

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

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

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

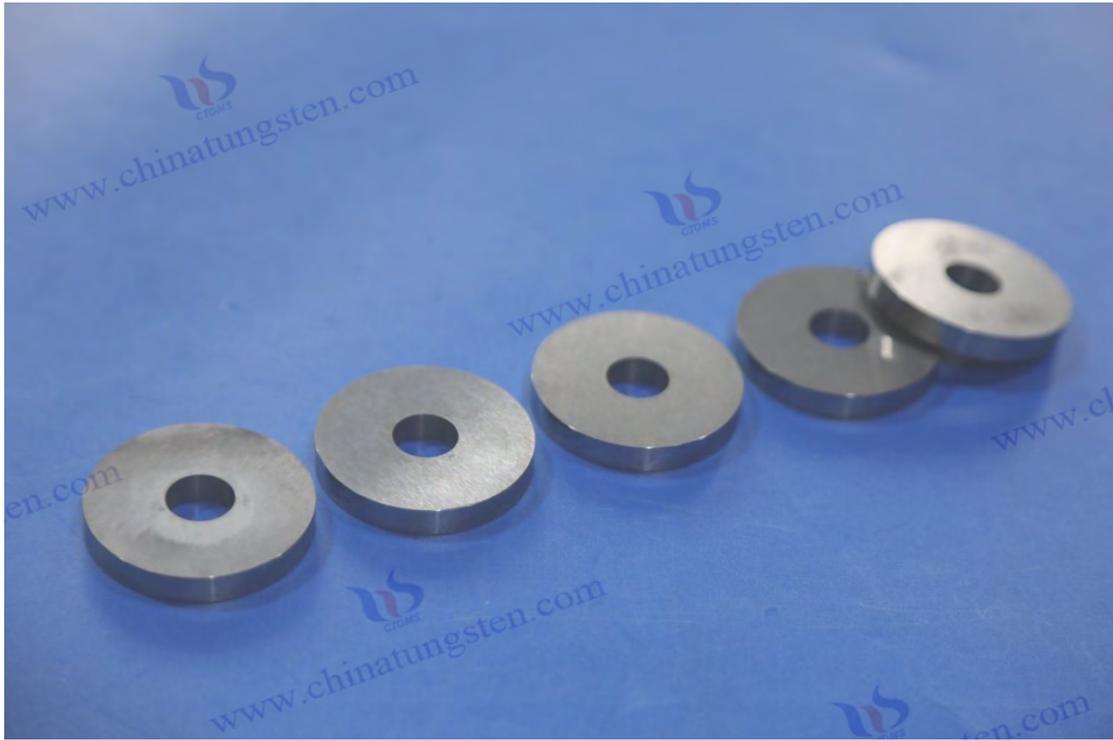
WeChat : Follow "China Tungsten Online"



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 2: Процесс приготовления твердого сплава

Глава 6: Технология покрытий и композитов

Твердый сплав (WCCo) играет важную роль в аэрокосмической, горнодобывающей, энергетической и глубоководной технике благодаря своей превосходной твердости (HV1500-2500±30), хорошей ударной вязкости (K_{Ic} 8-20 МПа·м^{1/2} ± 0,5) и превосходной прочности на сжатие (>4000 МПа±100 МПа). Однако в экстремальных рабочих условиях, при высоких температурах (>1000°C±10°C), сильной коррозии (рН<4±0,1) и сильном ударе (>10³Гц ± 100 Гц) предъявляются более высокие требования к эксплуатационным характеристикам поверхности, и один твердый сплав с трудом может полностью удовлетворить этим требованиям.

Технология покрытия и композита значительно повышает износостойкость (скорость износа <0,06 мм³/ Н·м ± 0,01 мм³/ Н·м), коррозионную стойкость (скорость коррозии <0,01 мм/год ± 0,002 мм/ год) и термическую усталостную стойкость (срок службы > 10⁵ раз ± 10⁴ раз) за счет модификации поверхности (толщина покрытия 10-200 мкм ± 1 мкм) и структурной оптимизации (градиентный слой, нано WC <100 нм ± 5 нм) . Эти технологии не только продлевают срок службы цементированного карбида, но и расширяют область его применения, например, лопатки авиационных турбин (срок службы > 5000 часов ± 500 часов), горнодобывающие буровые коронки (> 1500 м ± 100 м) и глубоководные клапаны (> 5 лет ± 0,5 года).

В этой главе рассматриваются ключевые процессы и технические принципы с четырех

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

аспектов: **подготовка покрытия из твердого сплава , материалы покрытия, градиентный и наноструктурированный твердый сплав и испытания эксплуатационных характеристик покрытия** . Подготовка покрытия фокусируется на технологии термического напыления (такой как HVOF, APS, детонационное напыление) и достигает покрытия высокой твердости (HV 1200-1500 ± 30) путем оптимизации параметров напыления (скорость 600-4000 м/с ± 10 м/с, температура 2000-15000 °C ± 100 °C); оптимизация материала охватывает WCCo , WCNiCr и многофазные покрытия (такие как WCTiCNi), балансируя твердость и вязкость (K_{1c} с 10-15 МПа·м^{1/2} ± 0,5); градиент и наноструктура улучшают комплексные характеристики (прочность > 4500 МПа ± 100 МПа) за счет проектирования интерфейса и укрепления нанокристаллов; Тестирование производительности проверяет надежность покрытия в соответствии со стандартами (такими как ASTM G65, ISO 6508). Каждый раздел объединяет детали процесса, научные механизмы, стратегии оптимизации и инженерные методы, чтобы раскрыть основную ценность технологии покрытий и композитов.

Например, покрытие WC12Co, нанесенное методом HVOF (скорость 700 м/с ± 10 м/с, толщина 100 мкм ± 1 мкм), позволяет лопаткам авиационных турбин сохранять низкий износ (< 0,05 мм³/Н·м ± 0,01 мм³/Н·м) в высокотемпературном воздушном потоке (1000 °C ± 10 °C), со сроком службы более 5000 часов ± 500 часов; градиентное покрытие WCCo (содержание Co 5%-15% ± 1%) повышает ударопрочность горнодобывающих буровых коронок, при глубине бурения 1800 м ± 100 м; нанопокрывание WC (зерно < 100 нм ± 5 нм) используется для глубоководных клапанов, со стойкостью к коррозии более 5 лет ± 0,5 года. Эта глава органично связана с главой 5 (формование и спекание, размер частиц WC 0,1–10 мкм ± 0,01 мкм, плотность > 99,5% ± 0,1%) посредством параметров процесса и данных о производительности, закладывая основу для последующих глав (применение и оптимизация).

6.1 Подготовка покрытия из твердого сплава

Покрывания из цементированного карбида готовятся методом термического напыления, физического/химического осаждения из паровой фазы (PVD/CVD) или лазерной наплавки для нанесения функциональных покрытий (толщина 10-200 мкм ± 1 мкм, твердость HV 1200-1500 ± 30) на высокопроизводительные подложки (твердость HV 1500-2500 ± 30, шероховатость поверхности Ra < 0,05 мкм ± 0,01 мкм). Эти покрытия значительно улучшают износостойкость (скорость износа < 0,06 мм³ / Н · м ± 0,01 мм³ / Н · м), коррозионную стойкость (скорость коррозии < 0,01 мм/год ± 0,002 мм/год) и стойкость к окислению при высоких температурах (прирост веса при окислении < 0,1 мг/см² ± 0,02 мг/см²), отвечая требованиям сложных условий работы. Технология термического напыления является предпочтительным выбором из-за ее высокой эффективности (скорость осаждения > 90% ± 2%), гибкости (применимый размер подложки > 100 мм ± 1 мм) и экономичности (стоимость < 500 долл. США/м² ± 50 долл. США) и широко применяется в авиации, горнодобывающей промышленности и энергетике.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

В этом разделе подробно рассматриваются три основные технологии высокоскоростного кислородного напыления (HVOF), плазменного напыления (APS) и детонационного напыления, а также анализируются принципы их процесса, оптимизация параметров и сценарии применения. Качество покрытия зависит от параметров напыления (скорость, температура, расстояние распыления), характеристик порошка (размер частиц $10-50 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, текучесть $12-15 \text{ секунд}/50 \text{ г} \pm 0,5 \text{ секунды}$) и предварительной обработки подложки (шероховатость $Ra \ 2-5 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$). С помощью механики термической жидкости (скорость струи $600-4000 \text{ м/с} \pm 10 \text{ м/с}$) и механизма связи интерфейса (прочность связи $50-80 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$) в этом разделе раскрывается основная технология.

Например, покрытие $WC_{12}Co$, напыленное методом HVOF (пористость $<1\% \pm 0,2\%$), используется для лопаток авиационных турбин с ресурсом по износу более $5000 \text{ часов} \pm 500 \text{ часов}$; покрытие $WCNiCr$, напыленное методом APS (толщина $150 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$), увеличивает срок службы горнодобывающих буровых коронок до $1500 \text{ м} \pm 100 \text{ м}$. Ниже приведено комплексное руководство по подготовке высокопроизводительных покрытий с точки зрения деталей процесса, влияющих факторов и инженерной практики.

6.1.1 Высокоскоростное напыление кислородного топлива (HVOF, твердость покрытия HV 1200-1500)

Обзор принципа процесса и технологии

Высокоскоростное напыление кислородного топлива (HVOF) — это высокоэффективная технология термического напыления, которая генерирует высокотемпературную и высокоскоростную струю посредством сгорания кислорода и топлива для осаждения порошковых материалов на цементированную карбидную подложку для формирования высокотвердого, износостойкого покрытия. Ядром HVOF является сверхзвуковая струя (скорость $600-800 \text{ м/с} \pm 10 \text{ м/с}$), которая частично расплавляет порошковые частицы (WC_{Co} , размер частиц $10-45 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$) и ударяет по подложке на высокой скорости, образуя плотное покрытие (пористость $<1\% \pm 0,2\%$).

По сравнению с традиционным напылением, HVOF имеет более низкую температуру ($2000-3000^{\circ}C \pm 50^{\circ}C$), эффективно избегая разложения WC ($<0,5\% \pm 0,1\%$), и подходит для получения высокопроизводительных покрытий из цементированного карбида. Оборудование HVOF включает распылительный пистолет (мощность $>100 \text{ кВт} \pm 10 \text{ кВт}$), камеру сгорания (давление $5-10 \text{ бар} \pm 0,5 \text{ бар}$) и сопло Лавалья (диаметр горловины $8-12 \text{ мм} \pm 0,1 \text{ мм}$). Кислород (чистота $>99,5\% \pm 0,1\%$, расход $800-1200 \text{ л/мин} \pm 10 \text{ л/мин}$) реагирует с топливом (например, керосином, расход $0,3-0,5 \text{ л/мин} \pm 0,01 \text{ л/мин}$) в камере сгорания, выделяя высокую энтальпию ($>10 \text{ МДж/кг} \pm 0,5 \text{ МДж/кг}$).

Струя разгоняется до сверхзвуковой скорости через сопло Лавалья, заставляя порошок ударяться о подложку (шероховатость $Ra \ 2-5 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$), образуя плоские брызговые

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

частицы (диаметр 50-100 мкм ± 5 мкм), обеспечивая прочность сцепления 50-80 МПа ± 5 МПа. Этот процесс позволяет достичь твердости покрытия HV 1200-1500 ± 30, что широко используется в авиации, горнодобывающей промышленности и других областях.

Параметры процесса и механизм осаждения

Формирование покрытия HVOF включает четыре этапа: горение, ускорение частиц, плавление и осаждение:

Стадия сгорания

Кислород реагирует с топливом, образуя высокотемпературную струю (3000°C ± 50°C), температура ниже точки разложения WC (~3500°C ± 50°C), что снижает потери карбида (<0,5% ± 0,1%). Тепловая энтальпия (>10 МДж/кг ± 0,5 МДж/кг) обеспечивает полный нагрев частиц.

Ускорение Частиц

Порошок ускоряется в струе (скорость 700 м/с ± 10 м/с, время пребывания <1 мс ± 0,1 мс), поверхность плавится (скорость плавления 70% -90% ± 2%), ядро остается твердым (расплавлено <50% ± 5%), а зерна WC (0,5-2 мкм ± 0,01 мкм) сохраняются.

Плавление и удар частиц

Полурасплавленные частицы ударяются о подложку, образуя плоские брызги, а механическое сцепление и следовая диффузия (глубина <1 мкм ± 0,1 мкм) формируют высокую прочность сцепления (> 60 МПа ± 5 МПа).

Затвердевание покрытия

Быстрое охлаждение (скорость >10⁶ К/с ± 10⁵ К/с) приводит к образованию плотного покрытия (пористость <1% ± 0,2%) с твердостью HV 1400 ± 30.

Динамика струи следует принципу Бернулли (скорость $\sim \sqrt{2\Delta P/\rho}$), $\rho \sim 1 \text{ кг/м}^3 \pm 0,1 \text{ кг/м}^3$, а теплопроводность составляет $10^{-4} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К} \pm 10^{-3} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$. Оптимизация расстояния распыления (250 мм ± 5 мм) и расхода кислорода (1000 л/мин ± 10 л/мин) может снизить пористость до <0,8% ± 0,1%. Например, покрытие WC12Co, напыленное методом HVOF (скорость 700 м/с ± 10 м/с, толщина 100 мкм ± 1 мкм), имеет твердость HV 1400 ± 30 и пористость <0,8% ± 0,1%, что соответствует высоким требованиям износостойкости лопаток авиационных турбин.

Анализ влияющих факторов

На эксплуатационные характеристики покрытия влияет множество факторов, и их необходимо тщательно контролировать:

Скорость распыления

Плотное покрытие (пористость <1% ± 0,2%) образуется при скорости 700 м/с ± 10 м/с. Ниже 600 м/с ± 10 м/с частицы имеют недостаточную кинетическую энергию и пористость увеличивается до >2% ± 0,5%. Выше 800 м/с ± 10 м/с частицы разрушаются (<5 мкм ± 1 мкм) и твердость снижается на 3% ± 0,5% (HV < 1200 ± 30).

Размер частиц порошка

10-45 мкм ± 1 мкм обеспечивает текучесть (12-15 секунд/50 ± 0,5 секунды) и скорость плавления (>80% ± 2%). Размер частиц <10 мкм ± 1 мкм летуч (>5% ± 1%),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

пористость $>1,5\% \pm 0,2\%$; $>45\mu\text{m} \pm 1\mu\text{m}$ недостаточно расплавлен ($<60\% \pm 2\%$), а прочность связи падает до $<40\text{ МПа} \pm 5\text{ МПа}$.

Расстояние распыления

$250\text{ мм} \pm 5\text{ мм}$ равновесная температура частиц ($\sim 2000^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$). Расстояние распыления $< 200\text{ мм} \pm 5\text{ мм}$, перегрев ($> 3000^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$), приводящий к разложению WC ($> 1\% \pm 0,2\%$); $> 300\text{ мм} \pm 5\text{ мм}$, охлаждение частиц ($< 1500^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$), прочность связи $< 50\text{ МПа} \pm 5\text{ МПа}$.

Шероховатость матрицы

Ra $2\text{-}5\mu\text{m} \pm 0,1\mu\text{m}$ улучшает механическое сцепление (прочность сцепления $>60\text{ МПа} \pm 5\text{ МПа}$). Шероховатость $<1\mu\text{m} \pm 0,1\mu\text{m}$, прочность сцепления $<40\text{ МПа} \pm 5\text{ МПа}$; $>8\mu\text{m} \pm 0,1\mu\text{m}$ вызывает концентрацию напряжений, скорость трещин $>1\% \pm 0,2\%$.

Расход топлива

$0,4\text{ л/мин} \pm 0,01\text{ л/мин}$ обеспечивает стабильную энергию ($>10\text{ МДж/кг} \pm 0,5\text{ МДж/кг}$). Расход $<0,3\text{ л/мин} \pm 0,01\text{ л/мин}$, пористость $>2\% \pm 0,5\%$; $>0,5\text{ л/мин} \pm 0,01\text{ л/мин}$, скорость окисления увеличивается до $>0,1\% \pm 0,02\%$.

Стратегия оптимизации

заключается в получении покрытия с высокой твердостью (HV 1400 ± 30) и низкой пористостью ($<0,8\% \pm 0,1\%$). Рекомендуется: использовать порошок WC12Co с размером частиц $10\text{-}30\text{ мкм} \pm 1\text{ мкм}$ для обеспечения высокой текучести ($12\text{-}15\text{ секунд}/50\text{ г} \pm 0,5\text{ секунды}$) и скорости плавления ($>80\% \pm 2\%$); контролировать скорость распыления до $700\text{ м/с} \pm 10\text{ м/с}$ и расстояние распыления до $250\text{ мм} \pm 5\text{ мм}$; контролировать шероховатость подложки до Ra $3\text{ мкм} \pm 0,1\text{ мкм}$ для улучшения прочности сцепления ($>70\text{ МПа} \pm 5\text{ МПа}$); установить расход топлива $0,4\text{ л/мин} \pm 0,01\text{ л/мин}$ и расход кислорода $1000\text{ л/мин} \pm 10\text{ л/мин}$; использовать замкнутую систему управления (отклонение температуры $<50^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$) для повышения стабильности процесса (отклонение пористости $<0,1\% \pm 0,02\%$).

Практика инженерного применения

Покрытие HVOF хорошо себя проявляет в суровых условиях:

Лопатки авиационных турбин

Напыленное методом HVOF покрытие WC12Co (толщина $100\text{ мкм} \pm 1\text{ мкм}$, твердость HV 1400 ± 30) имеет скорость износа $< 0,05\text{ мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м} \pm 0,01\text{ мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}$ и срок службы $> 5000\text{ часов} \pm 500\text{ часов}$ в высокотемпературном потоке воздуха $1000^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ (скорость $> 300\text{ м/с} \pm 10\text{ м/с}$), что значительно больше, чем у непокрытой подложки ($< 2000\text{ часов} \pm 200\text{ часов}$).

Горнодобывающие буровые коронки

Срок службы покрытия WC10Co4Cr, нанесенного методом HVOF (пористость $<0,8\% \pm 0,1\%$, прочность сцепления $>70\text{ МПа} \pm 5\text{ МПа}$), составляет $1500\text{ м} \pm 100\text{ м}$ при бурении твердых пород (частота ударов $>10^3\text{ Гц} \pm 100\text{ Гц}$), что на $50\% \pm 5\%$ больше.

Глубоководные клапаны

WCNiCr, нанесенное методом HVOF (толщина $150\text{ мкм} \pm 1\text{ мкм}$, твердость HV 1300 ± 30), имеет срок службы коррозионной стойкости $>5\text{ лет} \pm 0,5\text{ лет}$ в коррозионной среде морской воды (pH $8 \pm 0,1$, глубина $5000\text{ м} \pm 100\text{ м}$), что лучше, чем у традиционных покрытий ($<3 \pm 0,5\text{ лет}$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.1.2 Плазменное напыление (ПН) и детонационное напыление

Принцип процесса и технический обзор

Плазменное напыление (APS) и детонационное напыление являются технологиями высокоэнергетического термического напыления, которые управляют осаждением порошка посредством плазменных и детонационных ударных волн соответственно и подходят для модификации поверхности цементированных карбидных подложек (шероховатость Ra 2-5 мкм ± 0,1 мкм). APS использует поток высокотемпературной плазмы (> 10000 °C ± 100 °C) для полного расплавления порошка с образованием более толстого покрытия (50-300 мкм ± 1 мкм); детонационное напыление использует высокочастотный взрыв (5-10 Гц ± 0,1 Гц) для получения сверхвысокоскоростных частиц (2000-4000 м/с ± 10 м/с) для образования высокоплотного покрытия (пористость < 0,5% ± 0,1%). APS подходит для сложных геометрий (радиус кривизны > 5 мм ± 0,1 мм), а детонационное напыление известно своей высокой прочностью сцепления (> 80 МПа ± 5 МПа), что соответствует высоким требованиям надежности авиации и глубоководья. Твердость покрытия составляет от HV 1000 до 1400 ± 30, а износостойкость и коррозионная стойкость значительно улучшены.

Например, покрытие WC12Co, напыленное методом APS (толщина 150 мкм ± 1 мкм), используется для буровых коронок в горнодобывающей промышленности со сроком службы 1200 м ± 100 м; покрытие WCNiCr, напыленное взрывом (прочность сцепления > 80 МПа ± 5 МПа), используется для авиационных сопел со сроком службы > 3000 часов ± 300 часов. В этом разделе обсуждаются технические характеристики с точки зрения параметров процесса, механизма осаждения и сценариев применения.

Параметры процесса и механизм осаждения

Плазменное напыление (APS)

APS использует плазменную пушку (мощность 30-100 кВт ± 5 кВт) для создания высокотемпературного потока плазмы (температура > 10000 °C ± 100 °C, скорость 800-1200 м/с ± 10 м/с), который полностью расплавляет порошок (WCCo, размер частиц 15-50 мкм ± 1 мкм, текучесть 12-15 секунд/50 г ± 0,5 секунды) (скорость плавления > 95% ± 2%) и осаждает его на подложке. Параметры включают: плазменный газ (смешанный газ Ar / H₂, расход 50-80 л/мин ± 1 л/мин, чистота Ar > 99,99% ± 0,01%), расстояние распыления (100-150 мм ± 5 мм), параметры дуги (напряжение 50-80 В ± 1 В, ток 500-1000 А ± 10 А). Механизм осаждения основан на динамике плазмы (плотность ионов 10²² м⁻³ ± 10²¹ м⁻³). После того, как порошок полностью расплавится, он ударяется о подложку, образуя слой брызг (толщина 5-10 мкм ± 0,1 мкм/слой). После охлаждения покрытие имеет пористость 1% - 2% ± 0,2% и прочность связи 50-70 МПа ± 5 МПа. Например, напыленное APS покрытие WC12Co (толщина 150 мкм ± 1 мкм) имеет твердость HV 1200 ± 30 и пористость 1,5% ± 0,2%, что соответствует требованиям по износостойкости горнодобывающих буровых коронок.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Детонационное напыление

Детонационное напыление использует смесь топлива и кислорода (C_2H_2 / O_2 , соотношение 2,5:1±0,1) для взрыва в закрытой полости (давление >10 МПа±0,5 МПа, температура ~4000°C±50°C), заставляя порошок (WCNiCr, размер частиц 20-50 мкм±1 мкм) ударяться о подложку на сверхвысокой скорости (2000-4000 м/с±10 м/с). Параметры включают: частоту взрыва (5-10 Гц±0,1 Гц), расстояние распыления (150-200 мм±5 мм), соотношение топлива (C_2H_2 / O_2 2,5 : 1±0,1). Механизм основан на распространении ударных волн (скорость >3000 м/с±10 м/с), частичном плавлении порошка (скорость плавления 60%-80%±2%) и образовании сверхплотных покрытий (пористость <0,5%±0,1%, прочность связи >80 МПа±5 МПа). Например, детонационно-напыленное покрытие WCNiCr (толщина 100 мкм±1 мкм) имеет твердость HV 1300±30 и прочность связи >80 МПа±5 МПа. Оно используется для авиационных сопел и имеет срок службы >3000 часов±300 часов.

Анализ влияющих факторов

Плазменное напыление (APS)

Мощность плазмы

50 кВт±5 кВт обеспечивает полное расплавление порошка (>95%±2%). Мощность <30 кВт±5 кВт, пористость >3%±0,5%; >100 кВт±5 кВт, перегрев подложки (>500°C±10°C), скорость трещин >0,5%±0,1%.

Расстояние распыления

120 мм ± 5 мм оптимизирует эффективность осаждения (прочность сцепления > 60 МПа ± 5 МПа). Расстояние распыления < 100 мм ± 5 мм, скорость отслаивания покрытия > 1% ± 0,2%; > 150 мм ± 5 мм, пористость > 2% ± 0,2%.

Размер частиц порошка

15-45 мкм±1 мкм сбалансированное плавление и осаждение. Размер частиц <15 мкм±1 мкм, летучесть >5%±1%; >45 мкм±1 мкм, твердость уменьшается на 2%±0,5% (HV<1100±30).

Температура подложки

<200°C±10°C, избегать концентрации напряжений (<50 МПа±5 МПа); >300°C±10°C, скорость трещин >0,5%±0,1%.

Взрывное напыление

Частота взрыва

8 Гц±0,1 Гц контролирует толщину покрытия (10 мкм±0,1 мкм/время). При частоте >10 Гц±0,1 Гц скорость трещин составляет >0,5%±0,1%; при <5 Гц±0,1 Гц эффективность снижается на 30%±5%.

Расстояние распыления

180 мм ± 5 мм обеспечивает прочность сцепления (> 80 МПа ± 5 МПа). Расстояние распыления < 150 мм ± 5 мм, повреждение подложки > 0,01 мм ± 0,002 мм; > 200 мм ± 5 мм, прочность сцепления < 60 МПа ± 5 МПа.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Соотношение топлива

C_2H_2 / O_2 2,5:1±0,1 обеспечивает стабильную энергию. Отклонение соотношения >0,2, скорость окисления >0,2%±0,02%.

Размер частиц порошка

Оптимизированное осаждение 20-50мкм±1мкм. Размер частиц <20мкм±1мкм, легучесть >3%±0,5%; >50мкм±1мкм, пористость >1%±0,2%.

Стратегия оптимизации

АПС

Выберите мощность 50 кВт ± 5 кВт, расстояние распыления 120 мм ± 5 мм, порошок 15-30 мкм ± 1 мкм, расход Ar / H_2 60 л/мин ± 1 л/мин, температуру подложки <200°C ± 10°C, обеспечьте пористость <1,5% ± 0,2% и прочность сцепления >60 МПа ± 5 МПа.

Взрывное распыление

180 мм ± 5 мм, соотношение C_2H_2 / O_2 до 2,5:1 ± 0,1, порошок до 20-40 мкм ± 1 мкм, пористость до < 0,5% ± 0,1% и прочность сцепления до > 80 МПа ± 5 МПа.

Общая оптимизация

Шероховатость подложки составляет Ra 3-5 мкм ± 0,1 мкм, а для повышения стабильности (отклонение производительности < 1% ± 0,2%) применяется онлайн-мониторинг (отклонение температуры < 50°C ± 10°C).

Практика применения инженерных разработок

Авиационная насадка

Напыленное взрывом покрытие WCNiCr (толщина 100 мкм ± 1 мкм, прочность сцепления > 80 МПа ± 5 МПа) имеет износостойкость > 3000 часов ± 300 часов в высокотемпературном потоке воздуха 800 °C ± 10 °C, что лучше, чем у традиционных покрытий (< 1500 часов ± 200 часов).

Горнодобывающие буровые коронки

Напыленное покрытие WC12Co APS (твердость HV 1200±30, пористость <1,5%±0,2%) имеет срок службы 1200±100 м при бурении твердых пород, что на 40%±5% больше.

Износостойкая форма

Напыленное методом APS покрытие WC10Co4Cr (толщина 200 мкм ± 1 мкм) сохраняло низкий износ (<0,07 мм³ / Н · м ± 0,01 мм³ / Н · м) при высокочастотной экструзии (>10⁶ раз ± 10⁵ раз).

Глубоководные клапаны

WCNiCr, нанесенное методом взрывного напыления (пористость <0,5%±0,1%), имеет срок службы более 5 лет ±0,5 лет в условиях коррозии в морской воде (рН 8±0,1).

6.2 Материалы покрытия

Материалы покрытия являются ключом к улучшению характеристик твердого сплава. Оптимизируя состав и структуру твердой фазы (WC, TiC) и связующей фазы (Co, NiCr, Ni), можно достичь высокой твердости (HV 1200-1500±30), превосходной вязкости (K_{1c} 10-15

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

МПа·м^{1/2} ± 0,5) и превосходной коррозионной стойкости (скорость коррозии <0,01 мм/год±0,002 мм/год). Необходимо сбалансировать твердость и вязкость, контролировать энергию интерфейса (<1 Дж/м² ± 0,1 Дж/м²) и несоответствие теплового расширения (<5×10⁻⁶К⁻¹ ±0,5×10⁻⁶К⁻¹), а также адаптироваться к сложным условиям работы в авиации, горнодобывающей промышленности и глубоководье. Покрытие WCCo известно своей высокой твердостью, покрытие WCNiCr улучшает коррозионную стойкость, а многофазное покрытие WCTiCNi учитывает твердость и прочность, расширяя варианты применения.

В этом разделе обсуждаются стратегии и инженерные практики с двух сторон: оптимизация состава покрытий WCCo и WCNiCr и многофазных композитных покрытий (WCTiCNi). Объединение анализа фазовой диаграммы (ликвидус WCCo 1320°C±5°C), диффузионной кинетики (коэффициент 10⁻¹⁰ см²/с±10⁻¹¹ см²/с) и механической модели (упрочнение по Оровану). Например, покрытие WC12Co (твердость HV 1300±30) используется для лопаток авиационных турбин со скоростью износа <0,05 мм³/Н·м ± 0,01 мм³/Н·м; покрытие WC10Co4Cr (скорость коррозии <0,01 мм/год±0,002 мм/год) используется для глубоководных клапанов; Покрытие WCTiCNi (K_{1c} 12 МПа·м^{1/2} ± 0,5) увеличивает срок службы горнодобывающих буровых коронок до 1500 м±100 м.

6.2.1 Оптимизация состава покрытий WCCo и WCNiCr

Принципиальный и технический обзор

WCCo и WCNiCr являются основными вариантами для модификации поверхности твердого сплава. Регулируя соотношение твердой фазы (WC, объемная доля 70%-90%±1%) и связующей фазы (Co, NiCr, 10%-30%±1%), производительность оптимизируется для адаптации к различным рабочим условиям. Покрытие WCCo известно своей высокой твердостью и износостойкостью, а покрытие WCNiCr хорошо работает в коррозионных средах. Цель состоит в том, чтобы достичь синергетического улучшения твердости (HV 1200-1500±30), ударной вязкости (K_{1c} 10-15 МПа·м^{1/2} ± 0,5) и коррозионной стойкости, а также обеспечить прочность связи между покрытием и подложкой (>60 МПа±5 МПа).

WCCo обеспечивает износостойкость с WC (твердость HV>2000±50, размер зерна 0,5-2 мкм±0,01 мкм) и Co (10%-20%±1%, вязкость K_{1c} > 20 МПа·м^{1/2} ± 0,5) для улучшения связи интерфейса (энергия интерфейса <1 Дж/м² ± 0,1 Дж/м²). Покрытие WCNiCr заменяет Co на NiCr (Ni 8%-15%±1%, Cr 2%-5%±0,5%), а Cr образует пассивирующий слой Cr₂O₃ (толщина <10 нм±1 нм), что значительно улучшает коррозионную стойкость (скорость коррозии <0,01 мм/год±0,002 мм/год). Оптимизация основана на фазовой диаграмме (температура ликвидуса WCCo ~1320°C ± 5°C) и упрочнении по Оровану (расстояние между зернами <1 мкм ± 0,01 мкм), что позволяет применять их в авиации и на глубоководных объектах.

Оптимизация состава и анализ механизмов

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Покрытие

WC₁₂Co зависит от соотношения WC и Co: твердая фаза WC (объемная доля 80%±1%, размер зерна 0,5-2мкм±0,01мкм) обеспечивает высокую твердость (HV>2000±50); связующая фаза Co (содержание 12%±1%) улучшает сцепление на границе раздела (>60 МПа±5 МПа) и повышает ударную вязкость ($K_{Ic} > 12 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$). Слишком высокое содержание Co (>20%±1%) снижает твердость (HV<1100±30), слишком низкое содержание Co (<8%±1%) увеличивает пористость (>2%±0,5%). Оптимизированное покрытие WC₁₂Co (напыление HVOF, скорость 700 м/с ± 10 м/с) имеет твердость HV 1300 ± 30, пористость < 0,8% ± 0,1% и скорость износа < 0,05 мм³ / Н · м ± 0,01 мм³ / Н · м, что подходит для лопаток авиационных турбин (1000°C ± 10°C).

Покрытие

WCNiCr Покрытие WCNiCr улучшает коррозионную стойкость за счет замены Co на NiCr: основа Ni (8% -15% ±1%) обеспечивает ударную вязкость ($K_{Ic} > 15 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$) и прочность связи (>50МПа±5МПа); добавление Cr (4% ± 0,5%) образует пассивирующий слой Cr₂O₃, прирост веса против окисления <0,05мг/см²±0,01мг/см², а коррозионная стойкость улучшается на 30% ± 5% (рН 4-10±0,1). Покрытие WC₁₀Co₄Cr (HVOF, пористость <0,8% ± 0,1%) имеет твердость HV 1200±30 и скорость коррозии <0,01мм/год ± 0,002мм/год. Используется для глубоководных клапанов со сроком службы >5 лет ± 0,5 года.

Анализ влияющих факторов

Размер частиц WC

0,5-2 мкм±0,01 мкм оптимизирует твердость (HV>1200±30). Размер частиц <0,5 мкм±0,01 мкм, скорость разложения>2%±0,5%; >2 мкм±0,01 мкм, прочность снижается на 3%±0,5%.

Содержание связующей фазы

Co 12%±1%, NiCr 12%±1% (Cr 4%±0,5%) Сбалансированная производительность. Co/ NiCr <8%±1%, пористость>2%±0,5%; >20%±1%, твердость снижается на 10%±2%.

Содержание Cr

4%±0,5% повышает коррозионную стойкость; >6%±0,5% образует хрупкий Cr₂S₃ с твердостью <1000±50.

Процесс напыления: HVOF (700 м/с ± 10 м/с) лучше, чем APS, с пористостью <1% ± 0,2% против >1,5% ± 0,2%.

Температура матрицы: <200°C±10°C, чтобы избежать напряжения (<50 МПа±5 МПа); >300°C±10°C, скорость трещин >0,5%±0,1%.

Стратегия оптимизации

использует зерна WC 0,5-1 мкм ± 0,01 мкм, Co 12% ± 1% или NiCr 12% ± 1% (Cr 4% ± 0,5%); распыление HVOF (скорость 700 м/с ± 10 м/с, расстояние распыления 250 мм ± 5 мм) используется для снижения пористости (< 0,8% ± 0,1%); шероховатость подложки Ra 3 мкм

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$\pm 0,1$ мкм, температура предварительного нагрева $150^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, улучшают прочность сцепления (> 70 МПа ± 5 МПа); добавление $0,5\% \pm 0,01\%$ VC подавляет разложение WC ($< 0,5\% \pm 0,1\%$) и увеличивает твердость на $3\% \pm 0,5\%$; и реализован онлайн-мониторинг (отклонение температуры $< 50^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$) для обеспечения постоянства (отклонение производительности $< 1\% \pm 0,2\%$).

Практика применения инженерных разработок

Лопатки авиационных турбин

Покрытие WC12Co (твердость HV 1300 ± 30 , скорость износа $< 0,05$ мм³/Н·м $\pm 0,01$ мм³/Н·м), срок службы > 5000 часов ± 500 часов.

Глубоководные клапаны

Покрытие WC10Co4Cr (скорость коррозии $< 0,01$ мм/год $\pm 0,002$ мм/год), срок службы > 5 лет $\pm 0,5$ года.

Горнодобывающие буровые коронки

Покрытие WC15Co (прочность K_{1c} 12 МПа·м^{1/2} $\pm 0,5$), срок службы > 1500 м ± 100 м, улучшено на $50\% \pm 5\%$.

6.2.2 Многофазное композитное покрытие (WCTiCNi)

Обзор принципа и технологии многофазных композиционных покрытий

Многофазное композитное покрытие (WCTiCNi) вводит TiC (твердость HV $> 2500 \pm 50$, объемная доля $5\% - 20\% \pm 1\%$) и Ni ($8\% - 15\% \pm 1\%$) для повышения твердости (HV $1300 - 1500 \pm 30$), ударной вязкости (K_{1c} $10 - 15$ МПа·м^{1/2} $\pm 0,5$) и износостойкости (скорость износа $< 0,04$ мм³/Н·м $\pm 0,01$ мм³/Н·м) на основе покрытия на основе WC ($0,5 - 2$ мкм $\pm 0,01$ мкм). По сравнению с одинарным покрытием WCCo, покрытие WCTiCNi имеет меньшую плотность (~ 10 г/см³ $\pm 0,1$ г/см³ против 15 г/см³ $\pm 0,1$ г/см³), более высокую стойкость к окислению (прирост веса при окислении $< 0,05$ мг/см² $\pm 0,01$ мг/см²) и подходит для эксплуатации в условиях высоких ударных нагрузок и коррозионных сред.

Производительность оптимизируется за счет композитного усиления (закрепление границ зерен TiC) и проектирования интерфейса (энергия интерфейса WC/TiC $< 0,8$ Дж/м² $\pm 0,1$ Дж/м²). WC обеспечивает базовую твердость, TiC снижает плотность и повышает стойкость к окислению, а Ni улучшает прочность и коррозионную стойкость. Например, напыленное HVOF покрытие WC10TiC12Ni (TiC $10\% \pm 1\%$) имеет твердость HV 1400 ± 30 и пористость $< 1\% \pm 0,2\%$ и используется в горнодобывающих буровых коронках со сроком службы > 1500 м ± 100 м.

Оптимизация состава и анализ механизма действия многофазных композиционных покрытий

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Производительность зависит от пропорции каждой фазы и микроструктуры.

WC/ TiC (объемная доля WC 70%-85%±1%) обеспечивает твердость (HV>2000±50), TiC (10%±1%, плотность 4,9 г/см³ ± 0,1 г/см³) улучшает стойкость к окислению (прирост веса при окислении <0,05 мг/см² ± 0,01 мг/см²); Связующая фаза Ni (12%±1%) обеспечивает прочность ($K_{1c} > 15 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$) и коррозионную стойкость (скорость коррозии <0,01 мм/год ± 0,002 мм/год). Оптимизация основана на упрочнении по Оровану (расстояние между зернами <1 мкм ± 0,01 мкм) и анализе фазовой диаграммы (ликвидус WCTiCNi ~1350°C ± 5°C). Покрытие WC10TiC12Ni (HVOF, пористость <1%±0,2%) имеет твердость HV 1400±30, вязкость $K_{1c} 12 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$ и скорость износа <0,04 мм³/Н·м ± 0,01 мм³/Н·м.

Анализ влияющих факторов

Содержание TiC

10%±1% уравнивает твердость и вязкость. >20%±1%, образуется хрупкая фаза ($K_{1c} < 8 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$); <5%±1%, недостаточная твердость (HV<1200±30).

