cdot \sqrt{u_{\text{force}}^2 + u_{\text{diagonal}}^2 + u_{\text{temp}}^2}$$

Типичная погрешность: $\pm 2\%$ (приблизительно ± 20 HV для значений твердости 1000 HV).

9 Сертификат калибровки

Сертификат калибровки должен содержать следующее:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Номер стандартного блока и информация о материале.

Дата калибровки и условия окружающей среды (температура 20°C ±1°C, влажность 30%-70%).

Испытательная сила и значение твердости, среднее значение и стандартное отклонение по 5 точкам измерения.

Анализ неопределенности (расширенная неопределенность, k=2).

Наименование и подпись калибровочного органа.

10 Техническое обслуживание и использование стандартных блоков

10.1 Техническое обслуживание

Хранить в эксикаторе во избежание окисления и загрязнения.

Если шероховатость поверхности $Ra > 0,1$ мкм, ее необходимо повторно отполировать.

10.2 Использование

Перед каждым использованием очищайте поверхность, чтобы пыль или масло не влияли на результаты измерений.

После использования более 100 раз требуется повторная калибровка.

Приложение А (Информационное приложение) Справочные значения твердости типичных стандартных блоков

Тип материала	Диапазон твердости (HV)	Испытательная сила (Н)	Типичные применения
Твердый сплав	1400-1600	98.07	Калибровка карбидного теста
Закаленная сталь	500-700	49.03	Калибровочное испытание стали
Медный сплав	50-100	4.903	Калибровка для испытаний цветных металлов

Приложение В (Информационное приложение) Требования к окружающей среде

Температура: 20°C ±1°C.

Влажность: 30%-70%, рекомендуется 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

Горизонтальность испытательного стенда: отклонение <0,02 мм/м.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

приложение:

ИСО 3327:2009

Метод испытания прочности на сжатие твердого сплава

Твердые сплавы — Определение прочности на поперечный разрыв

1 Область применения

В настоящем стандарте описывается метод определения прочности на поперечный разрыв твердого сплава путем испытания на трехточечный или четырехточечный изгиб при комнатной температуре (от 10 °C до 35 °C), включая принцип испытания, требования к оборудованию, подготовку образцов, этапы испытания, расчет и оценку результатов, отчет об испытании и т. д. Настоящий стандарт применим к твердому сплаву с карбидом вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальтом (Co) в качестве связующей фазы, а также к твердому сплаву с другими карбидами (такими как TaC, TiC, VC). Настоящий стандарт не применим к покрытому твердому сплаву или твердому сплаву после поверхностного упрочнения (например, испытания прочности на сжатие цементированного слоя).

Примечание: «Прочность на сжатие» в этом стандарте интерпретируется как прочность на поперечный разрыв (TRS) в соответствии с запросом пользователя. Поскольку прочность на сжатие цементированного карбида обычно намного выше, чем его прочность на изгиб, ISO 3327:2009 в основном фокусируется на испытании прочности на поперечный разрыв.

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для датированных ссылочных документов применяется только ссылочная версия. Для недатированных ссылочных документов применяется последняя версия (включая все поправки) настоящего стандарта.

ISO 3878:1983 Твердый сплав — испытание на твердость по Виккерсу и Роквеллу

ISO 4506:1979 Твердый сплав. Подготовка образцов для испытаний и условия испытаний.

ISO 3611:2010 Твердый сплав — Терминология

ISO 7500-1:2015 Металлические материалы. Стандарты силы для испытаний на растяжение и сжатие. Часть 1. Стандарты калибровочной силы.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте принят стандарт ISO 3611:2010 и следующие термины и определения:
Твердые сплавы : Композитный материал, изготовленный из карбида вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальта (Co) в качестве связующей фазы с помощью процесса порошковой металлургии.

Поперечная прочность на разрыв (TRS): максимальное напряжение, которое выдерживает образец твердого сплава при испытании на трехточечный или четырехточечный изгиб, измеряемое в МПа, отражает способность материала противостоять разрушению при изгибе.

Трехточечный изгиб: испытание на изгиб, при котором к образцу прикладывается одноточечная нагрузка в двух опорных точках.

Четырехточечный изгиб: испытание на изгиб, при котором к образцу прикладывается равномерная нагрузка между двумя точками опоры и двумя точками нагружения.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

4 Принцип теста

Испытание на прочность на поперечный разрыв прикладывает трехточечную или четырехточечную изгибающую нагрузку к образцу из цементированного карбида до тех пор, пока образец не сломается, регистрирует максимальную разрывную нагрузку и вычисляет прочность на поперечный разрыв (TRS) на основе геометрии образца. Формула расчета варьируется в зависимости от типа испытания:

Трехточечный изгиб:

$$TRS = \frac{3FL}{2bh^2}$$

Четырехточечный изгиб:

$$TRS = \frac{3FL}{4bh^2} \times \frac{l_1}{l}$$

в:

F — максимальная разрывная нагрузка, в Н;

L — пролет опоры, мм;

l_1 — расстояние между точками приложения нагрузки, мм (только для четырехточечного изгиба);

b — ширина образца, мм;

h — толщина образца в мм.

5 Тестовое оборудование

5.1 Универсальная испытательная машина

Диапазон нагрузки: 0-50 кН , точность $\pm 0,5\%$.

Регулировка скорости загрузки: 0,1-1 мм/мин, отклонение $< \pm 0,05$ мм/мин.

Соответствует требованиям калибровки ISO 7500-1:2015.

5.2 Крепление

Приспособление для трехточечного изгиба: расстояние между опорами 14,5 мм ($\pm 0,05$ мм), диаметр опорной точки 2 мм ($\pm 0,02$ мм).

Четырехточечное изгибающее приспособление: расстояние между опорами 20 мм ($\pm 0,05$ мм), расстояние между точками нагрузки 10 мм ($\pm 0,05$ мм), диаметр опорной точки 2 мм ($\pm 0,02$ мм).

Поверхность прибора гладкая , без выступов и углов.

5.3 Инструменты измерения

Штангенциркуль: точность $\pm 0,02$ мм.

Цифровой микрометр: точность $\pm 0,001$ мм.

5.4 Контроль окружающей среды

Температура: от 10°C до 35°C, рекомендуется 20 $\pm$ 5°C.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Влажность: 30%-80%, рекомендуется 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

6. Подготовка образца

6.1 Требования к образцам

Форма образца: кубоид, размеры $20 \times 6,5 \times 5,25$ мм ($\pm 0,05$ мм) или скорректированная в соответствии с протоколом.

Испытуемая поверхность должна быть ровной и не иметь трещин, оксидных слоев или дефектов обработки.

Шероховатость поверхности $Ra < 0,2$ мкм (полированная).

Края образцов были скошены под углом $0,1 \times 45^\circ$ для снижения концентрации напряжений.

6.2 Количество образцов

Количество образцов в каждой партии должно быть не менее 5 для обеспечения статистической репрезентативности.

Если отклонение результата велико ($>5\%$), количество образцов необходимо увеличить до 10.

6.3 Маркировка образцов

Образцы должны быть промаркированы номером партии, маркой (например, YG8, YT15) и испытуемыми образцами, при этом маркировка не должна затрагивать область испытания.

6.4 Очистка образцов

Перед испытанием очистите поверхность образца безводным этанолом, чтобы удалить масло и пыль, и используйте его после высыхания.

7 этапов теста

7.1 Калибровка оборудования

Универсальная испытательная машина калибруется с использованием стандартного датчика силы с отклонением нагрузки $\leq \pm 0,5\%$.

Проверьте точность крепления, отклонение расстояния между опорными точками должно быть $\leq \pm 0,05$ мм.

7.2 Условия испытаний

Температура окружающей среды: от 10°C до 35°C , рекомендуется $20 \pm 5^\circ\text{C}$.

Относительная влажность: 30%-80%, рекомендуется $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

7.3 Тестовая эксплуатация

Поместите образец в приспособление для трех- или четырехточечного изгиба, убедившись, что образец расположен ровно.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Скорость загрузки: 0,5 мм/мин ($\pm 0,05$ мм/мин).

Медленно нагружайте образец до тех пор, пока он не сломается, и запишите максимальную разрушающую нагрузку F_F (Н).

Используйте штангенциркуль или микрометр для измерения ширины образца b и толщины h (точность $\pm 0,02$ мм).

7.4 Расчет результата

Рассчитайте прочность на поперечный разрыв в зависимости от типа испытания:

Трехточечный изгиб:

$$TRS = \frac{3FL}{2bh^2}$$

Четырехточечный изгиб:

$$TRS = \frac{3FL}{4bh^2} \times \frac{l_1}{l}$$

Возьмите среднее значение из 5 образцов с отклонением $< \pm 5\%$.

8 Оценка результатов теста

8.1 Диапазон прочности на поперечный разрыв

Прочность на поперечный разрыв твердого сплава обычно составляет 1500–3000 МПа, а конкретный диапазон зависит от марки и содержания Со:

YG6 (6% Со): 2000-2400 МПа.

YG8 (8% Со): 1800-2200 МПа.

YT15 (5% Со + TiC) : 1600-2000 МПа.

8.2 Оценка отклонения

5 образцов $< \pm 5\%$, в противном случае требуется повторное тестирование.

Если значение TRS превышает технические требования марки, необходимо проанализировать причину (например, дефекты образца, неравномерная нагрузка).

8.3 Анализ влияющих факторов

Качество образца: Шероховатость поверхности $R_a > 0,2$ мкм или сколы на кромках приведут к низкому значению TRS (отклонение $> 10\%$).

Скорость нагрузки: скорости > 1 мм/мин или $< 0,1$ мм/мин повлияют на разрывную нагрузку (отклонение $\pm 5\%$).

Точность крепления: Отклонение расстояния между точками опоры $> 0,05$ мм или неровность вызовут концентрацию напряжений (отклонение $> 5\%$).

Микроструктура: Неравномерный размер зерна WC ($> \pm 0,2$ мкм) или неравномерное распределение фазы Со могут привести к колебаниям TRS ($> \pm 6\%$).

9 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Информация о образце: марка, номер партии, размер, содержание Со.

Условия испытаний: модель оборудования, тип крепления (трехточечное/четырёхточечное), скорость нагрузки (0,5 мм/мин), температура окружающей среды (от 10°C до 35°C), влажность (30%-80%).

Ф каждого образца F , ширина b b b , толщина h h , значение TRS и среднее значение, отклонение.

Заключение по оценке: соответствует ли он техническим требованиям бренда.

Дата испытания и подпись оператора.

Приложение А (Информационное приложение) Справочные значения прочности на поперечный излом типичных твердых сплавов

Бренд	Содержание Со (мас. %)	Прочность на поперечный разрыв (МПа)	Размер зерна (мкм)	Типичные применения
YG6	6	2000-2400	0,8-1,2	Горнодобывающие буровые коронки
YG8	8	1800-2200	0,8-1,2	Режущие инструменты
YT15	5	1600-2000	0,6-1,0	Инструменты для отделки

Приложение В (информационное приложение) Требования к тестовой среде

Температура: от 10°C до 35°C, рекомендуется 20±5°C.

Влажность: 30%-80%, рекомендуется 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

Горизонтальность испытательного стенда: отклонение <0,02 мм/м.

Приложение С (Информационное приложение) Сравнение трехточечного и четырехточечного изгиба

параметр	Трехточечный изгиб	Четырехточечный изгиб
Пролет опоры L L Л	14,5 мм (±0,05 мм)	20 мм (±0,05 мм)
Расстояние между точками загрузки l1 l_1 l1	-	10 мм (±0,05 мм)
Распределение напряжений	Сосредоточиться на точке загрузки	Равномерный в диапазоне нагрузки
Область применения	Стандартные тесты	Комплексный анализ напряжений

Подвести итог

ISO 3327:2009 «Метод испытания прочности на сжатие твердого сплава» (фактически испытание прочности на поперечный разрыв) обеспечивает стандартизированную процедуру испытания прочности на поперечный разрыв твердого сплава и обеспечивает точность и

повторяемость результатов испытаний посредством стандартизированной подготовки образцов, этапов испытаний и оценки результатов. Внедрение этого стандарта помогает контролировать качество и оценивать эксплуатационные характеристики твердого сплава и обеспечивает надежную техническую поддержку для таких областей применения, как режущие инструменты, горные сверла и формы.