Содержание Ni

12%±1% оптимизирует прочность сцепления (>60 МПа±5 МПа). >15%±1%, твердость снижается на 5%±1%; <8%±1%, пористость>2%±0,5%.

Размер частиц

WC/ TiC 0,5-1 мкм±0,01 мкм обеспечивает однородность (отклонение <5%±1%). >2 мкм±0,01 мкм, прочность снижается на 3%±0,5%.

Процесс распыления

HVOF (700 м/с±10 м/с) контролирует разложение TiC (<1%±0,2%); APS (>10000°C±100°C), скорость разложения>3%±0,5%.

Предварительный нагрев подложки

150°C±10°C улучшает прочность сцепления (>70 МПа±5 МПа); >200°C±10°C, напряжение >50 МПа±5 МПа.

Стратегия оптимизации

использует зерна WC/ TiC размером 0,5-1 мкм ± 0,01 мкм, TiC 10% ± 1% и Ni 12% ± 1%; распыление HVOF (скорость 700 м/с ± 10 м/с, расстояние распыления 250 мм ± 5 мм) используется для контроля пористости (<1% ± 0,2%); шероховатость подложки Ra 3 мкм ± 0,1 мкм, температура предварительного нагрева 150°C ± 10°C; 0,3% ± 0,01% VC добавляется для ингибирования разложения TiC (<0,5% ± 0,1%) и повышения твердости на 3% ± 0,5%; реализованы параметры оптимизации AI (отклонение <1% ± 0,2%) для улучшения однородности.

Практика применения инженерных разработок

Горнодобывающие буровые коронки

Покрытие WC10TiC12Ni (твердость HV 1400±30, скорость износа <0,04 мм³/Н·м ± 0,01 мм³/Н·м), срок службы>1500±100 м, прирост 50%±5%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Износостойкая форма

Покрытие WC15TiC10Ni (прочность K_{1c} с 12 МПа·м^{1/2} ± 0,5), срок службы >10⁶ раз ±10⁵ раз.

Авиационная насадка

Покрытие WC10TiC12Ni (износостойкость <0,04 мм³/Н·м ± 0,01 мм³/Н·м), срок службы >3000 часов ±300 часов.

6.3 Градиентные и наноструктурированные цементированные карбиды

Градиентный и наноструктурированный цементированный карбид значительно повышает твердость (HV 2000-3000±50), ударную вязкость (K_{1c} с 10-20 МПа·м^{1/2} ± 0,5) и сопротивление термической усталости (срок службы > 10⁵ раз ± 10⁴ раз) за счет проектирования интерфейса (градиент WCCo, Co 0-20% ± 1%) и нанокристаллического упрочнения (WC <100 нм ± 5 нм). Градиентная структура устраняет несоответствие теплового расширения (<5×10⁻⁶ К⁻¹ ± 0,5×10⁻⁶ К⁻¹) за счет постепенного изменения состава, а наноструктура повышает прочность (>4500 МПа ± 100 МПа) за счет упрочнения границ зерен (эффект Холла-Петча, $\sigma_{y-d}^{-1/2}$) и хорошо себя проявляет в авиации, горнодобывающей промышленности и производстве электроники.

Этот раздел начинается с проектирования интерфейса градиентного WCCo и подготовки и проблем nano WC (<100 нм), объединяя термодинамику (энергия интерфейса <1 Дж/м² ± 0,1 Дж/м²), кинетику (скорость агломерации ~10⁻⁹ м/с ± 10⁻¹⁰ м/с) и механическую модель (упрочнение Орована) для изучения принципов и практик. Например, градиентный WCCo (Co 5%-15%±1%) используется для буровых коронок для горнодобывающей промышленности, а срок службы при ударе составляет >1800 м ± 100 м; покрытие nano WC (<100 нм ± 5 нм) используется для буровых коронок для печатных плат, а срок службы составляет >10⁵ отверстий ± 10⁴ отверстий.

6.3.1 Интерфейсная инженерия градиента WCCo

Принципиальный и технический обзор

Градиент WCCo оптимизирует напряжение на границе раздела (<50 МПа ± 5 МПа), улучшает прочность связи (>80 МПа ± 5 МПа) и сопротивление термической усталости (>10⁵ раз ± 10⁴ раз) путем постепенного изменения содержания Co (0-20% ± 1%, толщина градиента 0,5-2 мм ± 0,01 мм). По сравнению с однородным WCCo, градиентная структура смягчает несоответствие теплового расширения (WC 4,5×10⁻⁶ К⁻¹ ± 0,5×10⁻⁶ К⁻¹, Co 13×10⁻⁶ К⁻¹ ± 0,5×10⁻⁶ К⁻¹), уменьшает трещины на границе раздела (<0,1% ± 0,02%), учитывает поверхностную твердость (HV 1800±30) и внутреннюю вязкость (K_{1c} с 15 МПа·м^{1/2} ± 0,5) и подходит для сред с высокими ударными нагрузками.

Метод приготовления включает в себя ламинирование порошка и реакцию in situ.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ламинирование порошка заключается в укладке порошков с различным содержанием Co (5%-15%±1%) слоями.

Непрерывные градиенты формируются путем холодного изостатического прессования (CIP, 250 МПа ± 5 МПа) и вакуумного спекания (1450 °C ± 10 °C); реакции in-situ генерируют градиентные слои путем диффузии карбидов (скорость $\sim 10^{-10}$ см²/с ± 10^{-11} см²/с). Стабильность обеспечивается на основе термодинамики интерфейса (энергия интерфейса <1 Дж/м² ± 0,1 Дж/м²). Например, градиент WCCo (Co 5%-15% ± 1%) используется в горнодобывающих буровых коронках с ударным ресурсом >1800 м ± 100 м.

Анализ процесса и механизма приготовления

Подготовка порошка: выберите WC (0,5–1 мкм ± 0,01 мкм) и Co (5–15 % ± 1 %), а также соотношение слоев (отклонение < 1 % ± 0,2 %).

Формование: CIP-формование (250 МПа ± 5 МПа), плотность в сыром виде > 99% ± 0,1%.

Спекание: Вакуумное спекание (1450°C±10°C, давление <10⁻³ Па±10⁻⁴ Па), градиентное формирование диффузии Co (скорость $\sim 10^{-10}$ см²/с±10⁻¹¹ см²/с).

Последующая обработка: Термическая обработка (600°C±10°C) для устранения остаточных напряжений (<20 МПа±5 МПа).

Механизм основан на смягчении несоответствия теплового расширения и кинетике диффузии. Градиент Co (5%-15%±1%) делает распределение напряжений равномерным (<50 МПа±5 МПа), а энергия интерфейса <1 Дж/м² ± 0,1 Дж/м² обеспечивает прочность связи (>80 МПа±5 МПа). Например, градиент WCCo (толщина слоя 1 мм±0,01 мм) имеет твердость HV 1800±30 и вязкость K₁ с 15 МПа·м^{1/2} ± 0,5.

Анализ влияющих факторов

±1% оптимизирует напряжение (<50 МПа±5 МПа). >20%±1%, ударная вязкость слишком высока (K_{1c} > 20 МПа·м^{1/2} ± 0,5), твердость снижается на 5%±1%; <5%±1%, концентрация напряжений (>100 МПа±5 МПа).

Толщина слоя: 1 мм ± 0,01 мм для обеспечения непрерывности (отклонение <1% ± 0,2%). <0,5 мм ± 0,01 мм, концентрация напряжений (>100 МПа ± 5 МПа); >2 мм ± 0,01 мм, размытие градиента (>5% ± 1%).

Температура спекания: 1450°C±10°C контролируемая диффузия (>10⁻¹⁰ см²/с±10⁻¹¹ см²/с). >1500°C±10°C, градиент нечеткий (>5%±1%); <1400°C±10°C, прочность связи <60 МПа±5 МПа.

Размер частиц порошка: WC 0,5-1 мкм ± 0,01 мкм улучшает однородность. >2 мкм ± 0,01 мкм, дефекты интерфейса > 1% ± 0,2%.

Добавка: 0,5%±0,01% VC подавляет рост зерна (<0,5мкм±0,01мкм) и увеличивает твердость на 3%±0,5%.

Стратегия оптимизации

выбрала содержание Co 5%-15%±1%, толщину слоя 1 мм±0,01 мм и размер частиц WC 0,5-1

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

мкм±0,01 мкм; температуру спекания $1450^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ и давление $<10^{-3}\text{ Па}\pm 10^{-4}\text{ Па}$; добавление $0,5\%\pm 0,01\%$ VC для подавления роста зерен и повышения твердости на $3\%\pm 0,5\%$; онлайн-мониторинг (отклонение температуры $<10^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$) для улучшения стабильности (отклонение производительности $<1\%\pm 0,2\%$); последующую термообработку ($600^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$) для устранения остаточного напряжения ($<20\text{ МПа}\pm 5\text{ МПа}$).

Практика применения инженерных разработок

Горнодобывающие буровые коронки

Градиент WCCo (Co $5\%-15\%\pm 1\%$, твердость HV 1800 ± 30), при бурении твердых пород (частота ударов $>10^3\text{ Гц}\pm 100\text{ Гц}$), срок службы $>1800\text{ м}\pm 100\text{ м}$, увеличение на $60\%\pm 5\%$.

Износостойкая форма

Градиент WCCo (прочность $K_{1c}\ 15\text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}\pm 0,5$), срок службы $>10^6\text{ раз}\pm 10^5\text{ раз}$.

Авиационные инструменты

Градиентный WCCo (напряжение $<50\text{ МПа}\pm 5\text{ МПа}$) при высокоскоростной резке ($>1000\text{ м/мин}\pm 10\text{ м/мин}$) имеет срок службы $>20\text{ часов}\pm 1\text{ час}$, что лучше, чем у однородной структуры ($<10\text{ часов}\pm 1\text{ час}$).

6.3.2 Подготовка и проблемы Nano-WC ($<100\text{ нм}$)

Обзор принципов и технологий Нано

WC (зерна $<100\text{ нм}\pm 5\text{ нм}$) изготавливается методом высокоэнергетической шаровой мельницы, плазменного синтеза или химического осаждения из паровой фазы (CVD) с твердостью HV $2500-3000\pm 50$ и прочностью $>5000\text{ МПа}\pm 100\text{ МПа}$ на основе эффекта Холла-Петча ($\sigma_y\sim d^{-1/2}$, плотность границ зерен $>10^{14}\text{ м}^{-2}\pm 10^{13}\text{ м}^{-2}$). По сравнению с традиционным WC ($0,5-2\text{ мкм}\pm 0,01\text{ мкм}$), упрочнение границ зерен нано WC значительно повышает прочность и сохраняет ударную вязкость ($K_{1c}\ 10-15\text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}\pm 0,5$). Покрытия Nano-WC (толщина $10-50\text{ мкм}\pm 1\text{ мкм}$) хорошо зарекомендовали себя в электронном производстве и глубоководной технике, например, в сверлах для печатных плат (срок службы $>10^5$ отверстий $\pm 10^4$ отверстий).

проблемы, такие как агломерация (скорость $\sim 10^{-9}\text{ м/с}\pm 10^{-10}\text{ м/с}$), окисление ($O>0,1\%\pm 0,02\%$) и рост зерна при спекании ($>200\text{ нм}\pm 10\text{ нм}$). Цель состоит в том, чтобы контролировать размер зерна ($<100\text{ нм}\pm 5\text{ нм}$) и улучшить производительность за счет оптимизации процесса и добавок (VC, Cr₃C₂).

Анализ процесса и механизма приготовления

Высокоэнергетическая шаровая мельница

Порошок WC (исходный размер частиц $1-10\text{ мкм}\pm 0,01\text{ мкм}$) измельчался в планетарной мельнице (скорость $300-500\text{ об./мин}\pm 10\text{ об./мин}$, соотношение шаров к порошку $10:1\pm 0,1$) в течение $20-50\text{ ч}\pm 1\text{ ч}$, при этом размер зерна уменьшался до $<100\text{ нм}\pm 5\text{ нм}$, а вклад в упрочнение границ зерен составил $\sim 500\text{ МПа}\pm 50\text{ МПа}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Плазменный синтез

WCl₆ реагирует с CH₄ (скорость потока 1:1±0,1) в плазме (>10000°C±100°C) с образованием нано-WC (<80 нм±5 нм) со скоростью осаждения >90%±2 %.

ССЗ

W(CO)₆ реагирует с H₂ (800 -1000°C ± 10°C), образуя покрытие WC (зерна <100 нм ± 5 нм, толщина 10-50 мкм ± 1 мкм).

Механизм основан на упрочнении границ зерен и кинетике агломерации. Эффект Холла-Петча увеличивает прочность по мере уменьшения размера зерна ($\sigma_y \sim d^{-1/2}$). Скорость агломерации ($\sim 10^{-9}$ м/с ± 10^{-10} м/с) обусловлена поверхностной энергией (~ 1 Дж/м² ± 0,1 Дж/м²) и контролируется добавлением диспергатора (ПВС, 0,5%±0,01%). Например, твердость покрытия CVD нано-WC (<80 нм±5 нм) составляет HV 2500±50, а ударная вязкость составляет K_{1c} 12 МПа·м^{1/2} ± 0,5.

Анализ влияющих факторов

Размер зерна

<100 нм±5 нм требует высокоэнергетического шлифования (>50 часов±1 час). >100 нм±5 нм, твердость снижается на 10%±2%.

Воссоединение

Без диспергатора скорость агломерации составляет >20%±2%; при добавлении 0,5%±0,01% ПВС скорость агломерации составляет <5%±1%.

Температура спекания

<1200°C±10°C подавляет рост зерна (<150 нм±10 нм); >1300°C±10°C, размер зерна составляет >200 нм±10 нм, а твердость снижается на 15%±2%.

атмосфера

Ar/H₂ (O₂ <10 ppm±1 ppm) избежать окисления (O <0,05% ± 0,01%). O₂ > 100 ppm ± 10 ppm, скорость окисления > 0,2% ± 0,02%.

добавка

0,3%±0,01% VC контролирует размер зерна (<100 нм±5 нм) и увеличивает твердость на 5%±1%.

Стратегия оптимизации

использует высокоэнергетическое шаровое измельчение (50 часов ± 1 час, скорость вращения 400 об./мин ± 10 об./мин), размер зерна <100 нм ± 5 нм; температура спекания <1200°C ± 10°C, атмосфера Ar/H₂ (O₂ < 10 ppm ± 1 ppm); добавление 0,5% ± 0,01% диспергатора ПВС, скорость агломерации <5% ± 1%; добавление 0,3% ± 0,01% ВК для подавления роста зерна и повышения твердости на 5% ± 1%; онлайн-мониторинг размера частиц (отклонение < 5 нм ± 1 нм) для обеспечения стабильности.

Практика применения инженерных разработок

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Сверло для печатных плат

Покрытие Nano WC (зерно $<80 \text{ нм} \pm 5 \text{ нм}$, твердость $\text{HV } 2500 \pm 50$), срок службы $>10^5$ отверстий $\pm 10^4$ отверстий, улучшение на $100\% \pm 10\%$.

Глубоководные клапаны

Покрытие Nano WC (скорость коррозии $<0,01 \text{ мм/год} \pm 0,002 \text{ мм/год}$), срок службы >5 лет $\pm 0,5$ года.

Авиационные инструменты

Покрытие Nano-WC (прочность $>5000 \text{ МПа} \pm 100 \text{ МПа}$) и срок службы >20 часов ± 1 час лучше, чем традиционное покрытие (<10 часов ± 1 час).

6.4 Испытание эксплуатационных характеристик покрытия

Испытание эксплуатационных характеристик покрытия проводится с использованием стандартизированных методов (ASTM G65, ISO 6508, ASTM E384) для оценки ключевых показателей, включая прочность сцепления ($50\text{--}80 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$), пористость ($<1\% \pm 0,2\%$), твердость ($\text{HV } 1200\text{--}1500 \pm 30$), износостойкость (скорость износа $< 0,06 \text{ мм}^3 / \text{Н} \cdot \text{м} \pm 0,01 \text{ мм}^3 / \text{Н} \cdot \text{м}$) и коррозионную стойкость (скорость коррозии $< 0,01 \text{ мм/год} \pm 0,002 \text{ мм/год}$), что гарантирует соответствие покрытия требованиям надежности в авиации, горнодобывающей промышленности и на глубоководных месторождениях, а также предоставляет данные для оптимизации процесса.

В этом разделе обсуждается технология и практика испытаний с точки зрения прочности сцепления, пористости и износостойкости, объединяющая механику разрушения ($K_{1c} 10\text{--}15 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$), науку о поверхности (контактный угол $<10^\circ \pm 1^\circ$) и статистический анализ (погрешность $\pm 0,01 \text{ мм}^3 / \text{Н} \cdot \text{м}$). Например, покрытие HVOF WC12Co (прочность сцепления $>70 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$) используется для лопаток авиационных турбин со сроком службы >5000 часов ± 500 часов; покрытие nano WC (пористость $<0,5\% \pm 0,1\%$) используется для сверл для печатных плат со сроком службы $>10^5$ отверстий $\pm 10^4$ отверстий.

6.4.1 Прочность сцепления (50-80 МПа) и пористость (<1%)

Обзор принципа и технологии испытаний

Прочность сцепления и пористость являются основными показателями для оценки надежности покрытия, которые напрямую влияют на способность противостоять отслаиванию и долговечность. Прочность сцепления отражает силу межфазного сцепления, а пористость измеряет плотность. Стандартизированные методы обеспечивают повторяемость и сопоставимость результатов.

Прочность связи (ASTM C633): Испытание на растяжение (скорость $0,5 \text{ мм/мин} \pm 0,01 \text{ мм/мин}$) измеряет усилие разделения, прочность $50\text{--}80 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$. Образец (диаметр $25 \text{ мм} \pm 0,1 \text{ мм}$, толщина покрытия $100\text{--}200 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$) фиксируется высокопрочным клеем ($>100 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$), а формула расчета $\sigma = F / A$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Пористость (ASTM E2109): Сканирующий электронный микроскоп (СЭМ, разрешение $<0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) использовался для анализа поперечного сечения и измерения коэффициента пористости ($<1\% \pm 0,2\%$). Образец был отполирован до $Ra < 0,05 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ и рассчитан на основе коэффициента площади.

Например, покрытие HVOF WC12Co (прочность сцепления $>70 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$, пористость $<0,8\% \pm 0,1\%$) используется для лопаток авиационных турбин, а срок службы против скалывания составляет $>5000 \text{ часов} \pm 500 \text{ часов}$.

Методы испытаний и анализ механизмов

Прочность связи

На основе механики разрушения ($K_{Ic} 10-15 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$) прочность межфазного сцепления определяется механическим сцеплением ($Ra 2-5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$) и микродиффузией ($<1 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$). Процесс включает подготовку образца (толщина $100-200 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$), фиксацию и растяжение (скорость $0,5 \text{ мм/мин} \pm 0,01 \text{ мм/мин}$). Покрытие HVOF (скорость $700 \text{ м/с} \pm 10 \text{ м/с}$) имеет прочность сцепления $> 70 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$, что лучше, чем APS ($< 60 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$).

Пористость

На основе анализа изображений SEM (увеличение $>1000 \times \pm 100 \times$) поры показаны как темные области, а соотношение площадей рассчитывается программным обеспечением. Пористость HVOF составляет $<1\% \pm 0,2\%$, что лучше, чем APS ($\sim 1,5\% \pm 0,2\%$).

Анализ влияющих факторов

Прочность связи

Шероховатость матрицы $Ra 3-5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$ улучшает прочность ($>70 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$); $<2 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, $<50 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$. Скорость распыления $700 \text{ м/с} \pm 10 \text{ м/с}$ лучше, чем APS; температура предварительного нагрева $150^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ улучшает диффузию.

Пористость

Мощность распыления $100 \text{ кВт} \pm 10 \text{ кВт}$ (HVOF) лучше, чем $50 \text{ кВт} \pm 5 \text{ кВт}$ (APS); размер частиц порошка $10-30 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$ снижает пористость; расстояние распыления оптимизирует плотность.

Стратегия оптимизации:

шероховатость подложки $Ra 3-5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, температура предварительного нагрева $150^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$; HVOF (скорость $700 \text{ м/с} \pm 10 \text{ м/с}$, мощность $100 \text{ кВт} \pm 10 \text{ кВт}$), порошок $10-30 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$; расстояние распыления APS $120 \text{ мм} \pm 5 \text{ мм}$; расстояние распыления взрывным распылением $180 \text{ мм} \pm 5 \text{ мм}$; высокоточное СЭМ и растягивающее оборудование для обеспечения точности.

Практика применения инженерных разработок

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Лопатки авиационных турбин

Покрытие HVOF WC12Co (прочность сцепления >70 МПа ± 5 МПа, пористость $<0,8\% \pm 0,1\%$), срок службы >5000 часов ± 500 часов.

Глубоководные клапаны

Покрытие HVOF WC10Co4Cr (прочность сцепления >70 МПа ± 5 МПа), срок службы >5 лет $\pm 0,5$ года.

Горнодобывающие буровые коронки

WCNiCr, нанесенное методом взрывного напыления (прочность сцепления >80 МПа ± 5 МПа, пористость $<0,5\% \pm 0,1\%$), срок службы >1500 м ± 100 м.

6.4.2 Износостойкость (ASTM G65, скорость износа $<0,06$ мм³/Н·м)

Принцип испытания и технический обзор

Износостойкость является основным показателем для оценки эксплуатационных характеристик покрытия и напрямую влияет на срок службы покрытий в условиях высокого трения. Испытание ASTM G65 на сухом песке/резиновом колесе имитирует абразивный износ и измеряет скорость износа ($<0,06$ мм³/Н·м $\pm 0,01$ мм³/Н·м), обеспечивая основу для оптимизации процесса и выбора материала.

Процесс тестирования

Образец (50×25×10 мм $\pm 0,1$ мм, толщина 100-200 мкм ± 1 мкм) был натерт в потоке песка (SiO₂, размер частиц 200-300 мкм ± 1 мкм, скорость потока 300 г/мин ± 10 г/мин) (скорость вращения круга 200 об/мин ± 1 об/мин, нагрузка 130 Н ± 1 Н, 6000 оборотов ± 10 оборотов). Объем износа рассчитывался по потере массы ($V = \Delta m / \rho$, $\rho = 14-15$ г/см³ $\pm 0,1$ г/см³), а скорость износа = $V / (F \cdot S)$. Например, покрытие HVOF WC12Co (скорость износа $<0,05$ мм³/Н·м $\pm 0,01$ мм³/Н·м) имеет срок службы >5000 часов ± 500 часов.

Метод испытания и анализ механизма

основаны на модели Арчарда ($V = k \cdot F \cdot S / H$, $k = 10^{-4} \pm 10^{-5}$, $H = HV 1200-1500 \pm 30$). Чем выше твердость и ниже пористость, тем выше износостойкость. Процесс включает подготовку образца, установку параметров и расчет скорости износа. Скорость износа покрытия HVOF (твердость HV 1400±30) составляет $<0,05$ мм³/Н·м $\pm 0,01$ мм³/Н·м, что лучше, чем APS ($>0,07$ мм³/Н·м $\pm 0,01$ мм³/Н·м).

Анализ влияющих факторов

твердость

HV 1400±30 снижает скорость износа ($<0,05$ мм³/Н·м $\pm 0,01$ мм³/Н·м); $<1200 \pm 30$, $>0,08$ мм³/Н·м $\pm 0,01$ мм³/Н·м.

Пористость

$<1\% \pm 0,2\%$ повышает износостойкость; $>2\% \pm 0,5\%$ увеличивает скорость износа на $20\% \pm 5\%$.

толщина

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

100-200 мкм ± 1 мкм обеспечивает баланс износостойкости и нагрузки.

Технологии

HVOF лучше, чем APS; размер частиц WC 0,5-1 мкм ± 0,01 мкм повышает износостойкость.

Стратегия оптимизации

использует HVOF (скорость 700 м/с ± 10 м/с), размер зерна WC 0,5–1 мкм ± 0,01 мкм, толщину 100–200 мкм ± 1 мкм; добавление 0,3% ± 0,01% VC или TiC (5%–10% ± 1%) для повышения твердости; онлайн-мониторинг для обеспечения стабильности.

Практика применения инженерных разработок

Лопатки авиационных турбин: покрытие HVOF WC12Co, срок службы >5000 часов ± 500 часов.

Буровая коронка для горных работ: покрытие WC10TiC12Ni, срок службы >1500 ± 100 м.

Сверло для печатных плат: покрытие Nano WC, срок службы >10⁵ отверстий ± 10⁴ отверстий.

Резюме и перспективы

Благодаря оптимизации процесса, проектированию материалов и структурным инновациям, технология покрытий и композитов достигла прорыва в износостойкости, коррозионной стойкости и термической усталости твердого сплава для удовлетворения потребностей различных областей. В будущем это будет способствовать развитию интеллектуального напыления, композитных покрытий PVD/CVD, зеленых покрытий и нанокompозитных покрытий, а также дальнейшему улучшению производительности и сферы применения.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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:

Что такое цементированное карбидное покрытие?

1. Определение

Твердосплавное покрытие — это покрытие, нанесенное на поверхность подложки специальным способом. Его основным компонентом является композитный материал, состоящий из твердосплавного материала (например, карбида, нитрида или борида) и металлического связующего (например, кобальта или никеля). В качестве основной твердой фазы в твердосплавных покрытиях обычно используют карбид вольфрама (WC), карбид титана (TiC) или карбид хрома (Cr₃C₂). Они обладают чрезвычайно высокой твердостью, износостойкостью и коррозионной стойкостью и широко используются для улучшения поверхностных свойств подложек.

2. Состав

Тяжелая фаза:

Основные ингредиенты: карбид вольфрама (WC), карбид титана (TiC), карбид хрома (Cr₃C₂) и т. д.

Характеристики: Высокая твердость (HV 1000-3000), высокая температура плавления (>2000°C), отличная износостойкость (Wear Resistance).

Фаза связующего:

Распространенные материалы: кобальт (Co), никель (Ni), железо (Fe) или их сплавы.

Функция: связывает частицы твердой фазы вместе, обеспечивая прочность (Toughness) и ударопрочность (Impact Resistance).

Типичное соотношение:

Твердая фаза: 70-90 мас. % (весовой процент).

Связующая фаза: 10-30 мас. %.

Пример: в покрытии WC-Co доля WC составляет 80–90%, а доля Co — 10–20%.

3. Методы приготовления

Покрытия из цементированного карбида можно наносить на поверхность подложки различными способами, к наиболее распространенным методам относятся:

Термическое напыление:

Методы:

Высокоскоростное напыление кислородно-топливным методом (HVOF): для распыления порошка на поверхность подложки используется высокоскоростное пламя.

Плазменное напыление: порошок расплавляется и осаждается с помощью плазменной дуги.

Газопламенное напыление: напыление с использованием кислородно-ацетиленового пламени.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Характеристики:

Толщина покрытия: 0,1-2 мм.

Прочность сцепления: 50-80 МПа.

Пористость: 1-5%.

Физическое осаждение из паровой фазы (PVD):

Методы:

Магнетронное распыление.

Электронно-лучевое испарение.

Характеристики:

покрытия : 1-10 мкм .

Подходит для тонких слоев и гладких поверхностей.

Химическое осаждение из паровой фазы (CVD):

Методы:

Твердая фаза, например, покрытие TiC или TiN , осаждается на поверхности подложки путем химической реакции.

Характеристики:

покрытия : 5-20 мкм .

Высокая однородность (High Uniformity), но требует высокой температуры (High Temperature, 700-1000°C).

Лазерная наплавка:

Методы:

Порошок цементированного карбида расплавляется с помощью лазерного луча и наносится на поверхность подложки.

Характеристики:

Толщина покрытия: 0,5-3 мм.

Высокая прочность связи, близкая к металлургической.

4. Эксплуатационные характеристики

Высокая твердость:

Диапазон твердости: HV 1000-3000 (твердость по Виккерсу) или HRC 60-80 (твердость по Роквеллу).

Пример: твердость покрытия WC-Co может достигать HV 1200-1500.

Износостойкость:

Твердые фазы (например, WC) могут эффективно противостоять абразивному и эрозионному износу.

Применение: Продлевает срок службы режущих инструментов и форм.

Коррозионная стойкость:

Связующая фаза (например, Ni) может улучшить коррозионную стойкость покрытия в кислых и щелочных средах.

Пример: покрытие Cr3C2-NiCr подходит для высокотемпературной коррозионной среды (высокотемпературная коррозия).

Устойчивость к высоким температурам:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Он может сохранять работоспособность при температуре 600–1000 °C и подходит для высокотемпературных условий.

Ударопрочность:

Связующая фаза обеспечивает определенную прочность, но общая ударопрочность ниже, чем у материалов из чистого металла.

5. Требования к субстрату

Материал:

Распространенные базовые материалы: сталь, чугун, алюминиевый сплав.

Требования: Основание должно обладать определенной прочностью и термостойкостью.

Подготовка поверхности:

Очистка: Удалить масляный и оксидный слой.

Шероховатость: Ra 3,2-6,3 мкм (пескоструйная обработка).

Ссылка на стандарт: ASME B46.1-2009 (требования к шероховатости поверхности).

6. Приложения

Промышленные режущие инструменты:

Пример: покрытие WC-Co используется для фрез и сверл для повышения износостойкости и срока службы.

Формы:

Пример: штамповочные штампы покрыты Cr3C2-NiCr для предотвращения износа и адгезии.

Аэрокосмическая промышленность:

Пример: покрытие TiC используется для лопаток турбин с целью повышения стойкости к высоким температурам и износостойкости.

Нефтехимия:

Пример: покрытия WC-Ni используются на клапанах и буровых инструментах для защиты от эрозии и коррозии.

Горнодобывающее оборудование:

Пример: покрытие WC-Co используется в буровых установках для повышения устойчивости к абразивному износу.

7. Методы тестирования

Испытание на твердость:

Метод: твердость по Роквеллу (HRC, ISO 6508-1:2016), твердость по Виккерсу (HV, ISO 6507-1:2018).

Пример: результат испытания на твердость покрытия WC-Co составляет HRC 65 или HV 1200.

Анализ микроструктуры:

Метод: сканирующий электронный микроскоп (СЭМ).

Наблюдение: Распределение частиц твердой фазы, пористость.

Прочность связи:

Метод: испытание на растяжение, стандарт ASTM C633.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Пример: прочность сцепления покрытия HVOF может достигать 70 МПа.

Испытание на износостойкость:

Метод: ASTM G65 (испытание на истирание сухим песком/резиновым колесом).

Результаты: Скорость износа покрытия WC-Co составила менее 0,01 мм³/Н· м.

Шероховатость поверхности:

Метод: щуповой профилометр, ASME B46.1-2009.

покрытия Ra 0,8-2,0 мкм .

8. Преимущества и недостатки

Преимущества:

Высокая твердость и износостойкость значительно продлевают срок службы основания.

Коррозионная стойкость и устойчивость к высоким температурам, подходят для суровых условий эксплуатации.

Возможность настройки: удовлетворяйте различные потребности, регулируя соотношение твердой фазы и адгезионной фазы.

Недостатки:

Высокая стоимость: Например, оборудование для процесса HVOF является дорогостоящим, а цены на материалы высоки.

Хрупкость: Покрытие из цементированного карбида имеет низкую ударопрочность и склонно к растрескиванию.

Ограниченная толщина: слишком толстое покрытие может привести к отслаиванию.

9. Типичный пример

Покрытие WC-Co:

Состав: WC 88 мас. %, Co 12 мас. %.

Процесс: HVOF-напыление.

Характеристики: Твердость HV 1300, прочность сцепления 75 МПа, отличная износостойкость.

Применение: Горнодобывающие буровые коронки.

10. Тенденции

Наноструктурированные покрытия:

Частицы Nano-WC используются для повышения твердости и прочности.

Пример: покрытие Nano WC-Co может достигать твердости HV 2000.

Многослойные покрытия:

Сочетание различных твердых сплавов (например, WC/ TiC) может улучшить общую производительность.

Пример: многослойное покрытие WC-Cr3C 2 используется для деталей, устойчивых к высокотемпературному износу.

Экологичные процессы:

Разработать энергосберегающие технологии осаждения с низким уровнем выбросов, такие как холодное напыление.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Краткое содержание

Покрытие из цементированного карбида — это высокопроизводительная технология защиты поверхности, в которой карбид (например, WC) выступает в качестве твердой фазы, а металл (например, Co, Ni) — в качестве связующей фазы, которая наносится на поверхность подложки с помощью термического напыления, PVD, CVD и других процессов. Оно обладает высокой твердостью, износостойкостью и коррозионной стойкостью и широко используется в промышленных инструментах, пресс-формах, аэрокосмической и других областях. Его основными проблемами являются стоимость, хрупкость и сложность процесса, но благодаря нанотехнологиям и многослойной конструкции ожидается дальнейшее улучшение производительности в будущем.

приложение:

Технология высоко взрывного напыления цементированного карбида (DGS)

1. Определение распыления детонационным пистолетом (DGS)

Detonation Gun Spraying (DGS), также известное как Detonation Gun Spraying, представляет собой технологию термического напыления, которая генерирует газ высокой температуры и высокого давления посредством периодических реакций детонации, ускоряет порошок цементированного карбида (например, WC-Co) до сверхзвуковой скорости (около 3500 м/с) и распыляет его на поверхность подложки для формирования высокотвердого износостойкого покрытия. Технология была изобретена HB Sargent et al. в 1955 году и первоначально была названа и коммерциализирована Union Carbide Company под названием «D-Gun».

2. Принцип процесса распыления с помощью детонационного пистолета (DGS)

DGS использует контролируемую реакцию детонации для обеспечения энергии. Конкретные шаги следующие:

Реакция детонации

В детонационной пушке (D-Gun) воспламеняется газовая смесь (например, кислород O_2 и ацетилен C_2H_2 в соотношении 1:1–1,5:1), и происходит детонационная реакция, в результате которой образуется ударная волна высокой температуры (около $4000^{\circ}C$) и высокого давления (около 2–3 МПа).

Скорость ударной волны может достигать 3500 м/с, образуя сверхзвуковой поток воздуха.

Ускорение и осаждение порошка

Порошок цементированного карбида (размер частиц 10–50 мкм) впрыскивается в детонационную пушку, разгоняется ударной волной до сверхзвуковой скорости (около 800–1200 м/с) и частично расплавляется или размягчается.

Частицы порошка ударяются о поверхность подложки с чрезвычайно высокой скоростью, подвергаются пластической деформации, быстро охлаждаются и образуют плотное покрытие толщиной обычно 50–300 мкм .

Периодическая эксплуатация

После каждой детонации остаточный газ в пушке продувается азотом (N_2) для предотвращения самовозгорания и обратного удара пламени.

Частота распыления составляет 1–10 Гц (1–10 детонаций в секунду) в зависимости от толщины покрытия и материала.

Предварительная обработка субстрата

Подложку необходимо придать шероховатость пескоструйной обработкой (Ra 3–5 мкм) и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

очистить от масла и окислов для улучшения адгезии покрытия .

3. Характеристики порошка цементированного карбида в распылении детонационным пистолетом (DGS)

Обычно используемые материалы:

WC-Co (содержание кобальта 6-17% масс .) : высокая твердость и износостойкость, обычно используется в износостойких покрытиях.

Cr₃C₂ - NiCr : устойчив к высокотемпературному окислению, подходит для высокотемпературной среды.

Оксидная керамика (например, Al₂O₃ - TiO₂) : используется для особых требований к износостойкости или коррозионной стойкости.

Требования к порошку:

Размер частиц: 10-50 мкм , для обеспечения равномерности распыления.

Чистота: >99%, содержание кислорода <500 ppm, отсутствие дефектов покрытия.

Морфология: сферическая или близкая к сферической, что способствует ускорению и осаждению.

4. Применение метода детонационного распыления (DGS) в области производства карбида вольфрама

Технология DGS широко применяется в случаях, когда требуется высокая износостойкость и коррозионная стойкость благодаря высокой прочности сцепления и низкой пористости покрытия:

Аэрокосмическая промышленность:

Напыление на детали авиационных двигателей (например, лопатки турбин, лопатки компрессоров) для повышения износостойкости и стойкости к высоким температурам.

Промышленное оборудование:

Покрытие поверхностей режущих инструментов, штампов, клапанов и корпусов насосов для продления срока службы.

Энергетическая промышленность:

Покрытия для нефтяного и газового бурового оборудования (например, буровых долот), устойчивые к эрозии и износу.

Конкретный пример: Напыление покрытия WC-12Co на лопатки турбин авиационных двигателей позволяет достичь твердости HV 1100–1300 и повысить износостойкость в 5–8 раз.

5. Параметры процесса напыления твердого сплава взрывом (детонационное напыление, ДГС)

Детонационный газ: O₂ + C₂H₂ (соотношение 1:1–1,5:1) или добавьте небольшое количество N₂ (5–10 %) для регулировки температуры.

Частота распыления: 1–10 Гц, для контроля толщины покрытия.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Расстояние распыления: 150-200 мм, избегать перегрева основания.

Скорость подачи порошка: 20-40 г/мин, для обеспечения равномерного покрытия.

Температура подложки: поддерживается на уровне $<150^{\circ}\text{C}$ для предотвращения образования зоны термического влияния (ЗТВ).

Продувочный газ: N_2 , продувка в течение 2-3 секунд после каждой детонации.

6. Характеристики распыления детонационным пистолетом (DGS)

Высокая температура и высокое давление: температура детонации составляет около 4000°C , а скорость ударной волны — 3500 м/с, что значительно выше, чем у других технологий термического напыления.

Характеристики покрытия:

Высокая твердость: твердость покрытия WC-Co по HV 1100-1400.

Прочность сцепления: 70-100 МПа, в основном механическое сцепление, частично металлургическое сцепление.

Очень низкая пористость: $<1\%$, плотное покрытие.

Шероховатость поверхности: Ra 2-4 мкм, требуется меньшая последующая обработка.

Низкое подводимое тепло: температура подложки $<150^{\circ}\text{C}$, отсутствие зоны термического влияния (HAZ), не требуется последующая термическая обработка (PWHT).

Преимущества и недостатки метода высоковзрывного напыления цементированного карбида (детонационное напыление, ДГС)

Преимущества:

Высокое качество покрытия: пористость $<1\%$, высокая прочность сцепления, отличная износостойкость и коррозионная стойкость.

Низкое термическое воздействие: отсутствие термической деформации подложки, подходит для прецизионных деталей.

Широкая применимость: можно распылять различные карбиды и керамические материалы (например, WC-Co, Al_2O_3).

Меньше постобработки: низкая шероховатость поверхности, что снижает затраты на последующую обработку.

Недостатки:

Сложное оборудование: Конструкция дробеструйного пистолета сложна, а его стоимость высока (около 2–3 млн юаней).

Эксплуатационные риски: предполагают реакцию детонации, требующую строгих мер безопасности (таких как противодействие обратному удару пламени и продувка азотом).

Низкая эффективность: периодическая работа (1-10 Гц), низкая скорость распыления (около 0,1-0,3 м²/ч).

Ограничение по порошку: требуется порошок высокой прочности (например, WC-Co), в противном случае он может сломаться.

8. Сравнение метода детонационного напыления (DGS) и других технологий термического напыления

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Сравнение с APS (плазменное напыление):

DGS: более низкая пористость (<1% по сравнению с 2–5%), более высокая прочность связи (70–100 МПа по сравнению с 30–70 МПа), но более низкая эффективность.

APS: более высокая температура (15 000 °C), подходит для более широкого спектра материалов, но большее окисление.

По сравнению с HVOF (высокоскоростное распыление кислородного топлива):

DGS: более плотное покрытие, более высокая твердость (HV 1100-1400 против 800-1200), но более сложное оборудование.

HVOF: более высокая скорость распыления (0,5–1 м²/ч), более низкая стоимость, меньшее окисление.

По сравнению с VPS (вакуумно-плазменным напылением):

DGS: работает в атмосфере, низкая стоимость, но может иметь следы окисления.

VPS: отсутствие окисления, меньшая пористость, но высокая стоимость оборудования (около 5 миллионов юаней).

Подвести итог

Технология высоко взрывного напыления цементированного карбида (DGS) использует детонационную реакцию для сверхзвукового распыления порошка цементированного карбида на подложку для формирования высокотвердого, малопористого покрытия, которое широко используется в аэрокосмической промышленности, промышленном оборудовании и других областях. Ее преимуществами являются высокое качество покрытия и малое тепловое воздействие, но оборудование является сложным, а эффективность низкой. Оптимизация процесса (например, регулировка частоты детонации и размера частиц порошка) может дополнительно улучшить производительность.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

Технология плазменного напыления цементированного карбида (APS , атмосферное плазменное напыление)

1. Определение атмосферного плазменного напыления (APS)

Плазменное напыление цементированного карбида (APS , Atmospheric Plasma Spraying) — это технология термического напыления, которая использует плазменное пламя для нагревания порошка цементированного карбида (например, WC-Co, WC-Ni) до расплавленного или полурасплавленного состояния и распыляет его на поверхность подложки с высокой скоростью для формирования плотного покрытия из цементированного карбида. Этот процесс осуществляется в атмосферной среде, поэтому его называют «атмосферным плазменным напылением».

2. Принцип атмосферного плазменного напыления (APS)

Процесс APS основан на высоких температурах и высоких энергетических характеристиках плазмы. Основные этапы следующие:

Генерация плазмы

С помощью плазменного распылителя вводится инертный газ (например, аргон Ar) или газовая смесь (например, Ar+H₂) , а высокочастотная дуга (напряжение 50–100 В, ток 500–1000 А) используется для ионизации газа с образованием высокотемпературной плазмы (температура может достигать 10 000–15 000 °С).

Нагрев и ускорение порошка

Порошок цементированного карбида (размер частиц 10-50 мкм) подается в плазменное пламя через порошковый питатель, быстро нагревается до расплавленного или полурасплавленного состояния и разгоняется до 300-600 м/с.

Формирование покрытия

, образуя плотное покрытие толщиной обычно 50–500 мкм .

Контроль атмосферы

APS работает в атмосферной среде, и существует определенный риск окисления. Защитный газ (например, Ar) часто используется для частичной защиты выходного отверстия распылителя, чтобы уменьшить окисление покрытия.

3. Характеристики порошка плазменного напыления цементированного карбида (APS , атмосферное плазменное напыление)

Обычно используемые материалы:

WC-Co (содержание кобальта 6-12% масс .) : высокая твердость и износостойкость, часто используется в износостойких покрытиях.

WC-Ni: Лучшая коррозионная стойкость, подходит для кислой среды.

Cr₃C₂ - NiCr : устойчив к высокотемпературному окислению, подходит для

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

высокотемпературной среды.

Требования к порошку:

Размер частиц: 10-50 мкм, что обеспечивает хорошую текучесть и равномерное плавление.

Чистота: >99%, примеси (такие как O_2) <500 ppm, что позволяет избежать дефектов покрытия.

Морфология: сферическая или близкая к сферической, что способствует равномерности распыления.

4. Применение плазменного напыления цементированного карбида (APS, атмосферное плазменное напыление) в области обработки цементированного карбида

APS широко используется для подготовки покрытий из цементированного карбида на подложках (таких как сталь, нержавеющая сталь, алюминий и т. д.) для улучшения износостойкости, коррозионной стойкости и стойкости к высоким температурам. Основные области применения включают:

Промышленные детали:

Покрытие поверхности режущих инструментов и форм может продлить срок их службы.

Покрытия для клапанов и корпусов насосов повышают устойчивость к износу и коррозии.

Аэрокосмическая промышленность:

Покрытие лопаток турбины, устойчивое к высокотемпературному износу.

Энергетическая промышленность:

Покрытия для котельных труб и бурового оборудования, устойчивые к эрозии и высокотемпературному окислению.

Конкретный пример: Напыление покрытия WC-12Co на поверхность бурового долота позволяет достичь твердости HRC 60-65 и повысить износостойкость в 3-5 раз.

Параметры процесса плазменного напыления цементированного карбида (APS, атмосферное плазменное напыление)

Плазменный газ: Ar (основной газ, 30-50 л/мин) + H₂ (вспомогательный газ, 5-10 л/мин).

Мощность: 30-50 кВт (в зависимости от модели краскопульта).

Расстояние распыления: 80-150 мм, влияет на плотность и прочность сцепления покрытия.

подачи порошка : 30-60 г/мин, для обеспечения равномерного покрытия.

Предварительная обработка основания: пескоструйная обработка с приданием шероховатости (Ra 3-5 мкм) для улучшения прочности сцепления.

Охлаждение: Подложка нуждается в принудительном воздушном или водяном охлаждении, а температура должна поддерживаться на уровне <200°C, чтобы избежать термического напряжения.

6. Характеристики плазменного напыления цементированного карбида (APS, атмосферное плазменное напыление)

Способность работать при высоких температурах: температура плазмы чрезвычайно высока

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(10 000–15 000 °C), что позволяет плавить твердые сплавы с высокой температурой плавления (например, WC, температура плавления 2870 °C).

Характеристики покрытия:

Высокая твердость: твердость покрытия WC-Co может достигать HV 900-1200.

Прочность сцепления: 30-70 МПа (в зависимости от основания и процесса).

Пористость: 2–5 %, плотный, но все еще имеет микропоры.

Условия эксплуатации: проводятся в атмосфере, с использованием простого оборудования, подходят для промышленных площадок.

7. Преимущества и недостатки плазменного напыления цементированного карбида (APS , атмосферное плазменное напыление)

Преимущества:

Широкая применимость: позволяет распылять различные материалы из твердых сплавов (например, WC-Co, Cr₃C₂ - NiCr) для адаптации к различным основаниям.

Высокая эффективность: высокая скорость распыления (до 0,5-1 м²/ч), подходит для окраски больших площадей.

Покрытие обладает превосходными эксплуатационными характеристиками: высокой твердостью, хорошей износостойкостью и значительно увеличивает срок службы деталей.

Стоимость оборудования умеренная: оборудование APS (около 500 000–1 000 000 юаней) дешевле, чем HVOF (высокоскоростное распыление кислородного топлива).

Недостатки:

Риск окисления: при эксплуатации в атмосфере покрытие может окисляться (например, WC разлагается на W₂C и образует оксид WO₃), что влияет на эксплуатационные характеристики.

Более высокая пористость: пористость 2–5 % может снизить коррозионную стойкость и потребовать последующей обработки (например, герметизации).

Тепловое воздействие: Высокотемпературный поток пламени может вызвать термическую деформацию подложки, поэтому охлаждение необходимо строго контролировать.

Остаточное напряжение: Различия в коэффициентах теплового расширения между покрытием и подложкой могут привести к концентрации напряжений, влияющей на сцепление.

8. Сравнение плазменного напыления цементированного карбида (APS , атмосферное плазменное напыление) и других технологий термического напыления

По сравнению с HVOF (высокоскоростное распыление кислородного топлива):

APS: более высокая температура (15 000 °C), подходит для материалов с высокой температурой плавления, но больше окисление и более высокая пористость (2–5%).

HVOF: более низкая температура (3000°C), более высокая скорость (>1000 м/с), меньшее окисление, меньшая пористость (<1%), но немного меньшая твердость для покрытий WC-Co (HV 800-1000).

Сравнение с вакуумным плазменным напылением (VPS):

APS: В атмосфере стоимость невелика, но проблемы окисления и пористости существенны.

VPS: В условиях вакуума качество покрытия выше (пористость <1%, отсутствие окисления),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

но оборудование сложное, а стоимость высокая (2–5 млн юаней).

Напыление карбидной плазмы (APS) использует высокотемпературную плазму для распыления карбидного порошка на поверхность подложки для формирования высокотвердого, износостойкого покрытия, которое широко используется в промышленных деталях, аэрокосмической и других областях. Его преимуществами являются широкая применимость и высокая эффективность, но следует уделять внимание проблемам окисления и пористости. Оптимизация процесса (например, регулировка расстояния распыления и добавление защитного газа) может дополнительно улучшить качество покрытия.

приложение:

Технология высокоскоростного кислородно-топливного распыления для твердого сплава (Высокоскоростное распыление кислородного топлива, HVOF)

1. Определение высокоскоростного кислородно-топливного распыления (HVOF) из цементированного карбида

Кислородно-топливное напыление (HVOF) цементированного карбида — это технология термического напыления, которая генерирует поток воздуха высокой температуры и высокого давления посредством высокоскоростного сгорания топлива и кислорода, разгоняет порошок цементированного карбида (например, WC-Co, $Cr_3C_2 - NiCr$) до сверхзвуковой скорости (около 500-1000 м/с), распыляет его на поверхность подложки и образует износостойкое покрытие с высокой твердостью и низкой пористостью. Эта технология была разработана Браунингом в 1980-х годах и широко используется благодаря своим превосходным характеристикам покрытия.

2. Принцип процесса высокоскоростного кислородно-топливного напыления (HVOF) цементированного карбида

Технология HVOF использует высокоскоростной поток воздуха, создаваемый сгоранием топлива. Основные этапы следующие:

Горение и ускорение воздушного потока

В камере сгорания пушки топливо (например, керосин, пропан или водород) смешивается с кислородом и воспламеняется при температуре горения около 2800–3200 °C.

Высоконапорный газ сгорания разгоняется до сверхзвуковой скорости (500-1000 м/с) через сопло Лавалья, образуя высокоскоростной поток пламени.

Нагрев и распыление порошка

Порошок цементированного карбида (размер частиц 10–45 мкм) впрыскивается в пламя через порошковый питатель, частично расплавляется или размягчается (температура ниже точки плавления, около 1000–1500 °C) и разгоняется до сверхзвуковой скорости.

, образуя плотное покрытие толщиной обычно 50–400 мкм.

Контроль атмосферы

Сжигание осуществляется в среде, богатой кислородом, с высокой скоростью распространения пламени, что снижает вовлечение воздуха и снижает степень окисления покрытия.

Предварительная обработка субстрата

Подложку необходимо подвергнуть пескоструйной обработке для придания шероховатости (Ra 3–5 мкм) и очистить от масла и окислов, а также улучшить прочность сцепления.

3. Характеристики порошка из цементированного карбида, полученного методом высокоскоростного кислородного напыления (HVOF)

Обычно используемые материалы:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

WC-Co (содержание кобальта 6-17% масс.): высокая твердость и износостойкость, обычно используется в износостойких покрытиях.

Cr₃C₂ - NiCr: устойчив к высокотемпературному окислению и коррозии, подходит для высокотемпературных сред.

NiCrBSi: Самофлюсующийся сплав, износостойкий и коррозионно-стойкий.

Требования к порошку:

Размер частиц: 10-45 мкм, для обеспечения равномерности распыления.

Чистота: >99%, содержание кислорода <500 ppm, отсутствие дефектов покрытия.

Морфология: сферическая или близкая к сферической, что способствует ускорению и осаждению.

4. Характеристики высокоскоростного напыления кислородного топлива (HVOF) из цементированного карбида

Высокая скорость, низкий нагрев:

Скорость пламени достигает 500–1000 м/с, кинетическая энергия частиц велика, но температура относительно низкая (1000–1500°C), что позволяет избежать разложения твердых сплавов (например, WC).

Свойства покрытия:

Высокая твердость: твердость покрытия WC-Co по HV 800-1200.

Прочность сцепления: 50-80 МПа, в основном механическое сцепление, частично металлургическое сцепление.

Пористость крайне низкая: <1-2%, покрытие плотное и обладает высокой коррозионной стойкостью.

Шероховатость поверхности: Ra 3-6 мкм, может быть оптимизирована полировкой.

Низкая степень окисления:

Сверхзвуковой поток пламени снижает вовлечение воздуха, а покрытие имеет низкое содержание оксидов (например, меньшее разложение WC на W₂C или WO₃).

Небольшое влияние субстрата:

Температура подложки <200°C, зона термического влияния (ЗТВ) небольшая, последующая термическая обработка не требуется.

5. Высокоскоростное газопламенное напыление (HVOF) для нанесения цементированного карбида

Технология HVOF широко применяется в области обработки твердого сплава, в основном для повышения износостойкости, коррозионной стойкости и стойкости к высоким температурам подложки:

Аэрокосмическая промышленность:

Покрытия для шасси самолетов и лопаток турбин для повышения износостойкости и коррозионной стойкости.

Промышленное оборудование:

Покрытие поверхностей режущих инструментов, штампов, клапанов и корпусов насосов для продления срока службы.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Энергетическая промышленность:

Оборудование для бурения нефтяных и газовых скважин (например, буровые долота) и покрытия труб котлов, устойчивые к эрозии и высокотемпературному окислению.

Бумажное производство и печать:

Покрытие поверхности валков (например, WC-Co) улучшает износостойкость и качество поверхности.

Конкретный пример:

Напыление покрытия WC-12Co на буровые долота имеет твердость HV 1000-1200 и увеличивает износостойкость в 4-6 раз.

Cr₃C₂ - NiCr, нанесенное на шасси самолета, имеет термостойкость до 800°C и отличную коррозионную стойкость.

6. Преимущества и недостатки метода высокоскоростного напыления кислородного топлива (HVOF) на основе цементированного карбида

Преимущества

Высокое качество покрытия: пористость <1-2%, высокая прочность сцепления, отличная износостойкость и коррозионная стойкость.

Низкая окисляемость: высокая скорость пламени, снижающая окисление, подходит для твердого сплава (например, WC-Co).

Малое тепловое воздействие: низкая температура подложки, подходит для прецизионных деталей.

Высокая производительность: скорость распыления 0,5-1 м²/ч, подходит для промышленного производства.

Недостатки

Высокая стоимость оборудования: оборудование HVOF стоит около 1-2 миллионов юаней и сложно в обслуживании.

Высокие требования к порошку: требуется высокопрочный порошок (например, WC-Co), в противном случае он может сломаться.

Громкий шум: Сверхзвуковая пламя производит сильный шум (>120 дБ), требующий установки звукоизоляции.

Ограничение по толщине: Если толщина покрытия превышает 400 мкм, оно легко трескается и его необходимо наносить слоями.

7. Сравнение высокоскоростного напыления кислородного топлива (HVOF) цементированного карбида и других технологий термического напыления

Сравнение с APS (плазменное напыление)

HVOF: более низкая пористость (<1-2% по сравнению с 2-5%), меньшее окисление и более высокая прочность связи (50-80 МПа по сравнению с 30-70 МПа).

APS: более высокая температура (15 000 °C), подходит для более широкого спектра

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

материалов, но большее окисление.

Сравнение с DGS (брызговзрывчатое распыление)

HVOF: более высокая эффективность (0,5–1 м²/ч против 0,1–0,3 м²/ч) и более низкая стоимость оборудования.

DGS: Более высокая твердость покрытия (HV 1100-1400 против 800-1200), но более сложная в эксплуатации.

Технология HVOF (высокоскоростное распыление кислородного топлива) для цементированного карбида распыляет порошок цементированного карбида на подложку через сверхзвуковой поток пламени, образуя покрытие с высокой твердостью, низкой пористостью и высоким качеством покрытия, низким окислением и низким термическим воздействием. Она широко используется в аэрокосмической промышленности, промышленном оборудовании и энергетике. Оптимизация процесса (например, регулировка соотношения топлива и расстояния распыления) может дополнительно улучшить производительность.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

Вакуумно-плазменное напыление цементированного карбида (VPS , вакуумно-плазменное напыление)

1. Определение вакуумно-плазменного напыления цементированного карбида (VPS)

Вакуумное плазменное напыление (VPS) твердого сплава — это технология термического напыления, которая использует плазменное пламя для нагрева порошка твердого сплава (например, WC-Co, Cr₃C₂ - NiCr) до расплавленного или полурасплавленного состояния в вакууме или среде низкого давления и распыляет его на поверхность подложки для формирования высокотвердого, малопористого, неокисляющегося износостойкого покрытия. Технология VPS была разработана в 1970-х годах и широко используется в областях с высоким спросом благодаря чрезвычайно высокому качеству покрытия.

2. Принцип процесса вакуумно-плазменного напыления (VPS) цементированного карбида

Технология VPS основана на характеристиках высокотемпературной и вакуумной среды плазмы. Основные этапы следующие:

Вакуумная среда:

Распыление осуществляется в вакуумной камере с контролируемым давлением 50–200 Па (0,05–0,2 мбар), а воздух откачивается вакуумным насосом (механический насос + диффузионный насос) для снижения содержания кислорода и влаги.

Генерация плазмы:

вводится инертный газ (например, аргон Ar) или газовая смесь (например, Ar+H₂) , и газ ионизируется высокочастотной дугой (напряжение 50–100 В, ток 600–1200 А) для образования высокотемпературной плазмы (температура 10 000–15 000 °С).

Нагрев и ускорение порошка:

Порошок цементированного карбида (размер частиц 10-50 мкм) впрыскивается в плазменное пламя через порошковый питатель, быстро нагревается до расплавленного или полурасплавленного состояния и разгоняется до 300-600 м/с.

Формирование покрытия:

, образуя плотное покрытие толщиной обычно 50–500 мкм .

Контроль атмосферы:

Вакуумная среда (<200 Па) практически не содержит кислорода, что предотвращает окисление покрытия (например, разложение WC на W₂C или WO₃) .

3. Характеристики золотого порошка, полученного методом вакуумно-плазменного напыления (VPS) из цементированного карбида

Обычно используемые материалы:

WC-Co (содержание кобальта 6-12% масс .) : высокая твердость и износостойкость, обычно используется в износостойких покрытиях.

Cr₃C₂ - NiCr : устойчив к высокотемпературному окислению и коррозии, подходит для

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

высокотемпературных сред.

TiC -Ni: Высокая твердость, подходит для особых требований к износостойкости.

Требования к порошку:

Размер частиц: 10-50 мкм, для обеспечения равномерности распыления.

Чистота: >99,5%, содержание кислорода <300 ppm, отсутствие дефектов покрытия.

Морфология: Сферическая или близкая к сферической, что способствует ускорению и осаждению.

4. Характеристики вакуумно-плазменного напыления (ВПН) цементированного карбида

Нет окисления:

Вакуумная среда (<200 Па) исключает окисление, а покрытие не содержит оксидов (таких как WO_3), сохраняя первоначальные свойства твердого сплава.

Характеристики покрытия:

Высокая твердость: твердость покрытия WC-Co по HV 1000-1300.

Прочность сцепления: 60-90 МПа, частичное металлургическое сцепление, более прочное сцепление.

Пористость крайне низкая: <0,5-1%, покрытие плотное и обладает превосходной коррозионной стойкостью.

Шероховатость поверхности: Ra 2-4 мкм, требуется меньшая последующая обработка.

Способность выдерживать высокие температуры:

Температура плазмы составляет 10 000–15 000 °C, что позволяет плавить твердые сплавы с высокой температурой плавления (например, WC, температура плавления 2870 °C).

Небольшое влияние субстрата:

Температуру подложки можно контролировать на уровне <200°C, а зона термического влияния (ЗТВ) мала, что подходит для прецизионных деталей.

Сложный процесс:

Требуется вакуумная камера и вакуумная система, что усложняет операцию и увеличивает ее стоимость.

5. Применение вакуумно-плазменного напыления (ВПН) для твердого сплава

Применение VPS в области обработки твердого сплава в основном сосредоточено в сценариях, требующих высокой производительности и высокой надежности:

Аэрокосмическая промышленность:

Покрытия турбинных лопаток и камер сгорания, устойчивые к высокотемпературному износу и окислению.

Покрытие для деталей космических аппаратов, устойчивое к коррозии в условиях высоких температур и вакуума.

Медицинские приборы:

Покрытие поверхности искусственных суставов (например, тазобедренных суставов) для повышения износостойкости и биосовместимости.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Энергетическая промышленность:

Покрытия для атомного энергетического оборудования и газовых турбин, устойчивые к высокотемпературной коррозии и износу.

Высококачественная промышленность:

Прецизионные формы и покрытия режущего инструмента для продления срока службы.

Конкретный пример:

Напыление покрытия WC-12Co на лопатки авиационных турбин имеет твердость HV 1100-1300, износостойкость повышается в 5-10 раз, дефекты оксидации отсутствуют.

Cr₃C₂ - NiCr напыляется на клапаны атомной энергетики, которые выдерживают температуру 900°C и обладают превосходной коррозионной стойкостью.

6. Преимущества и недостатки вакуумно-плазменного напыления (ВПН) цементированного карбида

Преимущества:

Качество покрытия чрезвычайно высокое: пористость <0,5-1%, отсутствие окисления, оптимальная износостойкость и коррозионная стойкость.

Высокая прочность сцепления: 60-90 МПа, частичное металлургическое сцепление, покрытие не поддается отслаиванию.

Применимо к сценариям с высоким спросом: подходит для областей с высокими требованиями, таких как аэрокосмическая промышленность, медицина и т. д.

Малое тепловое воздействие: низкая температура подложки, подходит для прецизионных деталей.

Недостатки:

Высокая стоимость оборудования: система VPS (включая вакуумную камеру) стоит около 3–5 миллионов юаней и сложна в обслуживании.

Низкая производительность: требуется пылесосить (каждая операция занимает 30-60 минут), скорость распыления составляет около 0,3-0,5 м²/ч.

Сложная операция: необходимо строго контролировать степень вакуума и атмосферу, а также требуются высокие технические навыки оператора.

Ограниченный размер подложки: Из-за размера вакуумной камеры распыление крупных деталей затруднено.

7. Сравнение вакуумно-плазменного напыления цементированного карбида (VPS) и других технологий термического напыления

Сравнение с APS (плазменное напыление):

VPS: отсутствие окисления, более низкая пористость (<0,5-1% по сравнению с 2-5%), более высокая прочность связи (60-90 МПа по сравнению с 30-70 МПа).

APS: работает в атмосфере, имеет низкую стоимость, но более окислительный.

По сравнению с HVOF (высокоскоростное распыление кислородного топлива):

VPS: Покрытие более плотное и не подвержено окислению, но его стоимость высока, а эффективность низкая.

HVOF: Пористость немного выше (<1-2%), но стоимость оборудования низкая (1-2 миллиона

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

юаней), а эффективность высокая.

По сравнению с DGS (брызговзрывчатым распылением):

VPS: без окисления, подходит для сценариев с более высоким спросом, но с более низкой эффективностью.

DGS: аналогичная пористость (<1%), но могут присутствовать следы окисления и немного более низкая стоимость оборудования (2–3 млн юаней).

Технология вакуумного плазменного напыления цементированного карбида (VPS) использует плазму для распыления порошка цементированного карбида в вакуумной среде для формирования высокотвердого, неокисленного, малопористого покрытия. Характеристики включают чрезвычайно высокое качество покрытия и низкое тепловое воздействие. Она широко используется в аэрокосмической, медицинской и высокотехнологичной промышленности. Однако стоимость ее оборудования высока, а эффективность низкая, что подходит для сценариев с высоким спросом. Оптимизация процесса (например, регулировка степени вакуума и расстояния распыления) может дополнительно повысить производительность.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Сравнительная таблица технологий напыления твердосплавных материалов

Название технологии	Плазменное напыление (APS)	Взрывчатое распыление (DGS)	Высокоскоростное распыление кислородно-топливной смеси (HVOF)	Вакуумное плазменное напыление (ВПН)
определение	напыляется плазменным пламенем в атмосфере для формирования износостойкого покрытия.	Твердый сплав распыляется со сверхзвуковой скоростью посредством детонационной реакции, образуя покрытие высокой твердости.	Покрытие с низкой пористостью формируется путем сверхзвукового распыления твердого сплава путем сжигания топлива и кислорода.	напыляется плазменным пламенем в вакуумной среде для формирования покрытия, не подверженного окислению.
Принцип процесса	Ag или Ag + N ₂ , температура 10 000-15 000°C. Порошок (10-50 мкм) разгоняется со скоростью 300-600 м/с . Эксплуатация в атмосфере, защита Ag .	Детонация O ₂ + C ₂ H ₂ , температура 4000°C, ударная волна 3500 м/с. Порошок (10-50 мкм) разгоняется до 800-1200 м/с . Частота 1-10 Гц, продувка N ₂ .	Сгорание O ₂ + керосина/пропана, температура 2800-3200°C. Порошок (10-45 мкм) разгоняется до 500-1000 м/с . Сопло Лавалья.	Вакуум (50-200 Па), ионизация Ag или Ag+N ₂ , температура 10 000-15 000°C. Порошок (10-50 мкм) разгоняется со скоростью 300-600 м/с . Анаэробная среда.
Функции	Высокая термостойкость, твердость HV 900-1200. Пористость 2-5%, прочность сцепления 30-70 МПа. Риск окисления.	Высокая температура и высокое давление, твердость HV 1100-1400. Пористость <1%, прочность сцепления 70-100 МПа. Низкое тепловыделение.	Высокая скорость и низкий нагрев, твердость HV 800-1200. Пористость <1-2%, прочность сцепления 50-80 МПа. Низкая степень окисления.	Не окисляется, твердость HV 1000-1300. Пористость <0,5-1%, прочность сцепления 60-90 МПа. Способность выдерживать высокие температуры.
приложение	Режущие инструменты, клапаны, корпуса насосов. Лопатки турбин, трубы котлов. Пример: Сверло WC-12Co, износостойкость повышена в 3-5 раз.	Лопатки турбины, лопатки компрессора. Режущий инструмент, буровые долота для нефтяных и газовых скважин. Пример: WC-12Co для лопаток турбин, износостойкость повышена в 5-8 раз.	Шасси, лопатки турбины. Режущий инструмент, буровое оборудование, ролики. Пример: Сверло WC-12Co, износостойкость повышена в 4-6 раз.	Лопатки турбин, детали космических аппаратов. Медицинские суставы, ядерное энергетическое оборудование. Пример: WC-12Co для лопаток турбин, износостойкость повышена в 5-10 раз.
Преимущества и недостатки	Преимущества: широкая применимость, высокая твердость	Преимущества: высокое качество покрытия, низкое тепловыделение	Преимущества: высокое качество покрытия, низкая пористость	Преимущества: чрезвычайно высокое качество покрытия, отсутствие окисления

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	<p>производительность (0,5-1 м²/ч), умеренная стоимость (500 000-1 млн юаней). Недостатки: высокая окисляемость, пористость, требует последующей обработки, термического воздействия.</p>	<p>термическое воздействие, меньшая постобработка. Недостатки: сложное оборудование (2-3 млн юаней), низкая производительность (0,1-0,3 м²/ч), высокий риск.</p>	<p>окисляемость, высокая производительность (0,5-1 м²/ч). Недостатки: высокая стоимость (1-2 млн юаней), высокий уровень шума и ограниченная толщина.</p>	<p>качество покрытия, отсутствие окисления, подходит для высоких требований. Недостатки: высокая стоимость (3-5 млн юаней), низкая эффективность (0,3-0,5 м²/ч), ограниченные размеры.</p>
--	--	---	--	---

en.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatun

1

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

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:

Проектирование карбидного интерфейса

1. Значение и значимость проектирования интерфейса из твердого сплава

Твердый сплав (WC-Co) с карбидом вольфрама (WC) в качестве твердой фазы и кобальтом (Co) в качестве связующей фазы широко используется в высокопроизводительных областях, таких как авиационные сопла, режущие инструменты и электроды электролитических ячеек, благодаря своей превосходной твердости (HV1000–1800), износостойкости и высокотемпературной стабильности. Однако его производительность зависит не только от материала подложки, но и от характеристик интерфейса (таких как интерфейс WC/Co, интерфейс покрытие/подложка). Интерфейс представляет собой микроскопическую область между различными фазами (такими как WC и Co, покрытие и подложка) внутри или на поверхности материала, и его химический состав, микроструктура и механическое поведение напрямую влияют на общие эксплуатационные характеристики материала. В экстремальных условиях, таких как высокотемпературная эрозия (1000–1600 °C) авиационных сопел или высококоррозионная среда (pH 1–14) электролитических ячеек, дефекты интерфейса (такие как поры, концентрация напряжений и недостаточная прочность связи) могут привести к повышенному износу, отслаиванию покрытия или снижению каталитической эффективности.

Инженерия интерфейса из цементированного карбида использует физические, химические или механические методы для точного управления микроструктурой, химической связью и механическими свойствами интерфейса для оптимизации функциональности и долговечности материала. Эта технология направлена на создание прочного и стабильного интерфейса, улучшение синергии между подложкой и покрытием, а также между различными фазами, тем самым улучшая производительность цементированного карбида в сложных условиях. Например, в авиационных соплах инженерия интерфейса может улучшить адгезию покрытия и продлить срок службы сопла на 30-50%; в электродах электролизера оптимизация каталитической активности интерфейса может повысить эффективность выделения водорода на 10-20%. Инженерия интерфейса является не только ключом к прорывам в производительности цементированного карбида, но и важной движущей силой технологического прогресса в авиационной, энергетической и обрабатывающей промышленности.

2. Основная цель проектирования интерфейсов

Суть инженерии интерфейса заключается в решении проблем интерфейса твердого сплава в практических приложениях. Ее основные цели включают:

Повышение прочности сцепления на границе раздела: улучшение адгезии покрытия/подложки или WC/Co (например, >50 Н), предотвращение отслаивания или растрескивания, а также соответствие требованиям по эрозии под высоким давлением,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

предъявляемым к авиационным соплам.

Оптимизация распределения напряжений

-6 /°C против Al_2O_3 8×10^{-6} /°C) можно уменьшить за счет проектирования градиента интерфейса или индукции сжимающего напряжения.

Улучшение коррозионной стойкости

Создайте плотный интерфейс, чтобы заблокировать агрессивные среды (например, серную кислоту и гидроксид калия в электролитической ячейке) и снизить скорость коррозии на 50–90%.

Улучшить каталитическую активность

В электродах электролизера активные центры увеличиваются за счет интерфейсных наноструктур, что снижает перенапряжение выделения водорода/кислорода (50–200 мВ).

Продлить срок службы

Комплексная оптимизация характеристик интерфейса может продлить срок службы деталей на 20–50%, например, увеличить срок службы авиационного сопла с 5000 до 8000 часов.

3. Основные технические методы проектирования твердосплавных интерфейсов

Технология проектирования интерфейса из цементированного карбида охватывает три категории: проектирование структуры интерфейса, оптимизация интерфейса покрытия и модификация интерфейса подложки. Ниже приводится подробное обсуждение основных методов с точки зрения принципа, процесса и применения.

3.1 Проектирование структуры интерфейса

Регулируя микроструктуру интерфейса WC/Co, оптимизируется синергетический эффект внутренних фаз твердого сплава.

Контроль размера зерна

ультратонкий порошок WC (размер частиц 0,2-1 мкм), а процесс спекания (1350-1450°C) оптимизирован для того, чтобы сделать границу зерен интерфейса WC/Co более однородной и увеличить прочность связи интерфейса на 20%. Этот метод повышает прочность матрицы и подходит для требований ударопрочности авиационных сопел.

Интерфейсное легирование

Введение следовых добавок (таких как Cr_3C_2 , VC) на границе раздела WC/Co подавляет рост зерен WC, образует наноразмерный интерфейсный слой (толщиной 10-100 нм) и увеличивает твердость на 5-10% (HV1600-1800). Эта технология повышает коррозионную стойкость матрицы в электроде электролитической ячейки.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.2 Оптимизация интерфейса покрытия

Благодаря проектированию переходного слоя или структуры интерфейса между покрытием и подложкой из цементированного карбида улучшается адгезия и стабильность.

Градиентное покрытие

Используя PVD или CVD для нанесения многослойных покрытий (таких как TiN / TiCN / Al₂O₃), коэффициент теплового расширения и твердость постепенно изменяются слой за слоем, а адгезия улучшается на 30% (>60 Н). В авиационных соплах градиентные покрытия уменьшают термическое растрескивание и продлевают срок службы на 40%.

Предварительная обработка интерфейса

Придание шероховатости поверхности подложки (Ra 0,8–2 мкм) путем пескоструйной обработки или химического травления увеличивает эффект механического сцепления и улучшает адгезию покрытия на 20%. Этот метод обеспечивает долговременную стабильность покрытий электродов электролитических ячеек (таких как RuO₂).

Конструкция переходного слоя

мкм) между подложкой и покрытием улучшает химическую связь и снижает межфазное напряжение. Например, переходный слой Ti увеличивает адгезию до 70 Н в покрытии PVD-TiN.

3.3 Модификация интерфейса матрицы

Непосредственно модифицируйте интерфейс WC/Co или поверхность подложки физическими или химическими методами для улучшения характеристик интерфейса.

Ионная имплантация

Высокоэнергетические ионы (такие как N⁺ и C⁺) имплантируются в поверхность подложки (глубина 0,1–1 мкм) для формирования упрочненного слоя интерфейса (твердость HV1500–2000), что улучшает износостойкость и коррозионную стойкость. В электродах электролитических ячеек имплантация N⁺ увеличивает эффективность выделения хлора на 15%.

Модификация лазерного интерфейса

Лазерный луч используется для расплавления или воздействия на поверхность подложки с целью формирования наномасштабной структуры интерфейса (размер зерна <100 нм), что увеличивает твердость на 10% (HV1200-1600). Эта технология снижает коэффициент трения (0,1-0,2) в проточном канале авиационных сопел.

Плазменная терапия

Плазма (например, Ar, N₂) бомбардирует поверхность подложки, удаляя оксиды и вызывая сжимающее напряжение, увеличивая прочность связи интерфейса на 20%. В

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

электролитической ячейке плазменная обработка повышает кислотостойкость покрытия.

4. Сценарии применения интерфейсной инженерии

Технология интерфейсов из цементированного карбида показала широкую применимость в авиационных соплах, электролитических ячейках и других высокопроизводительных областях:

Авиационная насадка

Градиентные покрытия (такие как TiN / Al₂O₃) оптимизируют интерфейс покрытия/подложки, улучшают адгезию на 30 % и продлевают срок службы топливных форсунок в условиях высокоскоростной эрозии воздушного потока на 40 % (с 5000 часов до 7000 часов). Контроль размера зерна повышает прочность интерфейса WC/Co и соответствует требованиям сопротивления термической усталости охлаждающих форсунок.

Электроды электролизера

Ионная имплантация и конструкция переходного слоя улучшают каталитическую активность интерфейса электрода, снижают перенапряжение выделения водорода (100-150 мВ) и увеличивают эффективность на 10-15%. Например, в электролизере PEM используются имплантированные N⁺ WC-Co электроды, что снижает количество драгоценных металлов на 60% и увеличивает срок службы до 15 000 часов.

Режущие инструменты

Легирование интерфейса (например, Cr₃C₂) оптимизирует интерфейс WC/Co, увеличивает твердость на 5% и износостойкость на 30%, что делает его пригодным для высокоскоростной резки.

Горные кирки

Лазерная модификация интерфейса формирует упрочненный слой, который повышает износостойкость на 20% и продлевает срок службы.

Случай: Топливная форсунка двигателя GE9X имеет градиентное покрытие PVD- TiN с адгезией интерфейса 70 Н, повышением износостойкости на 30% и улучшенной эффективностью сгорания.

5. Преимущества и проблемы

5.1 Преимущества

Прорыв в производительности

Разработка интерфейса значительно улучшает адгезию покрытия (>50 Н), коррозионную стойкость и каталитическую активность, продлевая срок службы компонентов на 20–50% и повышая эффективность на 10–20%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Совместная оптимизация

Регулируя интерфейс WC/Co или покрытие/подложка, синергетический эффект между подложкой и функциональным слоем усиливается, что позволяет соответствовать сложным рабочим условиям авиационных сопел и электролитических ячеек.

Высокая гибкость

От наномасштабного легирования до градиентных покрытий, технология может быть адаптирована для различных областей применения, таких как каталитические интерфейсы в электролизерах или износостойкие интерфейсы в соплах.

Межотраслевое применение

Технология применима в различных областях, таких как авиация, энергетика и производство, демонстрируя широкую инженерную ценность.

5.2 Проблемы

Сложность процесса

Проектирование интерфейсов требует точного контроля микроструктуры (например, размера зерна и толщины переходного слоя) и предъявляет высокие требования к оборудованию и процессам (например, оборудование PVD стоимостью 10–30 миллионов юаней).

Высокая стоимость

Такие технологии, как ионная имплантация и лазерная модификация, имеют высокое энергопотребление (500–1000 кВт·ч/партия), что ограничивает их широкомасштабное применение.

Стабильность интерфейса

При длительном воздействии высоких температур или коррозионной среды интерфейс может деградировать (например, отслоение покрытия и дезактивация каталитического центра), поэтому необходимо оптимизировать конструкцию интерфейса.

Совместимость материалов

Разница в коэффициентах теплового расширения различных фаз может привести к растрескиванию интерфейса, поэтому необходимо разработать новые переходные материалы.