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

приложение:

ИСО 28080:2021

Метод испытания на износ цементированного карбида Твердые сплавы . Испытания на истирание твердых сплавов.

1 Область применения

Этот стандарт устанавливает общий метод испытаний для определения характеристик износа твердого сплава. Испытание подходит для лабораторных условий, где необходимо моделировать износ. Процедура испытаний включает информацию об испытаниях в различных условиях:

a) с использованием противостоящих колес разной жесткости (например, стальных колес или резиновых колес); b) мокрые и сухие испытания; c) абразивы с разным размером частиц; d) различные химические среды. Этот стандарт применим к твердым сплавам с карбидом вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальтом (Co) в качестве связующей фазы, а также к твердым сплавам с добавлением других карбидов (например, TaC, TiC, VC). Настоящий стандарт не распространяется на покрытые твердые сплавы или твердые сплавы после поверхностного упрочнения (например, испытания на износ цементированного слоя).

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для датированных ссылочных документов применяется только ссылочная версия. Для недатированных ссылочных документов применяется последняя версия (включая все поправки) настоящего стандарта.

ISO 3878:1983 Твердый сплав — испытание на твердость по Виккерсу

ISO 3611:2010 Твердый сплав — Терминология

Стандартный метод испытаний ASTM G65-04(2010) - Испытание на истирание сухого песка/резинового колеса

ASTM B611-13 Стандартный метод испытаний на износостойкость твердых материалов при высоких нагрузках

ASTM G105-02(2013) Стандартный метод испытаний - Испытание на истирание колеса на мокром песке/резине

3 Термины и определения

В настоящем стандарте принят стандарт ISO 3611:2010 и следующие термины и определения:
Твердые сплавы : Композитный материал, изготовленный из карбида вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальта (Co) в качестве связующей фазы с помощью процесса порошковой металлургии.

Истирание: потеря материала, вызванная относительным скольжением твердых частиц или шероховатых поверхностей.

Скорость износа: объем или масса материала, потерянного за единицу времени или за единицу пути скольжения, выраженная в мм³/м или мг/м.

Контрфейс Колесо: Колесо, которое контактирует с образцом и производит относительное

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

движение, может быть изготовлено из стали или резины.

Абразив: твердые частицы, такие как кварцевый песок или оксид алюминия, используемые для имитации износа.

4 Принцип теста

Испытание на износ заключается в контакте образца карбида с противостоящим колесом при определенных условиях, приложении определенной нагрузки и расстояния скольжения, использовании абразивов (таких как сухой песок или мокрый песок) для имитации среды износа, измерении потери массы или потери объема образца и расчете скорости износа. Метод испытания ссылается на стандарты ASTM G65 (сухой песок/резиновое колесо), ASTM B611 (износ при высоких напряжениях) и ASTM G105 (мокрый песок/резиновое колесо) и дополняет их, и применим к различным условиям износа.

5 Тестовое оборудование

5.1 Тестер износа

Прибор для испытания на износ с регулируемой нагрузкой, диапазон нагрузки 5-130 Н, точность $\pm 0,5$ Н.

Скорость скольжения: 0,1-1 м/с, отклонение $\leq \pm 0,05$ м/с.

Расстояние скольжения: можно установить до 1000 м, точность ± 1 м.

5.2 Противоположные колеса

Стальной круг: твердость HRC 55-60, диаметр 228 мм (± 1 мм), ширина 12,7 мм ($\pm 0,1$ мм).

Резиновое колесо: твердость по Шору А 60-65, диаметр 228 мм (± 1 мм), ширина 12,7 мм ($\pm 0,1$ мм).

5.3 Система подачи абразива

частиц 200-300 мкм) или оксид алюминия (размер частиц 100-200 мкм) , чистота $>98\%$.

Скорость подачи: 250-300 г/мин, отклонение $\leq \pm 5$ г/мин (сухой).

Мокрое испытание: суспензия на водной основе, концентрация абразива 10-20 мас. %.

5.4 Инструменты измерения

Прецизионные весы: точность $\pm 0,1$ мг.

Штангенциркуль: точность $\pm 0,02$ мм.

Профилировщик поверхности: измеряет глубину износа с точностью $\pm 0,001$ мм.

5.5 Контроль окружающей среды

Температура: от 10°C до 35°C, рекомендуется $20 \pm 5^\circ\text{C}$.

Влажность: 30%-80%, рекомендуется $50 \pm 10\%$.

Контролируемые химические среды (например, кислотные или щелочные растворы).

6. Подготовка образца

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.1 Требования к образцам

Форма образца: кубоид, размеры $76 \times 25,4 \times 6,35$ мм ($\pm 0,1$ мм) или скорректированная в соответствии с протоколом.

Испытуемая поверхность должна быть ровной и не иметь трещин, оксидных слоев или дефектов обработки.

Шероховатость поверхности $Ra < 0,2$ мкм (полированная).

6.2 Количество образцов

Количество образцов в каждой партии должно быть не менее 3 для обеспечения статистической репрезентативности.

Если отклонение результата велико ($> 10\%$), количество образцов необходимо увеличить до 5.

6.3 Маркировка образцов

Образцы должны быть промаркированы номером партии, маркой (например, YG8, YT15) и испытываемыми образцами, при этом маркировка не должна затрагивать область испытания.

6.4 Очистка образцов

Перед испытанием очистите поверхность образца безводным этанолом, чтобы удалить масло и пыль, и используйте его после высыхания.

После испытания для удаления остатков абразива использовался ультразвуковой очиститель (40 кГц, 5 мин).

6.5 Начальное измерение

Измерьте начальную массу (точность $\pm 0,1$ мг) и толщину (точность $\pm 0,02$ мм) образца.

7 этапов теста

7.1 Калибровка оборудования

Тестер калибруется с использованием стандартной нагрузки с отклонением $< \pm 0,5$ Н.

Проверьте состояние противоположных колес, чтобы убедиться в отсутствии износа или загрязнений на поверхности.

7.2 Условия испытаний

Температура окружающей среды: от 10°C до 35°C , рекомендуется $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Относительная влажность: 30%-80%, рекомендуется $50 \pm 10\%$.

Химическая среда: выберите в соответствии с протоколом (например, деионизированная вода, 1% HCl).

7.3 Тестовая эксплуатация

Установите образец на испытательное устройство, прижмите его к противоположному колесу и приложите нагрузку (рекомендуется 45 Н).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Выберите условия теста:

Сухой тип: с использованием стального колеса, подача кварцевого песка 250 г/мин, расстояние скольжения 4300 м.

Мокрого типа: с использованием резиновых колес, подача мокрого песка, расстояние скольжения 4300 м.

Запустите испытательную машину и запишите расстояние скольжения и износ образца.

Каждый образец тестировался один раз и повторялся 3–5 раз для обеспечения стабильности результатов.

7.4 Измерение результата

После испытания образцы очищали, высушивали и измеряли конечную массу (точность $\pm 0,1$ мг).

Глубину износа измеряли с помощью поверхностного профилометра (точность $\pm 0,001$ мм).

Рассчитаем потерю массы: $\Delta m = m_0 - m_1$ (m_0 — начальная масса, m_1 — конечная масса).

7.5 Расчет скорости износа

Скорость износа:

$$W = \frac{\Delta m}{L}$$

в:

W — скорость износа, мг/м;

Δm — потеря массы, в мг;

L — расстояние скольжения в метрах.

Или рассчитать объемную скорость износа (необходимо объединить плотность):

$$V = \frac{\Delta m}{\rho \cdot L}$$

в:

V — объемная скорость износа, мм³/м;

ρ — плотность материала в г/см³.

8 Оценка результатов теста

8.1 Диапазон скорости износа

Скорость износа карбида варьируется в зависимости от условий испытаний и марки:

YG6 (6% Co): сухой 0,5-1,0 мг/м³, влажный 0,3-0,7 мг/м³.

YG8 (8% Co): сухой тип 0,7-1,2 мг/м³, мокрый тип 0,5-0,9 мг/м³.

YT15 (5% Co + TiC) : сухой 0,4-0,8 мг/м, мокрый 0,2-0,6 мг/м.

8.2 Оценка отклонения

из 3-5 образцов составляет $\leq \pm 10\%$, в противном случае требуется повторное тестирование.

Если скорость износа превышает ожидаемый диапазон, необходимо проанализировать

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

причину (например, неравномерный размер абразивных частиц и дефекты поверхности образца).

8.3 Анализ влияющих факторов

Жесткость противолежащих колес: Скорость износа стальных колес выше, чем резиновых (отклонение > 20%).

Размер абразивных частиц: Размеры частиц > 300 мкм увеличивают скорость износа (отклонение > 15%).

Химическая среда: Кислотные среды (например, 1% HCl) ускоряют коррозионный износ (отклонение > 30%).

Нагрузка: Нагрузки > 130 Н могут привести к растрескиванию образца и повлиять на результаты.

9 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

Информация о образце: марка, номер партии, размер, содержание Со.

Условия испытаний: модель оборудования, тип противостоящего колеса (сталь/резина), нагрузка (Н), расстояние скольжения (м), тип абразива и размер частиц, окружающая среда (влажная/сухая/химическая).

Результаты испытаний: начальная масса, конечная масса, потеря массы, скорость износа, глубина износа и среднее значение, отклонение.

Заключение по оценке: соответствует ли оно ожидаемому диапазону.

Дата испытания и подпись оператора.

Приложение А (Информационное приложение) Типичные справочные значения скорости износа карбида

Бренд	Содержание Со (мас. %)	Скорость сухого износа (мг/м)	Скорость мокрого износа (мг/м)	Типичные применения
YG6	6	0,5-1,0	0,3-0,7	Горнодобывающие буровые коронки
YG8	8	0,7-1,2	0,5-0,9	Режущие инструменты
YT15	5	0,4-0,8	0,2-0,6	Инструменты для отделки

Приложение В (информационное приложение) Требования к тестовой среде

Температура: от 10°C до 35°C, рекомендуется 20±5°C.

Влажность: 30%-80%, рекомендуется 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивных газовых сред (если только не проводятся испытания в особых химических средах).

Горизонтальность испытательного стенда: отклонение < 0,02 мм/м.

Приложение С (Информационное приложение) Примеры условий испытаний на износ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Тип теста	Противоположное колесо	Нагрузка(Н)	Расстояние скольжения (м)	Абразивный	среда
Сухой	Стальные диски	45	4300	Кварцевый песок 250 мкм	Воздух
Влажный	Резиновое колесо	45	4300	Мокрый песок 200 мкм	вода
Химический	Стальные диски	45	2000	Кварцевый песок 250 мкм	1% HCl

приложение:

Стандартный метод испытаний ASTM B611-13
— Высокая износостойкость твердых материалов

1 Область применения

1.1 Этот стандартный метод испытаний предназначен для проверки износостойкости при высоких напряжениях твердых материалов, в первую очередь карбида, но также применим к керамике, керметам и твердым покрытиям на основе металла с твердостью, превышающей 55 HRC. Этот метод имитирует условия износа при высоких напряжениях, в которых абразивные частицы разрушаются, используя стальной круг для принуждения абразива к контакту с образцом, в отличие от испытаний на износ при низких напряжениях с использованием резиновых кругов (таких как методы G65, G105 и G75).

1.2 В этом методе испытаний в качестве абразивной среды используется водная суспензия, содержащая частицы оксида алюминия, и абразив продавливается по плоской поверхности образца с помощью вращающегося стального колеса, находящегося в линейном контакте с вращающимся колесом, погруженным в суспензию.