Воздействие на окружающую среду

Химическое осаждение из газовой фазы и ионная имплантация подразумевают использование химических газов или высокое потребление энергии, поэтому необходимы усовершенствования в области экологически чистых процессов.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6. Тенденции будущего развития

Для преодоления трудностей и содействия развитию технологии создания интерфейсов из твердого сплава в будущем можно сосредоточиться на следующих направлениях:

Многомасштабный дизайн интерфейса

Сочетание наноразмерного легирования (<100 нм) и микронных переходных слоев (1–10 мкм) улучшает сцепление и стабильность интерфейса, а долговечность увеличивается на 30–50%.

Технология зеленого интерфейса

Разработать низкотемпературную технологию PVD/CVD (<500°C) или плазменную обработку для снижения энергопотребления на 30–50% и сокращения химических выбросов.

Умная оптимизация интерфейса

Используя искусственный интеллект и моделирование молекулярной динамики, мы можем прогнозировать распределение напряжений на границе раздела и каталитические характеристики, сокращая цикл НИОКР на 30%.

Интерфейс составной функции

Разработка каталитически-коррозионно-стойких композитных интерфейсов (таких как MoN / TiN) может повысить эффективность электродов электролизера на 20% и сократить использование драгоценных металлов на 70%.

Интеграция аддитивного производства

Сочетание 3D-печатной карбидной подложки с модификацией интерфейса на месте позволяет добиться комплексного производства сложных деталей, сократив затраты на 20–30%.

7. Технические характеристики твердосплавного интерфейса

технология	Механизм действия	Типичные применения	Основные преимущества	Основные ограничения	Эффект применения
Контроль размера зерна	Оптимизация границ зерен интерфейса WC/Co	Насадка, резак	Прочность +20%, Твердость +5%	Процесс спекания сложен	Ударопрочность сопла +30%
Интерфейсное легирование	Представляем Cr_3C_2 и VC	Электрод, пика	Твердость +5–10%, коррозионная стойкость	Сложность контроля добавок	Коррозионная стойкость электрода +20%
Градиентное	Многослойный	Сопло,	Адгезия +30%	Высокая стоимость	Срок службы сопла

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

покрытие	переход PVD/CVD	электрод	устойчивость к термическим нагрузкам	к оборудования	+40%
Предварительная обработка интерфейса	Пескоструйная обработка, химическое травление	Электрод, инструмент	Прочность склеивания +20%, простой процесс	Повышенная шероховатость поверхности	Стабильность электрода +25%
Ионная имплантация	Интерфейс встраивания N ⁺ , C ⁺	Электрод, сопло	Каталитическая активность +15%, без интерфейса	Ограниченная глубина и высокая стоимость	Эффективность выделения водорода +10%
Лазерная модификация	Упрочнение интерфейса в наномасштабе	Насадка, в кирка	Коэффициент трения 0,1-0,2, высокая точность	Высокое потребление энергии	Износостойкость канала +20%
Плазменная терапия	Удалить оксиды, сжимающие напряжения	Электрод, бак	Прочность сцепления +20%, кислотостойкость	Комплексное оборудование	Коррозионная стойкость электрода +30%

проиллюстрировать:

Механизм действия: Обзор основного механизма технологии.

Типичные области применения: авиационные сопла, электролизеры и т. д.

Плюсы и минусы: сравните производительность и ограничения.

Эффект применения: Подчеркните вклад сопла и электролитической ячейки.

Источник данных: отчет USGS 2024 и технические стандарты твердого сплава.

Инженерия интерфейса из цементированного карбида обеспечивает прорывные решения для высокопроизводительных приложений, таких как авиационные сопла и электроды электролитических ячеек, путем точного управления микроструктурой и свойствами интерфейса WC/Co и интерфейса покрытие/подложка. Градиентное покрытие, ионная имплантация и другие технологии значительно улучшают связь интерфейса, коррозионную стойкость и каталитическую активность, продлевая срок службы сопла на 40% и повышая эффективность электролиза на 10-20%. Хотя сложность процесса, стоимость и стабильность интерфейса остаются проблемами, интеграция многомасштабного проектирования, экологически чистых процессов и интеллектуальной оптимизации выведет технологию на новые высоты. Инженерия интерфейса является не только ключом к улучшению характеристик цементированного карбида, но и привносит мощный импульс в устойчивое развитие областей авиации, энергетики и производства, демонстрируя глубокую синергию материаловедения и инженерных приложений.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

Технология модификации поверхности цементированного карбида

1. Значение и значимость модификации поверхности твердого сплава

Твердый сплав (WC-Co) имеет карбид вольфрама (WC) в качестве твердой матрицы и кобальт (Co) в качестве связующей фазы. Благодаря своей превосходной твердости (HV1000–1800), износостойкости и высокой температурной стабильности он стал основным материалом в таких высокопроизводительных областях, как режущие инструменты, горные кирки и авиационные сопла. Однако в экстремальных рабочих условиях, таких как высокотемпературная газовая эрозия (1000–1600 °C), удар высокого давления (10–30 МПа) или коррозия сульфида топлива, с которыми сталкиваются авиационные сопла, поверхность твердого сплава может страдать от износа, окисления или усталостного разрушения, что ограничивает его срок службы и надежность. Технология модификации поверхности твердого сплава использует физические, химические или механические средства для точного контроля химического состава, микроструктуры или физических свойств поверхностного слоя, тем самым значительно улучшая эксплуатационные характеристики поверхности, сохраняя при этом превосходные механические свойства материала матрицы. Эта технология является не только ключом к продлению срока службы деталей, но и важной движущей силой технологического прогресса в таких отраслях, как авиация и производство.

Основная цель модификации поверхности — оптимизировать производительность твердого сплава в определенных условиях. Например, в авиационных соплах модификация поверхности может повысить износостойкость, чтобы справиться с высокоскоростным воздушным потоком, улучшить коррозионную стойкость, чтобы противостоять химической эрозии топлива, или улучшить устойчивость к высоким температурам, чтобы адаптироваться к экстремальным условиям в камере сгорания. Эти улучшения не только продлевают срок службы сопла (с 5000 часов до 8000 часов), но и повышают эффективность сгорания (5–10%), поддерживая энергосбережение, сокращение выбросов и оптимизацию производительности авиационных двигателей. Кроме того, технология модификации поверхности может дополнительно удовлетворить потребности различных приложений, таких как режущие инструменты и пресс-формы, за счет снижения коэффициента трения или повышения усталостной прочности, демонстрируя широкий спектр ее инженерной ценности? web :9,23 ? .

2. Основные подходы к технологии модификации поверхности твердого сплава

Технологии модификации поверхности цементированного карбида охватывают три категории: технологию покрытия поверхности, химическую модификацию поверхности и механическую модификацию поверхности. Каждый тип технологии вводит определенные функции в поверхность цементированного карбида посредством различных механизмов действия для решения задач сложных рабочих условий. Ниже приводится подробное

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

обсуждение характеристик каждого типа технологии с точки зрения принципов процесса, сценариев применения и эффектов.

2.1 Технология покрытия поверхности: создание защитного барьера

Технология поверхностного покрытия наносит один или несколько слоев функциональных материалов (таких как керамика, металлы или композиты) на поверхность цементированного карбида, чтобы обеспечить защитный барьер для подложки, значительно улучшая износостойкость, коррозионную стойкость и стойкость к высоким температурам. Эта технология особенно распространена в авиационных соплах, поскольку она может эффективно бороться с высокотемпературной эрозией и химической коррозией.

Физическое осаждение из паровой фазы (PVD)

PVD использует физические процессы (такие как распыление или испарение) в вакуумной среде для нанесения материалов покрытия (таких как нитрид титана TiN и оксид алюминия Al_2O_3) в атомной или молекулярной форме на поверхность цементированного карбида для формирования пленки толщиной 1–10 мкм. Температура процесса PVD низкая (200–500 °C), что позволяет избежать ухудшения характеристик подложки. Твердость покрытия может достигать HV2000–3000 и имеет сильную адгезию (> 50 Н). В авиационных соплах покрытия TiN могут значительно улучшить износостойкость топливных форсунок, продлевая их срок службы на 30% при высокоскоростной очистке потоком воздуха. Однако покрытия PVD тонкие и могут отслаиваться при экстремальном ударе, что ограничивает их применение в условиях высоких нагрузок.

Химическое осаждение из паровой фазы (CVD)

CVD преобразует газообразные прекурсоры (такие как тетрахлорид титана $TiCl_4$) в твердые покрытия (такие как карбид титана TiC, Al_2O_3) толщиной 5–20 мкм посредством высокотемпературных (800–1000 °C) химических реакций. Покрытия CVD толстые и плотные, и особенно подходят для высокотемпературных сред, таких как покрытие Al_2O_3 охлаждающих сопел турбовентиляторных двигателей, которое может выдерживать высокие температуры 1500 °C и противостоять окислительной коррозии. Однако высокотемпературные процессы могут привести к размягчению фазы кобальта подложки, усложнить управление процессом и иметь высокие затраты на оборудование (примерно 10–30 миллионов юаней).

Термическое напыление Термическое напыление формирует покрытие толщиной 50–500

мкм на поверхности путем распыления расплавленных или полурасплавленных материалов (таких как WC-Co, карбид хрома Cr_3C_2) на высокой скорости. Эта технология подходит для крупных деталей, таких как горловина сопел газовых турбин, а его толстое покрытие может эффективно противостоять высокоскоростной газовой эрозии. Однако термическое напыление имеет низкую прочность сцепления (20–40 МПа) и шероховатую поверхность (Ra

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2–5 мкм) , что требует последующей обработки для соответствия требованиям точности авиационных сопел (таким как Ra <0,4 мкм) .

2.2 Химическая модификация поверхности: изменение структуры поверхности

Поверхностная химическая модификация улучшает поверхностные свойства твердого сплава путем введения новых элементов или изменения химического состава поверхностного слоя. Этот метод воздействует непосредственно на поверхность материала, образуя модифицированный слой, который бесшовно соединяется с подложкой, что особенно подходит для высокоточных деталей.

Имплантация

использует высокоэнергетические ионные пучки (например, азот N⁺ , углерод C⁺) для бомбардировки поверхности, внедряя ионы в поверхностный слой (глубина 0,1-1 мкм) , образуя закаленные соединения (например, WN, WC) и улучшая твердость (HV1500-2000) и износостойкость. Ионная имплантация не имеет очевидного интерфейса покрытия и сохраняет свойства подложки. Она подходит для износостойкого укрепления микропористой поверхности авиационных сопел, и износостойкость может быть улучшена на 20%. Однако ограниченная глубина модификации и высокая стоимость оборудования (около 10 миллионов юаней) ограничивают ее применение на деталях большой площади.

Химическая термическая обработка (цементация, азотирование)

Химическая термическая обработка использует высокую температуру (800-1000 °C) для проникновения атомов углерода или азота в поверхность с образованием твердого слоя соединения (толщиной 10-100 мкм) . Твердость поверхности азотированного цементированного карбида может достигать HV1500-2000, а износостойкость значительно улучшается, что подходит для износостойких деталей горнодобывающих резцов или авиационных сопел. Однако высокая температура может снизить прочность матрицы, и параметры процесса должны точно контролироваться, чтобы сбалансировать производительность.

2.3 Механическая модификация поверхности: оптимизация морфологии и напряжения

Поверхностная механическая модификация изменяет морфологию поверхности или напряженное состояние посредством физического воздействия для повышения усталостной прочности или износостойкости. Этот метод прост в процессе, имеет низкую стоимость и подходит для различных условий работы.

Дробеструйная

обработка Дробеструйная обработка использует высокоскоростные снаряды (например, стальную и керамическую дробь) для бомбардировки поверхности, вызывая сжимающее напряжение и повышая усталостную прочность. Дробеструйная обработка может продлить

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

усталостную долговечность каналов потока авиационных сопел на 30% и особенно подходит для деталей, подвергающихся циклическому термическому напряжению. Однако дробеструйная обработка увеличивает шероховатость поверхности (Ra 0,8–2 мкм), что может повлиять на эффективность жидкости и потребовать последующей полировки.

Лазерная модификация поверхности

Лазерная модификация поверхности использует лазерный луч для расплавления или воздействия на поверхность для формирования закаленного слоя (глубиной 0,1-1 мм) или микро-наноструктуры, повышения твердости (HV1200-1600) и снижения коэффициента трения (0,1-0,2). На поверхности микропор в авиационных соплах лазерная модификация может оптимизировать динамику жидкости и снизить износ адгезии. Однако лазерное оборудование стоит дорого (около 5 миллионов юаней) и потребляет много энергии, поэтому процесс необходимо оптимизировать для снижения эксплуатационных расходов.

3. Применение твердосплавной модификации поверхности в авиационных соплах

Как основные компоненты авиационных двигателей (турбовентиляторных, турбовальных) и газовых турбин, авиационные сопла должны стабильно работать в условиях высоких температур, высокого давления и коррозионных сред. Технология модификации поверхности цементированным карбидом значительно повышает производительность и срок службы сопел за счет повышения износостойкости, коррозионной стойкости и стойкости к высоким температурам. Например:

Топливная форсунка

PVD- TiN, что повышает износостойкость на 30%, увеличивает срок службы с 5000 часов до 7000 часов и повышает эффективность сгорания на 5%.

Охлаждающее сопло

CVD-Al₂O₃ используется для сопел охлаждающих отверстий турбовентиляторных двигателей. Оно выдерживает высокие температуры 1500°C, снижает окислительную коррозию и продлевает циклы технического обслуживания на 30%.

Горловина сопла

Покрyтия WC-Co, нанесенные методом термического напыления, используются в соплах газовых турбин для защиты от высокоскоростной газовой эрозии и увеличения срока службы на 20%.

Поверхность проточного канала: дробеструйная обработка и лазерная модификация повышают усталостную прочность проточного канала, адаптируют его к циклическим термическим нагрузкам и увеличивают усталостную долговечность на 30%.

Эти приложения не только повышают надежность форсунок, но и оптимизируют топливную экономичность и показатели выбросов двигателей, способствуя устойчивому развитию

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

авиационной промышленности ? web:9 ? .

4. Преимущества и ограничения технологии модификации поверхности цементированным карбидом

Технология модификации поверхности цементированным карбидом обеспечивает значительное улучшение эксплуатационных характеристик высокопроизводительных деталей, но она также имеет определенные ограничения:

Преимущества технологии модификации поверхности твердосплавными материалами: Оптимизация производительности

Износостойкость, коррозионная стойкость и стойкость к высоким температурам повышаются на 20–50%, что продлевает срок службы деталей и позволяет им выдерживать суровые условия эксплуатации, например, в случае авиационных сопел.

Защита субстрата

Модификация действует только на поверхность, сохраняя превосходную прочность (2000–2500 МПа) и вязкость матрицы WC-Co.

Гибкая настройка

От тонкопленочных покрытий (PVD) до толстых покрытий (термическое напыление), от упрочненных слоев (ионная имплантация) до микро- наноструктурирования (лазер) — технологию можно выбирать в соответствии с требованиями.

Ограничения технологии модификации поверхности твердосплавными материалами: Высокая стоимость

Инвестиции в оборудование велики (например, печь PVD/CVD стоит 10–30 миллионов юаней), а эксплуатационное потребление энергии велико (500–1000 кВт·ч на партию).

Сложный процесс

Параметры (такие как температура CVD и доза ионной имплантации) необходимо точно контролировать, а состояние поверхности подложки влияет на эффект.

Ограничения применимости

Тонкие покрытия (PVD 1–10 мкм) подвержены отслаиванию при сильной эрозии, а глубина химической модификации (0,1–100 мкм) недостаточна для того, чтобы выдерживать длительный износ.

5. Проблемы технологии модификации поверхности твердого сплава

Хотя технология модификации поверхности цементированным карбидом продемонстрировала большой потенциал в таких областях, как авиационные сопла, ее продвижение и применение по-прежнему сталкивается со следующими проблемами:

Экономичный

Стоимость высокопроизводительного оборудования и процессов ограничивает их применение на малых и средних предприятиях, особенно в массовом производстве, где

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

необходимо сбалансировать производительность и стоимость.

Стабильность и надежность

На адгезию покрытия (20–50 МПа) или равномерность модифицированного слоя влияют чистота и шероховатость поверхности подложки, поэтому необходимо совершенствовать технологию предварительной обработки.

Адаптируемость к экстремальным условиям работы

Долгосрочную работоспособность авиационных сопел в условиях высокотемпературной эрозии и циклических нагрузок еще предстоит проверить, а отслаивание тонких покрытий или износ модифицированных слоев являются основными узкими местами.

Экологическая устойчивость

Химическое осаждение из газовой фазы сопровождается выбросами химических газов, термическое напыление и лазерная модификация потребляют большое количество энергии, поэтому необходимо разрабатывать экологически чистые процессы, отвечающие требованиям по охране окружающей среды.

Совместимость материалов

Разница в коэффициенте теплового расширения между модифицированным слоем и матрицей WC-Co (например, Al_2O_3 $8 \times 10^{-6} / ^\circ C$ против WC-Co $5-7 \times 10^{-6} / ^\circ C$) может привести к растрескиванию под действием термических напряжений, поэтому необходимо оптимизировать конструкцию интерфейса.

6. Перспективное направление развития технологии модификации поверхности твердого сплава

Для решения задач и дальнейшего повышения ценности применения технологии модификации поверхности твердого сплава в будущем возможны прорывы в следующих направлениях:

Многослойное композитное покрытие

Многослойные структуры PVD/CVD (например, TiN / Al_2O_3 / TiC) , сочетающие в себе высокую твердость и высокую прочность, повышающие износостойкость на 50% и противоотслаивающие свойства на 30%, что соответствует сложным условиям работы авиационных сопел.

Инновации в области зеленых процессов

Продвижение низкотемпературного химического осаждения из газовой фазы ($<600^\circ C$) или плазменного физического осаждения из газовой фазы для снижения энергопотребления на 30–50%; разработка экологически чистых прекурсоров для снижения химических выбросов.

Умный дизайн поверхности

Благодаря лазерной микронаноструктуре или самосмазывающемуся покрытию (например, MoS₂ , DLC) коэффициент трения можно снизить до значения ниже 0,1, тем самым повышая эффективность подачи жидкости через форсунку.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Интеграция аддитивного производства

Сочетание 3D-печатных карбидных подложек с модификацией поверхности (например, лазерной модификацией на месте) позволяет добиться комплексного производства сложных деталей и снизить затраты на 20–30%.

Оптимизация на основе данных

Используйте искусственный интеллект и моделирование молекулярной динамики для прогнозирования характеристик и срока службы покрытия, сокращения цикла НИОКР на 30% и ускорения итераций технологий.

7. Резюме

Технические характеристики модификации поверхности твердого сплава

технология	Механизм действия	Типичные применения	Основные преимущества	Основные ограничения	Эффект авиационного сопла
ПВД	Физическое осаждение тонких пленок 1–10	Режущие инструменты, микропоры сопла	Высокая твердость HV2000–3000, низкотемпературный процесс	Тонкое покрытие, слабая ударопрочность	Износостойкость топливной форсунки +30%, срок службы 7000 часов
ССЗ	Химическое осаждение толстого покрытия 5–20	Насадка, кирка	Высокая термостойкость 1500°C, коррозионная стойкость	Высокая температура повреждает основание и является дорогостоящей.	Температурная стойкость охлаждающего сопла и 1500°C, цикл обслуживания +30%
Термическое напыление	Напыление толстого покрытия 50–500	Горловина сопла, форма	Противоэрозионное, толстое покрытие	Низкая сила связывания и плохая точность	Срок службы сопла и газовой турбины +20%
Ионная имплантация	Слой ионного упрочнения 0,1–1	Нож, Насадка	Нет интерфейса, высокая точность	Ограниченная глубина и дорогое оборудование	Износостойкость микропор +20%
Химико-термическая обработка	Цементация/азотирование закалка 10–100	Выборка, насадка	Высокая твердость, умеренная стоимость	Высокая температура влияет на прочность	Твердость износостойких деталей: HV1500–2000
Дробеструйная обработка	Сжимающее напряжение, вызванное снарядом	Канал потока сопла	Против усталости, низкая стоимость	Повышенная шероховатость	Усталостная долговечность бегунка +30%
Лазерная модификация	Лазерная закалка/микроструктура	Форсунка, форма	Высокая точность и низкое трение	Высокое потребление энергии и высокая	Коэффициент трения микропор 0,1–0,2

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

				СТОИМОСТЬ	
--	--	--	--	-----------	--

проиллюстрировать:

Механизм действия: Обзор основных принципов технологии.

Типичные области применения: перечислите основные сценарии использования.

Плюсы и минусы: сравните производительность и ограничения.

Эффект аэродинамического сопла: подчеркивает специфический вклад сопла.

Источник данных: отчет USGS 2024 и технические стандарты твердого сплава ? web:9,23 ? .

В заключение

Благодаря сложному покрытию, химической или механической обработке технология модификации поверхности из цементированного карбида придает материалам WC-Co отличную износостойкость, коррозионную стойкость и стойкость к высоким температурам, что делает их блестящими в таких высокопроизводительных областях, как авиационные сопла и режущие инструменты. В авиационных соплах покрытия PVD и CVD эффективно справляются с высокотемпературной эрозией, дробеструйная обработка и лазерная модификация значительно повышают усталостную стойкость, всесторонне продлевают срок службы деталей на 20-50% и оптимизируют эффективность сгорания на 5-10%. Хотя высокая стоимость, сложность процесса и приспособляемость к экстремальным условиям работы остаются проблемами, интеграция многослойных композитных покрытий, экологически чистых процессов и аддитивного производства выведет технологию на более высокий уровень. Технология модификации поверхности из цементированного карбида не только является передовым краем инноваций в материаловедении, но и вносит сильный импульс в эффективное, надежное и устойчивое развитие авиационной промышленности, демонстрируя глубокую интеграцию науки и техники.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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:

Применение нанокompозитного покрытия из цементированного карбида в электролитической ячейке

1. Предпосылки создания твердосплавных и нанокompозитных покрытий

Твердый сплав (WC-Co) с карбидом вольфрама (WC) в качестве твердой фазы и кобальтом (Co) в качестве связующей фазы широко используется в авиационных соплах, режущих инструментах и промышленных износостойких деталях благодаря своей высокой твердости (HV1000–1800), превосходной износостойкости и высокой температурной стабильности. Однако в экстремальных условиях, таких как электролитические ячейки, такие как сильные кислотные и щелочные электролиты (pH 1–14), высокие температуры (50–80 °C) и высокие плотности тока (0,1–10 А/см²), поверхности из твердого сплава могут сталкиваться с такими проблемами, как коррозия, износ или недостаточная каталитическая эффективность. Нанокompозитные покрытия, как передовая технология модификации поверхности, значительно улучшают коррозионную стойкость, каталитическую активность и механические свойства поверхностей из твердого сплава за счет объединения наноразмерных частиц (таких как SiC, TiO₂, УНТ) или тонкие пленки (толщиной 1–100 нм) с металлическими или керамическими матрицами, что является идеальным решением для электродов, резервуаров или коррозионно-стойких деталей в электролитических ячейках.

Применение нанокompозитных покрытий в электролизерах в основном направлено на повышение электрокаталитической эффективности электродов, продление срока службы коррозионной стойкости и сокращение использования драгоценных металлов (таких как платина и иридий). Например, в водородных электролизерах (таких как электролизеры PEM) нанокompозитные покрытия могут снизить загрузку платины в 10–40 раз, сохраняя при этом высокую каталитическую активность. В области авиационных сопел аналогичные технологии также используются для повышения износостойкости и коррозионной стойкости, что указывает на их широкую применимость в экстремальных условиях работы.

Благодаря точному проектированию покрытия нанокompозитные покрытия из цементированного карбида не только оптимизируют производительность электролитических ячеек, но и способствуют устойчивому развитию технологий зеленой энергетики.

2. Характеристики нанокompозитного покрытия из цементированного карбида

Нанокompозитные покрытия состоят как минимум из двух несмешивающихся фаз (таких как металлическая матрица и наночастицы), а область интерфейса имеет наномасштабную структуру (размер зерна или частицы <100 нм). Его уникальные свойства вытекают из синергетического эффекта наноэффектов, включая эффект малого размера, улучшение интерфейса и квантовый эффект. Ниже приведены его основные характеристики:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Высокая твердость и износостойкость

Наночастицы (такие как SiC, Al₂O₃) внедряются в матрицу (например, Ni-P, WC-Co) с твердостью до HV2000–3000 и повышенной на 30–50% износостойкостью, что подходит для механического износа, которому подвергаются электроды электролитических ячеек.

Отличная коррозионная стойкость

Плотная структура и химическая инертность нанопокрывтия (например, TiN и MoN) эффективно блокируют едкие электролиты (например, серную кислоту и гидроксид калия), снижая скорость коррозии на 50–90%.

Высокоэффективный электрокатализ

Активные центры наномасштаба (такие как RuO₂ и IrO₂) увеличивают площадь поверхностной реакции, снижают перенапряжение выделения водорода/кислорода (50–200 мВ) и повышают эффективность электролиза на 10–20%.

Термическая стабильность

Покрывтия остаются стабильными при рабочей температуре электролизера 50–80°C, а некоторые покрывтия (например, Al₂O₃ - TiO₂) может выдерживать более высокие температуры (>200°C).

Низкая зависимость от драгоценных металлов

с наночастицами (такими как MoN и CNT) может снизить затраты на 50–80%, отвечая потребностям зеленого производства.

Эти свойства делают нанокompозитные покрывтия идеальными для электродов электролизеров и коррозионно-стойких компонентов, особенно в производстве водорода (например, электролиз воды) и в хлорно-щелочной промышленности.

3. Способ приготовления

Подготовка нанокompозитных покрывтий из цементированного карбида требует учета однородности покрывтия, адгезии и точного контроля наноструктуры. Ниже приведены основные методы, проанализированные в сочетании с характеристиками применения электролитических ячеек:

3.1 Физическое осаждение из паровой фазы (PVD)

TiN и ZrO₂) на поверхности твердого сплава путем распыления или испарения с образованием пленки толщиной 1–10 мкм. Температура процесса низкая (200–500 °C), что подходит для получения прецизионных покрывтий для электродов электролитических ячеек. Покрывтия PVD имеют высокую твердость (HV2000–3000) и сильную адгезию (>50 Н). Они используются для нанесения покрывтий TiN в электролитических ячейках PEM для улучшения коррозионной стойкости и каталитической активности электродов. Однако покрывтия PVD тонкие и имеют ограниченную стойкость к износу при больших нагрузках.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.2 Химическое осаждение из паровой фазы (CVD)

CVD-покрытия наносят толстые покрытия (5–20 мкм), такие как TiC или $Al_2O_3 - TiO_2$, посредством высокотемпературных (600–1000 °C) химических реакций, которые подходят для защиты от коррозии корпусов электролитических ячеек или электродов. CVD-покрытия плотные и устойчивы к высоким температурам, но они могут вызывать размягчение кобальтовой фазы цементированного карбида при высоких температурах, и процесс необходимо оптимизировать для снижения температуры осаждения. В хлорщелочных электролитических ячейках часто используются электроды с покрытием CVD- RuO_2 , которые повышают эффективность выделения хлора на 15%.

3.3 Химическое покрытие

Химическое осаждение наносит нанокompозитное покрытие на основе Ni-P на поверхность цементированного карбида путем химического восстановления, внедряя наночастицы (такие как SiC, CNT). Толщина покрытия контролируется (5–50 мкм), с высокой однородностью, подходит для электродов со сложной геометрией. После термической обработки фаза Ni_3P кристаллизуется, увеличивая твердость до HV1500–2000, а износостойкость улучшается на 30%. В электролитической ячейке покрытие Ni-P/ SiC используется для коррозионно-стойких электродов, а его стоимость ниже, чем PVD/CVD.

3.4 Электроосаждение

Электроосаждение наносит нанокompозитные покрытия на основе Co-P или Ni-P посредством электрохимических реакций, легированных наночастицами (такими как Al_2O_3 , TiO_2). Процесс прост, недорог (стоимость оборудования около 1-5 миллионов юаней) и подходит для крупномасштабного производства. Покрытия Co-P/ Al_2O_3 демонстрируют высокую коррозионную стойкость на электродах электролитических ячеек, снижая скорость коррозии на 70%. Однако однородность электроосажденного покрытия зависит от плотности тока, и параметры процесса необходимо оптимизировать.

3.5 Плазменно-электролитическое оксидирование (ПЭО)

Al_2O_3) в электролите через высокое напряжение (350–500 В), толщиной 3–10 мкм, что подходит для защиты от коррозии цементированных карбидных резервуаров или электродов. Покрытие ПЭО имеет низкую пористость и отличную коррозионную стойкость и подходит для щелочных электролитических ячеек (например, электролит KOH). Добавление наночастиц (например, V_2O_5) может дополнительно улучшить электрокаталитические характеристики со скоростью удаления ХПК 90%.

4. Сценарии применения в электролизерах

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Нанокompозитные покрытия из цементированного карбида в основном используются для электродов, корпусов резервуаров и коррозионно-стойких деталей в электролитических ячейках. Типичные области применения включают:

Водородный электролизер (ВЭЛ, щелочной электролизер)

Нанокompозитные покрытия (такие как MoN и Ni-P/CNT) используются для электродов, чтобы снизить перенапряжение выделения водорода (100–150 мВ), уменьшить нагрузку платины в 10–40 раз и повысить эффективность электролиза на 15%. Например, покрытие MoN от Naco Technologies занимает первое место в электролизерах PEM и повышает долговечность на 30%.

Хлор-щелочная промышленность

RuO₂ или IrO₂ используются для реакции выделения хлора, при этом каталитическая эффективность увеличивается на 20%, повышается устойчивость к щелочной коррозии (pH 14), а срок службы увеличивается на 50 %.

Электролизная очистка воды

Ni-P/ SiC используются в электролизерах для очистки сточных вод, обеспечивая степень удаления ХПК 95% и лучшую кислотостойкость (pH 1–3) по сравнению с традиционными электродами.

Электролиз в авиации

В авиационном производстве электролитические ячейки используются для обработки поверхности (например, анодирования), а нанокompозитные покрытия (например, TiN) защищают электроды, повышая износостойкость на 30%, что соответствует требованиям по коррозионной стойкости авиационных сопел.

В электролизере PEM используются электроды с нанокompозитным покрытием Ni-P/ TiO₂, что повышает эффективность выделения водорода на 10%, увеличивает срок службы с 10 000 часов до 15 000 часов, снижает расход драгоценных металлов на 60% и значительно снижает затраты на производство водорода.

5. Преимущества и проблемы

5.1 Преимущества

Отличная производительность

Твердость (HV2000–3000), коррозионная стойкость и каталитическая активность нанокompозитных покрытий значительно выше, чем у традиционных покрытий, а эффективность электролиза увеличивается на 10–20%.

Экономия средств

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Сокращают использование драгоценных металлов (таких как Pt, Ir), снижают себестоимость продукции на 50–80% и подходят для крупномасштабных применений в сфере зеленой энергетики.

Высокая однородность

Технологии химического осаждения и ПЭО позволяют наносить равномерное покрытие на сложные электроды, подходящие для микроканалов или пористых структур.

Экологически чистый

Нанопокрyтия продлевают срок службы электродов, сокращают частоту их замены, а также сокращают потребление ресурсов и выбросы отходов.

5.2 Проблемы

Стоимость подготовки

Оборудование PVD/CVD является дорогостоящим (10–30 миллионов юаней) и потребляет много рабочей энергии (500–1000 кВт·ч/партия), что ограничивает возможности малых и средних предприятий.

Стабильность покрытия

Нанопокрyтия могут отслаиваться при длительном воздействии высокой плотности тока, а адгезию (20–50 МПа) необходимо дополнительно улучшить.

Сложность процесса

Дисперсия наночастиц и равномерность покрытия зависят от состояния поверхности подложки и требуют строгой предварительной обработки.

Воздействие на окружающую среду

Процесс химического осаждения из газовой фазы сопровождается выбросами химических газов, а стоимость очистки жидких отходов химического осаждения высока, поэтому необходимо разрабатывать экологически чистые процессы.

Нанотоксичность

необходимо выбирать нетоксичные материалы (например, SiC и Al₂O₃).

6. Будущее направление развития

Для преодоления проблем и содействия применению нанокompозитных покрытий из цементированного карбида в электролитических ячейках в будущем можно сосредоточиться на следующих направлениях:

Многофункциональное композитное покрытие

Разработать многослойные нанопокрyтия (такие как TiN / RuO₂ / MoN), которые сочетают высокую каталитическую активность с коррозионной стойкостью, чтобы повысить эффективность электролиза на 20–30%.

Технология зеленой подготовки

Продвигайте низкотемпературное химическое осаждение из газовой фазы (<500°C) или

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

плазменно-усиленное химическое осаждение для снижения потребления энергии на 30–50% и сокращения химических отходов.

Оптимизация наночастиц

Использование нетоксичных наночастиц (таких как SiO_2 и TiO_2) для замены драгоценных металлов может снизить затраты на 50% и одновременно повысить экологическую безопасность.

Интеграция аддитивного производства

Сочетание 3D-печатных карбидных электродов с нанесением нанопокровов на месте позволяет добиться комплексного производства сложных конструкций, что позволяет сократить затраты на 20%.

Интеллектуальный мониторинг и проектирование

Благодаря ИИ и молекулярно-динамическому моделированию оптимизируется структура покрытия, прогнозируются срок службы и эксплуатационные характеристики, а цикл НИОКР сокращается на 30%.

7. Сводная таблица

Основные характеристики и технические моменты нанокompозитного покрытия из цементированного карбида в электролитической ячейке

технология	Механизм действия	Типичные применения	Основные преимущества	Основные ограничения	Эффект электролизера
ПВД	Физическое осаждение нанопленок (1–10 мкм)	Электроды электролизера ПЭМ	Высокая твердость (HV2000–3000), высокая каталитическая активность	Тонкое покрытие, высокая стоимость	Эффективность выделения водорода +10%, срок службы +30%
ССЗ	осажденные толстые покрытия (5–20 мкм)	Хлор-щелочной электрод	Высокая термостойкость (1500°C), коррозионная стойкость	Повреждение субстрата под воздействием высоких температур	Эффективность выделения хлора +15%, срок службы +50%
Химическое осаждение	Химически восстановленные покрытия на основе Ni-P (5–50 мкм)	Электрод для очистки сточных вод	Высокая однородность и низкая стоимость	Очистка сточных вод – сложная задача	Степень удаления ХПК 95%, высокая кислотостойкость
Электроосаждение	покрытия на основе Co-P (5–50 мкм)	Водородный электрод	Простой процесс, коррозионная стойкость	Необходимо оптимизировать однородность	Скорость коррозии - 70%, низкая стоимость

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ПЭО	Плазменное оксидирование керамического покрытия (3–10 мкм)	Щелочной электролизер	Низкая пористость, коррозионная стойкость	Высокое напряжение, высокое потребление энергии	Степень удаления ХПК 95%, высокая устойчивость к щелочам
-----	--	-----------------------	---	---	--

проиллюстрировать:

Механизм действия: Обзор основного механизма технологии.

Типичные области применения: Перечислите сценарии, связанные с электролизерами .

Плюсы и минусы: сравните производительность и ограничения.

электролизера : подчеркивает специфический вклад в электролизер .

Источник данных: отчет USGS 2024 и соответствующие технические документы.

web:0,1,9,14,23

8. Заключение

Нанокompозитные покрытия из цементированного карбида обеспечивают превосходную износостойкость, коррозионную стойкость и электрокаталитические характеристики для электродов электролизера и коррозионно-стойких деталей за счет объединения наноразмерных частиц или пленок с матрицей WC-Co. В водородных электролизерах , хлорщелочной промышленности и очистке сточных вод покрытия значительно повышают эффективность электролиза (на 10–20%), продлевают срок службы (на 30–50%) и снижают зависимость от драгоценных металлов, демонстрируя свой большой потенциал в области зеленой энергетики. Подобно требованиям к коррозионной стойкости авиационных сопел, применение нанокompозитных покрытий в электролизерах отражает междоменные инновации в материаловедении. Однако высокие затраты на подготовку, стабильность покрытия и воздействие на окружающую среду все еще необходимо преодолеть. В будущем, благодаря интеграции многофункциональных композитных покрытий, зеленых процессов и аддитивного производства, нанокompозитные покрытия из цементированного карбида будут и дальше способствовать развитию технологии электролизера в эффективном и устойчивом направлении, придавая новый импульс глобальной энергетической трансформации и промышленной модернизации.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

Что такое цементированный карбид с нанопокрытием?

Нанопокрытие из твердого сплава относится к покрытию толщиной в нанометры (обычно 1100 нм), нанесенному на поверхность подложки из твердого сплава (например, WC+ Co , WC+ Ni) физическими или химическими методами для значительного улучшения износостойкости, коррозионной стойкости, стойкости к высоким температурам и свойств поверхности, сохраняя при этом высокую твердость (1400-2200 HV) и прочность (1,8-2,8 ГПа) подложки. Нанопокрытия широко используются в авиационных инструментах, глубоководных уплотнениях, корпусах химических насосов и пресс-формах благодаря своей сверхтонкой зернистой структуре (размер зерна <100 нм), высокой плотности интерфейса и превосходной адгезии, отвечая требованиям экстремальных условий работы (таких как высокая температура 800-1200 °С, высокое давление 15 000 фунтов на кв. дюйм, едкие жидкости).

В данной статье объединены национальные стандарты (такие как GB/T 183762014, GB/T 79972017) и отраслевая практика, чтобы подробно представить определение, типы покрытий, процесс подготовки, эксплуатационные характеристики и области применения твердого сплава с нанопокрытием, а также дать соответствующие рекомендации по производственным возможностям CTIA GROUP LTD в области уплотнений из твердого сплава с нанопокрытием, корпусов насосов и т. д.

1. Определение и значение твердого сплава с нанопокрытием

Нанопокрытый цементированный карбид состоит из цементированного карбида и наномасштабного покрытия. Толщина покрытия обычно составляет 110 мкм (однослойное или многослойное), а размер зерна <100 нм. Он изготавливается методом физического осаждения из паровой фазы (PVD), химического осаждения из паровой фазы (CVD) или композитной технологии (например, плазменного напыления).

Матрица

WC (85-94%) + связующая фаза (Co/Ni, 6-15%), плотность 14,5-15,0 г/см³ , пористость <0,01% (GB/T 5169-2013).

покрытие

Обычные материалы включают TiN , TiAlN , Al₂O₃, DLC (алмазоподобный углерод), CrN и т. д., которые обладают высокой твердостью (2000–4000 HV), низким коэффициентом трения (<0,2) и превосходной коррозионной стойкостью.

Износостойкость

Нанопокрытие имеет высокую твердость (2000–4000 HV), снижает износ на 30–50 % (ASTM G65) и продлевает срок службы инструмента в 25 раз.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Устойчивость к коррозии

Покрывание плотное (пористость <0,001%) и устойчиво к кислоте (H₂SO₄), щелочи (NaOH) и коррозии в морской воде со скоростью <0,005 мм/год (NACE MR0175).

Высокая термостойкость

TiAlN и Al₂O₃ устойчивы к окислению при температуре 800-1200°C и подходят для высокоскоростной резки и условий высоких температур.

Свойства поверхности

Коэффициент трения снижен на 2050% (DLC <0,1), улучшены характеристики уплотнения (скорость утечки <10⁻⁶ мбар·л /с).

Области применения : авиационные инструменты (срок службы режущей части увеличен на 50%), глубоководные уплотнения (устойчивы к H₂S/морской воде), корпуса химических насосов (стойкость к эрозии и коррозии увеличена на 30%).

2. Типы и характеристики нанопокровтий

Однослойное нанопокровтие :

Материал :

Тин : золотисто-желтый, твердость 2000-2300 HV, хорошая износостойкость, термостойкость 600°C.

КрН : Серебристо-серый, твердость 1800-2200 HV, отличная коррозионная стойкость (устойчив к Cl⁻ / H₂S), коэффициент трения 0,3-0,4.

DLC : черный, твердость 2000–3000 HV, коэффициент трения <0,1, высокая износостойкость и коррозионная стойкость.

Толщина : 15 мкм , размер зерна: 1050 нм.

Применение : пресс-формы, уплотнения (CrN /DLC), низкоскоростной режущий инструмент (TiN).

Многослойное нанопокровтие :

Материал :

TiN / TiAlN : чередующиеся слои (1020 нм/слой), твердость 2500-3000 HV, термостойкость 800-1000°C.

TiAlN /Al₂O₃ : Твердость 3000-3500 HV, стойкость к окислению 1000-1200°C, износостойкость повышена на 30%.

CrN / AlCrN : Твердость 2200-2800 HV, коррозионная стойкость повышена на 20-30%, подходит для морской среды.

Толщина : 210 мкм , количество слоев: 101000.

Особенности : Многослойная структура улучшает распределение напряжений на границе раздела и увеличивает сопротивление росту трещин на 50%.

Применение : высокоскоростные режущие инструменты (TiAlN /Al₂O₃), глубоководная

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

арматура (CrN / AlCrN) .

Градиентное нанопокрывтие :

Материалы : TiCN , AlCrSiN , с постепенным изменением состава от матрицы к поверхности (например, Ti→TiN→ TiCN) .

Характеристики : Твердость 2500-3500 HV, адгезия увеличена на 20-30% (испытание на царапание>80 Н), сбалансированная износостойкость/коррозионная стойкость.

Применение : Корпуса химических насосов, авиационные режущие инструменты, стойкость к эрозии и коррозии повышена на 30%.

Композитное нанопокрывтие :

Материал : DLC+ TiN , Al₂O₃+CrN, объединяющие преимущества нескольких материалов.

Характеристики : твердость 2000-4000 HV, коэффициент трения <0,2, термостойкость 800-1000°C, коррозионная стойкость повышена на 20-50%.

Применение : Уплотнения (DLC + CrN , скорость утечки <10⁻⁶ мбар·л/с), высокоскоростные пресс-формы.

3. Процесс приготовления нанопокрывтия

Физическое осаждение из паровой фазы (PVD) :

метод :

Магнетронное распыление : высокая скорость осаждения (0,11 мкм /ч), подходит для TiN , CrN и DLC.

Дуговое испарение : высокая скорость ионизации (>80%), подходит для TiAlN и AlCrN .

Процесс :

Степень вакуума: 10⁻³ 10⁻⁴ Па.

Температура: 200-500°C (избегать отжига подложки).

Смещение: от 50 до 200 В, улучшает адгезию.

Газ: Ar (очистка подложки), N₂/CH₄ (реакция с образованием TiN /DLC).

Характеристики : толщина покрытия 15 мкм , размер зерна 1050 нм, адгезия >60 Н (испытание царапанием).

Преимущества : низкотемпературное напыление, подходит для твердосплавных подложек, равномерное покрытие (отклонение <±5%).

Ограничения : Низкая скорость осаждения (0,11 мкм /ч), немного плохое покрытие сложных форм.

Химическое осаждение из паровой фазы (CVD) :

метод :

Термическое CVD : подходит для Al₂O₃, TiCN , температура осаждения 800-1000°C.

Плазменное химическое осаждение из газовой фазы (PECVD) : подходит для DLC, температура 200-400°C.

Процесс :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Температура: 200–1000 °С (высокая для термического CVD, низкая для PECVD).

Газ: TiCl₄ (TiN / TiCN), CH₄ (DLC), AlCl₃ (Al₂O₃).

Давление: 10²–10³ Па.

Свойства : толщина 210 мкм , размер зерна 20100 нм, твердость 20003500 HV.

Преимущества : Плотное покрытие (пористость < 0,001%), покрывающее сложные формы.

Ограничения : Высокотемпературное химическое осаждение из газовой фазы может привести к снижению прочности матрицы (твердость падает на 5–10%).

Композитная технология :

Плазменное напыление : подходит для толстых покрытий (1050 мкм) , таких как Al₂O₃+TiN, с размером зерна 50-100 нм.

Лазерная наплавка : локальное напыление TiN / CrN , толщина 520 мкм , адгезия >100 Н.

Применение : Корпуса и формы химических насосов, устойчивость к эрозии и коррозии повышена на 30%.

Постобработка :

Полировка : Ra <0,1 мкм , коэффициент трения снижен на 1020%.

Отжиг : 300-500°С, устраняет внутренние напряжения, увеличивает адгезию на 1015%.

Ионная очистка : Бомбардировка ионами Ar , поверхностные дефекты снижены на 20%.

4. Характеристики твердосплавного сплава с нанопокрывтием

Тип покрытия	Твёрдость (HV)	Коэффициент трения	Температурная стойкость (°C)	Скорость коррозии (мм/год)	Типичные применения
TiN	20002300	0.40.6	600	0,010,05 (HCl)	Низкоскоростной инструмент
TiAlN	25003000	0.30.5	8001000	0,010,03 (H ₂ SO ₄)	Высокоскоростной инструмент
KpH	18002200	0.30.4	700	<0,005 (морская вода)	Уплотнения
DLC	20003000	<0,1	400600	<0,005 (NaOH)	Корпус насоса
Al ₂ O ₃ / TiAlN	30003500	0.40.5	10001200	0,0050,01 (H ₂ S)	Авиационные инструменты

Улучшения производительности :

Износостойкость : Инструменты с покрытием TiAlN имеют 25-кратное увеличение стойкости резания и скорость износа <0,02 мм³/ч.

Коррозионная стойкость : скорость коррозии покрытия CrN /DLC в морской воде/H₂S составляет <0,005 мм/год, что лучше, чем у непокрытой подложки (0,01-0,05 мм/год).

Высокая термостойкость : толщина оксидного слоя покрытия Al₂O₃/ TiAlN составляет менее 0,1 мкм при резке при температуре 1000° С.

Эффективность уплотнения : скорость утечки через уплотнение с покрытием DLC <10⁻⁶

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

мбар·л /с, ожидаемый срок службы увеличен на 30-50%.

Примеры :

TiAlN инструмент : покрытие PVD (3 мкм , резка 1400°C), срок службы увеличен в 3 раза , износостойкость увеличена на 50%.

КрН уплотнения : PVD CrN (2 мкм) , скорость коррозии в морской воде (15 000 фунтов на кв. дюйм) <0,005 мм/год, срок службы >1000 соединений.

Корпус насоса DLC : PECVD DLC (1 мкм) , H₂SO₄ (50%) , скорость коррозии <0,005 мм/год, устойчивость к эрозии увеличена на 30%.

5. Сценарии применения

Авиационные ножи :

Покрытие : TiAlN /Al₂O₃ (35 мкм , PVD/CVD) .

Характеристики : твердость 3000-3500 HV, термостойкость 1000-1200°C, стойкость к резанию увеличена на 50%.

Пример : инструмент WC+6%Co (Ø 12 × 80 мм), покрытие TiAlN , режущий сплав Ti, срок службы 300 минут (без покрытия 100 минут).

Глубоководные тлени :

Покрытие : CrN /DLC (13 мкм , PVD) .

Производительность : скорость коррозии H₂S/морской воды <0,005 мм/год, скорость утечки <10⁻⁶ мбар·л /с.

Пример : уплотнение YN10 (Ø 50 мм), покрытие CrN , 15 000 фунтов на кв. дюйм, срок службы > 1000 соединений.

Корпус химического насоса :

Покрытие : DLC/ TiCN (25 мкм , PECVD) .

Производительность : скорость коррозии H₂SO₄ (50%) <0,005 мм/год, величина износа <0,03 мм³/ч.

Пример : корпус насоса YN12 (Ø 200 мм), покрытие DLC, жидкость, содержащая частицы, срок службы >10 000 часов.

Форма :

Покрытие : TiN / CrN (13 мкм , PVD) .

Эксплуатационные характеристики : твердость 2000-2300 HV, коэффициент трения <0,4, срок службы формы увеличен в 23 раза.

Пример : пресс-форма WC+8%Co (Ø 100 мм), покрытие TiN , срок службы штамповки 500 000 раз (без покрытия 200 000 раз).

6. Предложения по оптимизации для твердого сплава с нанопокрывтием

Оптимизация матрицы :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Материал : используется цементированный карбид на основе никеля (YN10/YN12), коррозионная стойкость которого увеличена на 50-70% (NACE MR0175).

Спекание : ГИП (1350°C, 120 МПа), пористость <0,001%, адгезия увеличена на 20%.

Поверхность : полированная (Ra <0,2 мкм), адгезия покрытия увеличена на 1520%.

покрытие :

Многослойная структура : TiN / TiAlN (1020 нм/слой), сопротивление росту трещин увеличилось на 50%.

Градиентное покрытие : TiCN / AlCrSiN, адгезия увеличилась на 2030%.

Композитное покрытие : DLC+ CrN, коэффициент трения <0,1, коррозионная стойкость увеличена на 30%.

Процесс приготовления :

PVD : смещение 100 В, температура осаждения 300-400°C, равномерность покрытия увеличена на 10%.

PECVD : низкая температура (200-300°C), подходит для DLC, без потери производительности подложки.

Очистка : Очистка ионами Ag (10^{-3} Па), дефекты поверхности снижены на 20%.

Оптимизация оборудования :

Степень вакуума : 10^{-4} Па, количество примесей снижено на 30%, чистота покрытия увеличена на 10%.

Материал мишени : Ti/Al/Cr высокой чистоты (>99,99%), дефекты покрытия снижены на 20%.

Мониторинг : Онлайн-спектральный анализ, отклонение толщины <±5%.

Постобработка :

Полировка : Ra <0,1 мкм, коэффициент трения снижен на 1020%.

Отжиг : 400°C, внутреннее напряжение уменьшается на 15%, адгезия увеличивается на 10%.

Проверка покрытия : царапание (>60 Н), наблюдение зерен с помощью СЭМ (<50 нм).

7. Стандарты

GB/T 183762014 : Пористость <0,01%, однородность >95%.

GB/T 51692013 : Пористость A00B00C00 (подложка HIP).

GB/T 38502015 : Отклонение плотности <±0,1 г/см³.

GB/T 79972017 : Твердость 1400-2200 HV (основа), 2000-4000 HV (покрытие).

GB/T 38512015 : Прочность на изгиб 1,82,8 ГПа.

NACE MR 0175 : стойкость к H₂S/CO₂, скорость коррозии <0,005 мм/год.

ISO 6508 : Испытание твердости покрытия, отклонение < ±50 HV.

ASTM G 65 : Скорость износа <0,05 мм³/ч.

8. Заключение

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Нанопокрытый твердый сплав значительно повышает износостойкость (потери от износа снижаются на 30–50 %), коррозионную стойкость (скорость коррозии <0,005 мм/год) и стойкость к высоким температурам (800–1200 °C) за счет нанесения нанопокровов (TiN, TiAlN, CrN, DLC и т. д.) на подложках WC+Co /Ni, отвечающих строгим требованиям авиационных инструментов, глубоководных уплотнений и корпусов химических насосов. Процесс PVD/PECVD гарантирует, что покрытие будет плотным (зерна <50 нм) и будет иметь сильную адгезию (>60 Н), а многослойные/градиентные покрытия дополнительно оптимизируют производительность. Оптимизация подложки (спекание HIP), покрытия (многослойное CrN /DLC) и процесса (низкотемпературное PVD) может дополнительно улучшить общую производительность.

Компания CTIA GROUP LTD использует передовую технологию PVD/PECVD и спеченные методом горячего изостатического прессования подложки при производстве карбидных уплотнений с нанопокровом, корпусов насосов и клапанов, предлагая высокоизносостойкие и коррозионностойкие решения, подходящие для экстремальных условий, таких как глубоководная и химическая промышленность.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

Что такое градиентный карбид?

Градиентный цементированный карбид — это цементированный карбидный материал, который контролирует состав, структуру или производительность для постепенного изменения вдоль определенного направления (например, толщины, радиального направления) внутри материала. Обычно он состоит из карбида вольфрама (WC) и связующей фазы (например, Co, Ni, 615 мас. %). Его градиентные характеристики достигаются с помощью процессов дозирования порошка, прессования или спекания, так что материал имеет дифференцированную твердость (1400-2200 HV), прочность (1,8-2,8 ГПа), износостойкость или коррозионную стойкость в различных областях для адаптации к сложным рабочим условиям (например, горнодобывающая промышленность, резка, глубоководные уплотнения, корпуса химических насосов). По сравнению с традиционным однородным цементированным карбидом, градиентный цементированный карбид демонстрирует лучшую износостойкость, ударопрочность и срок службы и широко используется в авиационных инструментах, горнодобывающих кирках и коррозионно-стойких уплотнениях.

В данной статье объединены национальные стандарты (такие как GB/T 183762014, GB/T 51692013) и отраслевые практики, чтобы подробно представить определение, процесс подготовки, эксплуатационные характеристики, применение и меры оптимизации градиентного твердого сплава, а также соответствующим образом рекомендовать производственные возможности CTIA GROUP LTD в области уплотнений из градиентного твердого сплава, корпусов насосов и т. д.

1. Определение и значение градиентного твердого сплава

Градиентный твердый сплав относится к твердому сплаву, внутренний состав которого (например, соотношение WC/Co), размер зерна (0,55 мкм), содержание связующей фазы (620 мас. %) или свойства (твердость, вязкость) изменяются непрерывно или ступенчато вдоль определенного направления (например, от поверхности к сердцевине).

Типичная структура :

Поверхность : высокая твердость (1800-2200 HV), низкое содержание связующей фазы (Co/Ni 68 мас. %), мелкое зерно (0,51 мкм), высокая износостойкость.

Сердечник : высокая прочность (KIC 1215 МПа·м^{1/2}), высокая связующая фаза (Co/Ni 1220 мас. %), крупное зерно (25 мкм), хорошая ударопрочность.

Подготовка : достигается путем послойного прессования порошка, градиентного спекания или процесса цементации/азотирования в соответствии с GB/T 38502015 (плотность), GB/T 51692013 (пористость <0,01%).

Оптимизация производительности : высокая твердость поверхности повышает износостойкость (потери от износа снижены на 20–30 %, ASTM G65), а высокая прочность

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

сердцевины повышает ударопрочность (вероятность разрушения снижена на 30–50 %).

Увеличенный срок службы : градиентная структура обеспечивает баланс износостойкости и трещиностойкости, увеличивая срок службы инструмента в 23 раза, а срок службы реза — на 50–100%.

Адаптация к сложным условиям эксплуатации : стойкость к поверхностной коррозии (скорость коррозии H₂SO₄/H₂S <0,01 мм/год, NACE MR0175), ударопрочность сердцевины, подходит для горнодобывающей, глубоководной и химической промышленности.

Экономическая эффективность : сокращение количества драгоценных металлов (таких как Co/Ni), оптимизация характеристик поверхности и снижение затрат на 10–20%.

2. Типы и характеристики градиентного твердого сплава

Градиент состава :

Особенности : Содержание связующей фазы (Co/Ni) увеличивается от поверхности (68 мас. %) к ядру (1220 мас. %), а содержание WC изменяется в противоположном направлении.

производительность :

Поверхность: твердость 1800-2200 HV, износостойкость повышена на 20-30%.

Сердечник: прочность на изгиб 2,22,8 ГПа, ударная вязкость KIC 1215 МПа·м^{1/2}.

Применение : Горные кирки (износостойкая поверхность, ударопрочный сердечник), режущий инструмент.

Градиент зерна :

Характеристики : Зерна WC изменяются от мелких на поверхности (0,51 мкм) до крупных в сердцевине (25 мкм).

производительность :

Поверхность: твердость 2000–2200 HV, коррозионная стойкость повышена на 15–20 % (H₂S <0,005 мм/год).

Сердечник: трещиностойкость увеличена на 2030%, высокая устойчивость к распространению трещин.

Применение : глубоководные уплотнения (коррозионно-стойкая поверхность, сердечник, устойчивый к высокому давлению), пресс-формы.

Градиент производительности :

Характеристики: Высокая твердость поверхности (>2000 HV) и высокая вязкость сердцевины (KIC >12 МПа·м^{1/2}) посредством цементации/азотирования или термической обработки.

производительность :

Поверхность: износостойкая и коррозионно-стойкая (скорость коррозии в морской воде <0,005 мм/год).

Сердечник: ударопрочный, усталостная долговечность увеличена на 30-50%.

Применение : корпус химического насоса (поверхность устойчива к эрозии, сердечник устойчив к высокому давлению), авиационный режущий инструмент.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Композитный градиент :

Особенности : Сочетание градиентов состава, зернистости и эксплуатационных характеристик, таких как поверхностная основа Ni (10 мас. %) + мелкие зерна (0,5 мкм) , сердцевина на основе Co (15 мас. %) + крупные зерна (3 мкм) .

Эксплуатационные характеристики : комплексная износостойкость, коррозионная стойкость (H₂SO₄ <0,01 мм/год), ударопрочность, срок службы увеличен на 50-100%.

Применение : высококачественные уплотнения, клапаны, устойчивые к экстремальным условиям.

3. Процесс приготовления градиентного твердого сплава

Прессование послыного порошка :

метод :

Были приготовлены образцы с различным содержанием Co/Ni (620 мас. %) или размером зерна WC (0,55 мкм) .

Послойное заполнение формы (низкое содержание Co на поверхности и высокое содержание Co в сердцевине), холодное изостатическое прессование (200-300 МПа).

Процесс :

Порошок: WC (D₅₀ 0,55 мкм) , Co/Ni (чистота >99,9%), измельченный в шаровой мельнице в течение 1624 ч.

Прессование: давление 250-300 МПа, плотность заготовки 60-70% теоретической плотности.

Спекание: вакуум (1350-1450°C, 10⁻⁴ - 10⁻⁵ Па) или HIP (1350°C, 100-150 МПа).

Свойства : Толщина градиентного слоя 0,55 мм, пористость <0,01% (A02B00C00), плотность 14,515,0 г/см³ .

Преимущества : точный контроль градиента, подходит для сложных форм (например, зубцов, уплотнительных колец).

Ограничения : сила межслоевого сцепления немного слабая, и спекание необходимо оптимизировать.

Градиентное спекание :

метод :

Однородная заготовка (Co/Ni 1012 мас. %) подвергалась структурным различиям из-за градиентов температуры/атмосферы во время спекания.

Поверхностная цементация (C₂H₂) или азотирование (N₂) повышают твердость поверхности.

Процесс :

Депарафинизация: 200–600 °C, 10⁻² Па, H₂ 515 л/мин, остаточный углерод <0,05%.

Спекание: 1350-1450°C, поверхностная зона высокой температуры (1450°C, 2 часа), внутренняя зона низкой температуры (1350°C), вакуум/HIP.

Цементация/азотирование: 1000-1200°C, расход C₂H₂/N₂ 510 л/мин, 12 часов.

Эксплуатационные характеристики : твердость поверхности 2000-2200 HV, ударная вязкость сердцевины K_{IC} 1215 МПа·м^{1/2}, пористость <0,001% (HIP).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Преимущества : отсутствие очевидного интерфейса между слоями, непрерывный переход производительности.

Ограничения : Оборудование сложное и требует высокой точности контроля температуры ($\pm 3^{\circ}\text{C}$).

Термическая обработка и последующая обработка :

метод :

После спекания поверхность цементируется/ азотируется или проводится локальная лазерная обработка для формирования градиента твердости.

Полировка ($R_a < 0,2$ мкм) или нанесение покрытия (TiN /DLC) для улучшения свойств поверхности.

Процесс :

Науглероживание: 1100°C , C_2H_2 5 л/мин, 1 час, твердость поверхности увеличилась на 1015%.

Полировка: Алмазная полировальная паста (15 мкм), $R_a < 0,1$ мкм, коррозионная стойкость повышена на 1520 % .

Покрытие: PVD TiN (25 мкм) , твердость 2000-2300 HV, износостойкость повышена на 30%.

Эксплуатационные характеристики : стойкость к износу и коррозии поверхности ($\text{H}_2\text{SO}_4 < 0,01$ мм/год), ударопрочность сердцевины.

Применение : глубокоходовые клапаны, корпуса химических насосов.

Новые технологии :

3D-печать + спекание : послойная печать порошковыми композициями разного состава (например, с низким содержанием Co на поверхности и высоким содержанием Co в сердцевине), горячее изостатическое спекание, точность градиента $\pm 0,05$ мм.

Плазменное напыление : нанесение градиентных покрытий (например, WCCo к WCNi) толщиной 1050 мкм .

Преимущества : Высокая гибкость, подходит для изготовления деталей по индивидуальному заказу.

Ограничения : Низкая техническая зрелость и высокая стоимость (500-2000 юаней за штуку).

4. Характеристики градиентного карбида

тип	Свойства поверхности	Основная производительность	Пористость(%)	Износостойкость (мм ³ /ч)	Коррозионная стойкость (мм/год)	Типичные применения
Градиент состава	Твёрдость 1800-2200 HV	Прочность KIC 1215 МПа·м ^{1/2}	<0,01	<0,05	H ₂ SO ₄ <0,01	Горные кирки
Градиент зернистости	Твёрдость 2000-2200 HV	Прочность 2,22,8 ГПа	<0,001	<0,03	Морская вода <0,005	Глубоководные тнелени
Градиент	Твёрдость>200	Усталостная	<0,01	<0,04	H ₂ S <0,005	Корпус

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

тип	Свойства поверхности	Основная производительность	Пористость(%)	Износостойкость (мм ³ /ч)	Коррозионная стойкость (мм/год)	Типичные применения
производительности	0 HV	долговечность увеличена на 30%				химического насоса
Композитный градиент	Твёрдость 1800-2200 HV	Прочность KIC >12 МПа·м ^{1/2}	<0,001	<0,03	H2SO4 <0,01	Авиационные инструменты

Улучшения производительности :

Износостойкость : мелкозернистая поверхность/низкое содержание Со снижает потери на износ на 20-30% (<0,05 мм³/ч, ASTM G65) .

Коррозионная стойкость : градиентная поверхность на основе Ni (Cr3C2/Мо 0,52 мас. %) имеет скорость коррозии H2S/морской воды <0,005 мм/год.

Ударопрочность : высокое содержание Со в сердечнике (1520 мас. %), прочность на изгиб 2,2-2,8 ГПа , вероятность разрушения снижена на 30-50%.

Срок службы : срок службы режущих зубьев увеличен на 50–100 %, срок службы уплотнений — более 5000 часов (15 000 фунтов на кв. дюйм).

Примеры :

Градиент состава резца : поверхность WC+6%Со (0,5 мкм) , сердцевина WC+15%Со (3 мкм) , вакуумное спекание (1450 °C) , твердость 2000 HV, износ <0,05 мм³/ч, срок службы 800 часов (400 часов для обычного резца).

Уплотнение с градиентом зерен : поверхность WC+10%Ni (0,5 мкм) , сердцевина WC+12%Ni (2 мкм) , HIP (1400 °C, 120 МПа), скорость коррозии в морской воде <0,005 мм/год, скорость утечки <10⁻⁶ мбар·л /с.

Корпус насоса с градиентом производительности : поверхностная цементация (1100°C, C2H2), твердость 2100 HV, ударная вязкость сердцевины KIC 13 МПа·м^{1/2} , скорость коррозии H2SO4 (50%) <0,01 мм/год, срок службы >10 000 часов.

5. Сценарии применения

Выбор горнодобывающей промышленности :

Тип градиента : градиент состава (низкое содержание Со 6 мас. % на поверхности, высокое содержание Со 15 мас. % в ядре) .

Характеристики : твердость поверхности 2000 HV, износ <0,05 мм³/ч, ударопрочность сердечника, срок службы увеличен на 50-100%.

Случай : Крюк WC+Со (Ø 20 × 330 мм), вакуумное спекание, 800 часов добычи угля без поломок.

Глубоководные тюлени :

Тип градиента : градиент зерна (поверхностные мелкие зерна 0,5 мкм , сердцевинные

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

крупные зерна 2 мкм) + основа Ni.

Эксплуатационные характеристики : скорость коррозии H₂S/морской воды <0,005 мм/год, скорость утечки <10⁻⁶ мбар·л /с, сопротивление давлению 15 000 фунтов на кв. дюйм.

Пример : уплотнительное кольцо YN10 (Ø 50 мм), ГИП+полировка (Ra <0,1 мкм) , срок службы >1000 соединений.

Корпус химического насоса :

Тип градиента : градиент производительности (поверхностная цементация, твердость > 2000 HV) + основа Ni.

Эксплуатационные характеристики : скорость коррозии H₂SO₄ (50%) <0,01 мм/год, стойкость к эрозии повышена на 30%, срок службы >10 000 часов.

Корпус : корпус насоса YN12 (Ø 200 мм), покрытие HIP+TiN , стабильная работа с жидкостями, содержащими частицы.

Авиационные ножи :

Тип градиента : составной градиент (поверхностная основа Ni + мелкие кристаллы, сердцевина основа Co + крупные кристаллы).

Характеристики : Твердость 1800-2200 HV, ударная вязкость KIC >12 МПа·м^{1/2}, стойкость при резании увеличена на 50%.

Случай : Инструмент WC+Co (Ø 12 × 80 мм), градиентное спекание + покрытие TiAlN , резка сплава Ti в течение 300 минут.

6. Предложения по оптимизации для градиентного твердого сплава

пудра :

Зерно : мелкозернистое WC на поверхности (0,51 мкм) , средне-крупное зерно в сердцевине (23 мкм) , с балансом износостойкости и прочности.

Фаза соединения : поверхность Ni (68 мас. %) + Cr₃C₂ (0,52 мас. %), сердцевина Co/Ni (1220 мас. %), коррозионная стойкость увеличена на 2030%.

Шаровая мельница : 1624 часа, однородность увеличилась на 10%, отклонение градиента <±0,5 мас. %.

Процесс прессования :

Послойное прессование : холодное изостатическое прессование (250-300 МПа), толщина межслоевой переходной зоны 0,1-0,5 мм, прочность связи увеличена на 15%.

Матрица : оптимизированное распределение давления, дефекты заготовок снижены на 20%, отклонение плотности <±0,1 г/см³.

Процесс спекания :

ГИП : 1350°C, 120 МПа, 2 часа, пористость <0,001%, плотность >99,9%.

Градиентное спекание : поверхность 1450°C, сердцевина 1350°C, контроль температуры ±3°C, плавный переход характеристик.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Атмосфера : чистота $H_2 > 99,999\%$, $O_2 < 5$ ppm, остаточный углерод $< 0,05\%$, коррозионная стойкость увеличена на 10%.

Постобработка :

Цементация/ азотирование : $1100-1200^\circ C$, C_2H_2/N_2 510 л/мин, твердость поверхности увеличилась на 10-15%.

Полировка : $R_a < 0,2$ мкм , коррозионная стойкость увеличена на 1520%, коэффициент трения снижен на 20% .

Покрытие : PVD TiN /DLC (25 мкм) , износостойкость увеличена на 30-50%.

Оптимизация оборудования :

Регулировка температуры : $\pm 3^\circ C$, однородность $\pm 5^\circ C$, постоянство градиента увеличено на 10%.

Вакуум : 10^{-5} Па, эффективность депарафинизации $> 99,5\%$, снижение пористости 0,01%.

Обнаружение : анализ градиентного слоя с помощью СЭМ, измерение состава поверхности методом РФЭС, точность $\pm 0,1$ мас. %.

7. 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 $< \pm 0,1$ г/ см³.

GB/T 38512015 : Прочность на изгиб 1,82,8 ГПа .

GB/T 7997- 2017 : Твердость 1400-2200 HV.

NACE MR 0175 : стойкость к H_2S/CO_2 , скорость коррозии $< 0,005$ мм/год.

ASTM G 65 : Скорость износа $< 0,05$ мм³/ч.

8. Заключение

Градиентный цементированный карбид обеспечивает высокую твердость (1800-2200 HV) и износостойкость/коррозионную стойкость (скорость коррозии $< 0,005$ мм/год) на поверхности, высокую прочность (KIC 1215 МПа·м^{1/2}) и ударпрочность в сердцевине за счет постепенного изменения состава, зерен или свойств, значительно улучшая производительность и срок службы горнодобывающих отбойных молотков, глубоководных уплотнений, корпусов химических насосов и авиационных инструментов (увеличение на 50-100%). Многослойное прессование, градиентное спекание и процессы HIP обеспечивают точный контроль градиентной структуры и в сочетании с полировкой ($R_a < 0,2$ мкм) и нанопокрытием (TiN / DLC) для дальнейшей оптимизации производительности. Оптимизация порошков, процессов и оборудования может обеспечить более высокую производительность и экономическую эффективность.

Компания CTIA GROUP LTD использует технологию послойного прессования и спекания

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

НПР в сочетании с нанопокрытием при производстве уплотнений из градиентного карбида, корпусов насосов и клапанов для создания высокоизносостойких и коррозионностойких решений, отвечающих требованиям экстремальных условий, таких как глубоководная и химическая промышленность.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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:

Технология и применение градиентного карбидного горного резца

Градиентные твердосплавные резцы — это высокопроизводительные инструменты, предназначенные для работы в сложных условиях горнодобывающей промышленности (например, высокотвердые породы, коррозионные рудные слои и высокие ударные нагрузки). Режущая головка изготовлена из градиентного твердого сплава. Регулируя состав (например, соотношение WC/Co), размер зерна (0,55 мкм) и производительность (твердость/прочность) в радиальном или осевом направлении, достигается оптимизированное сочетание высокой твердости поверхности (1800-2200 HV), износостойкости, высокой прочности сердцевины (KIC 1215 МПа · м^{1/2}) и ударопрочности. По сравнению с традиционными однородными твердосплавными резцами износостойкость градиентных резцов улучшена на 20-30% (потери на износ <0,05 мм³/ч), вероятность поломки снижена на 30-50%, а срок службы увеличен на 50-100% (800-1500 часов). Подходит для комплексных проходческих машин, угольных горнодобывающих машин и роторных буровых машин.

В данной статье объединены национальные стандарты (такие как GB/T 183762014, GB/T 51692013) и отраслевые практики, приведены конкретные градиентные резцы, параметры процесса и анализ производительности, они объединены в полную копию, а также даны соответствующие рекомендации по производственным возможностям CTIA GROUP LTD в области градиентных твердосплавных резцов.

1. Градиентный карбидный горный резец

1.1 Цели

Адаптация к условиям труда:

Порода с высокой твердостью (твердость по Моосу 68, например, песчаник и гранит).
Коррозионные минеральные отложения (H₂S >100 ppm, pH 35, такие как руды сульфида железа).
Высокие ударные нагрузки (515 кН, например, барабан проходческого комбайна).

Требования к производительности:

Твердость поверхности: 1800-2200 HV, скорость износа <0,05 мм³/ч (ASTM G65).
Прочность сердечника: KIC 1215 МПа · м^{1/2}, прочность на изгиб 2,22,8 ГПа (GB/T 38512015).
Коррозионная стойкость: скорость коррозии H₂S/H₂SO₄ <0,005 мм/год (NACE MR0175).
Срок службы: 800–1500 часов (400–600 часов для обычных отмычек).
Контроль затрат: сокращение количества используемого Co/Ni и снижение затрат на 10–20 % (200 500 юаней за штуку).

1.1 Выберите структуру

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Общая структура:

Режущая головка: Градиентный карбид (WC +Co /Ni, Ø 1525 мм, высота 1020 мм).
Стальной корпус: 42CrMo (закаленный и отпущенный, прочность>1000 МПа, Ø 2030 мм, длина 300–400 мм).
Соединение: Пайка (сплав AgCu , прочность связи>200 МПа).
Форма: коническая (угол при вершине 60-80°, подходит для пород высокой твёрдости) или грибовидная (подходит для угольных пластов средней твёрдости).

градиент:

Тип: композиционный градиент + зернистый градиент (композитный градиент).
Поверхностный слой (03 мм):
Состав: WC 92 мас. %, Co 6 мас. %, Cr3C2 0,5 мас. % (коррозионностойкий).
Зерно: WC 0,51 мкм (мелкое зерно, износостойкое).
Характеристики: Твёрдость 2000-2200 HV, износостойкость <0,05 мм³/ч, устойчивость к сероводороду <0,005 мм/год.
Переходный слой (36 мм):
Состав: WC 88 мас. %, Co 10 мас. %, Cr3C2 0,5 мас. %.
WC 12 мкм .
Свойства: Твёрдость 1800-2000 HV, ударная вязкость KIC 1012 МПа·м^{1/2}.
Сердечник (610 мм):
Состав: WC 82 мас. %, Co 15 мас. %, Ni 2 мас. % (повышенная ударная вязкость).
Зернистость: WC 23 мкм (средне-крупное зерно, ударопрочное).
Свойства: Твёрдость 1400-1600 HV, ударная вязкость KIC 1215 МПа·м^{1/2}, прочность на изгиб 2,2-2,8 ГПа .

Геометрические параметры:

Диаметр режущей головки: Ø 20 мм (стандарт ТВМ).
Толщина градиентного слоя: 3 мм на поверхности, 3 мм в переходе и 4 мм в сердцевине.
Шероховатость поверхности: Ra <0,2 мкм (после полировки).
Общий вес: 150-300 г (режущая головка 50-100 г, стальной корпус 100-200 г).

1.3 Особенности

Оптимизация поверхности: мелкозернистый WC+низкое содержание Co+Cr3C2, износостойкость/коррозионная стойкость повышены на 20-30%, подходит для песчаника и кислых рудных слоев.
Усиление сердцевины: высокое содержание Co+, среднее крупнозернистое зерно, ударопрочность повышена на 30-50%, снижен уровень разрушения (частота отказов <5%).
Буфер переходного слоя: сглаживает изменения состава/зернистости, снижает концентрацию межслоевых напряжений и увеличивает прочность сцепления на 15%.
Армирование покрытия: PVD CrN (2 мкм) , коэффициент трения <0,3, износостойкость повышена на 30%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Процесс и параметры приготовления

2.1 Приготовление порошка

сырье:

WC: D50 0,51 мкм (поверхность), 23 мкм (сердцевина), чистота >99,9%.

Co: D50 12 мкм, чистота >99,9%, поверхность 6 мас. %, ядро 15 мас. %.

Ni: D50 12 мкм, чистота > 99,9 %, сердечник 2 мас. % (коррозионностойкий).

Cr3C2: D50 0,51 мкм, чистота > 99,9 %, поверхностный/переходный слой 0,5 мас. %.

шаровая мельница:

Оборудование: Планетарная шаровая мельница (шары ZrO₂, соотношение шаров к материалу 10:1).

Параметры: скорость вращения 300 об/мин, время 20 часов, спиртовая среда, однородность >95%.

размера частиц порошка $\leq \pm 0,1$ мкм, отклонение состава $\leq \pm 0,5$ мас. %.

2.2 Послойное прессование порошка

метод:

Многослойная форма: поверхностный слой (WC +6%Co+0,5%Cr3C2, 3 мм), переходный слой (WC+10%Co+0,5%Cr3C2, 3 мм), сердцевина (WC+15%Co+2%Ni, 4 мм).

Холодное изостатическое прессование (ХИП): 250-300 МПа, выдержка под давлением 60 секунд.

Оборудование: СИР-пресс (точность давления ± 5 МПа).

параметр:

Форма : Высокоточная стальная форма (отклонение $\leq \pm 0,05$ мм), внутренняя стенка покрыта смазкой BN.

Скорость прессования: 510 мм/мин, толщина переходной зоны 0,10,5 мм.

Плотность заготовки: 60-70% теоретической плотности (8,7-10,5 г/см³).

Результаты: Размер заготовки $\varnothing 20 \times 10$ мм, отклонение плотности $\leq \pm 0,1$ г/см³, уровень трещин <1%.

2.3 Градиентное спекание

Метод: вакуумное спекание + ГИП (горячее изостатическое прессование).

оборудование:

Вакуумная печь для спекания (молибденовый нагревательный элемент, степень вакуума 10^{-5} Па).

Печь HIP (давление Ar 100-150 МПа, регулировка температуры $\pm 3^\circ\text{C}$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Параметры процесса:

Депарафинизация:

Температура: 200–600 °С, скорость нагрева 3 °С/мин.

Атмосфера: Н₂ (чистота > 99,999%, О₂ <5 ppm), расход 10 л/мин.

Степень вакуума: 10⁻² Па.

Время: 3 часа, степень депарафинизации >99,5%, остаточный углерод <0,05%.

спекание:

Температура: 1350–1450 °С (поверхность 1450 °С, сердцевина 1350 °С, градиентный контроль температуры).

Скорость нагрева: 58°С/мин.

Степень вакуума: 10⁻⁴ 10⁻⁵ Па.

Сохранение тепла: 23 часа.

Постобработка HIP:

Температура: 1350°С, давление 120 МПа (Ar).