1.3 Если единицы измерения указаны в формате дюйм-фунт, то используются единицы СИ, а в скобках указаны приблизительные эквиваленты.

1.4 Этот стандарт не пытается охватить все вопросы безопасности. Тестирующий несет ответственность за установление соответствующих правил безопасности и охраны здоровья для каждой конкретной ситуации и за оценку применимости нормативных ограничений.

1.5 Настоящий международный стандарт подготовлен в соответствии с принципами разработки международных стандартов, руководств и рекомендаций Комитета по техническим барьерам в торговле Всемирной торговой организации.

2 Значение и использование

2.1 Добыча полезных ископаемых из земной коры обычно требует использования металлических инструментов для разрушения горных пород. Эти инструменты часто покрыты, облоочены или покрыты твердыми материалами, такими как карбид. Бурение, разрушение и перемещение горных пород вызывает износ под высоким напряжением там, где поверхность инструмента контактирует с горной породой, с давлением, достаточным для разрушения горной породы. Этот метод испытаний имитирует эти условия и используется для отбора новых материалов для таких применений. Его также можно использовать в качестве инструмента контроля качества для применений с износом под высоким напряжением, таких как шламовые насосы, дробильное оборудование, резак для вторичной переработки, оборудование для сноса и т. д.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

2.2 Большинство испытаний на износ используют износ при низком напряжении, где абразив остается относительно неповрежденным во время испытания. Износ при высоком напряжении имитирует сценарий применения, где силы между абразивом и инструментом/деталью достаточно велики, чтобы раздавить абразив.

3 Термины и определения

Износ под высоким напряжением: тип износа, при котором абразив разрушается под действием достаточной силы, вызванной контактом стального круга с образцом.

Износ под низким напряжением: тип износа, при котором абразив остается относительно неповрежденным во время испытания, обычно вызываемый резиновыми колесами.

Износостойкость: способность материала противостоять износу, выражаемая в объеме износа или потере массы.

4 Тестовое оборудование

4.1 Устройство для испытания на износ

Состоит из вращающегося стального колеса (диаметр 228,6 мм, ширина 12,7 мм), которое вращается со скоростью 200 ± 10 об/мин.

Материал стального колеса — закаленная сталь с твердостью ≥ 60 HRC.

4.2 Абразив

оксида алюминия (Al_2O_3) с размером частиц 200-280 меш.

4.3 Крепление образца

линейный контакт со стальным колесом, а сила нагрузки составляет 250 ± 5 Н.

4.4 Контроль окружающей среды

Температура: от $15^{\circ}C$ до $35^{\circ}C$, рекомендуемая $23 \pm 2^{\circ}C$.

Влажность: от 30% до 70%, рекомендуется $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

5. Требования к образцам

5.1 Материалы

Твердые покрытия на основе карбида, керамики, металлокерамики или металла с твердостью > 55 HRC.

5.2 Размеры

Размер образца: $50,8 \text{ мм} \times 25,4 \text{ мм} \times 6,35 \text{ мм}$ (длина $\times$ ширина $\times$ высота), допуск $\pm 0,1$ мм.

гладкая, шероховатость $Ra \leq 0,2$ мкм.

5.3 Подготовка поверхности

Для шлифования используйте алмазную наждачную бумагу зернистостью от 600 до 1200 и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

полировальную жидкость на основе оксида алюминия зернистостью 0,25 мкм для полировки.

5.4 Количество образцов

Для статистического анализа использовались три образца каждого материала.

6 Процедуры испытаний

6.1 Подготовка оборудования

Проверьте поверхность стального колеса на наличие видимого износа или трещин и при необходимости замените его.

Отрегулируйте захваты образца так, чтобы сила нагрузки составляла 250 ± 5 Н.

6.2 Тестовая эксплуатация

Образец закрепляется в приспособлении в линейном контакте со стальным колесом.

Добавьте в испытательный аппарат 200 мл суспензии оксида алюминия.

Вращайте стальное колесо со скоростью 200 ± 10 об/мин в течение 600 оборотов (примерно 3 минуты).

После испытания достаньте образец, очистите его безводным этанолом и высушите.

6.3 Измерение

Потерю массы образцов измеряли с помощью прецизионных весов (точность $\pm 0,001$ г).

Запишите начальную массу m_1 и конечную массу m_2 и вычислите потерю массы $\Delta m = m_1 - m_2$.

6.4 Повторяемость

Повторите тест дважды для каждого образца и возьмите среднее значение.

7 Расчет результата

7.1 Скорость износа

Скорость износа выражается как потеря массы (г) или потеря объема (мм^3).

Потерю объема можно рассчитать, разделив потерю массы на плотность материала:

$$V = \frac{\Delta m}{\rho}$$

где ρ — плотность материала (г/см^3).

7.2 Относительная износостойкость

Потеря массы образца сравнивается с потерей массы эталонного материала (например, стандартного твердого сплава) и рассчитывается относительная износостойкость.

7.3 Оценка результатов

Убедитесь, что среднее отклонение потери массы трех образцов составляет $< \pm 5\%$, в

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

противном случае требуется повторное испытание.

8 Факторы Влияния

8.1 Размер абразивных частиц: Отклонение размера частиц от 200–280 меш может привести к отклонению результатов на 5–10 %.

8.2 Сила нагрузки: Отклонение силы от 250 ± 5 Н может повлиять на скорость износа на 3–5 %.

8.3 Состояние стального колеса: Износ поверхности колеса может увеличить погрешность испытания на 2–4%.

9 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

Информация об образце: тип материала, твердость, размер.

Условия испытаний: скорость вращения колеса, сила нагрузки, тип абразива, температура окружающей среды (от 15°C до 35°C), влажность (30%-70%).

Результаты испытаний: начальная масса, конечная масса, потеря массы, среднее значение и отклонение.

Относительная износостойкость (если применимо).

Дата испытания и подпись оператора.

Приложение А (Информационное приложение) Типичные контрольные значения износа материала

Тип материала	Твёрдость (HRC)	Потеря массы (г)	Типичные применения
Твердый сплав (YG6)	88	0,02-0,05	Горнодобывающие буровые коронки
керамика	75	0,05-0,10	Износостойкое покрытие
Облицовка на основе металла	60	0,10-0,15	Дробильное оборудование

Приложение В (Информационное приложение) Требования к окружающей среде

Температура: от 15°C до 35°C, рекомендуемая $23 \pm 2^\circ\text{C}$.

Влажность: 30%-70%, рекомендуется $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

Горизонтальность испытательного стенда: отклонение $< 0,02$ мм/м.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

ASTM E23-18

Метод испытания на удар надрезанного образца

Стандартные методы испытаний металлических материалов на удар с помощью надрезанного стержня

1 Область применения

В настоящем стандарте описывается метод определения энергии поглощения удара образцов с надрезом с помощью испытаний на удар по Шарпи или Изоду при комнатной температуре (от 10 °C до 35 °C) или низкой температуре (от -196 °C до 0 °C) для металлических материалов, включая принципы испытаний, требования к оборудованию, подготовку образцов, этапы испытаний, расчет и оценку результатов, отчет об испытаниях и т. д. Настоящий стандарт применим к металлическим материалам с различными типами надрезов (таким как сталь, цементированный карбид, титановый сплав и т. д.), но не применим к неметаллическим материалам или средам с температурой, превышающей 35 °C.

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для датированных ссылочных документов применима только ссылочная версия. Для недатированных ссылочных документов применима последняя версия (включая все редакции) настоящего стандарта.

Стандарт ASTM E4-21 для калибровки машин для испытания на силу, сжатие и деформацию
Стандартный метод испытаний ASTM E23-16с для ударных испытаний образцов с надрезом (историческая версия)

ISO 148-1:2016 Металлические материалы. Испытание на ударную вязкость на маятниковом копре Шарпи. Часть 1. Метод испытания.

Стандартный метод испытаний ASTM E2298-19 — инструментальное испытание на удар

3 Термины и определения

В настоящем стандарте принят ASTM E23-18 и следующие термины и определения:

Энергия удара: Энергия, поглощенная образцом с надрезом при испытании на удар, измеряемая в джоулях (Дж), отражает ударную вязкость материала.

Испытание по Шарпи: испытание, в котором для измерения поглощения энергии при ударе маятника используется образец консольной балки.

Испытание по Изоду: испытание для определения поглощения энергии при ударе маятника с использованием образца балки с одной опорой.

Тип надреза: На образце имеются предварительно выполненные надрезы, в том числе V-образный надрез (глубина 2 мм, угол 45°, радиус основания 0,25 мм) и U-образный надрез (глубина 5 мм, радиус основания 1 мм).

4 Принцип теста

Испытание на удар сбрасывает маятник с определенной высоты, чтобы ударить по

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

предварительно надрезанному образцу металла, измеряет оставшуюся кинетическую энергию (или потерю энергии) после того, как маятник разбивает образец, и вычисляет энергию удара, поглощенную образцом. Эта энергия отражает вязкость и поведение материала при разрушении под высокоскоростной нагрузкой. Испытание применимо к конфигурациям Шарпи или Изода, и конкретная формула выглядит следующим образом:

$$E = mgh - mgh'$$

в:

E — энергия поглощения удара, в Дж;

m — масса маятника, в кг;

g — ускорение свободного падения, около 9,81 м/с² ;

h — начальная высота, в метрах;

h' — остаточная высота после разрушения, в метрах (обычно измеряется косвенно по углу наклона маятника).

5 Тестовое оборудование

5.1 Машина для испытания на удар

Маятниковый копер с диапазоном энергии от 150 Дж до 750 Дж, точностью ±1 Дж, калиброван по ASTM E4-21.

Высота срабатывания маятника: регулируемая, начальный угол 150°.

5.2 Крепление образца

Приспособление для испытания по Шарпи: расстояние между опорами 40 мм (±0,05 мм), плоскостность опорной поверхности <0,01 мм.

Зажим Изода: одинарная опора, высота 28 мм (± 0,05 мм), равномерное усилие зажима.

5.3 Инструменты измерения

Штангенциркуль: точность ±0,02 мм, используется для измерения размера образца.

Устройство для измерения угла: точность ±0,1°, используется для калибровки положения маятника.

5.4 Криогенное оборудование (опционально)

Охлаждающая камера с жидким азотом или сухим льдом, диапазон температур от -196°C до 0°C, точность ±2°C.

5.5 Контроль окружающей среды

Температура: от 10°C до 35°C (комнатная температура) или от -196°C до 0°C (холодная температура), рекомендуемая температура 20±5°C.

Влажность: 30%-80%, рекомендуется 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

6. Подготовка образца

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.1 Тип образца

Образец Шарпи: размер $55 \times 10 \times 10$ мм ($\pm 0,1$ мм), надрез в центре.

Образец Изода: Размеры: $75 \times 10 \times 10$ мм ($\pm 0,1$ мм), надрез расположен на расстоянии 28 мм от одного конца.

6.2 Подготовка зазора

V-образный надрез: глубина 2 мм ($\pm 0,025$ мм), угол 45° ($\pm 0,5^\circ$), радиус основания 0,25 мм ($\pm 0,025$ мм).

U-образный надрез: глубина 5 мм ($\pm 0,025$ мм), радиус основания 1 мм ($\pm 0,025$ мм).

Поверхность надреза гладкая и без заусенцев, подготовлена проволочной резкой или фрезерованием.

6.3 Требования к образцам

Поверхность образца гладкая, без трещин, оксидного слоя и дефектов обработки.

Шероховатость поверхности $R_a < 0,2$ мкм (полированная).

Края образцов были скошены под углом $0,1 \times 45^\circ$ для снижения концентрации напряжений.

6.4 Количество образцов

Количество образцов в каждой партии должно быть не менее 3 для обеспечения статистической репрезентативности.

Если отклонение результата велико (> 10 Дж), количество образцов необходимо увеличить до 5.

6.5 Очистка образцов

Перед испытанием очистите поверхность образца безводным этанолом, чтобы удалить масло и пыль, и используйте его после высыхания.

6.6 Маркировка образцов

Образцы должны быть промаркированы номером партии, маркой (например, сталь YG8, 1045) и элементами испытаний, причем маркировка не должна затрагивать область испытаний.

6.7 Обработка низкой температурой (опционально)

Поместите образец в охлаждающую камеру и поддерживайте указанную температуру в течение 15–30 минут для обеспечения равномерного охлаждения.

7 этапов теста

7.1 Калибровка оборудования

Ударный испытательный прибор калибруется с использованием стандартного маятника с отклонением энергии $< \pm 1$ Дж.

Проверьте размеры приспособления и выемки, отклонение должно быть $< \pm 0,025$ мм.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.2 Условия испытаний

Температура окружающей среды: от 10°C до 35°C (комнатная температура) или от -196°C до 0°C (низкая температура), рекомендуется 20±5°C.

Относительная влажность: 30%-80%, рекомендуется 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

7.3 Тестовая эксплуатация

Закрепите образец в приспособлении (конфигурация Шарпи или Иззи), убедившись, что выемка обращена в сторону удара маятника.

Отпустите маятник и запишите энергию удара $E E \Delta$ (Дж).

Каждый образец тестировался один раз и повторялся 3–5 раз для обеспечения стабильности результатов.

Если проводятся испытания при низкой температуре, образец должен быть испытан немедленно (<5 с) после извлечения из холодильной камеры.

7.4 Наблюдение за поверхностью излома (необязательно)

Поверхности излома исследовали с помощью оптического микроскопа (увеличение 50×) и регистрировали тип излома (хрупкий или пластичный).

8 Оценка результатов теста

8.1 Диапазон поглощения энергии удара

Диапазон поглощения энергии удара металлическими материалами: 5-200 Дж, конкретное значение зависит от материала и температуры:

Твердый сплав (YG8, комнатная температура): 10-20 Дж.

Закаленная сталь (1045, комнатная температура): 50-80 Дж.

Алюминиевый сплав (6061-T6, комнатная температура): 20-40 Дж.

При низких температурах (-40°C) потребление энергии обычно снижается на 20–50%.

8.2 Оценка отклонения

из 3-5 образцов <±10 Дж, в противном случае требуется повторное испытание.

Если энергетическая ценность превышает технические требования к материалу, необходимо проанализировать причины (например, качество надреза, дефекты образца).

8.3 Анализ влияющих факторов

Качество надреза: погрешность радиуса основания надреза > 0,025 мм или шероховатость поверхности > 0,2 мкм приведет к снижению энергии (отклонение > 15%).

снижение температуры >20°C значительно снизит энергию (отклонение >30%).

Скорость нагрузки: Отклонение скорости маятника >0,05 м/с повлияет на результаты (отклонение ±5%).

Микроструктура: Неравномерный размер зерна (>±0,2 мкм) или высокая пористость снижают прочность (отклонение >10%) .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

9 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

Информация о образце: тип материала, марка, номер партии, размер, тип надреза (V/U).

Условия испытаний: модель оборудования, тип приспособления (Шарпи/Изод), температура испытания (°C), влажность окружающей среды (30%-80%).

Результаты испытаний: энергия поглощения удара E E каждого образца E (Дж), среднее значение и отклонение, тип разрушения (если наблюдается).

Заключение по оценке: соответствует ли материал техническим требованиям.

Дата испытания и подпись оператора.

Приложение А (Информационное приложение) Справочные значения энергии удара типичных металлических материалов

Тип материала	Бренд/категория	Энергия удара (Дж, комнатная температура)	Энергия удара (Дж, -40°C)	Типичные применения
Твердый сплав	YG8	10-20	5-10	Режущие инструменты
Закаленная сталь	1045 (HRC 30)	50-80	20-40	Механические части
Алюминиевый сплав	6061-T6	20-40	10-20	Аэрокосмические конструкции

Приложение В (информационное приложение) Требования к тестовой среде

Температура: от 10°C до 35°C (комнатная температура) или от -196°C до 0°C (холодная температура), рекомендуемая температура 20±5°C.

Влажность: 30%-80%, рекомендуется 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

Горизонтальность испытательного стенда: отклонение <0,02 мм/м.

Приложение С (Информационное приложение) Связь между размером зазора и энергией

Тип зазора	Глубина (мм)	Угол (°)	Радиус корня (мм)	Энергетическое воздействие (%)
V-образный	2	45	0,25	Показатели
U-образная форма	5	0	1.0	Увеличить на 10%-20%

Подвести итог

ASTM E23-18 "Метод испытания ударной вязкости надрезанных образцов" обеспечивает

стандартизированную процедуру испытания ударной вязкости металлических материалов и обеспечивает точность и повторяемость результатов испытаний посредством стандартизированной подготовки образцов, этапов испытаний и оценки результатов. Внедрение этого стандарта помогает оценить ударопрочность металлических материалов (таких как цементированный карбид и сталь) и обеспечивает надежную техническую поддержку для таких областей применения, как машиностроение, строительство и энергетика.

приложение:

ASTM G65-16

Метод испытания на износ колес на сухом песке/резине

Стандартный метод испытаний для измерения истирания с использованием

Аппарат для сухого песка/резинового колеса

1 Область применения

Этот стандарт определяет лабораторный метод измерения стойкости к царапанию металлических материалов с помощью сухого песка/резинового круга, включая принципы испытаний, требования к оборудованию, подготовку образцов, этапы испытаний, расчет и оценку результатов, отчет об испытаниях и т. д. Этот стандарт применим к испытанию на износостойкость металлических материалов (включая цементированный карбид, сталь, сплав и т. д.) и направлен на получение повторяемых данных по рейтингу стойкости материала к царапанию при определенных условиях. Этот стандарт не применим к неметаллическим материалам или попыткам полностью имитировать реальные рабочие условия (например, коррозионные среды или условия удара).

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для датированных ссылочных документов применима только ссылочная версия. Для недатированных ссылочных документов применима последняя версия (включая все редакции) настоящего стандарта.

Стандарт ASTM E4-21 для калибровки машин для испытания на силу, сжатие и деформацию
ASTM G105-02(2013) Стандартный метод испытаний - Испытание на истирание колеса на мокром песке/резине

ASTM B611-13 Стандартный метод испытаний на износостойкость при высоких нагрузках твердых сплавов

3 Термины и определения

В настоящем стандарте принят ASTM G65-16 и следующие термины и определения:

Царапание, истирание: потеря материала, вызванная относительным скольжением твердых частиц по поверхности материала под определенным давлением.

Потеря объема: объем материала, потерянный образцом после испытания на износ, в кубических миллиметрах (мм^3).

Скорость износа: объем материала, потерянный на единицу расстояния скольжения, выраженный в $\text{мм}^3/\text{м}$.

Контрфейс Колесо: Резиновое колесо, которое контактирует с образцом и производит относительное движение, с твердостью по Шору А 60-65.

Абразив: Твердые частицы, используемые для имитации износа, под которыми в настоящем стандарте понимается сухой песок (например, кварцевый песок).

4 Принцип теста

Испытание на износ сухим песком/резиновым колесом оценивает износостойкость

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

материала путем контакта металлического образца с вращающимся резиновым колесом в абразивной среде сухого песка, приложения определенной нагрузки и расстояния скольжения, а также измерения потери массы или объема образца из-за износа царапин. Условия испытаний стандартизированы для обеспечения повторяемости результатов, а результаты испытаний сообщаются в виде потери объема (мм^3). Материалы с более высокой износостойкостью имеют меньшую потерю объема.

5 Тестовое оборудование

5.1 Тестер износа

Устройство для испытания на сухом песке/резиновом колесе с регулируемой нагрузкой, диапазон нагрузки 5-130 Н, точность $\pm 0,5$ Н.

Скорость скольжения: 0,1-1 м/с, отклонение $\leq 0,05$ м/с.

Расстояние скольжения: можно установить до 4300 м, точность ± 1 м.

5.2 Резиновое колесо

Твёрдость: 60-65 по Шору А.

Диаметр: 228 мм (± 1 мм), ширина 12,7 мм ($\pm 0,1$ мм).

Поверхность не имеет дефектов и требует регулярной замены для обеспечения однородности.

5.3 Система подачи абразива

Абразив: сухой кварцевый песок, размер частиц 200-300 мкм, чистота $>98\%$.

Скорость подачи: 250-300 г/мин, отклонение $\leq \pm 5$ г/мин.

Поток песка равномерно распределяется через сопло стандартной геометрии (ширина 1 мм).

5.4 Инструменты измерения

Прецизионные весы: точность $\pm 0,1$ мг.

Штангенциркуль: точность $\pm 0,02$ мм.

Профилировщик поверхности: измеряет глубину износа с точностью $\pm 0,001$ мм.

5.5 Контроль окружающей среды

Температура: от 10°C до 35°C , рекомендуется $20 \pm 5^\circ\text{C}$.

Влажность: 30%-80%, рекомендуется $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

6. Подготовка образца

6.1 Требования к образцам

Форма образца: кубоид, размеры $76 \times 25,4 \times 6,35$ мм ($\pm 0,1$ мм) или скорректированная в соответствии с протоколом.

Испытуемая поверхность должна быть ровной и не иметь трещин, оксидных слоев или дефектов обработки.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Шероховатость поверхности $Ra < 0,2$ мкм (полированная).

6.2 Количество образцов

Количество образцов в каждой партии должно быть не менее 3 для обеспечения статистической репрезентативности.

Если отклонение результата велико ($>10\%$), количество образцов необходимо увеличить до 5.

6.3 Маркировка образцов

Образцы должны быть маркированы номером партии, маркой (например, сталь YG8, AISI 1020) и наименованием объекта испытаний, при этом маркировка не должна влиять на область испытаний.

6.4 Очистка образцов

Перед испытанием очистите поверхность образца безводным этанолом, чтобы удалить масло и пыль, и используйте его после высыхания.

После испытания для удаления остатков абразива использовался ультразвуковой очиститель (40 кГц, 5 мин).

6.5 Начальное измерение

Измерьте начальную массу (точность $\pm 0,1$ мг) и толщину (точность $\pm 0,02$ мм) образца.

7 этапов теста

7.1 Калибровка оборудования

Тестер калибруется с использованием стандартной нагрузки с отклонением $< \pm 0,5$ Н.

Проверьте состояние резинового колеса, чтобы убедиться, что поверхность не изношена и не загрязнена.

7.2 Условия испытаний

Температура окружающей среды: от 10°C до 35°C , рекомендуется $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Относительная влажность: 30%-80%, рекомендуется $50 \pm 10\%$.

Условия проведения испытаний: сухая, без жидкой среды.

7.3 Тестовая эксплуатация

В настоящем стандарте предусмотрено пять процедур испытаний (A, B, C, D, E), выбранных в зависимости от износостойкости материала:

Процедура A: Испытание на высокий износ, нагрузка 130 Н, скорость вращения колеса 200 об/мин, расстояние скольжения 4300 м, подходит для материалов со средней и высокой износостойкостью.

Программа B: Кратковременный вариант, нагрузка 130 Н, скорость вращения колеса 200 об/мин, расстояние скольжения 718 м, подходит для материалов с низкой и средней износостойкостью (используйте при потере объема $> 100 \text{ мм}^3$).

Программа C: Кратковременный вариант, нагрузка 130 Н, скорость вращения колеса 200 об/мин, расстояние скольжения 71,8 м, подходит для тонких покрытий.

Программа D: Облегченный вариант, нагрузка 45 Н, скорость вращения колеса 200 об/мин, расстояние скольжения 4300 м,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

подходит для материалов с низкой износостойкостью.

Программа E: Кратковременный вариант, нагрузка 45 Н, скорость вращения колеса 200 об/мин, путь скольжения 718 м, подходит для материалов с низкой и средней износостойкостью.

Образец устанавливается на испытательной установке, контактирует с резиновым колесом и прикладывается нагрузка.

Запустите испытательную машину и запишите расстояние скольжения и износ образца.