Сохранение тепла: 1,5 часа.

Охлаждение: 15°С/мин (принудительное охлаждение Ar), до 200°С.

результат:

Плотность: 14,815,0 г/см³ (GB /T 38502015, отклонение <±0,05 г/см³).

Пористость: <0,001% (A00B00C00, GB/T 51692013).

Твердость: поверхность 2000-2200 HV, сердцевина 1400-1600 HV (GB/T 7997-2017).

Коэффициент усадки: 1518%, отклонение размеров <±0,1 мм.

2.4 Постобработка

полировка:

Инструменты: алмазная полировальная паста (размер частиц 15 мкм) , полиуретановый полировальный диск .

Параметры: скорость вращения 800 об/мин, давление 0,3 МПа, полировальная жидкость (на водной основе, 5 л/мин).

Время: 20 мин/см² .

Результаты: Ra < 0,2 мкм , коррозионная стойкость увеличилась на 1520%, коэффициент трения снизился на 20% .

Покрытие PVD:

Покрытие: CrN (2 мкм , устойчиво к H₂S/H₂SO₄).

Оборудование: Магнетронное распыление (мишень Cr, чистота >99,99%).

параметр:

Степень вакуума: 10⁻⁴ Па.

Температура: 300°С (избегать отжига подложки).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Напряжение смещения: 100 В.

Газ: Ar (очистка), N₂ (реакция), расход 50 см³/мин .

Скорость осаждения: 0,5 мкм /ч.

Результаты: твердость покрытия 1800-2200 HV, адгезия >60 Н (испытание царапанием), износостойкость увеличилась на 30%.

Пайка:

Материал: сплав AgCu (Ag 50 мас. %, Cu 30 мас. %, 700-800°C).

Оборудование: Аппарат индукционной высокочастотной пайки (мощность 15 кВт).

Параметры: температура 750°C, выдержка 30 секунд, защита Ar (O₂ <10 ppm).

Результаты: прочность связи >200 МПа, сопротивление сдвигу увеличилось на 15%.

Обнаружение:

Поверхность: СЭМ (зерно 0,51 мкм) , измеритель шероховатости (Ra <0,2 мкм , точность ± 0,01 мкм) .

Градиент: XPS (отклонение состава <±0,1 мас. %), ультразвуковой контроль (трещина >0,1 мм).

Производительность: Твердомер (отклонение <±50 HV), испытание на износ (ASTM G65, <0,05 мм³/ч).

3. Анализ производительности

параметр	Поверхность (03 мм) вес %	Переходный слой (36 мм) вес %,	Сердечник (610 мм) вес %
Элемент	WC 92, Co 6, Cr3C2 0,5	WC88 , Co10Cr3C20,5	WC 82, Co 15, Ni 2
Зерно	WC 0,51 мкм	WC 12 мкм	WC 23 мкм
Твёрдость (HV)	20002200	18002000	14001600
Прочность КИС, МПа·м ^{1/2}	810	1012	1215
Износостойкость (мм ³ /ч)	<0,05	<0,07	<0,10
Коррозионная стойкость (мм/год)	H ₂ S/H ₂ SO ₄ <0,005	H ₂ S/H ₂ SO ₄ <0,01	H ₂ S/H ₂ SO ₄ <0,02

Основные характеристики:

Износостойкость

Поверхность мелкозернистая WC+Cr₃C₂, потеря на износ <0,05 мм³/ч (ASTM G65), на 50% ниже, чем при равномерном выколе (0,1 мм³/ч).

Ударопрочность

Сердечник имеет высокое содержание Co+ Ni , прочность на изгиб 2,2-2,8 ГПа и вероятность разрушения <5% при ударной нагрузке (10 кН) .

Устойчивость к коррозии

CrN + основа Ni, скорость коррозионной стойкости H₂S/H₂SO₄ <0,005 мм/год (NACE

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

MR0175), лучше, чем у обычного резца на основе Co (0,05 мм/год).

жизнь

Производительность выемки грунта увеличивается на 20–30%, а срок службы составляет 1000–1500 часов (для обычных резцов — 500–600 часов).

Примеры:

Комплексный выбор экскаватора

Ø 20 × 330 мм, WC+Co (6%Co на поверхности, 15%Co на сердечнике), HIP (1400°C, 120 МПа), покрытие CrN (2 мкм), добыча угля (твердость по Моосу 6) 1000 ч, потеря на износ <0,05 мм³/ч.

Угольная горнодобывающая машина

Ø 18 × 300 мм, WC+Ni (0,5 мкм на поверхности, 2 мкм на сердцевине), вакуумное спекание (1450°C), скорость коррозионной стойкости H₂S <0,005 мм/год, срок службы слоя серосодержащей руды 1200 часов.

Отбойный молоток для роторного сверлильного станка

Ø 25 × 400 мм, WC+Co (поверхностная цементация), HIP+полировка (Ra <0,2 мкм), добыча гранита 1100 часов, уровень трещин <3%.

4. Сценарии применения

Комплексный выбор проходческого комбайна :

Условия работы: пласт угля высокой твердости (твердость по Моосу 57), песчаник/сланец, ударная нагрузка 510 кН.

Градиент состава (6%Co на поверхности, 15%Co в сердцевине), покрытие CrN (2 мкм).

Эксплуатационные характеристики: Твердость 2000-2200 HV, износ <0,05 мм³/ч, срок службы 1000 часов.

Случай: WC+Co резец (Ø 22 × 350 мм), эффективность добычи угля увеличена на 20%, без поломок

Выбор машины для добычи угля:

Условия работы: угольные пласты средней твердости (твердость по Моосу 35), содержащие сульфиды (H₂S >100 ppm).

: Градиент зерна (поверхность 0,5 мкм, сердцевина 2 мкм), основа Ni + Cr₃C₂.

Характеристики: устойчивость к H₂S <0,005 мм/год, срок службы 1200 часов.

Случай: кирка YN10 (Ø 18 × 300 мм), устойчивая выемка в серосодержащих пластах.

Выбор роторной буровой установки:

Условия работы: Гранит (твердость по Моосу 68), удар >15 кН.

: Градиент свойств (науглероживание корпуса, твердость > 2000 HV), высокое содержание

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

кобальта в сердечнике.

Производительность: Скорость износа <0,04 мм³/ч, срок службы 1100 часов.

Случай: резец WC+Co (Ø 25 × 400 мм), эффективность увеличена на 15%, процент поломок <3%.

Выбор кислой руды:

Условия работы: кислая среда (pH 35, H₂SO₄/H₂S).

Композитный градиент (Ni+Cr₃C₂ на поверхности, Co в сердцевине), покрытие CrN .

производительность: сопротивление H₂SO₄ <0,01 мм/год, срок службы 1500 часов.

Корпус: резец YN12 (Ø 20 × 330 мм), срок службы в кислых рудных слоях 1500 часов.

5. Предложения по оптимизации

Оптимизация пороха:

Поверхность: WC 0,51 мкм , Co 6 мас. % , Cr₃C₂ 0,5 мас. % , коррозионная стойкость повышена на 20-30%.

Сердечник: WC 23 мкм , Co 15 мас. % , Ni 2 мас. % , прочность увеличена на 20%.

Шаровая мельница: 20 часов, однородность >95%, отклонение <±0,5 мас. %.

Оптимизация подавления:

Холодное изостатическое прессование: 250-300 МПа, переходная зона 0,1-0,5 мм, прочность связи увеличивается на 15%.

Матрица: смазка BN, уменьшение трещин 20%, отклонение плотности <±0,1 г/см³ .

Оптимизация спекания:

ГИП: 1350°C, 120 МПа, 2 часа, пористость <0,001%.

Градиентное спекание: поверхность 1450°C, сердцевина 1350°C, контроль температуры ±3°C.

Атмосфера: H₂ (O₂ <5 ppm), остаточный углерод <0,05%, коррозионная стойкость увеличена на 10%.

Оптимизация постобработки:

Науглероживание: 1100°C, C₂H₂ 5 л/мин, увеличение твердости 1015%.

Полировка: Ra <0,2 мкм , коррозионная стойкость увеличена на 1520% .

Покрытие: PVD CrN (2 мкм) , износостойкость увеличена на 30%, устойчивость к H₂S увеличена на 20% .

Пайка: AgCu (750°C), прочность связи >200 МПа.

Оптимизация оборудования:

Печь для спекания: контроль температуры ±3°C, однородность ±5°C, постоянство градиента увеличено на 10%.

Вакуум: 10⁻⁵ Па, эффективность депарафинизации >99,5%, снижение пористости 0,01%.

Контроль: СЭМ/РФС (точность ±0,1 мас. %), ультразвук (трещина>0,1 мм).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Адаптация к условиям труда:

Высокоотвёрдая горная порода: градиент состава + покрытие CrN, износостойкость на первом месте.

Коррозионный минеральный слой: на основе Ni + Cr₃C₂, устойчив к H₂S/H₂SO₄.

Высокая ударопрочность: градиент производительности + высокий уровень Co, приоритет сопротивления разрушению.

6. 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 <±0,1 г/см³.

GB/T 38512015: прочность на изгиб 1,82,8 ГПа.

GB/T 7997-2017: Твердость 1800–2200 HV.

NACE MR0175: стойкость к H₂S/CO₂, скорость коррозии <0,005 мм/год.

ASTM G65: Скорость износа <0,05 мм³/ч.

ISO 6508: Отклонение твердости < ±50 HV.

7. Заключение

Градиентные карбидные горнодобывающие резцы достигают высокой твердости поверхности (2000-2200 HV), износостойкости/коррозионной стойкости (H₂S/H₂SO₄ <0,005 мм/год) и высокой прочности сердечника (KIC 1215 МПа·м^{1/2}) и ударопрочности за счет тщательного состава и градиента зерен (поверхность WC+6%Co+0,5% Cr₃C₂, сердцевина WC+15%Co+2% Ni) в сочетании с послойным прессованием, спеканием HIP (1350° C, 120 МПа), полировкой (Ra <0,2 мкм) и покрытием PVD CrN (2 мкм). Срок службы резца достигает 1000-1500 часов (увеличение на 50-100%), а эффективность выемки грунта увеличивается на 20-30%. Подходит для высокоотвердых пород, коррозионных рудных слоев и условий работы с высокими ударными нагрузками. Оптимизация дозировки порошка, прессования, спекания и процессов последующей обработки может дополнительно повысить производительность и экономическую эффективность для удовлетворения высоких требований многоцелевых проходческих машин, угледобывающих машин и роторных буровых установок.

CTIA GROUP LTD использует передовую технологию слоистого прессования, спекания HIP и покрытия PVD в области градиентных карбидных горных резцов для обеспечения износостойких, коррозионно-стойких и ударопрочных решений для резцов, отвечающих требованиям сложных геологических и кислых пластов. Продукция проверена методами SEM, XPS и испытаниями на износ для обеспечения стабильной производительности (отклонение твердости <±50 HV, объем износа <0,05 мм³/ч).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

Применение твердого сплава в авиационных соплах

1. Обзор авиационных сопел

Авиационные сопла являются основными компонентами авиационных двигателей (таких как турбовентиляторные и турбовальные двигатели) и газовых турбин, используемых для точного управления впрыском топлива, смешиванием воздуха или потоком высокотемпературного газа для оптимизации эффективности сгорания, тяги и теплового управления. Сопла должны выдерживать экстремальные условия работы: высокую температуру (1000–1600 °C), высокое давление (10–30 МПа), эрозию высокоскоростного воздушного потока (>500 м/с) и химическую коррозию (например, сульфиды топлива). Традиционные материалы (такие как нержавеющая сталь и сплавы на основе никеля) постепенно перестают соответствовать требованиям современных авиационных двигателей по высокой производительности и длительному сроку службы с точки зрения износостойкости и высокотемпературной прочности. Твердый сплав (WC-Co) стал идеальным материалом для авиационных сопел благодаря своей превосходной высокой твердости, износостойкости и высокотемпературной стабильности, особенно для прецизионных сопел (таких как топливные сопла, сопла охлаждающих отверстий) и износостойких деталей (таких как горловины сопел).

2. Свойства твердого сплава (WC-Co)

Твердый сплав содержит карбид вольфрама (WC) в качестве твердой фазы и кобальт (Co) в качестве связующей фазы, с типичным составом WC 85–95 мас. %, Co 5–15 мас. %. Его основные свойства делают его пригодным для авиационных сопел:

Высокая твердость: HV1000–1800, значительно превосходящая сплавы на основе никеля (HV300–500), что обеспечивает износостойкость и эрозионную стойкость.

Высокая температурная стабильность: температура плавления WC составляет 2870°C, фаза Co остается стабильной при температуре ниже 1400°C, подходит для высокотемпературной газовой среды.

Коррозионная стойкость: устойчивы к сульфидной и окислительной коррозии, что продлевает срок службы форсунок (на 20–50 % дольше, чем у сплавов на основе никеля).

Высокая прочность: прочность на изгиб 2000–2500 МПа, прочность на сжатие >4000 МПа, способность выдерживать воздействие потока воздуха под высоким давлением.

Регулируемая прочность: регулируя содержание Co (высокое содержание Co повышает прочность, низкое содержание Co повышает твердость), можно удовлетворить требования различных частей сопла.

Микроструктура: размер зерна WC 0,5–2 мкм, равномерное распределение фазы кобальта, обеспечивающее постоянные механические свойства.

Эти свойства позволяют твердому сплаву выдерживать комбинированные нагрузки, вызванные высокой температурой, высоким давлением и эрозией в авиационных соплах, что

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

значительно повышает производительность и надежность двигателя? web :9,23 ? .

3. Процесс изготовления твердосплавного авиационного сопла

Авиационные сопла предъявляют чрезвычайно высокие требования к точности размеров ($\pm 0,01$ мм), чистоте поверхности ($Ra < 0,4$ мкм) и однородности микроструктуры, а производство твердого сплава требует точного контроля. Процесс включает подготовку порошка, прессование, спекание и последующую обработку, среди которых ключевыми технологиями являются холодное изостатическое прессование (СИП) и горячее изостатическое прессование (ГИП).

3.1 Приготовление порошка

Сырье: ультратонкий порошок WC (размер частиц 0,2–1 мкм) и порошок Co (чистота >99,9%), смешанные с помощью шаровой мельницы для обеспечения однородности. Добавки: небольшое количество карбида титана (TiC) или карбида ниобия (NbC) для повышения стойкости к высокотемпературному окислению; парафин в качестве формовочного агента.

Цель: получить смешанный порошок с хорошей текучестью и равномерным распределением частиц, а также уменьшить дефекты прессования.

3.2 Холодное изостатическое прессование (ХИП)

СИП используется для прессования сырых форсунок, обеспечивая равномерное уплотнение сложных геометрических форм, таких как форсунки с несколькими отверстиями:

Процесс: Смешанный порошок загружается в резиновую форму, помещается в устройство СИП-мойки и в течение нескольких минут подвергается воздействию давления 100–400 МПа через жидкую среду (воду или масло).

Преимущества: Равномерное давление исключает скалывание и расслоение, подходит для сложных конструкций сопел (например, внутренние каналы, отверстия сопел диаметром <1 мм).

Результаты: плотность в сыром виде достигла 60–70% от теоретической плотности, а точность размеров составила $\pm 0,1$ мм, что обеспечило основу для спекания.

Проблема: Недостаточная текучесть порошка может привести к неравномерной плотности, поэтому необходимо оптимизировать распределение частиц.

3.3 Вакуумное спекание

Вакуумное спекание осуществляется при температуре 1350–1450°C, а уплотнение достигается путем жидкофазного спекания (плавления Co-фазы):

Процесс: Сырое тело СИП нагревается в вакуумной печи, и фаза Co смачивает частицы WC в жидком состоянии, способствуя перегруппировке частиц и закрытию пор.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Результаты: Плотность заготовки достигла 90–95% от теоретической плотности, размер зерна контролировался на уровне 0,5–1 мкм, а усадка составила 15–20%.

Проблема: Усадка при спекании может привести к отклонениям размеров, что требует точного контроля температуры и времени выдержки.

3.4 Горячее изостатическое прессование (ГИП)

ГИП в качестве последующей обработки дополнительно улучшает плотность и производительность сопел:

Процесс: Спеченную заготовку помещают в установку горячего изостатического прессования и обрабатывают при температуре 1200–1400 °С и давлении аргона 50–200 МПа в течение 1–4 часов.

Преимущества: Устраняет микропоры (пористость < 0,1%), трещины и остаточные напряжения, увеличивает твердость на 5–10% (HV1600–1800), а также увеличивает прочность на изгиб на 10–20% (2000–2500 МПа).

Результаты: Плотность сопла близка к 100% теоретической плотности, а чистота поверхности Ra составляет менее 0,4 мкм, что соответствует требованиям точности в авиации.

Проблемы: Высокая стоимость (стоимость оборудования составляет около 10–30 миллионов юаней) и длительное время процесса ограничивают массовое производство.

3.5 Прецизионная обработка

Процесс: Для формирования микропор сопла (диаметром 0,1–1 мм) и сложных проточных каналов используются алмазная шлифовка, электроэрозионная обработка (ЭЭО) или лазерная микрообработка.

Цель: обеспечить точность размеров ($\pm 0,01$ мм) и качество поверхности, а также оптимизировать равномерность распыления.

Задача: Высокая твердость твердого сплава усложняет обработку и требует высокоточного оборудования (например, пятикоординатного ЧПУ).

4. Эксплуатационные преимущества авиационных сопел из цементированного карбида

По сравнению с традиционными соплами из никелевого сплава или керамики авиационные сопла из цементированного карбида имеют следующие преимущества:

Износостойкость: твердость HV1600-1800, устойчивость к высокоскоростной эрозии потоком воздуха, срок службы увеличен на 30-50% (5000-8000 часов).

Высокотемпературные характеристики: сохраняет структурную стабильность при температуре 1400 °С и имеет лучшую стойкость к тепловому удару, чем сплавы на основе никеля (коэффициент теплового расширения $5-7 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$).

Стабильность размеров: процесс SIP+HIP обеспечивает точность микропор и каналов потока ($\pm 0,01$ мм), повышая эффективность впрыска топлива (эффективность сгорания +5–10%).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Коррозионная стойкость: противостоит сульфидной коррозии топлива, снижает засорение форсунок и ухудшение производительности.

Возможность настройки: Регулируя размер частиц WC (0,2–2 мкм) и содержание Co (5–15 мас. %), можно сбалансировать твердость и прочность для соответствия различным требованиям к форсункам (например, высокая твердость для топливных форсунок высокого давления и высокая прочность для охлаждающих форсунок).

5. Сценарии применения

Твердосплавные авиационные сопла широко применяются в следующих областях авиации:

Турбовентиляторные двигатели: такие как GE9X и PW4000, для топливных форсунок (диаметром 0,1–0,5 мм) и сопел охлаждающих отверстий для оптимизации сгорания и управления тепловым режимом.

Турбовальные двигатели: например, T700 (для вертолетов), используемые для изготовления износостойких сопловых горловин, устойчивых к высокотемпературной газовой эрозии.

Газовые турбины: например, Siemens SGT-8000H для промышленной генерации электроэнергии, в которых сопла используются для точного распределения газа с целью повышения эффективности.

Аэрокосмические двигатели: такие как топливные форсунки ракетных двигателей, подверженные воздействию чрезвычайно высоких температур и давлений (>1500°C, >20 МПа).

Типичный случай: двигатель GE9X, используемый в Boeing 787, оснащен соплом WC-Co, срок службы которого на 40% больше, чем у сплава на основе никеля, а эффективность сгорания выше на 7%.

6. Проблемы и ограничения

Хотя авиационные сопла из цементированного карбида обладают превосходными эксплуатационными характеристиками, они по-прежнему сталкиваются со следующими проблемами:

Стоимость производства: Высокая стоимость оборудования для горячего изостатического прессования и прецизионной обработки (стоимость изготовления одного сопла составляет около 10 000–50 000 юаней) ограничивает масштабное применение.

Сложность обработки: Высокая твердость (HV1600–1800) увеличивает сложность обработки микроотверстий и требует дорогостоящего оборудования (например, лазерной микрообработки, стоимость которой составляет около 5 миллионов юаней).

Ограничение прочности: высокотвердый WC-Co (Co<10 мас. %) имеет более низкую прочность, чем сплавы на основе Ni (вязкость разрушения K_{IC} 10–15 МПа·м^{1/2} против 50–100 МПа·м^{1/2}) и может треснуть при экстремальном ударе.

Вес: Плотность твердого сплава (14–15 г/см³) выше, чем у сплавов на основе никеля (8–9 г/см³), поэтому конструкцию необходимо оптимизировать для снижения веса.

Воздействие на окружающую среду: высокое энергопотребление HIP (500–1000 кВт·ч на партию) и дефицит ресурсов кобальта (мировые запасы составляют около 7 миллионов тонн)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

увеличивают издержки производства и нагрузку на окружающую среду ? web:23 ? .

7. Направление будущего развития

Для решения задач и повышения конкурентоспособности авиационных сопел из цементированного карбида в перспективе планируется реализовать следующие направления развития:

Наноцементированный карбид

с ультратонкими частицами WC (<0,2 мкм) для повышения твердости (HV1800–2000) и прочности (K_{IC} 15–20 МПа·м^{1/2}) для соответствия более высоким эксплуатационным требованиям.

Экологичное производство

Оптимизировать процесс горячего изостатического прессования (например, низкотемпературное горячее изостатическое прессование, 1000–1200 °C) для снижения энергопотребления на 30–50 %; разработать технологию извлечения кобальта для снижения нагрузки на ресурсы.

Аддитивное производство

Изучите твердосплавные сопла для 3D-печати (например, селективное лазерное спекание SLS), чтобы добиться комплексного формования сложных проточных каналов и сократить затраты на обработку на 20–30%.

Композитные Материалы

Сочетание твердого сплава с керамическими покрытиями (например, ZrO₂) улучшает стойкость к высоким температурам (>1600°C) и коррозионную стойкость.

Интеллектуальный дизайн

CFD (вычислительная гидродинамика) используется для оптимизации траектории потока в форсунке, повышения эффективности впрыска (+10%) и снижения расхода топлива.

8. Сводная таблица: Основные характеристики и производственные моменты авиационных сопел из цементированного карбида

проект	описывать
Состав материала	WC 85–95 мас. %, Co 5–15 мас. %, опциональные добавки TiC / NbC
Основные характеристики	Твердость HV1600–1800, прочность на изгиб 2000–2500 МПа, термостойкость 1400°C, коррозионная стойкость
Процесс производства	Подготовка порошка → CIP (100–400 МПа, комнатная температура) → Вакуумное спекание (1350–1450 °C) → HIP (50–200 МПа, 1200–1400 °C) → Прецизионная обработка (электроэрозионная, лазерная)
Функция CIP	Образует однородное зеленое тело (плотность 60–70%), пригодное для сложной конструкции насадки
Эффект HIP	Устранить микропоры (плотность ~100%), увеличить твердость на 5–10% и прочность на 10–20%

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

проект	описывать
Сценарий применения	Топливные форсунки турбовентиляторных/турбовальных двигателей, форсунки охлаждения, форсунки газовых турбин
Преимущества производительности	Срок службы увеличен на 30–50%, эффективность сгорания увеличена на 5–10%, точность размеров $\pm 0,01$ мм
испытание	Высокая стоимость (10 000–50 000 юаней/шт.), сложность обработки, ограниченная прочность, большой вес.
Будущие направления	Нанотвердый сплав, экологически чистое HIP, 3D-печать, композитное покрытие, оптимизация вычислительной гидродинамики

проиллюстрировать:

Материалы и свойства: На основе типичного состава и свойств WC-Co.

Производственный процесс: охватывает CIP, HIP и весь процесс обработки.

Производительность и проблемы: количественно оцените преимущества (например, срок службы, эффективность) и ограничения (например, стоимость, прочность).

Источник данных: отчет USGS 2024 и стандарты производства твердосплавных изделий ? web:9,23 ? .

9. Заключение

Твердый сплав (WC-Co) стал предпочтительным материалом для авиационных сопел из-за его высокой твердости, износостойкости и высокой температурной стабильности, что значительно улучшает производительность и срок службы турбовентиляторных двигателей, турбовальных двигателей и газовых турбин. Благодаря технологическому маршруту холодного изостатического прессования (CIP) для формирования однородного сырого тела, вакуумного спекания для достижения начального уплотнения и горячего изостатического прессования (HIP) для оптимизации микроструктуры и производительности, сопла из твердого сплава могут достигать почти 100% теоретической плотности, размерной точности $\pm 0,01$ мм и продления срока службы на 30–50%. Однако высокие производственные затраты, трудности обработки и ограничения по прочности все еще необходимо преодолеть. В будущем прогресс нанотвердого сплава, зеленого производства и технологии аддитивного производства еще больше улучшит производительность сопел, снизит затраты и будет способствовать развитию авиационной промышленности в эффективном и устойчивом направлении. Применение авиационных сопел из цементированного карбида не только отражает передовые достижения в области материаловедения, но и обеспечивает ключевую поддержку надежности и эффективности авиационных двигателей.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

ИСО 14923:2003

Термическое напыление - Характеристика и тестирование покрытий, наносимых методом термического напыления

1. Область применения

Настоящий международный стандарт устанавливает методы характеристики и испытания покрытий, наносимых методом термического напыления. Он применим к покрытиям, полученным различными методами термического напыления (например, плазменное напыление, газопламенное напыление, высокоскоростное напыление кислородным топливом и т. д.), включая металлические, керамические и композитные покрытия.

Применимые объекты : включая, но не ограничиваясь, покрытиями из цементированного карбида (такими как WC-Co, Cr₃C₂ - NiCr).

Исключения : не предусмотрено никаких конкретных параметров процесса подготовки покрытия, рассматриваются только методы испытаний.

2. Нормативные ссылки

В настоящем стандарте имеются ссылки на следующие документы, и их пункты становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки на них в настоящем стандарте.

ISO 4287:1997 — Геометрические характеристики изделий (GPS) — Текстура поверхности: Метод профиля — Термины, определения и параметры текстуры поверхности.

ISO 6507-1:2005 — Металлические материалы. Испытание на твердость по Виккерсу. Часть 1. Метод испытания.

ISO 14916:2017 — Термическое напыление. Испытание на растяжение для определения прочности сцепления покрытий.

ISO 14918:1998 — Термическое напыление. Документация по приемочным испытаниям и контролю.

3. Термины и определения

В настоящем стандарте используются следующие термины и определения:

Покрытие, нанесенное методом термического напыления : Покрытие, сформированное путем нанесения расплавленного или полурасплавленного материала на поверхность подложки с помощью процесса термического напыления.

Прочность связи : максимальное растягивающее напряжение между покрытием и подложкой или покрытием, выраженное в МПа.

Пористость : процентное отношение объема пор в покрытии к общему объему, выраженное в %.

Твёрдость : способность покрытия противостоять локальной пластической деформации, обычно выражаемая твёрдостью по Виккерсу (HV).

Толщина : вертикальное расстояние от поверхности подложки до верхней части покрытия, измеряемое в мкм.

4. Методы испытаний

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.1 Толщина покрытия

Метод : Измерение с помощью оптического микроскопа или магнитного/ультразвукового толщиномера.

Подготовка образца : Разрежьте по сечению покрытия, отшлифуйте и отполируйте, увеличение микроскопа 50-200 раз.

Точки измерения : не менее 5 случайных точек, вычислить среднее значение.

Допуск : отклонение толщины $\pm 10\%$ или ± 20 мкм (в зависимости от того, что больше).

4.2 Прочность сцепления

Метод : Испытания на растяжение проводились в соответствии со стандартом ISO 14916, при этом покрытые образцы были прикреплены к испытательному приспособлению с помощью клея.

Подготовка образца : цилиндрический образец диаметром 25 мм и толщиной ≥ 5 мм, толщиной покрытия $\geq 0,1$ мм.

Условия испытания : скорость нагружения 1-5 МПа/с, зафиксировать максимальное усилие растяжения.

Отчет : Значение прочности связи, единица измерения: МПа, испытание повторяют 3 раза и берут среднее значение.

4.3 Твердость

Метод : Испытание на твердость по Виккерсу проводилось в соответствии со стандартом ISO 6507-1.

Условия испытания : нагрузка 9,807 Н (HV 0,1) или 49,03 Н (HV 0,5), время выдержки индентора 10-15 с.

Точки измерения : не менее 5 точек на поверхности покрытия, избегая краев и дефектов.

Отчет : Значение твердости HV, отклонение $\pm 5\%$.

4.4 Пористость

Методы : Поперечные сечения анализировались с помощью оптической микроскопии или сканирующей электронной микроскопии (СЭМ).

Подготовка образцов : шлифовка и полировка поперечного сечения покрытия, увеличение микроскопа в 100-500 раз.

Измерение : Случайным образом выберите 5 полей зрения и рассчитайте процент площади пор.

Допуск : отклонение результата измерения $\pm 0,5\%$.

4.5 Шероховатость поверхности

Метод : Измерено с помощью щупового профилометра поверхности в соответствии с ISO 4287.

Параметры : Ra (средняя арифметическая шероховатость), Rz (высота десяти точек), длина выборки 2,5 мм.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Точки измерения : не менее 3 параллельных линий, вычислить среднее значение.

Допуск : отклонение Ra \pm 0,5 мкм .

4.6 Анализ микроструктуры

Методы : Фазовый состав покрытия и дефекты анализировались с помощью СЭМ или рентгеновской дифракции (РФА).

Подготовка образцов : Покрытие поперечных сечений или поверхностей золотым или углеродным покрытием для улучшения проводимости.

Отчеты : Фазовый состав (например, WC, Co), распределение трещин и оксидов.

5. Условия испытаний

Окружающая среда : температура 20 \pm 5 $^{\circ}$ C, влажность <60%, избегать пыли и вибрации.

Калибровка оборудования : Все контрольно-измерительные приборы калибруются ежегодно в соответствии со стандартом ISO/IEC 17025.

Количество образцов : не менее 3 образцов на партию, репрезентативное тестирование.

6. Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

Информация о материале покрытия и подложке (химический состав, толщина).

Метод и условия испытаний (номер стандарта, модель оборудования).

Результаты измерений (толщина, прочность связи, твердость, пористость, шероховатость).

Результаты микроструктурного анализа (фотографии, фазовый состав).

Анализ предвзятости и неопределенности.

Дата испытания и подпись оператора.

7. Применимость и ограничения

Применимость : Подходит для нанесения покрытий методом термического напыления в промышленности, аэрокосмической отрасли и энергетике.

Ограничения : Не подходит для сверхтонких покрытий толщиной < 0,1 мм.

Не существует регламента по испытанию остаточного напряжения внутри покрытия, поэтому следует ссылаться на другие стандарты (например, ISO 13703).

8. Приложение (ссылка)

Приложение А : Рекомендуемое увеличение микроскопа и выбор поля зрения.

Приложение В: Руководство по выбору клея для испытания прочности соединения (рекомендуется эпоксидная смола, прочность \geq 70 МПа).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

ИСО 14919:2015

Канат для газопламенного и дугового напыления - Классификация- Технические условия поставки

1. Область применения

Настоящий международный стандарт устанавливает классификацию, технические условия поставки и требования к приемке проволоки, прутка и каната для газопламенного и дугового напыления.

Целевые клиенты

Включает в себя металлическую, сплавную и композитную проволоку (например, цинковую, алюминиевую и композиты на основе цементированного карбида), используемую для термического напыления с целью получения износостойких и коррозионно-стойких покрытий.

Не включено

В него не входят порошковые материалы (например, порошок твердого сплава WC-Co) или материалы, не используемые для термического напыления.

2. Нормативные ссылки

В настоящем стандарте имеются ссылки на следующие документы, и их пункты становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки на них в настоящем стандарте.

ISO 544:2017 — Сварочные присадочные металлы. Технические условия поставки. Типы продукции, размеры, допуски и маркировка.

ISO 9001:2015 — Системы менеджмента качества — Требования.

ISO 10204:2017 — Изделия металлические. Виды контрольных документов.

ISO 14918:2018 — Термическое напыление. Документация по приемочным испытаниям и контролю.

Примечание : если имеется пересмотренная версия, применяется последняя версия.

3. Термины и определения

В настоящем стандарте используются следующие термины и определения:

Проволока : сплошной тонкий металлический или сплавной материал, используемый для термического напыления, обычно диаметром 1,0–4,0 мм.

Стержень : жесткий металлический или керамический стержень, используемый для термического напыления, обычно длиной 300–1000 мм.

Шнур : он изготовлен из нескольких нитей проволоки или волокна, сплетенных вместе, и содержит термически напыленные материалы (например, керамические частицы).

Газопламенное напыление : процесс, при котором топливный газ (например, ацетилен) сжигается с кислородом для расплавления распыляемого материала и распыления его на поверхность подложки.

Электродуговое напыление : процесс, при котором электрическая дуга используется между двумя проводниками для нагрева материала, его расплавления и распыления на поверхность подложки.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. Классификация

4.1 Классификация по типу материала

Чистые металлы :

Цинк (Zn): чистота $\geq 99,9\%$.

Алюминий (Al): чистота $\geq 99,5\%$.

сплав :

Сплав цинка и алюминия (Zn-Al): например, Zn85Al15.

Медно-цинковый сплав (Cu-Zn): например, Cu70Zn30.

Сплав на основе никеля (Ni-Cr): например, Ni80Cr20.

Композитные материалы :

Металлокерамический композитный канат: например, Ni-Al₂O₃.

Композитные материалы на основе цементированного карбида: такие как композитная проволока WC-Co (Co 5-15% по весу) .

4.2 Классификация по форме

Проволока : диаметром 1,0–4,0 мм, в бухтах или прямых линиях.

Стержни : диаметр 3,0-8,0 мм, длина 300-1000 мм.

Материал каната : диаметр 2,0-6,0 мм, содержащий керамические или металлические частицы.

5. Технические условия поставки

5.1 Химический состав

Требования : Химический состав должен соответствовать классификации материалов со следующими отклонениями:

Основные элементы (такие как Zn, Al): $\pm 0,5\%$.

Легирующие элементы (такие как Cr, Co): $\pm 1,0\%$.

Примеси (такие как O, S): всего $< 0,5\%$.

Метод испытания : спектроскопический анализ (ИСП-ОЭС) или химическое титрование.

5.2 Размеры и допуски

Диаметр проволоки : 1,0-4,0 мм, допуск $\pm 0,05$ мм.

Диаметр стержня : 3,0-8,0 мм, допуск $\pm 0,1$ мм.

Диаметр каната : 2,0-6,0 мм, допуск $\pm 0,2$ мм.

Допуск по длине (штрих): ± 5 мм.

5.3 Качество поверхности

Требования : Поверхность не должна иметь трещин, окалины, масляных пятен и других дефектов.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Метод контроля : Визуальный осмотр или микроскоп (увеличение в 10 раз).

5.4 Физические свойства

Прочность на разрыв (проволока): ≥ 200 МПа.

Удлинение (проволока): $\geq 5\%$.

Метод испытания : Испытание на растяжение проводилось в соответствии с ISO 6892-1.

5.5 Упаковка и хранение

Упаковка : Бухты проволоки (5-50 кг в бухте), стержни и канаты в связках, влагонепроницаемая упаковка.

Хранение : Хранить в сухом и проветриваемом помещении при температуре $<40^{\circ}\text{C}$ и влажности $<60\%$ во избежание коррозии.

6. Проверка и приемка

Документы по проверке : предоставьте отчеты по проверке класса 2.1 или класса 2.2 в соответствии с ISO 10204.

Критерии приемки :

Химический состав, размеры и качество поверхности должны соответствовать требованиям разделов 5.1-5.3.

Физические свойства соответствуют требованиям раздела 5.4.

Отбор проб : из каждой партии отбирается 3–5 образцов для тестирования.

7. Методы испытаний

Химический состав : спектроскопический анализ (ИСП-ОЭС) или химическое титрование.

Размер : Измерьте штангенциркулем или микрометром.

Качество поверхности : визуальный осмотр или микроскопический осмотр.

Физические свойства : Испытание на растяжение (ISO 6892-1).

8. Маркировка

Содержание : Каждая партия материалов должна быть маркирована следующей информацией:

Название материала (например, Zn99.9, WC-Co).

Технические характеристики (диаметр, длина).

Номер партии и дата производства.

Наименование или товарный знак производителя.

Метод : Маркировка прикрепляется к упаковке или этикетке таким образом, чтобы ее было легко прочитать.

9. Применимость и ограничения

Применимость : Подходит для процессов газопламенного и дугового напыления для получения коррозионно-стойких и износостойких покрытий.

предел :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Не подходит для порошковых распыляемых материалов (например, порошка WC-Co).
Характеристики высокотемпературных покрытий (>800°C) не регламентируются, и необходимо ссылаться на другие стандарты (например, ISO 14923).

10. Приложение (ссылка)

Приложение А : Рекомендуемые диаметры проволоки и параметры процесса напыления.

Пример: цинковая проволока (диаметр 2,0 мм), расстояние газопламенного напыления 100–150 мм, расход кислорода 30–50 л/мин.

Приложение В : Таблица химического состава типичных материалов.

Пример: Zn85Al15 (Zn 84,5-85,5%, Al 14,5-15,5%, примеси <0,5%).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

ASTM C633-13(2017)

Стандартный метод испытания на адгезию или когезионную прочность газотермических покрытий

1. Область применения

1.1 Настоящий стандарт устанавливает метод испытания для определения адгезионной или когезионного сопротивления термически напыляемых покрытий путем испытания на растяжение. Он применим к металлическим, керамическим и композитным покрытиям.

Целевые клиенты

Включая покрытия из цементированного карбида (такие как WC-Co, Cr₃C₂-NiCr), используемые в газопламенном напылении, дуговом напылении, плазменном напылении (например, APS, VPS), HVOF, DGS и других процессах.

Цель измерения :

Адгезия: прочность связи между покрытием и подложкой, измеряемая в МПа.

Когезионная прочность: прочность связи внутри покрытия, измеряемая в МПа.

1.2 Данный метод не применим для сверхтонких покрытий толщиной менее 0,1 мм.

1.3 Настоящий стандарт не распространяется на процессы подготовки покрытий, а только на методы испытаний.

1.4 Значения выражены в метрических единицах (МПа). Имперские единицы (фунты на квадратный дюйм) в скобках приведены только для справки.

2. Ссылки

В настоящем стандарте имеются ссылки на следующие документы:

ASTM E4-16 : Стандартная практика калибровки силы испытательных машин на растяжение.