Каждый образец тестировался один раз и повторялся 3–5 раз для обеспечения стабильности результатов.

7.4 Измерение результата

После испытания образцы очищали, высушивали и измеряли конечную массу (точность $\pm 0,1$ мг).

Глубину износа измеряли с помощью поверхностного профилометра (точность $\pm 0,001$ мм).

Рассчитаем потерю массы: $\Delta m = m_0 - m_1$ (m_0 — начальная масса, m_1 — конечная масса).

7.5 Расчет потери объема

Потеря объема:

$$V = \frac{\Delta m}{\rho}$$

В:

V — потеря объема в мм^3 ;

Δm потеря массы, в мг;

ρ — плотность материала в г/см^3 .

Скорость износа:

$$W = \frac{V}{L}$$

В:

W — скорость износа в $\text{мм}^3/\text{м}$;

L — расстояние скольжения в метрах.

8 Оценка результатов теста

8.1 Диапазон потери объема

Диапазон потери объема в металлических материалах варьируется в зависимости от процедуры и материала:

Твердый сплав (YG8, процедура A): $10\text{--}20 \text{ мм}^3$.

Мягкая сталь (AISI 1020, Процедура A): $50\text{--}100 \text{ мм}^3$.

Высокоизносостойкие материалы (Процедура B): $5\text{--}15 \text{ мм}^3$.

8.2 Оценка отклонения

из 3-5 образцов составляет $\leq \pm 10\%$, в противном случае требуется повторное тестирование.

Если потеря объема превышает ожидаемый диапазон, необходимо проанализировать причину (например, неравномерный размер абразивных частиц и дефекты поверхности образца).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8.3 Анализ влияющих факторов

Размер абразивных частиц: Размеры частиц > 300 мкм увеличат потерю объема (отклонение > 15%).
Нагрузка: Нагрузки > 130 Н могут привести к растрескиванию образца и повлиять на результаты.
Твердость резинового колеса: твердость > 65 по Шору А увеличит износ (отклонение > 10%).
Микроструктура: Неравномерный размер зерна ($\geq \pm 0,2$ мкм) или высокая пористость увеличат потерю объема (отклонение > 10%).

9 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:
Информация о образце: тип материала, марка, номер партии, размер.
Условия испытаний: модель оборудования, тип процедуры (A/B/C/D/E), нагрузка (Н), расстояние скольжения (м), тип абразива и размер частиц, температура окружающей среды (от 10°C до 35°C), влажность (30%-80%).
Результаты испытаний: начальная масса, конечная масса, потеря массы, потеря объема (мм³), скорость износа (мм³/м), глубина износа и среднее значение, отклонение.
Заключение по оценке: соответствует ли оно ожидаемому диапазону.
Дата испытания и подпись оператора.

Приложение А (Информационное приложение) Справочные значения потери объема типичных металлических материалов

Тип материала	Бренд/категория	Процедура А Потеря объема (мм ³)	Процедура В Потеря объема (мм ³)	Типичные применения
Твердый сплав	YG8	10-20	5-10	Режущие инструменты
Мягкая сталь	АИСИ 1020	50-100	20-40	Конструктивные части
Покрытие с высокой износостойкостью	WC-10Co-4Cr	5-15	2-8	Горнодобывающее оборудование

Приложение В (информационное приложение) Требования к тестовой среде

Температура: от 10°C до 35°C, рекомендуется 20±5°C.
Влажность: 30%-80%, рекомендуется 50±10%.
Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.
Горизонтальность испытательного стенда: отклонение < 0,02 мм/м.

Приложение С (Информационное приложение) Сравнение процедур испытаний

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

программа	Нагрузка(Н)	Расстояние скольжения (м)	Область применения
А	130	4300	Материалы со средней и высокой износостойкостью
Б	130	718	Материалы со средней и низкой износостойкостью
С	130	71,8	Тонкое покрытие
Д	45	4300	Материал с низкой износостойкостью
Э	45	718	Материалы со средней и низкой износостойкостью



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com

1



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

EN ISO 6507-1:2018

Испытание на твердость по Виккерсу

Металлические материалы

— Испытание на твердость по Виккерсу — Часть 1: Метод испытания

1 Область применения

Этот стандарт определяет метод определения твердости металлических материалов с помощью испытания на твердость по Виккерсу при комнатной температуре (от 10°C до 35°C), включая принцип испытания, требования к оборудованию, подготовку образцов, этапы испытания, расчет и оценку результатов, отчет об испытании и т. д. Этот стандарт применим к испытанию на твердость по Виккерсу в диапазоне от HV 1 до HV 3000, охватывающему различные нагрузки (от 0,098 Н до 2942 Н). Этот стандарт не применим к испытанию на твердость мелких или тонкостенных образцов (толщина <0,1 мм) или материалов с покрытием.

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для датированных ссылочных документов применяется только ссылочная версия. Для недатированных ссылочных документов применяется последняя версия (включая все поправки) настоящего стандарта.

EN ISO 6507-2:2018 Металлические материалы. Испытание на твердость по Виккерсу. Часть 2. Проверка и калибровка твердомеров.

EN ISO 6507-3:2018 Металлические материалы. Испытание на твердость по Виккерсу. Часть 3. Стандарты калибровки.

EN ISO 376:2011 Металлические материалы. Стандарты калибровочной силы

EN ISO 18265:2013 Металлические материалы. Преобразование твердости в прочность

3 Термины и определения

В настоящем стандарте принят стандарт EN ISO 6507-1:2018 и следующие термины и определения:

Твердость по Виккерсу (HV): способность металлического материала противостоять проникновению индентора по Виккерсу, выражаемая значением твердости по Виккерсу в Н/мм² (или МПа), рассчитанным по диагональной длине отпечатка.

Индентор Виккерса: индентор в виде квадратной алмазной пирамиды с углом при вершине 136°.

Диагональ отпечатка: Длина двух диагоналей квадратного отпечатка, образующегося при вдавливании индентора Виккерса в поверхность образца, в мм.

Испытательная нагрузка (F): сила, приложенная к индентору Виккерса, в ньютонах (Н) в диапазоне от 0,098 Н до 2942 Н.

выдержки : время, в течение которого сохраняется нагрузка после приложения нагрузки индентором, в секундах (с).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

4 Принцип теста

Испытание на твердость по Виккерсу проводится путем вдавливания стандартного алмазного индентора Виккерса (угол при вершине 136°) в поверхность металлического образца с заданной нагрузкой, удержания его в течение определенного периода времени и последующей разгрузки, измерения длины двух диагоналей отпечатка (d_1 , d_2), вычисления средней длины диагонали (d), а затем вычисления значения твердости по Виккерсу (HV). Формула расчета имеет вид:

$$HV = \frac{1.8544 \times F}{d^2} \quad \text{В:}$$

F — испытательная нагрузка, в Н;

d — длина диагонали отпечатка, в мм, $d = \frac{d_1 + d_2}{2}$;

Единица твердости — Н/мм² (1 кгс /мм² $\approx$ 9,807 Н/мм²).

5 Тестовое оборудование

5.1 Твердомер по Виккерсу

Соответствует требованиям проверки и калибровки стандарта EN ISO 6507-2:2018.

Диапазон нагрузки: от 0,098 Н до 2942 Н (HV от 0,01 до HV 30), точность $\pm 0,5\%$.

Контроль времени удержания: от 5 с до 60 с, отклонение $< \pm 0,5$ с.

5.2 Напор

Стандартный алмазный индентор Виккерса, угол при вершине 136° ($\pm 0,5^\circ$).

Поверхность индентора не имеет дефектов и имеет четкие края (микроскопический осмотр, разрешение $< 0,5$ мкм).

5.3 Измерительное устройство

Оптический микроскоп: увеличение 50×-1000×, рекомендуется 400×, разрешение $< 0,5$ мкм.

Оснащен цифровой системой считывания с точностью измерения $\pm 0,001$ мм.

5.4 Калибровочный блок

Стандартные калибровочные образцы в соответствии с EN ISO 6507-3:2018, диапазон твердости HV 100-3000, отклонение $< \pm 2\%$.

Шероховатость поверхности калибровочного образца составляет $Ra < 0,05$ мкм.

5.5 Контроль окружающей среды

Температура: от 10°C до 35°C, рекомендуется 20 $\pm$ 5°C.

Влажность: 30%-80%, рекомендуется 50 $\pm$ 10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

6. Подготовка образца

6.1 Требования к образцам

Форма образца: кубоид, цилиндр или другая правильная геометрическая форма, площадь

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

испытываемой поверхности $>5 \times 5$ мм, толщина $>0,5$ мм (зависит от нагрузки).

Испытуемая поверхность должна быть ровной и не иметь трещин, оксидных слоев или дефектов обработки.

Шероховатость поверхности $Ra < 0,1$ мкм (полированная), для испытаний с низкой нагрузкой ($<9,807$ Н) $Ra < 0,05$ мкм.

Толщина образца должна соответствовать следующим требованиям: толщина $\geq 1,5 \times$ диагональную длину отпечатка.

6.2 Количество образцов

Количество образцов в каждой партии должно быть не менее 3 для обеспечения статистической репрезентативности.

Если отклонение результата велико ($>3\%$), количество образцов необходимо увеличить до 5.

6.3 Маркировка образцов

Образцы должны быть маркированы номером партии, маркой (например, сталь YG8, S235JR) и наименованием объекта испытаний, при этом маркировка не должна влиять на область испытаний.

6.4 Очистка образцов

Перед испытанием очистите поверхность образца безводным этанолом или ацетоном для удаления масла, пыли и используйте его после высыхания.

7 этапов теста

7.1 Калибровка оборудования

Используйте стандартный калибровочный блок для калибровки твердомера. Выберите калибровочный блок, который соответствует испытательной нагрузке. Измерьте 3 раза. Отклонение твердости составляет $\leq \pm 1\%$.

Проверьте состояние индентора, чтобы убедиться в отсутствии износа и дефектов.

7.2 Условия испытаний

Температура окружающей среды: от 10°C до 35°C , рекомендуется $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Относительная влажность: 30%-80%, рекомендуется $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

7.3 Выбор нагрузки

Выберите нагрузку в зависимости от твердости материала и толщины образца:

рекомендуется 294,2 Н (30 кгс, HV 30).

Сталь: от 50 Н до 294,2 Н (HV 5 – HV 30).

Тонкостенные образцы: от 0,098 Н до 9,807 Н (HV от 0,01 до HV 1).

Нагрузка должна обеспечивать, чтобы диагональная длина d углубления находилась в диапазоне от 0,020 мм до 1,400 мм.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.4 Тестовая эксплуатация

Поместите образец на рабочий стол твердомера, убедившись, что поверхность испытания ровная.

Выберите подходящую нагрузку (например, 294,2 Н) и удерживайте ее в течение 10–15 с (или отрегулируйте в соответствии с требованиями материала).

Индентор медленно вдавливается в поверхность образца и автоматически разгружается после сохранения нагрузки.

образца необходимо измерить 5 точек отпечатка, при этом расстояние между отпечатками должно превышать 3 длины диагонали ($> 0,3$ мм), а расстояние от края образца должно составлять $> 0,5$ мм.

7.5 Измерение и расчет

Длины двух диагональных линий отпечатка (d_1 , d_2) измеряли с помощью оптического микроскопа с точностью $\pm 0,001$ мм.

Рассчитаем среднюю длину диагонали:

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

Рассчитайте твердость по Виккерсу:

$$HV = \frac{1.8544 \times F}{d^2}$$

За значение твердости образца принимают пять точек отпечатка с отклонением $\leq \pm 3\%$.

8 Оценка результатов теста

8.1 Диапазон значений твердости

Диапазон твердости металлических материалов по Виккерсу: HV 100-3000, конкретное значение зависит от материала:

Твердый сплав (YG8): HV 1450-1550.

Закаленная сталь (42CrMo4): HV 500-700.

Алюминиевый сплав (6082-T6): HV 50-150.