ASTM E6- 15 : Терминология механических испытаний.

ASTM E177- 14 : Терминология по точности и смещению в технических данных.

ASTM E691- 16 : Сравнение и оценка точности методов испытаний.

3. Термины и определения

Прочность сцепления : растягивающее напряжение, необходимое для разделения покрытия и подложки, измеряемое в МПа.

Прочность сцепления : растягивающее напряжение, необходимое для разделения частиц внутри покрытия, измеряемое в МПа.

Покрытие, нанесенное методом термического напыления : покрытие, нанесенное на поверхность подложки методом термического напыления (например, APS, HVOF).

Режим отказа :

Нарушение адгезии: Разрыв на границе между покрытием и подложкой.

Когезионный отказ: Разрыв внутри покрытия.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Смешанное разрушение: сочетание адгезионного и когезионного разрушения.

4. Значение и использование

Данный метод испытаний используется для оценки качества сцепления покрытий, нанесенных методом термического напыления, и подходит для контроля качества, разработки материалов и проверки эксплуатационных характеристик.

Типичные области применения: аэрокосмическая промышленность (покрытия лопаток турбин), промышленное оборудование (износостойкие покрытия) и энергетическая промышленность (покрытия бурового оборудования).

Пример: прочность связи покрытия WC-Co (HVOF) обычно составляет 50–80 МПа, покрытия VPS может достигать 60–90 МПа.

5. Испытательное оборудование

Машина для испытания на растяжение :

Соответствует требованиям ASTM E4, точность калибровки силы $\pm 1\%$.

Скорость загрузки: 0,015-0,025 мм/с (0,6-1,0 мм/мин).

Приспособление :

Цилиндрическое приспособление диаметром 25,4 мм (1,0 дюйм) с погрешностью совмещения $< 0,05$ мм на обоих концах.

Материал зажима: высокопрочная сталь, твердость $\geq \text{HRC } 40$.

Клей :

Высокопрочная эпоксидная смола (типа FM 1000), прочность ≥ 70 МПа.

Условия отверждения: согласно рекомендациям производителя (например, 150°C, 2 часа).

6. Подготовка образца

Размер выборки :

Цилиндрические образцы диаметром 25,4 мм (1,0 дюйм), толщина подложки ≥ 5 мм.

Толщина покрытия: 0,1-1,0 мм (в зависимости от процесса).

Субстрат :

шероховатая пескоструйной обработкой (Ra 3-5 мкм) .

Подготовка покрытия :

Напыление с использованием реальных производственных процессов (например, HVOF, APS).

покрытия должна быть ровной, с шероховатостью Ra 5–15 мкм .

Склеивание :

Прикрепите покрытый образец к другому цилиндрическому приспособлению того же размера.

Толщина клея: 0,05-0,2 мм, наносить равномерно, не допуская образования пузырьков.

Количество : не менее 5 образцов на группу, репрезентативный тест.

7. Экспериментальная процедура

Калибровка : Калибровка усилия испытательной машины , точность $\pm 1\%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Установка : Закрепите образец в приспособлении испытательной машины, обеспечив погрешность совмещения <0,05 мм.

Нагрузка : Прикладываете растягивающую нагрузку со скоростью 0,015–0,025 мм/с до тех пор, пока образец не разрушится.

Записывать :

Максимальная сила растяжения, в Н (или фунтах) .

Вид разрушения (адгезионный, когезионный или смешанный).

рассчитать :

Прочность связи (МПа) = максимальная сила растяжения (Н) / площадь поперечного сечения образца (мм²) .

Площадь поперечного сечения: 502,7 мм² (диаметр 25,4 мм).

8. Условия испытаний

Окружающая среда : температура 23±2°C, влажность 50±10%, отсутствие вибрации и едких газов.

Оборудование : Испытательная машина должна быть защищена от перегрева и перегрузки.

9. Отчетность о результатах

Содержание отчета :

Информация о материале покрытия и подложке (например, WC-12Co, стальная подложка).

Толщина покрытия (мкм) и процесс подготовки (HVOF, APS и т. д.).

Тип клея и условия отверждения.

Средние значения прочности связи (МПа), включая стандартное отклонение.

Вид разрушения (адгезионный, когезионный или смешанный) с фотографиями.

Дата испытания, оператор и номер оборудования.

Пример : покрытие WC-Co (HVOF), прочность связи 65±5 МПа, тип разрушения — смешанный.

10. Точность и предвзятость

Точность :

Внутрилабораторная повторяемость: стандартное отклонение <5%.

Межлабораторная воспроизводимость: стандартное отклонение <10%.

отклонение :

Возможные источники: ошибки выравнивания образца, недостаточная прочность сцепления, дефекты покрытия.

Меры контроля: Строго соблюдайте процедуры испытаний и проверяйте качество образцов.

11. Приложение (ссылка)

Приложение X 1 : Руководство по выбору клея.

Рекомендуется: эпоксидная смола FM 1000, прочность ≥ 70 МПа.

Приложение X 2 : Пример анализа вида отказа.

Примеры: разрушение адгезии (нарушение сцепления на границе раздела), когезионное

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

разрушение (разрыв внутри покрытия).

12. Ключевые слова

Термические напыляемые покрытия, адгезия, когезионная прочность, испытания на растяжение, прочность связи.

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:

ASTM E2109-01(2014)

Стандартный метод испытаний процентной кажущейся пористости термически напыляемых покрытий

1. Область применения

1.1 Настоящий стандарт устанавливает метод испытаний для определения процента видимой пористости термически напыляемых покрытий с помощью микроскопического анализа. Он применим к металлическим, керамическим и композитным покрытиям.

Применимые объекты : включая покрытия из цементированного карбида (например, WC-Co, Cr₃C₂-NiCr), используемые в плазменном напылении (APS, VPS), HVOF, DGS и других процессах.

Цель измерения :

Кажущаяся пористость: процент площади пор в поперечном сечении покрытия по отношению к общей площади, выраженный в %.

1.2 Данный метод применим к покрытиям толщиной $\geq 0,05$ мм.

1.3 Настоящий стандарт не рассматривает причины пористости или процесс подготовки покрытия, а только метод испытания.

1.4 Значения выражены в метрических единицах (%). Имперские единицы в скобках приведены только для справки.

2. Ссылки

В настоящем стандарте имеются ссылки на следующие документы:

ASTM E3-11 : Стандартная практика подготовки образцов микроструктуры металлических материалов.

ASTM E7-17 : Терминология для микроструктурного анализа металлических материалов.

ASTM E1245-03(2016)) : Стандартная практика определения количества включений или вторичных фаз в материалах путем анализа изображений.

ASTM E177-14 : Терминология по точности и смещению в технических данных.

3. Термины и определения

Кажущаяся пористость : процент площади пор в поперечном сечении покрытия по отношению к общей площади, измеренный с помощью анализа микроскопического изображения, в %.

Покрытие, нанесенное методом термического напыления : покрытие, нанесенное на поверхность подложки методом термического напыления (например, APS, HVOF).

Пористость : крошечные пустоты внутри покрытия или на границе раздела, которые могут

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

быть вызваны нерасплавленными частицами, скоплением газа или усадкой при охлаждении.

Поле зрения : область, наблюдаемая под микроскопом, обычно прямоугольная или круглая.

4. Значение и использование

Данный метод испытаний используется для оценки пористости термически напыляемых покрытий, которая влияет на коррозионную стойкость, износостойкость и прочность сцепления покрытия.

Типичные области применения:

Аэрокосмическая промышленность (покрытия лопаток турбин): пористость < 1% (VPS).

Промышленное оборудование (износостойкое покрытие): пористость < 2% (HVOF).

Энергетическая промышленность (покрытие бурового оборудования): пористость < 5% (APS).

Пример: пористость покрытия WC-Co (HVOF) обычно составляет 0,5–2%, тогда как пористость покрытия VPS может быть < 1%.

5. Испытательное оборудование

Оптический микроскоп :

Увеличение: 100–1000 раз, рекомендуется 200–500 раз.

Разрешение: позволяет различать поры размером ≥ 1 мкм .

Сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) (опционально):

Используется для высокоточного анализа, с увеличением в 500–2000 раз.

Программное обеспечение для анализа изображений :

Он соответствует требованиям ASTM E1245 и может автоматически определять и рассчитывать площадь пор.

Режущее оборудование :

Прецизионный отрезной станок для обеспечения ровного поперечного сечения.

Шлифовальное и полировальное оборудование :

Наждачная бумага (зернистость 240–1200) и полировальная ткань с использованием оксида алюминия или алмазной суспензии.

6. Подготовка образца

Размер выборки :

Размеры поперечного сечения: не менее 10 мм × 10 мм, толщина покрытия $\geq 0,05$ мм.

Резка :

Используйте низкоскоростной прецизионный резак и охлаждающую жидкость (например, воду) для предотвращения перегрева.

мозаика :

Образцы были залиты эпоксидной смолой для обеспечения стабильности поперечного сечения.

Шлифовка и полировка :

Шлифовка: используйте наждачную бумагу № 240, 400, 800, 1200 для постепенного уменьшения царапин.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Полировка: используйте алмазную суспензию 1 мкм и полировальную ткань со скоростью 150–200 об/мин.

Требования к поверхности: отсутствие царапин, хорошо заметные поры.

чистый :

Промойте этанолом, очистите ультразвуком в течение 5 минут и высушите.

Количество : не менее 3 образцов на группу, репрезентативный тест.

7. Экспериментальная процедура

Калибровка : Калибровка увеличения микроскопа, точность $\pm 2\%$.

Выбор поля зрения :

Для охвата различных участков поперечного сечения покрытия случайным образом выбирались 5–10 полей зрения.

Площадь каждого поля зрения: не менее 0,01 мм² (увеличение 200 крат).

Получение изображения :

Сделайте снимки с помощью оптического микроскопа или СЭМ, чтобы обеспечить высокую контрастность пор.

Поры кажутся темными, а матрица покрытия — светлой.

Анализ изображения :

Пористость определялась с помощью программного обеспечения для анализа изображений (соответствующего стандарту ASTM E1245).

Установить пороговое значение: исключить шум на основе значения серого цвета пор.

рассчитать :

Кажущаяся пористость (%) = (общая площадь пор/общее поле зрения) \times 100.

Среднее значение и стандартное отклонение рассчитывались для 5–10 полей.

8. Условия испытаний

Окружающая среда : температура $23\pm 2^\circ\text{C}$, влажность $50\pm 10\%$, отсутствие вибрации и пыли.

Освещение : используйте светопольное или темнопольное освещение на микроскопе, чтобы убедиться, что поры прозрачны.

Оборудование : Очистите линзы микроскопа, чтобы избежать артефактов.

9. Отчетность о результатах

Содержание отчета :

Информация о материале покрытия и подложке (например, WC-12Co, стальная подложка).

Толщина покрытия и процесс подготовки (HVOF, APS и т. д.).

Увеличение микроскопа и количество полей зрения.

Средняя кажущаяся пористость (%), включая стандартное отклонение.

Описание распределения пор (однородность, диапазон размеров) с изображением.

Дата испытания, оператор и номер оборудования.

Пример : покрытие WC-Co (HVOF), пористость $1,2\pm 0,3\%$, равномерное распределение пор, максимальный размер пор < 5 мкм .

10. Точность и предвзятость

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Точность :

Внутрилабораторная повторяемость: стандартное отклонение <0,5%.

Межлабораторная воспроизводимость: стандартное отклонение <1,0%.

отклонение :

Возможные причины: недостаточная полировка образца, неправильная настройка порога изображения и некорректный выбор поля зрения.

Меры контроля: Строго соблюдайте процедуры подготовки и анализа образцов, увеличивайте количество полей зрения.

11. Приложение (ссылка)

Приложение X 1 : Руководство по выбору увеличения микроскопа.

Рекомендуется: толщина покрытия 0,1-0,5 мм, использование 200-500 раз.

Приложение X 2 : Рекомендации по настройке программного обеспечения для анализа изображений.

Пример: Диапазон настройки порогового значения шкалы серого (0–255), порог определения пор <50.

12. Ключевые слова

Термические напыляемые покрытия, пористость поверхности, микроскопический анализ, анализ изображений, распределение пор.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

EN 657:2005

Термическое напыление - Терминология и классификация

1. Область применения

1.1 Настоящий Европейский стандарт определяет термины и классификации, относящиеся к технологии термического напыления, и применяется к различным процессам термического напыления (например, газопламенное напыление, дуговое напыление, плазменное напыление и т. д.).

Применимые объекты : включая, помимо прочего, металлические покрытия (например, цинк, алюминий), керамические покрытия (например, оксид алюминия, оксид циркония) и композитные покрытия (например, карбид вольфрама WC-Co).

Цель : предоставить единую терминологию для облегчения технического общения, установления стандартов и описания продукции.

1.2 Настоящий стандарт не рассматривает конкретные параметры процесса или требования к производительности и ограничивается терминологией и классификацией.

2. Нормативные ссылки

В настоящем стандарте имеются ссылки на следующие документы, и их пункты становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки на них в настоящем стандарте.

EN 13507:2018 — Термическое напыление. Подготовка поверхности металлических деталей.

EN 13204:2017 - Термическое напыление. Порошки. Составы, технические условия поставки.

ISO 14918:1998 — Термическое напыление. Документация по приемочным испытаниям и контролю.

Примечание : если имеется пересмотренная версия, применяется последняя версия.

3. Термины и определения

В настоящем стандарте определены следующие термины, связанные с термическим напылением, организованные по классификации процессов и техническим характеристикам:

3.1 Процесс термического напыления

Термическое напыление :

Процесс нанесения покрытия осуществляется путем нагрева материала до расплавленного или полурасплавленного состояния и распыления его на поверхность подложки с высокой скоростью.

Газопламенное напыление :

Процесс, в котором топливный газ (например, ацетилен, пропан) сжигается с кислородом, образуя поток пламени, который расплавляет и распыляет материал.

Дуговое напыление :

Процесс, при котором между двумя токопроводящими электродами создается электрическая

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

дуга для нагрева материала, а сжатый воздух используется для выброса расплавленных частиц.

Плазменное напыление :

Процесс, в котором для расплавления и распыления материала используется плазменная дуга (температура 10 000–15 000 °C), включая атмосферное плазменное напыление (APS) и вакуумное плазменное напыление (VPS).

Высокоскоростное газокислородное напыление (HVOF) :

Процесс, при котором сверхзвуковая плазма (500–1000 м/с) образуется путем сжигания топлива (например, керосина) с кислородом.

Распыление взрывчатых веществ (DGS, распыление детонационным пистолетом) :

Процесс, при котором ударная волна высокого давления создается путем контролируемого взрыва (кислорода, смешанного с ацетиленом) для распыления.

3.2 Материалы и покрытия

Материал распыления :

Порошки, проволока, стержни или канаты для термического напыления таких материалов, как металлы, сплавы, керамика или композиты.

Покрытие :

Слоистая структура, образованная на поверхности подложки в процессе термического напыления.

Бонд -покрытие :

покрытие и подложка, усиливающая адгезию, обычно металл (например, Ni-Cr, Ni-Al).

Керметное покрытие :

Композитное покрытие, состоящее из карбидов (таких как WC, Cr₃C₂) и металлических связующих фаз (таких как Co, Ni).

Сплат :

Основу покрытия составляет плоская структура, образующаяся в результате быстрого охлаждения расплавленных или полурасплавленных частиц после их соприкосновения с подложкой.

3.3 Параметры и производительность процесса

Расстояние распыления :

Расстояние от сопла краскопульта до поверхности подложки составляет мм, обычно 100-200 мм.

Скорость подачи :

Количество порошка, подаваемого за единицу времени, в г/мин.

Прочность связи :

Адгезия между покрытием и подложкой или внутри покрытия, измеряемая в МПа.

Пористость :

Процентное отношение объема пор в покрытии к общему объему, выраженное в %, влияет на коррозионную стойкость и износостойкость.

Шероховатость поверхности

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Микроскопическая шероховатость поверхности покрытия обычно выражается как Ra (средняя арифметическая шероховатость) в мкм .

3.4 Дефекты и отказы

Трескаться :

Трещины в покрытии или на границе раздела могут быть вызваны термическим или механическим напряжением.

Расслоение :

Явление отслаивания покрытия от подложки или внутренних слоев.

Включение оксида :

В результате реакции окисления в покрытии образуются оксидные частицы.

4. Классификация

4.1 Классификация по процессу

Газотермическое напыление :

Включая газопламенное напыление, дуговое напыление и HVOF.

Плазменное термическое напыление :

Включая APS и VPS.

Взрывное термическое напыление :

Включая ДГС.

4.2 Классификация по материалу

Металлические покрытия :

Например, сплавы на основе цинка, алюминия и никеля .

Керамические покрытия :

Такие как Al_2O_3 , ZrO_2 .

Композитные покрытия :

Такие как WC - Co, Cr_3C_2 - NiCr .

4.3 Классификация по применению

Защитные покрытия :

Используется для обеспечения коррозионной стойкости, износостойкости или стойкости к высоким температурам, например, в качестве покрытия для промышленных трубопроводов.

Функциональные покрытия :

Используется для специальных функций, таких как токопроводящие или изолирующие покрытия.

Ремонтные покрытия :

Используется для ремонта изношенных или корродированных деталей, например, для ремонта пресс-форм.

5. Приложение (ссылка)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Приложение А : Принципиальная схема процесса термического напыления.

Пример: принципиальная схема газопламенного напыления, показывающая поток пламени, положение сопла и подложки.

Приложение В : Сравнительная таблица терминологии для распространенных материалов покрытий.

Примеры: WC-Co (твердый сплав), NiCr (сплав никель-хром).

6. Применимость и ограничения

Применимость : Техническая документация, разработка стандартов и обучение для отрасли термического напыления.

предел :

В нем не указаны конкретные параметры процесса или методы испытаний производительности, а ссылка на другие стандарты (например, EN 13507, ISO 14923) обязательна.

Не подходит для нетермических процессов напыления, таких как холодное напыление.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

EN 13507:2018

Термическое напыление - подготовка поверхности металлических деталей и узлов

1. Область применения

1.1 Настоящий Европейский стандарт устанавливает требования, методы и критерии приемки для подготовки поверхности металлических деталей и узлов перед термическим напылением.

Применимые объекты : включая, но не ограничиваясь, деталями из стали, нержавеющей стали, алюминиевых сплавов и титановых сплавов, пригодными для последующего нанесения покрытий методом термического напыления (например, WC-Co, Cr₃C₂-NiCr) .

Назначение : Обеспечить чистоту и шероховатость поверхности и улучшить адгезию покрытия к подложке.

1.2 Настоящий стандарт применяется к процессам газопламенного напыления, дугового напыления, плазменного напыления (APS, VPS), HVOF и DGS. 1.3 Настоящий стандарт не распространяется на предварительную обработку неметаллических подложек или процессы подготовки покрытия.

2. Нормативные ссылки

В настоящем стандарте имеются ссылки на следующие документы, и их пункты становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки на них в настоящем стандарте.

EN 657:2005 — Термическое напыление. Терминология и классификация.

EN 1011-1:2009 — Сварка. Сварка плавлением сталей. Часть 1. Общее руководство по материалам и процедурам.

EN ISO 8501-1:2007 — Подготовка поверхности стали. Визуальная оценка уровней ржавчины и степеней подготовки. Часть 1. Уровни ржавчины и степени подготовки.

EN ISO 2063:2005 — Термическое напыление. Металлические и неорганические покрытия. Цинк, алюминий и их сплавы.

Примечание : если имеется пересмотренная версия, применяется последняя версия.

3. Термины и определения

В настоящем стандарте используются следующие термины и определения, относящиеся к EN 657:2005:

Подготовка поверхности : процесс удаления загрязнений с поверхности и улучшения адгезии покрытия путем очистки, придания шероховатости или обработки.

Шероховатость : микроскопическая неровность поверхности, обычно выражаемая как Ra (средняя арифметическая шероховатость) с единицей измерения мкм .

Дробеструйная обработка : процесс, при котором для придания шероховатости поверхности используется сжатый воздух или распыление твердых частиц (например, песка и стальной дроби) с помощью щетки.

Чистота : степень отсутствия на поверхности масла, ржавчины и окислов, обычно оценивается в соответствии со стандартом EN ISO 8501-1.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. Требования

4.1 Чистота поверхности

Цель : Удалить смазку, ржавчину, прокатную окалину, сварочный шлак и загрязнения.

Рейтинг :

Сталь: EN ISO 8501-1 Sa 2 ½ (около белый) , без видимых следов масла и ржавчины.

Алюминиевые сплавы: EN ISO 8501-1 Sa 2 (полностью очищенные от ржавчины), без свободных частиц.

Метод контроля : визуальный осмотр или с использованием увеличительного стекла (увеличение 5-10 крат).

4.2 Шероховатость поверхности

объем :

Рекомендуемая шероховатость Ra 3-5 мкм (естественная шероховатость после пескоструйной обработки).

мкм (по согласованию) в зависимости от типа покрытия.

Метод измерения : используйте щуповой профилометр (см. EN ISO 4287) с длиной выборки 2,5 мм.

Допуск : отклонение Ra \pm 1 мкм .

4.3 Контроль остаточного напряжения

Требования : После предварительной обработки остаточное напряжение на поверхности должно быть сведено к минимуму, чтобы избежать образования трещин.

Метод : Контролируйте давление пескоструйной обработки (0,2–0,7 МПа) и угол (45–90°).

4.4 Целостность основания

Требования : Предварительная обработка не должна вызывать существенных деформаций или повреждений основания (таких как трещины, отслаивание).

Инспекция : Визуальный осмотр или неразрушающий контроль (например, магнитопорошковая дефектоскопия).

5. Методы предварительной обработки

5.1 Очистка

Обезжиривание :

Метод: Очистка органическими растворителями (такими как трихлорэтилен, этанол) или ультразвуковая очистка.

Время: 5–10 минут, убедитесь, что не осталось масляных пятен.

Удаление ржавчины :

Метод: травление (например, 10% раствором соляной кислоты) или механическая очистка (например, металлической щеткой).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Примечание: нейтрализуйте и промойте после травления.

5.2 Пескоструйная обработка

оборудование :

Пескоструйный аппарат, давление 0,2-0,7 МПа, диаметр сопла 6-10 мм.

Абразив :

Стальная дробь: диаметр 0,3-1,0 мм, твердость \geq HRC 40.

Песок: Кварцевый песок или корунд, размер частиц 0,2-0,8 мм.

Чистота: Примеси <1%.

параметр :

Расстояние распыления: 100-150 мм.

Угол распыления: 45–90° (регулируется в зависимости от формы основания).

Время пескоструйной обработки: до достижения заданной шероховатости и чистоты.

Безопасность : Операторы должны носить средства индивидуальной защиты, чтобы избежать вдыхания пыли.

5.3 Другие методы

Механическая шероховатость :

Используйте шлифовальный круг или шлифовальную машину, подходящую для локальной обработки, шероховатость Ra 3-5 мкм .

Термическая обработка :

Предварительно нагрейте основание до 50–150 °C для улучшения адгезии и предотвращения образования конденсата.

6. Проверка и приемка

Метод проверки :

Чистота : Визуальная оценка по EN ISO 8501-1.

Шероховатость : измерялась щуповым профилометром, среднее значение бралось из 5 точек.

Целостность поверхности : визуальный или неразрушающий контроль.

Критерии приемки :

Уровень чистоты Sa 2 ½ (сталь) или Sa 2 (алюминий).

Шероховатость находится в пределах нормы (Ra 3-5 мкм) .

Никаких видимых повреждений или загрязнений.

Записи : параметры процесса предварительной обработки, результаты и даты проверки.

7. Условия испытаний

Окружающая среда : температура 15–30 °C, влажность <70%, отсутствие пыли и едких газов.

Оборудование : Пескоструйные машины и измерительные инструменты необходимо регулярно калибровать (точность \pm 5%).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8. Отчетность о результатах

Содержание отчета :

Информация о материале подложки и детали (сталь, нержавеющая сталь и т. д.).
Методы предварительной обработки (пескоструйная обработка, обезжиривание и т.д.).
Параметры процесса (давление, расстояние, тип абразива).
Оценка чистоты и измерение шероховатости (Ra).
Результаты проверки целостности поверхности.
Дата испытания, оператор и номер оборудования.

Пример : Стальная подложка, пескоструйная обработка (стальная дробь 0,5 мм, 0,5 МПа, 150 мм), Ra 4,2 мкм , чистота Sa 2 ½ .

9. Применимость и ограничения

Применимость : Подходит для металлических деталей и компонентов перед термическим напылением для улучшения адгезии покрытия.

предел :

Не подходит для неметаллических оснований (например, керамики, полимеров).
Характеристики последующих покрытий не регламентируются, ссылка делается на EN 657 или ISO 14923.

10. Приложение (ссылка)

Приложение А : Таблица рекомендуемых параметров пескоструйной обработки.

Пример : Стальная подложка, давление 0,5 МПа, расстояние 120 мм, стальная дробь 0,5 мм, Ra 4-6 мкм .

Приложение В : Фотографии примеров оценки чистоты (стандарт Sa 2 ½).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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 : .

GB/T 18719-2002

Термический порошок-спрей

1. Область применения

1.1 Настоящий стандарт устанавливает классификацию, технические требования, методы испытаний и правила проверки порошков, используемых в процессах термического напыления.

Применимые объекты : включая металлические порошки (такие как цинк, алюминий), керамические порошки (такие как оксид алюминия, оксид циркония) и композитные порошки (такие как карбид вольфрама и кобальта).

Цель : обеспечить соответствие химического состава, гранулометрического состава и морфологии порошка требованиям процесса термического напыления.

1.2 Настоящий стандарт применяется к таким процессам, как газопламенное напыление, дуговое напыление, плазменное напыление (APS, VPS), HVOF и DGS.

1.3 Настоящий стандарт не рассматривает процесс приготовления порошка или свойства покрытия, а фокусируется только на самом порошке.

2. Нормативные ссылки

В настоящем стандарте имеются ссылки на следующие документы, и их пункты становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки на них в настоящем стандарте.

GB/T 5314-2002 — Метод определения твердости по Роквеллу для металлических материалов.

GB/T 13320-1991 - Терминология порошковой металлургии.

GB/T 1479.1-1993 - Метод определения размера частиц металлического порошка. Метод просеивания.

GB/T 1482-2010 — Методы отбора проб и методы химического анализа металлических порошков.

Примечание : если имеется пересмотренная версия, применяется последняя версия.

3. Термины и определения

В настоящем стандарте приняты следующие термины и определения со ссылкой на GB/T 13320-1991:

Порошок для термического напыления : гранулированный материал, используемый в процессе термического напыления, который может быть металлом, сплавом, керамикой или композитным материалом.

Размер частиц : максимальный линейный размер частиц порошка в мкм .

Распределение размеров частиц : процентное распределение частиц порошка в соответствии с диапазоном размеров.

Текущность : характеристики текучести порошка в процессе подачи порошка, единица

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

измерения — с/50 г.

Кажущаяся плотность : масса порошка на единицу объема, выраженная в г/см³.

4. Классификация

4.1 Классификация по типу материала

Металлический порошок :

Такие как цинк (Zn), алюминий (Al), никель (Ni) и медь (Cu).

Керамический порошок :

оксид алюминия (Al₂O₃) и оксид циркония (ZrO₂) .

Композитный порошок :

Такие как WC-Co (твердый сплав вольфрама-кобальта), Cr₃C₂-NiCr (карбид хрома-никеля-хрома).

4.2 Классификация по морфологии

Сферический порошок : частицы имеют приблизительно сферическую форму и обладают хорошей текучестью.

Неправильный порошок : частицы неправильной формы, подходящие для определенных процессов.

Полый порошок : частицы с пустотами внутри для уменьшения плотности.

5. Технические требования

5.1 Химический состав

Требовать :

Отклонение содержания основных элементов составляет ±0,5% (таких как WC, Co).

Общее содержание примесей <1% (кислород <0,5%, сера <0,1%).

Метод испытания : Метод химического анализа или метод спектрального анализа, указанный в GB/T 1482.

5.2 Распределение размеров частиц

объем :

диапазон : 10-75 мкм .

Конкретный процесс:

APS/VPS: 10-50 мкм .

HVOF: 10-45 мкм .

DGS: 10-50 мкм .

толерантность :

90% частиц находятся в указанном диапазоне.

<5% частиц превышают верхний предел размера частиц.

Метод испытания : метод скрининга GB/T 1479.1 или метод лазерного анализа размера частиц.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.3 Ликвидность

Требовать :

Сферический порошок: ≤ 20 с/50 г.

Неравномерный порошок: ≤ 30 с/50 г.

Метод испытания : используйте расходомер Холла и проводите измерения в соответствии с Приложением к GB/T 1479.1.

5.4 Кажущаяся плотность

Требовать :

Сферический порошок: 2,0-5,0 г/см³ (в зависимости от материала).

Неравномерный порошок: 1,5-4,0 г/см³.

Метод испытания : Метод определения кажущейся плотности, указанный в GB/T 1479.1.

5.5 Микроструктура

Требовать :

На поверхности частиц нет серьезных окислений или загрязнений.

Толщина стенок полого порошка равномерная, трещин нет.

Метод контроля : оптическая микроскопия (увеличение в 100–500 раз) или сканирующая электронная микроскопия (СЭМ).

6. Методы испытаний

6.1 Отбор проб

Метод : Стратифицированный отбор проб или механический отбор проб, как указано в GB/T 1482.

Количество : Объем выборки каждой партии составляет ≥ 200 г, репрезентативные образцы.

6.2 Анализ химического состава

Метод : спектроскопический анализ или метод химического титрования, указанный в GB/T 1482.

Точность : погрешность основного элемента $\pm 0,2\%$, погрешность примесей $\pm 0,05\%$.

6.3 Определение размера частиц

Метод : метод просеивания GB/T 1479.1 (стандартные сита: 45, 63, 75 мкм) или лазерный анализатор размера частиц .

Повторяемость : 3 измерения, отклонение $< 5\%$.

6.4 Определение текучести

Метод : Метод Холла с проточным чашечным фильтром GB/T 1479.1 , запишите время прохождения 50 г порошка.

Повторяемость : 3 измерения, среднее значение.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.5 Определение кажущейся плотности

Метод : стандартный метод мерного стакана GB/T 1479.1, измерение массы 100 см³ порошка.

Повторяемость: Отклонение <0,1 г/ см³ после 3 измерений.

6.6 Микроструктурное исследование

Метод : Оптический микроскоп или СЭМ, увеличение 100–500 раз.

Отчет : Морфология частиц, состояние поверхности и толщина стенок полый лапши.

7. Правила проверки

Определение партии : Одна и та же производственная партия, вес ≤ 500 кг.

Отбор проб : из каждой партии отбирают 1–3 образца, количество которых корректируется в зависимости от размера партии.

Критерии приемки :

Химический состав, гранулометрический состав, текучесть и кажущаяся плотность должны соответствовать требованиям разделов 5.1-5.4.

Явных дефектов микроструктуры нет.

Неквалифицированное обращение : Неквалифицированные образцы необходимо повторно протестировать или утилизировать.

8. Маркировка, упаковка и транспортировка

отметка :

На упаковке указаны название материала (например, WC-12Co), номер партии и дата производства.

Упаковка :

Используйте герметичные пластиковые пакеты или металлические банки, чтобы предотвратить попадание влаги и окисление.

Вес одной упаковки: 5-25 кг.

Транспортировка : Избегайте высоких температур (<40°C) и влажности, чтобы предотвратить загрязнение порошка.

9. Отчетность о результатах

Содержание отчета :

Информация о порошковом материале и классификации.

Результаты анализа химического состава.

Распределение размеров частиц, текучесть, измерения кажущейся плотности.

Результаты микроструктурного исследования (фотографии прилагаются).

Метод испытания и номер оборудования.

Номер партии продукции, дата и подпись инспектора.

Пример : порошок WC-12Co, размер частиц 10-45 мкм , текучесть 18 с/50 г, кажущаяся плотность 4,2 г/см³ , поверхностное окисление отсутствует.

10. Применимость и ограничения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Применимость : Подходит для производства, проверки и использования термически напыляемых порошков.

предел :

Не подходит для использования с проволокой, прутком или веревкой.

Нормативные требования к эксплуатационным характеристикам покрытия отсутствуют, см. GB/T 8642 или ISO 14923.

11. Приложение (ссылка)

Приложение А : Рекомендуемая таблица распределения размеров частиц.

Пример : порошок APS, 10-50 мкм , соответствие >90%.

Приложение В : Принципиальная схема устройства для испытания на текучесть.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

GB/T 17391-2008

Метод испытания на адгезию термического напыления покрытия

1. Область применения

1.1 Настоящий стандарт устанавливает методы испытаний для определения адгезии газотермических покрытий и применим к металлическим, керамическим и композитным покрытиям.

Применимые объекты : включая покрытия из цементированного карбида (например, WC-Co, Cr₃C₂-NiCr), используемые в процессах газопламенного напыления, дугового напыления, плазменного напыления (APS, VPS), HVOF и DGS.

Цель измерения :

Адгезия: прочность связи между покрытием и подложкой, измеряемая в МПа.

Когезионная прочность: прочность связи внутри покрытия, измеряемая в МПа.

1.2 Данный метод применим к покрытиям толщиной $\geq 0,1$ мм.

1.3 Настоящий стандарт не охватывает процессы подготовки покрытий, а только устанавливает методы испытаний на адгезию.

2. Нормативные ссылки

В настоящем стандарте имеются ссылки на следующие документы, и их пункты становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки на них в настоящем стандарте.

GB/T 531-1999 — Метод испытания металлических материалов на твердость по Виккерсу.

GB/T 13320-1991 - Терминология порошковой металлургии.

GB/T 14623-2003 — Методы испытаний металлических материалов на растяжение.

GB/T 8642-2002 - Определение толщины термически напыленных покрытий из цинка, алюминия и их сплавов.

Примечание : если имеется пересмотренная версия, применяется последняя версия.

3. Термины и определения

В настоящем стандарте приняты следующие термины и определения со ссылкой на GB/T 13320-1991:

Прочность сцепления : растягивающее напряжение, необходимое для разделения покрытия и подложки, измеряемое в МПа.

Прочность сцепления : растягивающее напряжение, необходимое для разделения частиц внутри покрытия, измеряемое в МПа.

Термическое напыление : покрытие, наносимое на поверхность подложки с помощью процесса термического напыления.

Режим отказа :

Нарушение адгезии: Разрыв на границе между покрытием и подложкой.

Когезионный отказ: Разрыв внутри покрытия.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Смешанное разрушение: сочетание адгезионного и когезионного разрушения.

4. Значение и использование

Данный метод испытаний используется для оценки качества сцепления покрытий, нанесенных методом термического напыления, и подходит для контроля качества, разработки материалов и проверки эксплуатационных характеристик.

Типичные области применения:

Аэрокосмическая промышленность (покрытие лопаток турбин): адгезия покрытия WC-Co 50-80 МПа.

Промышленное оборудование (износостойкое покрытие): Адгезия покрытия HVOF 60-90 МПа.

Энергетическая промышленность (покрытие бурового оборудования): Адгезия покрытия Cr₃C₂-NiCr 40-70 МПа.

5. Испытательное оборудование

Машина для испытания на растяжение :

Соответствует требованиям GB/T 14623, точность калибровки силы $\pm 1\%$.

Скорость загрузки: 0,5-2 мм/мин.

Крепление :

Цилиндрическое приспособление, диаметр 25 мм, погрешность совмещения <0,05 мм на обоих концах.

Материал: высокопрочная сталь, твердость \geq HRC 40.

Клей :

Высокопрочная эпоксидная смола (типа FM 1000), предел прочности на разрыв \geq 70 МПа.

Условия отверждения: согласно рекомендациям производителя (например, 120°C, 1-2 часа).

6. Подготовка образца

Размер выборки :

Образец цилиндрической формы, диаметр 25 мм, толщина подложки \geq 5 мм.

Толщина покрытия: 0,1-1,0 мм (в зависимости от процесса).

Субстрат :

шероховатая пескоструйной обработкой (Ra 3-5 мкм) .

Подготовка покрытия :

Напыление с использованием реальных производственных процессов (например, HVOF, APS).

покрытия должна быть ровной, с шероховатостью Ra 5–15 мкм .

Склеивание :

Прикрепите покрытый образец к другому цилиндрическому приспособлению того же размера.

Толщина клея: 0,05-0,2 мм, наносить равномерно, не допуская образования пузырьков.

Количество : не менее 5 образцов на группу, репрезентативный тест.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7. Экспериментальная процедура

Калибровка : Калибровка усилия испытательной машины , точность $\pm 1\%$.

Установка : Закрепите образец в приспособлении испытательной машины, обеспечив погрешность совмещения $< 0,05$ мм.

Нагрузка : прикладывать растягивающую нагрузку со скоростью 0,5–2 мм/мин до тех пор, пока образец не разрушится.

Записывать :

Максимальная сила растяжения, единица измерения: Н.

Вид разрушения (адгезионный, когезионный или смешанный).

рассчитать :

Прочность адгезии или когезии (МПа) = максимальная сила растяжения (Н) / площадь поперечного сечения образца (мм²) .

Площадь поперечного сечения: 490,9 мм² (диаметр 25 мм).

8. Условия испытаний

Окружающая среда : температура $20 \pm 5^\circ\text{C}$, влажность $< 60\%$, без вибрации и едких газов.

Оборудование : Испытательная машина должна быть защищена от перегрева и перегрузки.

9. Отчетность о результатах

Содержание отчета :

Информация о материале покрытия и подложке (например, WC-12Co, стальная подложка).

Толщина покрытия (мкм) и процесс подготовки (HVOF, APS и т. д.).

Тип клея и условия отверждения.

Средние значения прочности адгезии или когезии (МПа), включая стандартное отклонение.

Вид разрушения (адгезионный, когезионный или смешанный) с фотографиями.

Дата испытания, оператор и номер оборудования.

Пример : покрытие WC-Co (HVOF), адгезия 65 ± 5 МПа, тип разрушения — смешанный.

10. Точность и предвзятость

Точность :

Внутрилабораторная повторяемость: стандартное отклонение $< 5\%$.

Межлабораторная воспроизводимость: стандартное отклонение $< 10\%$.

отклонение :

Возможные источники: ошибки выравнивания образца, недостаточная прочность сцепления, дефекты покрытия.