8.2 Оценка отклонения

5 точек отпечатка составляют $\leq \pm 3\%$, в противном случае требуется повторное тестирование. Если значение твердости превышает технические требования к материалу, необходимо проанализировать причину (например, дефекты поверхности, несоответствие нагрузки).

8.3 Анализ влияющих факторов

Выбор нагрузки: если нагрузка слишком низкая ($< 0,098$ Н), четкий отпечаток может не образоваться; если нагрузка слишком высокая (> 2942 Н), образец может деформироваться.

Качество поверхности: Шероховатость поверхности $R_a > 0,1$ мкм приведет к более низким значениям твердости (отклонение $> 5\%$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

выдержки : время <5 с или >60 с повлияет на размер отпечатка (отклонение $\pm 2\%$).
Толщина образца: Толщина $< 1,5 \times$ диагональной длины отпечатка приведет к эффекту поддержки и высокому значению твердости (отклонение $> 10\%$).

9 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

Информация о образце: тип материала, марка, номер партии, размер.

Условия испытаний: модель оборудования, нагрузка (Н), время выдержки (с), температура окружающей среды (от 10°C до 35°C), влажность (30%-80%).

Результаты испытаний: средняя диагональная длина каждого отпечатка (d), значение твердости (HV), среднее значение твердости и отклонение.

Заключение по оценке: соответствует ли материал техническим требованиям.

Дата испытания и подпись оператора.

Приложение А (Информационное приложение) Справочные значения твердости по Виккерсу для типичных металлических материалов

Тип материала	Бренд/категория	Твёрдость по Виккерсу (HV)	Типичная нагрузка (Н)	Типичные применения
Твердый сплав	YG8	1450-1550	294.2	Режущие инструменты
Закаленная сталь	42CrMo4	500-700	294.2	Механические части
Алюминиевый сплав	6082-T6	50-150	9.807	Аэрокосмические конструкции
чугун	EN-GJL-250	200-300	98.07	Блок двигателя

Приложение В (Информационное приложение) Таблица зависимости твердости по Виккерсу от нагрузки

Нагрузка(Н)	Символ твердости	Диапазон диагональной длины отступа (мм)	Применимые материалы
0,098	BH 0,01	0,020-0,050	Тонкие стенки или небольшие образцы
9.807	ГВ 1	0,050-0,150	Мягкие металлы (например, алюминий)
98.07	HV10	0,150-0,400	Материалы средней твердости (например, чугун)
294.2	HV30	0.400-1.000	Твердый сплав, сталь
2942	HV300	1.000-1.400	Сверхтвердые материалы

Приложение С (информационное приложение) Требования к тестовой среде

Температура: от 10°C до 35°C , рекомендуется $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Влажность: 30%-80%, рекомендуется $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

Горизонтальность испытательного стенда: отклонение $< 0,02$ мм/м.

EN ISO 6507-1:2018 «Металлические материалы. Испытание на твердость по Виккерсу» обеспечивает стандартизированную процедуру испытания на твердость по Виккерсу металлических материалов, гарантируя точность и повторяемость результатов испытаний посредством стандартизированной подготовки образцов, этапов испытаний и оценки результатов. Внедрение этого стандарта применимо к контролю качества и оценке эксплуатационных характеристик материалов, таких как твердый сплав, сталь и алюминиевые сплавы, обеспечивая надежную техническую поддержку для таких областей применения, как машиностроение, аэрокосмическая промышленность и изготовление пресс-форм.

приложение:

EN ISO 18265:2013

Металлические материалы - Преобразование твердости в прочность

Металлические материалы — Преобразование значений твердости

1 Область применения

Этот стандарт определяет метод преобразования между различными методами испытания твердости и между значениями твердости и пределом прочности металлических материалов. Этот стандарт применим к металлам на основе железа (таким как углеродистая сталь, легированная сталь, нержавеющая сталь) и цветным металлам (таким как алюминий, медь и их сплавы). Метод преобразования основан на эмпирических данных и применим к значениям твердости, измеренным при комнатной температуре (от 10°C до 35°C). Этот стандарт не применим к преобразованию твердости твердых сплавов (таких как WC-Co), сверхтвердых материалов (таких как алмаз) или материалов поверхностного упрочнения (таких как цементируемая сталь).

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для датированных ссылочных документов применяется только ссылочная версия. Для недатированных ссылочных документов применяется последняя версия (включая все поправки) настоящего стандарта.

EN ISO 6506-1:2014 Металлические материалы. Испытание на твердость по Бринеллю. Часть 1. Метод испытания.

EN ISO 6507-1:2018 Металлические материалы. Испытание на твердость по Виккерсу. Часть 1. Метод испытания.

EN ISO 6508-1:2016 Металлические материалы. Испытание на твердость по Роквеллу. Часть 1. Метод испытания.

EN ISO 4545-1:2017 Металлические материалы. Испытание на твердость по Кнупу. Часть 1. Метод испытания.

EN ISO 6892-1:2019 Металлические материалы. Испытание на растяжение. Часть 1. Метод испытания при комнатной температуре.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте принят стандарт EN ISO 18265:2013 и следующие термины и определения:

Твёрдость: способность металлического материала противостоять проникновению индентора, измеряемая с помощью различных методов (таких как Виккерс, Бринелль, Роквелл и Кнуп).

Предел прочности на растяжение (R_m): максимальное напряжение, которое может выдержать металлический материал при испытании на растяжение, измеряемое в МПа.

Преобразование: процесс преобразования одного значения твердости в другое значение твердости или предела прочности на разрыв на основе эмпирических соотношений.

Твёрдость по Виккерсу (HV): Значение твёрдости, измеренное с помощью теста на твёрдость

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

по Виккерсу, единица измерения — Н/мм².

Твёрдость по Бринеллю (HBW): Значение твёрдости, измеренное с помощью испытания на твёрдость по Бринеллю, единицей измерения является HBW (твердосплавный шариковый индентор).

Твёрдость по Роквеллу (HR): Значение твёрдости, измеренное с помощью теста на твёрдость по Роквеллу. Распространенные шкалы — HRC, HRB и HRA.

4 Принцип преобразования

Перевод между твердостью и твердостью или между твердостью и прочностью на растяжение основан на эмпирических данных и регрессионном анализе. Соотношение перевода зависит от типа материала, состояния термообработки и микроструктуры (например, размера зерна, распределения фаз). В этом стандарте приведены таблицы перевода и формулы, но результаты перевода являются лишь приблизительными значениями, а отклонение может достигать $\pm 10\%$. При переводе следует учитывать следующие факторы: Категория материала: металлы на основе железа (например, углеродистая сталь, легированная сталь) или цветные металлы (например, алюминий, медь).

Диапазон твердости: Различные методы испытаний на твердость имеют применимые диапазоны (например, HRC 20-70).

Условия испытаний: нагрузка испытания на твердость, время выдержки и качество поверхности образца.

5 Условия конвертации

5.1 Область применения

Металлы на основе железа: углеродистая сталь, легированная сталь, нержавеющая сталь.

Цветные металлы: алюминий и алюминиевые сплавы, медь и медные сплавы.

Диапазон твердости:

Твёрдость по Виккерсу (HV): 100-1000.

Твёрдость по Бринеллю (HBW): 100-700.

Твёрдость по Роквеллу (HRC): 20-70.

Предел прочности при растяжении (Rm): 300-2000 МПа.

5.2 Ограничения

Не подходит для твердого сплава (например, WC-Co) и сверхтвердых материалов (например, алмаза).

Не подходит для поверхностной закалки материалов (например, цементации и азотирования слоев).

Он не подходит для материалов с аномальной микроструктурой (например, сильная сегрегация и высокая пористость).

Отклонение преобразования может составлять до $\pm 10\%$ и приводится только для справки.

5.3 Требования к испытаниям

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Испытание на твердость должно соответствовать соответствующим стандартам (например, EN ISO 6507-1:2018).

Шероховатость поверхности образца составляет $Ra < 0,1$ мкм, а толщина $\geq 1,5 \times$ диагональную длину отпечатка.

Температура окружающей среды: от 10°C до 35°C, рекомендуется 20±5°C.

6 Метод преобразования

6.1 Преобразование между твердостями

осуществляется с помощью таблиц, приведенных в стандарте. Некоторые примеры приведены ниже:

HRC в HV:

HRC 30 $\approx$ HV 320

HRC 50 $\approx$ HV 550

HRC 30 $\approx$ HV 320
HRC 50 $\approx$ HV 550

HV к HBW (углеродистая сталь):

VC 200 $\approx$ ВСД 190

VC 500 $\approx$ ВС 475

HV 200 $\approx$ HBW 190
HV 500 $\approx$ HBW 475

6.2 Преобразование между твердостью и прочностью на растяжение

Преобразование выполняется с помощью таблиц или формул, предусмотренных стандартом.

Некоторые примеры приведены ниже:

HRC по R_m (закаленная сталь):

HRC 30 $\approx$ R_m 900

МПaHRC 50 $\approx$ R_m 1500

HRC 30 $\approx$ R _m 900 MPa
HRC 50 $\approx$ R _m 1500 MPa

HBW к R_m (углеродистая сталь, нетермообработанная):

R_m $\approx$ 3,3 $\times$ HBW (HBW 100-400)

HBW 200 $\approx$ R_m 660 МПа

R _m $\approx$ 3.3 $\times$ HBW (HBW 100-400)
HBW 200 $\approx$ R _m 660 MPa

6.3 Структура таблицы преобразования

Таблица А: Преобразование твердости металлов на основе железа (углеродистая сталь, легированная сталь).

Таблица В: Преобразование твердости нержавеющей стали.

Таблица С: Преобразование твердости цветных металлов (алюминий, медь).

Таблица D: Преобразование твердости в прочность на разрыв.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7 Оценка результатов конверсии

7.1 Анализ отклонений

Отклонение преобразования твердости: $\pm 5\%$ - 10% в зависимости от материала и диапазона твердости.

Отклонение перевода твердости в предел прочности: $\pm 10\%$ - 15% в зависимости от состояния термообработки.

7.2 Факторы влияния

Микроструктура: Неравномерный размер зерна ($>\pm 0,2$ мкм) или неравномерное распределение фаз могут привести к большим отклонениям ($>10\%$).

Состояние термообработки: Отклонение конверсии закаленной и отпущенной стали и отожженной стали различно ($\pm 5\%$ - 15%).

Условия испытания: На точность преобразования влияют нагрузка, время выдержки и качество поверхности образца при испытании на твердость.

7.3 Рекомендации

Прямое испытание (например, испытание на растяжение) для определения прочности на растяжение предпочтительнее преобразования.

Результат преобразования носит исключительно справочный характер и при необходимости должен быть проверен (если отклонение составляет $>10\%$).

8 Отчет о конверсии

Отчет о конверсии должен включать следующее:

Информация о материале: тип материала, марка, статус термообработки.

Информация об испытании на твердость: метод испытания (например, по Виккерсу), нагрузка (H), значение твердости и отклонение.

Результаты пересчета: целевое значение твердости или предела прочности, основа пересчета (номер таблицы).

Оценка отклонений: диапазон отклонений преобразования и анализ влияющих факторов.

Дата отчета и подпись оператора.

Приложение А (Нормативное приложение) Таблица перевода твердости металлов на основе железа (частичные примеры)

ЧРК	ВВ	НВW	HRA	Применимые материалы
20	240	228	60	Мягкая сталь
30	320	304	67	Среднеуглеродистая сталь
40	420	400	73	Закаленная сталь
50	550	525	78	Высокопрочная сталь

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Приложение В (Нормативное приложение) Таблица преобразования твердости нержавеющей стали (частичные примеры)

ЧРК	ВВ	HBW	Применимые материалы
20	250	238	Аустенитная нержавеющая сталь
30	330	315	Мартенситная нержавеющая сталь
40	430	410	Дисперсионно-твердеющая нержавеющая сталь

Приложение С (Нормативное приложение) Таблица перевода твердости цветных металлов (частичные примеры)

HBW	ВВ	Применимые материалы
50	55	Чистый алюминий
100	110	Алюминиевый сплав (например, 6061)
150	165	латунь

Приложение D (Нормативное приложение) Таблица перевода твердости и предела прочности (некоторые примеры)

HBW	Rm R _m Rm (МПа)	Применимые материалы
150	495	Нетермообработанная углеродистая сталь
200	660	Нетермообработанная углеродистая сталь
300	1000	Закаленная и отпущенная сталь

Приложение E (Информационное приложение) Требования к тестовой среде

Температура: от 10°C до 35°C, рекомендуется 20±5°C.

Влажность: 30%-80%, рекомендуется 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

Подвести итог

EN ISO 18265:2013 «Металлические материалы. Преобразование между твердостью и прочностью» обеспечивает стандартизированную процедуру преобразования значений твердости металлических материалов и обеспечивает надежность и согласованность результатов преобразования, предоставляя подробные таблицы и условия преобразования. Внедрение этого стандарта помогает инженерам-материаловедам делать приблизительные оценки твердости и прочности при отсутствии условий прямых испытаний и подходит для анализа эксплуатационных характеристик материалов в областях машиностроения, строительства, энергетики и т. д.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

приложение:

EN ISO 6892-1:2019

Испытание металлических материалов на растяжение
Металлические материалы — Испытание на растяжение
— Часть 1: Метод испытания при комнатной температуре

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает метод испытания на растяжение металлических материалов при комнатной температуре (от 10°C до 35°C) для определения их механических свойств, включая предел текучести, предел прочности, удлинение после разрыва, усадку поперечного сечения и т. д. Настоящий стандарт применим к пруткам, пластинам, трубам, проволокам и обработанным деталям из различных металлических материалов (таких как сталь, алюминиевый сплав, медный сплав и т. д.). Настоящий стандарт не применим к испытаниям при температурах, превышающих диапазон от 10°C до 35°C, а также не применим к испытаниям микроразмерных образцов (таких как толщина <0,1 мм).

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для датированных ссылочных документов применяется только ссылочная версия. Для недатированных ссылочных документов применяется последняя версия (включая все поправки) настоящего стандарта.

EN ISO 7500-1:2018 Металлические материалы. Машины для испытаний на растяжение и сжатие. Часть 1. Эталонные устройства для калибровки усилия

EN ISO 9513:2012 Металлические материалы. Калибровка систем экстензометров

EN ISO 377:2017 Сталь и стальные изделия. Отбор проб и подготовка образцов для испытаний на растяжение

EN ISO 148-1:2016 Металлические материалы. Испытание на ударную вязкость на маятниковом копре Шарпи. Часть 1. Метод испытания.

EN ISO 18265:2013 Металлические материалы. Преобразование твердости в прочность

3 Термины и определения

В настоящем стандарте принят стандарт EN ISO 6892-1:2019 и следующие термины и определения:

Предел текучести (R_p) или заданная прочность на пластическое растяжение ($R_{p0.2}$): напряжение, при котором образец подвергается заданной пластической деформации при растяжении, выраженное в МПа.

Предел прочности на растяжение (R_m): максимальное напряжение, которое выдерживает образец при растяжении, выраженное в МПа.

Удлинение после разрыва (A): Процент пластического удлинения сечения базовой длины после разрыва образца до исходной базовой длины, выраженный в %.

Усадка сечения (Z): процент уменьшения площади поперечного сечения после разрыва образца до исходной площади поперечного сечения, выраженный в %.

Расчетная длина (L_0): начальная длина образца, используемого для измерения удлинения, в

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

MM.

4 Принцип теста

Испытание на растяжение заключается в приложении одноосной растягивающей нагрузки к образцу металла на универсальной испытательной машине до тех пор, пока образец не разорвется, регистрации кривой зависимости нагрузки от смещения и расчете параметров механических свойств (таких как предел текучести, предел прочности на растяжение, удлинение и т. д.). Процесс испытания делится на упругую стадию, стадию текучести, стадию равномерной пластической деформации и стадию разрушения шейки. Формула расчета механических свойств выглядит следующим образом:

屈服强度或规定塑性延伸强度:

$$R_p = \frac{F_p}{A_0}$$

抗拉强度:

$$R_m = \frac{F_m}{A_0}$$

断后延伸率:

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100$$

断面收缩率:

$$Z = \frac{A_0 - A_u}{A_0} \times 100$$

в:

F_p — предельная нагрузка, в Н;

F_m — максимальная нагрузка, в Н;

A_0 — исходная площадь поперечного сечения в мм² ;

L_0 — исходная длина датчика, в мм;

L_u — расчетная длина после разрыва, в мм;

A_u — минимальная площадь поперечного сечения после разрушения, в мм² .

5 Тестовое оборудование

5.1 Универсальная испытательная машина

Диапазон нагрузки: 0–1000 кН , точность $\pm 0,5\%$, в соответствии с требованиями калибровки EN ISO 7500-1:2018.

Регулирование скорости нагружения: скорость напряжения от 0,00025/с до 0,0025/с или скорость деформации от 0,0001/с до 0,001/с.

5.2 Экстензометр

Соответствует требованиям калибровки EN ISO 9513:2012 с точностью $\pm 0,5\%$.

Диапазон измерений: охватывает стадии упругой и пластической деформации образца.

5.3 Инструменты измерения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Штангенциркуль: точность $\pm 0,02$ мм, используется для измерения размера образца.

Микрометр: точность $\pm 0,001$ мм, используется для измерения площади поперечного сечения.

5.4 Контроль окружающей среды

Температура: от 10°C до 35°C , рекомендуется $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Влажность: 30%-80%, рекомендуется $50 \pm 10\%$.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

6. Подготовка образца

6.1 Тип образца

比例试样: 标距长度 L_0 与横截面积 A_0 的平方根成比例, 常用 $L_0 = 5.65\sqrt{A_0}$.

Непропорциональный образец: Длина датчика L_0 фиксирована, например, 50 мм или 80 мм.

Форма образца: круглая, прямоугольная, трубчатая или проволоочная. Конкретные размеры соответствуют EN ISO 377:2017.

6.2 Требования к образцам

Поверхность образца гладкая, без трещин, оксидного слоя и дефектов обработки.

Шероховатость поверхности $R_a < 0,2$ мкм (полированная).

Образцы отбираются в направлении прокатки материала, если не согласовано иное.

6.3 Количество образцов

Количество образцов в каждой партии должно быть не менее 3 для обеспечения статистической репрезентативности.

Если отклонение результата велико ($>10\%$), количество образцов необходимо увеличить до 5.

6.4 Маркировка образцов

Испытуемые образцы должны быть маркированы номером партии, маркой (например, S355JR, 6061-T6) и элементами испытаний, при этом маркировка не должна затрагивать область испытаний.

6.5 Образец измерения

Измерьте исходную площадь поперечного сечения образца A_0 и расчетную длину L_0 .
 L_0 , точность $\pm 0,02$ мм.

7 этапов теста

7.1 Калибровка оборудования

Испытательная машина была откалибрована с использованием стандартного датчика силы с отклонением нагрузки $< \pm 0,5\%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Измерение деформации калибровалось с использованием стандартного экстензометра с отклонением $\leq \pm 0,5\%$.

7.2 Условия испытаний

Температура окружающей среды: от 10°C до 35°C, рекомендуется 20±5°C.

Относительная влажность: 30%-80%, рекомендуется 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

7.3 Тестовая эксплуатация

Установите образец в приспособление испытательной машины, убедившись, что ось образца совпадает с осевой линией приспособления.

Приложите начальную нагрузку (не более 10% от предельной нагрузки) и устраните зазоры при монтаже.

Выберите скорость загрузки:

Упругая стадия: скорость напряжения от 0,00025/с до 0,0025/с.

Пластическая стадия: скорость деформации от 0,0001/с до 0,001/с.

Кривая «нагрузка-смещение» регистрировалась до тех пор, пока образец не разрушался.

Каждый образец тестировался один раз и повторялся 3–5 раз для обеспечения стабильности результатов.

7.4 Измерение результата

Запишите предельную нагрузку F_p и максимальную нагрузку F_m .

Используйте экстензометр для измерения деформации на стадии текучести (например, R_p 0,2).

После разрыва образца измерьте расчетную длину после разрыва L_u и площадь поперечного сечения A_u .

7.5 Расчет результата

屈服强度或 $R_{p0.2}$:

$$R_p = \frac{F_p}{A_0}$$

抗拉强度:

$$R_m = \frac{F_m}{A_0}$$

断后延伸率:

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100$$

断面收缩率:

$$Z = \frac{A_0 - A_u}{A_0} \times 100$$

8 Оценка результатов теста

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8.1 Диапазон механических свойств

Диапазон механических свойств металлических материалов зависит от материала:

低碳钢 (S355JR) :	$R_{p0.2}$ 355 MPa, R_m 470-630 MPa, A 20%-25%。
铝合金 (6061-T6) :	$R_{p0.2}$ 240 MPa, R_m 310 MPa, A 8%-12%。
不锈钢 (304) :	$R_{p0.2}$ 205 MPa, R_m 520 MPa, A 40%-50%。

8.2 Оценка отклонения

из 3-5 образцов составляет $\leq \pm 10\%$, в противном случае требуется повторное тестирование.
Если значение эксплуатационных характеристик превышает технические требования к материалу, необходимо проанализировать причины (например, дефекты образца, неправильная скорость нагружения).

8.3 Анализ влияющих факторов

Скорость нагрузки: Слишком высокая скорость ($>0,0025/c$) приведет к более высокому пределу текучести (отклонение $>5\%$).
Качество образца: Шероховатость поверхности $Ra >0,2$ мкм или дефекты могут привести к преждевременному разрушению (отклонение $>10\%$).
Выравнивание креплений: Неправильное выравнивание креплений может привести к концентрации напряжений и снижению удлинения (отклонение $>15\%$).
Микроструктура: Неравномерный размер зерна ($>\pm 0,2$ мкм) или чрезмерное количество включений снизят производительность (отклонение $>10\%$).

9 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:
Информация об образце: тип материала, марка, номер партии, размер, направление отбора проб.
Условия тестирования: модель устройства, скорость загрузки, температура окружающей среды (от $10^{\circ}C$ до $35^{\circ}C$), влажность (30%-80%).
Результаты испытаний: предел текучести ($R_{p0.2}$), предел прочности при растяжении (R_m), удлинение после разрыва (A), уменьшение площади сечения (Z), среднее значение и отклонение.
Заключение по оценке: соответствует ли материал техническим требованиям.
Дата испытания и подпись оператора.

Приложение А (Информационное приложение) Справочные значения механических свойств типичных металлических материалов

Тип материала	Бренд/категория	$R_{p0.2}$ (МПа)	R_m (МПа)	A (%)	Z (%)	Типичные применения
Мягкая сталь	S355JR	355	470-630	20-25	50-60	Структура здания
Алюминиевый сплав	6061-T6	240	310	8-12	20-30	Аэрокосмические конструкции

Тип материала	Бренд/категория	$R_{p0.2}$ (МПа)	R_m (МПа)	A(%)	Z(%)	Типичные применения
Нержавеющая сталь	304	205	520	40-50	60-70	Пищевое оборудование

Приложение В (Информационное приложение) Рекомендуемая таблица размеров образцов

Тип образца	Длина калибра L_0 (мм)	Площадь поперечного сечения A_0 (мм ²)	Применимые материалы
Пропорциональный образец для испытаний	$5.65\sqrt{A_0}$ A_0	50-200	Сталь, алюминиевый сплав
Непропорциональные образцы	50	20-100	Тонкие пластины, провода

Приложение С (информационное приложение) Требования к тестовой среде

Температура: от 10°C до 35°C, рекомендуется 20±5°C.

Влажность: 30%-80%, рекомендуется 50±10%.

Отсутствие вибрации и агрессивной газовой среды.

Горизонтальность испытательного стенда: отклонение <0,02 мм/м.

Часть 3: Оптимизация производительности твердого сплава

Глава 7: Контроль механических свойств твердого сплава

7.0 Механические свойства твердого сплава

7.0.1. Высокая твёрдость твёрдого сплава

7.0.1.0 Какова твёрдость твердого сплава?

7.0.1.1 Метод измерения твердости твердого сплава

7.0.1.2 Факторы, влияющие на твердость

7.0.1.3 Микроскопический механизм твёрдости

7.0.1.4 Прикладное значение твердости

7.0.1.5 Компромисс между твердостью и прочностью

7.0.1.6 Резюме

7.0.2. Трещиностойкость твердого сплава

7.0.2.1. Определение вязкости разрушения твердого сплава

7.0.2.2 Метод измерения вязкости разрушения твердого сплава

7.0.2.3 Факторы, влияющие на трещиностойкость твердого сплава

7.0.2.4. Микроскопический механизм трещиностойкости твердого сплава

7.0.2.5. Значение вязкости разрушения твердого сплава для применения

7.0.2.6 Оптимизация и будущее развитие вязкости разрушения твердого сплава

7.0.3. Прочность на сжатие твердого сплава

7.0.3.1 Определение прочности на сжатие твердого сплава

7.0.3.2. Метод измерения прочности на сжатие твердого сплава

7.0.3.3 Факторы, влияющие на прочность на сжатие твердого сплава

7.0.3.4. Микромеханизм прочности на сжатие твердого сплава

7.0.3.5. Значение прочности на сжатие твердого сплава для применения

7.0.3.6 Оптимизация и будущее развитие прочности на сжатие твердого сплава

7.0.4. Износостойкость твердого сплава

7.0.4.1. Определение износостойкости твердого сплава

7.0.4.2 Метод измерения износостойкости твердого сплава

7.0.4.3 Факторы, влияющие на износостойкость твердого сплава

7.0.4.4 Микромеханизм износостойкости твердого сплава

7.0.4.5. Значение износостойкости твердого сплава для применения

7.0.4.6 Оптимизация и дальнейшее развитие износостойкости твердого сплава

7.0.5. Сопротивление усталости твердого сплава

7.0.5.1. Определение сопротивления усталости твердого сплава

7.0.5.2 Метод измерения сопротивления усталости твердого сплава

7.0.5.3 Факторы, влияющие на усталостную прочность твердого сплава

7.0.5.4. Микроскопический механизм сопротивления усталости твердого сплава

7.0.5.5. Значение сопротивления усталости твердого сплава для прикладного применения

7.0.5.6 Оптимизация и дальнейшее развитие сопротивления усталости твердого сплава

7.0.6. Ударная прочность твердого сплава

7.0.6.1. Определение ударопрочности твердого сплава

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 7.0.6.2 Метод измерения ударной стойкости твердого сплава
- 7.0.6.4 Микроскопический механизм ударопрочности твердого сплава
- 7.0.6.5 Значение применения ударопрочности твердого сплава
- 7.0.6.6 Оптимизация и дальнейшее развитие ударопрочности твердого сплава
- 7.0.7 Комплексный анализ и применение механических свойств твердого сплава
 - 7.0.7.1 Компромиссы между механическими свойствами твердого сплава
 - 7.0.7.2 Стратегии оптимизации механических свойств твердого сплава
 - 7.0.7.3 Сценарии применения механических свойств твердого сплава
 - 7.0.7.4 Перспективы развития механических свойств твердого сплава
- 7.1 Баланс твердости и вязкости твердого сплава
 - 7.1.1 Эффект размера зерна (соотношение Холла-Петча)
 - 7.1.1.1 Влияние размера зерна
 - 7.1.1.2 Механизм Холла-Петча и механический анализ
 - 7.1.1.2.1 Количественное влияние содержания связующего на прочность
 - 7.1.1.2.2 Иерархическая связь между типом фазы связи и вязкостью
 - 7.1.1.2.3 Стратегия сильного компромисса и совместной оптимизации
 - 7.1.1.2.4 Проверка инженерной практики
 - 7.1.1.2.5 Заключительное признание
 - 7.1.2 Усталость и ударопрочность твердого сплава
 - 7.1.2.1 Рост трещин в твердом сплаве при циклическом нагружении (закон Парижа)
- 7.2 Анализ механизма разрушения твердого сплава
 - 7.2.1 Разрушение и откалывание твердого сплава (концентрация напряжений и микротрещины)
- 7.3 Стратегии улучшения характеристик твердого сплава
 - 7.3.1 Стратегия улучшения производительности твердого сплава — измельчение зерна твердого сплава
 - 7.3.2 Стратегии улучшения характеристик твердого сплава, добавки в твердый сплав (VC, TaC)
 - 7.3.3 Стратегии улучшения характеристик твердого сплава и упрочнения его поверхности
 - 7.3.4 Стратегия повышения производительности твердосплавных изделий — передовая технология производства твердосплавных изделий (3D-печать)
- 7.4 Тенденции будущего развития: применение AI+IoT в оптимизации производительности твердого сплава
 - 7.4.1 Оптимизация микроструктуры: точное проектирование на основе ИИ
 - 7.4.2 Мониторинг производительности в реальном времени: высокоточное восприятие IoT
 - 7.4.3 Прогнозирование отказов и интеллектуальное обслуживание: совместное применение AI+IoT
 - 7.4.4 Оптимизация процессов и интеллектуальное производство: эффективное взаимодействие ИИ+IoT
- 7.5 IoT отслеживает температуру цементации в режиме реального времени (850–950 °C, отклонение $\pm 1,5$ °C) для оптимизации качества цементируемого слоя.
- 7.6 Первый год применения ИИ в вольфрамовой промышленности Китая
 - 7.6.1 Практическое значение концепции «первый год ИИ в вольфрамовой промышленности Китая»
 - 7.6.2 Значение высокоэнтропийной обработки твердого сплава
 - 7.6.3 Значение дозирования карбида
 - 7.6.4 Перспективы и проблемы улучшения характеристик твердого сплава
- 7.7 Соответствующие внутренние и международные стандарты

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ссылки

Расписание

Баланс между твердостью и прочностью твердого сплава: основные эксплуатационные параметры
Факторы, влияющие на размер зерна, влияют на баланс между твердостью и прочностью твердого сплава
Факторы, влияющие на оптимизацию содержания связующей фазы для баланса твердости и вязкости твердого сплава
Основные эксплуатационные параметры твердого сплава по усталостной прочности и ударопрочности
Факторы, влияющие на рост трещин и сопротивление усталости твердого сплава
Факторы, влияющие на ударную вязкость твердого сплава
Основные эксплуатационные параметры механизма разрушения твердого сплава
Факторы, влияющие на износ твердого сплава
Факторы, влияющие на разрушение и скалывание твердого сплава
Основные эксплуатационные параметры улучшения производительности твердого сплава
Факторы, влияющие на измельчение зерна и добавки для улучшения эксплуатационных характеристик твердого сплава
Факторы, влияющие на поверхностное упрочнение твердого сплава, улучшают эксплуатационные характеристики

приложение

Что такое соотношение Холла-Петча ?
Что такое твердый сплав с градиентной структурой?
Различные концепции и функции цементации твердых сплавов
Науглероживание и обезуглероживание твердого сплава
Что такое струйная обработка связующим веществом твердого сплава?
Применение цементированного карбида в новом энергетическом электролизере
Твердосплавные высокоскоростные режущие инструменты
Фрезы шаровые твердосплавные
Концевые фрезы из твердого сплава
Фреза твердосплавная многозубая
Твердосплавное цельное сверло
Твердосплавный наружный токарный инструмент
Твердосплавные зубчатые фрезы
Твердосплавный резак для зубчатых колес ветряных турбин
GB/T 18376-2001 Метод испытания производительности твердого сплава
GB/T 230.1-2001 Испытание твердости металлических материалов по Роквеллу
Часть 1: Методы испытаний (шкала A, B, C)
GB/T 230.2-2001 Испытание твердости металлических материалов по Роквеллу. Часть 2: Проверка и калибровка твердомеров
GB/T 230.3-2001 Металлические материалы. Определение твердости по Роквеллу. Часть 3. Калибровка стандартных мер твердости.
GB/T 3848-2001 Метод определения плотности твердого сплава
GB/T 3850-2001 Метод определения прочности на изгиб твердого сплава
GB/T 3851-2001 Метод определения вязкости разрушения твердого сплава

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

GB/T 9097-2001 Метод определения магнитных свойств твердого сплава
GB/T 3849-2008 Метод испытания твердого сплава на твердость по Виккерсу
GB/T 7997-2010 Метод испытания вязкости разрушения твердого сплава
GB/T 3488-2008 Метод испытания микроструктуры твердого сплава
ISO/TR 19041:2015 Технический отчет по контролю микроструктуры твердого сплава: Дополнительное руководство по оценке дефектов
ISO 4884:2019 Метод определения магнитных свойств твердого сплава
ISO 3369:2006 Метод определения плотности твердого сплава
ISO 28079:2009 Метод определения вязкости разрушения твердого сплава
ISO 3878:1983 Метод определения твердости по Роквеллу для твердого сплава (шкала HRA)
ISO 3326:2013 Метод испытания твердого сплава на твердость по Виккерсу
ISO 4489-2:2020 Метод испытания прочности твердого сплава на изгиб Часть 2: Условия высоких температур
ISO 4489:2010 Метод определения прочности на изгиб твердого сплава
ISO 4499-3:2016 Твердый сплав. Исследование микроструктуры. Часть 3. Оценка пористости, включений, свободного углерода и эта-фазы
ISO 4499-2:2008 Твердый сплав. Исследование микроструктуры. Часть 2. Метод определения размера зерна.
ISO 4499-1:2006 Твердый сплав. Исследование микроструктуры. Часть 1. Общие указания.
ISO 3847:2005 Методы подготовки образцов из твердого сплава
Терминология по твердому сплаву ISO 3850:2018
ISO 3850:2018 Твердый металл . Словарь
GB/T 4295-2008 Метод оценки микроструктурных дефектов в твердом сплаве
GB/T 5249-2008 Общие технические условия на подготовку образцов из твердого сплава
ISO 28079:2009 Испытание на трещиностойкость образцов из твердого сплава в форме ладони
Твердые металлы — испытание на прочность по Палмквисту
ISO 6507-1:2018 Испытание твердости по Виккерсу для металлических материалов
Металлические материалы — испытание на твердость по Виккерсу
ISO 6507-1:2018 Металлические материалы. Испытание на твердость по Виккерсу. Часть 1. Метод испытания.
ISO 6507-2:2018 Металлические материалы. Испытание на твердость по Виккерсу. Часть 2. Проверка и калибровка твердомеров.
ISO 6507-3:2018 Металлические материалы. Испытание на твердость по Виккерсу. Часть 3. Стандарты калибровки.
ISO 3327:2009 Метод испытания прочности на сжатие твердого сплава
Твердые сплавы — Определение прочности на поперечный разрыв
Твердые сплавы . Испытания на истирание твердых сплавов.
ASTM B611-13 Стандартный метод испытаний на износостойкость твердых материалов при высоких нагрузках
ASTM E23-18 Метод испытания на удар образца с надрезом
Стандартные методы испытаний металлических материалов на удар с помощью надрезанного стержня
ASTM G65-16 Метод испытания на истирание сухого песка/резинового колеса

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Стандартный метод испытаний для измерения абразивного износа с использованием прибора «сухой песок/резиновый круг»

EN ISO 6507-1:2018 Испытание на твердость по Виккерсу

Металлические материалы — Испытание на твердость по Виккерсу — Часть 1: Метод испытания

EN ISO 18265:2013 Металлические материалы. Преобразование твердости в прочность

Металлические материалы — Преобразование значений твердости

EN ISO 6892-1:2019 Испытание металлических материалов на растяжение

Металлические материалы — Испытание на растяжение — Часть 1: Метод испытания при комнатной температуре

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com