Меры контроля: Строго соблюдайте процедуры испытаний и проверяйте качество образцов.

11. Приложение (ссылка)

Приложение А : Руководство по выбору клея.

Рекомендуется: эпоксидная смола FM 1000, прочность ≥ 70 МПа.

Приложение В : Примеры анализа видов отказов.

Примеры: разрушение адгезии (нарушение сцепления на границе раздела), когезионное

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

разрушение (разрыв внутри покрытия).

12. Применимость и ограничения

Применимость : Подходит для испытаний на адгезию и когезионную прочность покрытий, нанесенных методом термического напыления.

предел :

Не подходит для сверхтонких покрытий толщиной $< 0,1$ мм.

Нормативов по пористости или износостойкости покрытия не существует, см. GB/T 8642 или ASTM G65.

приложение:

AMS 2437: Спецификация процесса HVOF

AMS 2437 не является спецификацией процесса HVOF (High Velocity Oxygen Fuel Spray), а является спецификацией для процесса плазменного напыления. Ниже приводится подробное описание AMS 2437, а также сравнение и разъяснения со спецификацией процесса HVOF.

AMS 2437: Технические условия на процесс плазменного напыления

AMS 2437 — это стандарт, опубликованный SAE International. Последняя версия — AMS 2437D (2019-12-13) под названием «Покрытие, плазменное напыление». Этот стандарт определяет технические требования и характеристики покрытия для нанесения покрытий на детали методом плазменного напыления.

1. Область применения

Применяемые объекты : Подходит для покрытий из металла, керамики и композитных материалов (таких как WC-Co, оксид алюминия), используемых в аэрокосмической, промышленной и других областях.

Процесс : Плазменное напыление (APS), при котором высокотемпературная плазменная дуга (10 000–15 000 °C) расплавляет порошок и распыляет его на поверхность подложки.

Назначение : для создания износостойких, коррозионностойких или термобарьерных покрытий (например, ТВС) для применений с высоким износом.

Толщина : Обычно <1 мм, в зависимости от области применения.

2. Основные требования

Свойства покрытия :

Адгезия: оценивается с помощью испытания на сжатие или испытания на изгиб в соответствии с разделом 3.6.1.

Твердость: Согласно разделу 3.6.5, в зависимости от материала покрытия (например, твердость WC-Co ≥ 1000 HV).

Пористость: обычно <5%, по данным микроскопического исследования.

тест :

Приемочные испытания (4.2.1): Каждая партия проверяется на адгезию и твердость.

Периодические испытания (4.2.2): Регулярная проверка стабильности процесса.

Предпроизводственные испытания (4.2.3): Новые процессы или материалы требуют дополнительной проверки.

3. Ограничения

Не подходит для процесса HVOF.

Двойное нанесение покрытия (т.е. распыление поверх существующего покрытия) не требуется.

Спецификация процесса HVOF: AMS 2447

Пользователи могут ошибочно путать AMS 2437 со спецификацией процесса HVOF.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Правильная спецификация для процесса HVOF — AMS 2447, последняя версия которой — AMS 2447D (2019-01-14) под названием «Покрытие, термическое напыление, высокоскоростной кислородно-топливный процесс».

1. Область применения

Применимые объекты : Подходит для покрытий, наносимых методом HVOF, таких как карбид вольфрама (WC-Co, WC-CoCr), металлический сплав (NiCr), широко используемый в аэрокосмической промышленности, где требуется высокая износостойкость.

Процесс : HVOF создает сверхзвуковое пламя (500-1000 м/с) путем сжигания топлива (например, керосина) с кислородом для нанесения покрытия высокой плотности.

Назначение : Обеспечить отличную износостойкость и коррозионную стойкость, лучшую, чем при плазменном напылении (например, AMS 2437).

2. Основные требования

Свойства покрытия :

Пористость: <2%, что значительно ниже, чем при плазменном напылении.

Адгезия: обычно >70 МПа (против 50-60 МПа при плазменном напылении).

Шероховатость поверхности: Ra 6-16 мкм (в зависимости от области применения, например, для уплотнений требуется < 0,15 мкм).

Материал :

Обычно используемые порошки: WC-17Co, WC-10Co-4Cr (AMS 7881, AMS 7882).

Диапазон толщины: 25–500 мкм (карбид), покрытия из сплавов могут быть толще.

тест :

Флуоресцентная дефектоскопия (FPI): проверка на наличие трещин.

Баркгаузена : оценка ожога при шлифовании.

Ограничения : Не подходит для двойного покрытия.

3. Типичные применения

Авиация и космонавтика: лопатки турбин, шасси (адгезия 60-90 МПа).

Промышленность: износостойкие ролики, уплотнения.

4. Сравнение с AMS 2437

Процесс : AMS 2437 (плазменное напыление) имеет высокую температуру и высокую пористость (3-5%); AMS 2447 (HVOF) имеет высокую скорость и низкую пористость (<2%).

Производительность : покрытия HVOF (например, WC-Co) обладают лучшей адгезией и износостойкостью, чем плазменное напыление.

Применение : AMS 2437 больше подходит для теплоизолирующих покрытий (таких как ZrO₂), тогда как AMS 2447 больше подходит для покрытий с высокой износостойкостью (таких как WC-Co).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

ИСО 3252:2019

Терминология порошковой металлургии

Порошковая металлургия — Словарь

1. Область применения

1.1 Настоящий международный стандарт определяет терминологию в области порошковой металлургии, охватывающую приготовление, характеристику и методы нанесения порошков.

Применимые объекты : включая металлические порошки (например, цинк, алюминий), керамические порошки (например, оксид алюминия) и композитные порошки (например, карбид вольфрама и кобальта), подходящие для таких процессов, как термическое напыление, спекание и аддитивное производство.

Цель : предоставить единую терминологию для облегчения технического общения, установления стандартов и проведения исследований.

1.2 Настоящий стандарт не рассматривает конкретные параметры процесса или методы испытаний производительности, а фокусируется только на определениях терминов.

2. Нормативные ссылки

Прямых ссылок на другие стандарты нет, но терминология связана с ISO 4490 (определение размера частиц порошка) и ISO 3953 (расширенная терминология порошковой металлургии).

3. Термины и определения

В настоящем стандарте классифицируются различные аспекты порошковой металлургии и определяются следующие основные термины:

3.1 Характеристики пороха

Порошок : сыпучий материал, состоящий из частиц, размер которых обычно составляет от 1 нм до 1 мм.

Размер частиц : максимальный линейный размер отдельной частицы, выраженный в мкм или нм.

Распределение размеров частиц : процентное распределение частиц порошка в соответствии с диапазоном размеров, обычно выражаемое как D10, D50 и D90.

Морфология : форма и характеристики поверхности частиц, такие как сферическая, неправильная или многогранная.

Удельная площадь поверхности : общая площадь поверхности на единицу массы порошка, выраженная в м²/г.

3.2 Физические свойства

Кажущаяся плотность : масса единицы объема порошка при отсутствии внешней силы, выраженная в г/см³.

Плотность после уплотнения : масса единицы объема порошка после уплотнения,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

выраженная в г/см^3 .

Текучесть : текучесть порошка под действием силы тяжести или механического воздействия, единица измерения — с/50 г (метод измерения потока Холла) .

Сжимаемость : способность порошка уменьшать свой объем после сжатия, выраженная в г/см^3 .

3.3 Химические свойства

Химический состав : процентное содержание каждого элемента или соединения в порошке.

Содержание оксида : массовая доля оксида в порошке, выраженная в %.

Примесь : Непреднамеренные элементы или соединения, отличные от основного компонента.

3.4 Подготовка и обработка

Распыление : процесс приготовления порошка путем смешивания расплавленного металла с жидкостью или газом.

Механическое легирование: Процесс смешивания и легирования порошковых компонентов посредством высокоэнергетического шарового измельчения.

Спекание : процесс объединения частиц порошка в пористые или плотные материалы при высоких температурах.

Термическое напыление : процесс, при котором порошок нагревается до расплавленного или полурасплавленного состояния, а затем распыляется на поверхность подложки.

3.5 Приложения

Кермет : Композитный материал, состоящий из карбида (например, WC) и металлической связующей фазы (например, Co).

Аддитивное производство: Процесс, в котором для создания деталей используется послойное нанесение порошка, например, селективная лазерная плавка (SLM).

Покрытие : защитный или функциональный слой, образуемый на поверхности подложки путем термического напыления или осаждения.

3.6 Методы испытаний

Просеивание : метод определения распределения размеров частиц порошков с использованием стандартного сита.

Лазерный дифракционный анализ : технология, использующая лазерное рассеяние для измерения распределения размеров частиц порошка.

Микроскопическое исследование : анализ морфологии порошка и дефектов с помощью оптической или сканирующей электронной микроскопии (СЭМ).

4. Классификация

типу материала :

Металлический порошок (например, Fe, Cu).

Керамические порошки (такие как Al_2O_3 , ZrO_2) .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Композитные порошки (например, WC-Co).

форме частиц :

Сферический порошок.

Неправильный порошок.

Пористый или полый порошок.

По применению :

Конструкционные материалы.

Функциональные материалы (например, проводящие покрытия).

5. Приложения

Приложение А : Глоссарий терминов (английский-китайский).

Примеры: размер частиц, сыпучесть.

Приложение В : Схематическая диаграмма морфологии частиц.

Примеры: сферический порошок, игольчатый порошок.

6. Применимость и ограничения

Применимость : Техническая документация, разработка стандартов и обучение для отрасли порошковой металлургии, включая использование терминологии для термического напыления порошков.

предел :

В него не включены конкретные методы испытаний или параметры процесса, требующие ссылки на такие стандарты, как ISO 4490.

Определения терминов, не применимых к областям, отличным от порошковой металлургии.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

ИСО 14923:2003

Термическое напыление

— Характеристика и испытания термически напыляемых покрытий

Термическое напыление

— Характеристика и испытания газотермических покрытий

1. Область применения

1.1 Настоящий международный стандарт устанавливает методы определения характеристик и испытаний термически напыляемых покрытий (TWC), пригодные для оценки их свойств и качества.

Применимые объекты: включая металлические покрытия (например, цинк, никель), керамические покрытия (например, оксид алюминия) и композитные покрытия (например, покрытие из карбида вольфрама WC-Co/кермета), подходящие для газопламенного напыления (пламенное напыление / газопламенное напыление), дугового напыления (дуговое напыление / дуговое напыление), плазменного напыления (плазменное напыление, APS/VPS / плазменное напыление, APS/VPS), процессов HVOF и DGS.

Цель: предоставить стандартизированные методы испытаний для оценки таких свойств, как адгезия, пористость и толщина.

1.2 Настоящий стандарт распространяется на покрытия толщиной (Толщина) $\geq 0,05$ мм.

1.3 Настоящий стандарт не распространяется на процесс подготовки покрытия (процесс подготовки покрытия / процесс подготовки покрытия), а только содержит методы испытаний и методики характеристики.

2. Нормативные ссылки

В настоящем стандарте имеются ссылки на следующие документы, и их пункты становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки на них в настоящем стандарте:

ISO 4287:1997 - Геометрические характеристики изделий (GPS) — Текстура поверхности: Метод профиля — Термины, определения и параметры текстуры поверхности / Геометрические характеристики изделий (GPS) — Текстура поверхности: Метод профиля — Термины, определения и параметры текстуры поверхности

ISO 6507-1:2005 — Металлические материалы. Испытание на твердость по Виккерсу. Часть 1. Метод испытания.

ISO 8501-1:2007 - Подготовка стальных поверхностей перед нанесением красок и связанных с ними продуктов. Визуальная оценка чистоты поверхности. Часть 1. Степени ржавления и степени подготовки непокрытых стальных поверхностей и стальных поверхностей после полного удаления предыдущих покрытий.

ISO 9227:2017 — Испытания на коррозионную стойкость в искусственных атмосферах —

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Испытания в соляном тумане

Примечание: если имеется пересмотренная версия, применяется последняя версия.

3. Термины и определения

В настоящем стандарте используются следующие термины и определения:

Термически напыляемое покрытие: покрытие, нанесенное на поверхность подложки с помощью процесса термического напыления.

Адгезия: прочность связи между покрытием и подложкой (прочность сцепления), измеряемая в МПа.

Когезия: прочность связи между частицами внутри покрытия, измеряемая в МПа.

Пористость: процентное отношение объема пор в покрытии к общему объему, выраженное в %.

Части покрытия (вертикальное расстояние) в мкм .

4. Методы характеристики

4.1 Измерение толщины

Метод:

Магнитный метод (ISO 2178): Применим к немагнитным покрытиям на магнитных подложках.

Метод вихревых токов (ISO 2360): Применим к непроводящим покрытиям на немагнитных металлических подложках.

Микроскопический метод: наблюдение за поперечным сечением, измерение в 5 точках и определение среднего значения.

Точность: $\pm 5\%$ или ± 5 мкм (в зависимости от того, что больше).

4.2 Определение пористости

Метод:

Микроскопический метод: анализ изображений поперечного сечения для расчета процента площади пор.

Метод проникновения: используйте проникновение красителя (Краска/Краска) или газа (Газ/Газ) для оценки связанности пор.

Точность: $\pm 1\%$ или $\pm 0,5\%$ (в зависимости от увеличения).

4.3 Шероховатость поверхности

Метод: профилометр со щупом (ISO 4287), измерение значения Ra.

Диапазон: типичное значение составляет 2–15 мкм в зависимости от области применения .

4.4 Микроструктурный анализ

Метод: оптический микроскоп или сканирующий электронный микроскоп (СЭМ), увеличение 50–1000x.

Параметры: Наблюдайте трещины, включения оксидов и морфологию пластин.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5. Методы тестирования

5.1 Испытание на адгезию

Метод: Испытание на растяжение (ISO 4624) с использованием клея и испытательной машины на растяжение.

Образец: диаметр 25 мм, толщина покрытия 0,1-1,0 мм.

Скорость нагрузки: 0,5-2 мм/мин.

Расчет: Адгезия (МПа) = Максимальная сила / Площадь поперечного сечения.

Вид разрушения: разрушение адгезии или когезионное разрушение.

5.2 Испытание на твердость

Метод: испытание на твердость по Виккерсу (ISO 6507-1), нагрузка 5–10 Н.

Точность: ± 5 HV или $\pm 10\%$ (в зависимости от того, что больше).

5.3 Испытание на коррозионную стойкость

Метод: Испытание в соляном тумане (ISO 9227), Продолжительность: 24–480 часов.

Оценка: Запишите процент площади ржавчины.

5.4 Испытание на износостойкость

Метод: Потеря объема измерялась в соответствии с ASTM G65 (испытание на сухом песке/резиновом колесе).

Точность: $\pm 5\%$ или $\pm 0,1$ мм³.

6. Подготовка образцов

Размеры:

Измерение толщины: 10 мм × 10 мм × толщина покрытия.

Испытание на адгезию: диаметр 25 мм, толщина ≥ 5 мм.

Подготовка поверхности: пескоструйная обработка (Ra 3-5 мкм), удаление загрязнений.

Количество: ≥ 3 образца на группу, репрезентативное тестирование.

7. Условия испытаний

Окружающая среда: температура $20 \pm 5^\circ\text{C}$, влажность $< 60\%$, без вибрации.

Оборудование: Калибровка (Calibration/Calibration), точность (Accuracy/Accuracy) $\pm 2\%$.

8. Отчет об испытаниях

Содержание

Информация о материале покрытия и подложке (например, WC-12Co, стальная подложка).

Процесс подготовки (Процесс/Процесс подготовки, например HVOF) и толщина покрытия (Толщина/Толщина покрытия).

Результаты характеристики (толщина, пористость, шероховатость).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Результаты испытаний (Результаты испытаний / Результаты испытаний, Адгезия, Твердость, Коррозионная стойкость).

Фотографии вида отказа (Failure Mode) и микроструктуры (Microstructure).

Дата испытания (Дата / Дата испытания), оператор (Оператор / Оператор) и номер оборудования (Номер оборудования / Номер оборудования).

Пример: покрытие WC-Co (HVOF), толщина 250 мкм, пористость 1,5%, адгезия 70 МПа, вид разрушения — когезионное разрушение.

9. Точность и предвзятость

Точность: Внутрिलाбораторное (Внутрिलाбораторное / Внутрिलाбораторное) отклонение <5%, Между лабораториями (Между лабораториями / Между лабораториями) <10%.

Смещение: Может быть вызвано неравномерной подготовкой образца или ненадлежащей калибровкой оборудования. Необходимо контролировать качество подготовки поверхности.

10. Приложения

Приложение А (Annex A / Appendix A): Диаграмма измерения толщины (Схема измерения толщины / Диаграмма измерения толщины).

Приложение В (Приложение В / Приложение В): Процедура подготовки образца для испытания на адгезию (Процедура подготовки образца для испытания на адгезию / Процедура подготовки образца для испытания на адгезию).

11. Применимость и ограничения

Применимость: Применимо для контроля качества и оценки эксплуатационных характеристик термически напыляемых покрытий.

Ограничения:

Не подходит для сверхтонких покрытий толщиной < 0,05 мм.

Процесс подготовки покрытия не указан, ссылка сделана на ISO 14917:2017 — Термическое напыление. Терминология, классификация.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

ИСО 4505:2017

Металлические материалы

— Испытание на твердость — Метод испытания

Металлические Материалы

— Испытание на твердость — Метод испытания

1. Область применения

1.1 Настоящий международный стандарт устанавливает общий метод испытания твердости металлических материалов. Он применим к испытаниям на твердость по Виккерсу, Бринеллю и Роквеллу.

Применимые объекты: Применимо к металлическим материалам, включая термически напыленные покрытия (например, покрытие из цементированного карбида WC-Co/кермета) и другим металлическим деталям.

Цель: предоставить стандартизированный метод испытания на твердость, обеспечивающий повторяемость и сопоставимость результатов.

1.2 Настоящий стандарт распространяется на образцы толщиной $\geq 0,5$ мм.

1.3 Настоящий стандарт не распространяется на испытания на твердость неметаллических материалов, таких как керамика или пластмассы, но может быть распространен на композиты с металлической матрицей.

2. Нормативные ссылки

В настоящем стандарте имеются ссылки на следующие документы, и их пункты становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки на них в настоящем стандарте:

ISO 6506-1:2014 — Металлические материалы. Испытание на твердость по Бринеллю. Часть

1. Метод испытания

ISO 6507-1:2018 — Металлические материалы. Испытание на твердость по Виккерсу. Часть

1. Метод испытания.

ISO 6508-1:2016 — Металлические материалы. Испытание на твердость по Роквеллу. Часть

1. Метод испытания

ISO 18265:2013 — Металлические материалы. Преобразование значений твердости

Примечание: если имеется пересмотренная версия, применяется последняя версия.

3. Термины и определения

В настоящем стандарте используются следующие термины и определения:

Твёрдость: способность материала противостоять локальной пластической деформации, обычно измеряемая методом вдавливания.

Твёрдость по Виккерсу (Vickers Hardness): Твёрдость, измеряемая путём нажатия квадратным конусообразным алмазным индентором (Diamond Indenter), выражается в HV.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Твёрдость по Бринеллю (твёрдость по Бринеллю / твёрдость по Бринеллю): твёрдость, измеренная путём вдавливания твёрдосплавного шарика (твёрдосплавного шарика / твёрдосплавного шарика), выражаемая в единицах HBW.

Твердость по Роквеллу: Твердость измеряется путем вдавливания алмазного или стального шарика в испытуемый образец и измерения глубины, выражаемой в единицах HR (например, HRC, HRB).

Вдавливание: постоянный след деформации, оставленный индентором на поверхности образца.

4. Принципы испытания

Твердость по Виккерсу: используйте алмазный индентор с квадратным конусом 136°, чтобы приложить определенную нагрузку, измерить диагональную длину отпечатка и рассчитать значение твердости.

Твердость по Бринеллю: используйте твёрдосплавный шарик для приложения нагрузки, измерьте диаметр отпечатка и рассчитайте значение твердости.

Твердость по Роквеллу: приложите предварительную и основную нагрузку, измерьте глубину вдавливания и сразу считайте значение твердости.

5. Методы испытаний

5.1 Испытание на твердость по Виккерсу

Оборудование: твердомер по Виккерсу в соответствии с ISO 6507-1.

Нагрузка: от 0,01 кгс до 100 кгс (от 0,098 Н до 980,7 Н).

Процедура:

Приложите нагрузку и удерживайте ее в течение 10–15 секунд.

Измерьте длину диагонали углубления не менее двух раз и возьмите среднее значение.

Расчет:

$HV = 1,8544 \times F / d^2$, где F — нагрузка (Н), а d — средняя длина диагонали (мм).

Точность: ± 5 HV или $\pm 5\%$ (в зависимости от того, что больше).

5.2 Испытание на твердость по Бринеллю

Оборудование: твердомер по Бринеллю в соответствии с ISO 6506-1.

Нагрузка: от 1 кгс до 3000 кгс (от 9,807 Н до 29420 Н).

Диаметр шарика: 1 мм, 2,5 мм, 5 мм или 10 мм.

Процедура:

Приложите нагрузку и удерживайте ее в течение 10–15 секунд.

Измерьте диаметр отпечатка (диаметр) как минимум в двух направлениях и возьмите среднее значение.

Расчет:

$HBW = 0,102 \times (2F / (\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})))$, где F — нагрузка (Н), D — диаметр шарика (мм), а d — диаметр отпечатка (мм).

Точность: ± 5 HBW или $\pm 5\%$ (в зависимости от того, что больше).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.3 Испытание на твердость по Роквеллу

Оборудование: твердомер по Роквеллу в соответствии с ISO 6508-1.

Нагрузка:

Предварительная нагрузка: 10 кгс (98,07 Н).

Основная нагрузка: 60 кгс, 100 кгс или 150 кгс (588,4 Н, 980,7 Н или 1471 Н).

Индентор: алмазный конус или стальной шарик.

Процедура:

Примените предварительную нагрузку и удерживайте ее в течение 2–5 секунд.

Приложите основную нагрузку и удерживайте ее в течение 4–6 секунд.

Снимите основную нагрузку и считайте значение твердости.

Точность: $\pm 0,5$ HRC или $\pm 1\%$ (в зависимости от того, что больше).

6. Подготовка образцов

с шероховатостью $Ra < 0,8$ мкм, а окисная окалина и масляные пятна должны быть удалены.

Толщина: Толщина образца ≥ 10 глубин отпечатка.

Количество: ≥ 3 образца на группу, репрезентативное тестирование.

7. Условия испытаний

Окружающая среда: температура $20 \pm 5^\circ\text{C}$, влажность $< 60\%$, без вибрации.

Калибровка оборудования: Точность твердомера $\pm 2\%$, калибровка один раз в год.

8. Отчет об испытаниях

Содержание

Информация о материале образца и подложке (например, покрытие WC-Co, стальная подложка).

Метод испытания (Метод испытания/Метод испытания, например, твердость по Виккерсу).

Нагрузка (Load) и тип индентора (Indenter Type).

Значение твердости (Hardness Value) и стандартное отклонение (Standard Deviation).

Дата испытания (Дата / Дата испытания), оператор (Оператор / Оператор) и номер оборудования (Номер оборудования / Номер оборудования).

Пример: покрытие WC-Co, твердость по Виккерсу HV 1200 \pm 20 (нагрузка 5 Н).

9. Точность и предвзятость

Точность: Внутрिलाбораторное (Внутрिलाбораторное / Внутрिलाбораторное) отклонение $< 3\%$, Междулабораторное (Междулабораторное / Междулабораторное) $< 5\%$.

Смещение: может быть вызвано неровностью поверхности или отклонением нагрузки, что требует контроля качества поверхности и калибровки оборудования.

10. Приложения

Приложение А: Таблица преобразования твердости, см. ISO 18265.

Приложение В: Диаграмма измерения вдавливания.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

11. 适用性和限制

适用性: 适用于硬度测试的金属材料和气态热处理的涂层, 广泛应用于质量控制。

限制:

不适用于非金属材料 (如陶瓷, 未烧制的材料)。

薄涂层厚度 $< 0,5$ mm 应谨慎使用, 可能需要微负载。

приложение:

ISO 9227:2017 Испытания на коррозионную стойкость в искусственных атмосферах
— Испытания в соляном тумане
Испытания на коррозионную стойкость в искусственных атмосферах
— Испытание солевым туманом

1. Область применения

1.1 Настоящий международный стандарт устанавливает метод проведения испытаний в соляном тумане (испытания в соляном тумане / испытания в соляном тумане) в искусственных атмосферах (искусственные атмосферы / искусственные атмосферы) для оценки коррозионной стойкости (коррозионная стойкость / коррозионная стойкость) металлических материалов и их покрытий.

Применимые объекты: включая металлические материалы, термически напыленные покрытия (например, покрытие из цементированного карбида WC-Co/кермета), гальванические покрытия и органические покрытия.

Цель: Оценка коррозионной стойкости материалов или покрытий путем моделирования условий соляного тумана для контроля качества и проверки эксплуатационных характеристик.

1.2 Настоящий стандарт включает три метода испытаний:

Испытание в нейтральном солевом тумане (NSS / Neutral Salt Spray Test, NSS).

Испытание на стойкость к солевому туману уксусной кислоты (AASS).

Ускоренное испытание на воздействие солевого тумана уксусной кислоты (CASS).

1.3 Настоящий стандарт не предназначен для прогнозирования долгосрочной коррозионной стойкости материалов в реальных условиях и предназначен только для сравнительных лабораторных испытаний.

2. Нормативные ссылки

В настоящем стандарте имеются ссылки на следующие документы, и их пункты становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки на них в настоящем стандарте:

ISO 1514:2016 — Краски и лаки — Стандартные панели для испытаний

ISO 2808:2019 — Краски и лаки. Определение толщины пленки

ISO 3574:2012 - Листовая углеродистая сталь холоднокатаная коммерческого и вытяжного качества

ISO 8044:2015 — Коррозия металлов и сплавов. Основные термины и определения

ISO 8407:2021 — Коррозия металлов и сплавов. Удаление продуктов коррозии из образцов для испытаний на коррозионную стойкость

Примечание: если имеется пересмотренная версия, применяется последняя версия.

3. Термины и определения

В настоящем стандарте используются следующие термины и определения, некоторые из

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

которых относятся к ISO 8044:

Соляной туман: аэрозоль, образующийся при распылении солевого раствора (солевой раствор), используемый для имитации коррозионной среды.

Коррозионная стойкость: способность материала или покрытия противостоять коррозии, обычно оцениваемая по степени образования продуктов коррозии.

Образец: Образец, используемый для испытания на воздействие солевого тумана.

НСС (нейтральный солевой туман): Тест на стойкость к солевому туману с использованием нейтрального солевого раствора (рН 6,5–7,2).

AASS (солевой туман уксусной кислоты): тест с солевым туманом, в котором для снижения значения рН (3,1–3,3) добавляется уксусная кислота.

CASS (солевой туман в уксусной кислоте, ускоренный медью): испытание в солевом тумане, при котором в AASS добавляется хлорид меди (хлорид меди) для ускорения коррозии.

4. Принципы испытания

Образец подвергается воздействию соляного тумана (среда солевого тумана / среда солевого тумана), и в результате распыления солевого раствора (раствор соли / раствор соли) образуется равномерный едкий аэрозоль (едкий аэрозоль / едкий аэрозоль).

Степень коррозии оценивается путем наблюдения за образованием продуктов коррозии (Corrosion Products / Corrosion Products), потерей массы (Mass Loss / Mass Loss) или дефектами поверхности (Surface Defects / Surface Defects).

5. Испытательная аппаратура

Камера солевого тумана (камера солевого тумана):

Вместимость: ≥ 400 л, что обеспечивает равномерное распыление.

Материал: Коррозионно-стойкие материалы, такие как армированный стекловолокном пластик (Fiberglass Reinforced Plastic).

Насадка: неметаллический материал, создает равномерный мелкодисперсный туман (мелкий туман).

Контроль температуры: Температура в испытательной камере поддерживается на уровне $35 \pm 2^\circ\text{C}$.

Устройство для сбора: не менее 2 воронок для сбора для измерения скорости осаждения солевого тумана.

6. Тестовый раствор

Солевой раствор:

Состав: хлорид натрия (NaCl / хлорид натрия) концентрация 50 ± 5 г/л.

Чистота: примесь NaCl $< 0,5\%$, не содержит меди и никеля.

Качество воды: Дистиллированная или деионизированная вода, проводимость < 20 мкСм /см.

Значение рН:

НСС: 6,5-7,2.

AASS: 3,1-3,3 (регулируется добавлением уксусной кислоты).

КАСС: 3,1-3,3 (добавить $0,26 \pm 0,02$ г/л хлорида меди).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7. Подготовка образцов

Размеры образца: рекомендуемые 150 мм × 100 мм × толщина в соответствии с ISO 1514.

Подготовка :

Удаляет масляные пятна (загрязнения/масляные пятна) и оксидную накипь (оксидная накипь/оксидная накипь).

Покрытие методом газотермического напыления: шероховатость поверхности Ra 3-5 мкм, в соответствии с ISO 8501-1.

Количество: ≥ 3 образца на группу, репрезентативное тестирование.

Размещение: Образец следует размещать под углом 15° – 30° к вертикали, чтобы избежать прямого распыления.

8. Условия испытаний

Температура: $35 \pm 2^{\circ}\text{C}$ в испытательной камере.

Скорость осаждения солевого тумана: 1-2 мл / (80 см² · ч) .

Продолжительность теста:

NSS: 24 ч, 48 ч, 96 ч, 240 ч, 480 ч или 720 ч.

AASS и CASS: 24 ч, 48 ч или 96 ч.

Влажность: Относительная влажность: 95%-100%.

9. Процедура испытания

Подготовка

Приготовьте солевой раствор и отрегулируйте pH.

Разогрейте испытательную камеру до 35°C .

Тестирование:

Поместите образец в испытательную камеру и включите соляной туман.

Проверяйте скорость осаждения и температуру каждые 24 часа.

Завершение:

После испытания образец промывают дистиллированной водой для удаления соли (солевых отложений).

Удаление продуктов коррозии (продукты коррозии/Corrosion Products) согласно ISO 8407.

10. Методы оценки

Визуальный осмотр: обратите внимание на распределение продуктов коррозии, пятен ржавчины и отслоения покрытия.

Потеря массы: потеря массы образца до и после испытания измеряется в г/м² .

Степень коррозии: оценивается в соответствии со стандартом ISO 8407, например, «отсутствие коррозии», «незначительная коррозия» и т. д.

11. Отчет об испытаниях

Содержание

Информация о материале образца и покрытии (например, покрытие WC-Co, стальная

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

подложка).

Метод тестирования (Метод тестирования, например NSS).

Условия испытания: температура, скорость седиментации, время.

Результаты оценки: Степень коррозии, потеря массы, фотографии.

Дата испытания (Дата/Дата испытания), Оператор (Оператор/Оператор) и Номер оборудования (Номер оборудования/Номер оборудования).

Пример: покрытие WC-Co, испытание NSS 480 ч, небольшая коррозия поверхности (слабая коррозия), потеря массы 2,5 г/м².

12. Точность и предвзятость

Точность: Внутрिलाбораторное (Внутрिलाбораторное / Внутрिलाбораторное) отклонение <10%, Междулабораторное (Междулабораторное / Междулабораторное) <15%.

Смещение: может зависеть от равномерности распыления или положения образца, поэтому необходимо контролировать распределение распыления.

13. Приложения

Приложение А (Annex A): Руководство по проектированию камер соляного тумана (Руководство по проектированию камер соляного тумана).

Приложение В (Annex B / Appendix B): Стандартные эталонные материалы (Standard Reference Materials / Standard Reference Materials).

14. Применимость и ограничения

Применимость: Применяется для испытаний на коррозионную стойкость металлических материалов и покрытий, широко используется при контроле качества.

Ограничения:

Не подходит для прогнозирования долгосрочной коррозионной стойкости в реальных условиях.

Будьте осторожны с неметаллическими покрытиями, может потребоваться корректировка условий испытаний.

Краткое содержание

Стандарт ISO 9227:2017 «Испытания на коррозионную стойкость в искусственных атмосферах. Испытания в соляном тумане» содержит стандартные методы испытаний в соляном тумане (NSS, AASS, CASS), которые подходят для оценки коррозионной стойкости металлических материалов и покрытий, наносимых методом термического напыления (например, покрытие из цементированного карбида).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

ASTM B665-01(2014)

Стандартное руководство по металлографической идентификации микроструктуры твердых сплавов

Стандартное руководство по металлографической идентификации микроструктур твердых сплавов

1. Область применения

1.1 В настоящем стандартном руководстве определены методы металлографической идентификации микроструктуры твердых сплавов как для контроля качества, так и для исследовательских целей.

Применимые объекты: Композитные материалы на основе карбида вольфрама (WC) (например, WC-Co), карбида титана (TiC) и карбида тантала (TaC) широко используются в покрытиях, наносимых методом термического напыления (термонапыляемые покрытия), и режущих инструментах.

Цель: предоставить стандартизированный метод характеристики микроструктур и определения фазовой структуры, пористости и дефектов.

1.2 Настоящая спецификация распространяется на спеченные (спекшиеся) или термически напыленные (термически напыленные) твердые сплавы.

1.3 Настоящий стандарт не распространяется на испытания механических свойств (испытания механических свойств) твердого сплава.

2. Нормативные ссылки

В настоящем стандарте содержатся ссылки на следующие документы, и их пункты становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки на них в настоящем стандарте:

ASTM E3-11(2017) — Стандартное руководство по подготовке металлографических образцов

ASTM E7-15 — Стандартная терминология, относящаяся к металлографии

ASTM E407-07(2015)e 1 — Стандартная практика микротравления металлов и сплавов

Примечание: если имеется пересмотренная версия, применяется последняя версия.

3. Термины и определения

В настоящем стандарте используются следующие термины и определения, относящиеся к ASTM E7:

Твердый сплав: композитный материал, изготовленный из карбидов (например, WC) и металлической связующей фазы (например, Co) путем спекания.

Микроструктура: внутренняя фазовая структура и характеристики дефектов материала, наблюдаемые под микроскопом.

Пористость: Пустоты в твердом сплаве делятся на тип А (мелкие поры), тип В (средние поры)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

и тип С (крупные поры).

Связующая фаза (Binder Phase): например, кобальт (Cobalt) или никель (Ni), который связывает частицы карбида.

Травление: процесс выявления микроструктурных особенностей химическим или электрохимическим способом.

4. Принципы идентификации микроструктуры

Посредством металлографической подготовки (Metallographic Preparation / Metallographic Preparation) и травления (Etching / Etching) фазовая структура (Phase Structure / Phase Structure), размер зерна (Grain Size / Grain Size) и дефекты (Defects / Defects) цементированного карбида наблюдаются с помощью оптического микроскопа (Optical Microscope / Optical Microscope) или сканирующего электронного микроскопа (SEM / Scanning Electron Microscope).

5. Подготовка образцов

Разделка: используйте алмазную пилу и избегайте перегрева.

Шлифовка: используйте наждачную бумагу SiC (бумага на основе карбида кремния) от грубой (#120) до мелкой (#1200).

используйте алмазную суспензию (размер частиц алмаза 1 мкм) до зеркального блеска.

Офорт:

Рекомендуемый реагент: реагент Мураками (10 г $K_3[Fe(CN)_6]$ + 10 г KOH + 100 мл H_2O), время травления 5-15 секунд.

Альтернативный метод: электролитическое травление (электролитическое травление) с использованием 10% раствора HCl.

Чистка: очистка этанолом (Ethanol), сушка (Dry).

6. Микроскопическое исследование

Оборудование: Оптический микроскоп (увеличение 50–1000 раз) или СЭМ.

Параметры наблюдения

Размер зерна карбида: измерен в соответствии с ASTM E112.

Пористость: классифицируется по типам А, В и С в соответствии со стандартом ISO 4505.

Дефекты: такие как трещины и включения.

Увеличение: рекомендуется 100–500-кратное, в зависимости от размера частиц.

7. Классификация микроструктуры

Фазовая структура

WC-Co: частицы карбида вольфрама (зерна WC / частицы карбида вольфрама) и кобальтовое связующее (связующее Co / кобальтовое связующее).

Многофазные сплавы: содержат TiC или TaC .

Размер зерна:

Ультратонкий: $\leq 0,5$ мкм .

Тонкие : 0,5-2 мкм .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

: 2-5 мкм .

: >5 мкм .

Степень пористости:

A00-A04: Мелкие поры.

B00-B 04: Средние поры (Средние поры / Средние поры).

C00-C04: Крупные поры.

8. Отчет

Содержание

Материал образца: например, покрытие WC-12Co, подложка.

Метод подготовки: например, термическое напыление (HVOF).

Особенности микроструктуры: размер зерна, пористость, дефекты.

Условия травления: реагенты и время.

Фотографии и увеличение.

Дата испытания (Дата / Дата испытания), оператор (Оператор / Оператор) и номер оборудования (Номер оборудования / Номер оборудования).

Пример : покрытие WC-12Co, размер зерна 2 мкм , класс пористости A02, увеличение 200х, трещин нет.

9. Точность и предвзятость

Точность: Внутрिलाбораторное (Внутрिलाбораторное / Внутрिलाбораторное) отклонение <5%, Между лабораториями (Между лабораториями / Между лабораториями) <10%.

Смещение: Может быть вызвано неравномерной подготовкой или чрезмерным протравливанием. Качество подготовки необходимо контролировать.

10. Приложения

Приложение А: Приготовление реагента Мураками.

Приложение В: Примеры микроскопического исследования.

11. Применимость и ограничения

Применимость: Подходит для контроля качества и исследования микроструктур твердых сплавов, особенно для покрытий, наносимых методом термического напыления.

Ограничения:

Не подходит для некарбидных материалов.

Для сверхтонких покрытий (<0,1 мм) необходимо скорректировать метод подготовки.

Краткое содержание

ASTM B665-01(2014) «Стандартное руководство по металлографической идентификации микроструктуры твердых сплавов / Стандартное руководство по металлографической идентификации микроструктуры твердых сплавов» содержит методы микроструктурной идентификации твердых сплавов (например, термически напыляемых покрытий WC-Co), включая подготовку, коррозию и микроскопическое исследование, что подходит для контроля качества и исследований.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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:

ASTM E2283-08(2019)

Стандартная практика для экстремального анализа неметаллических включений в стали и других микроструктурных особенностей Стандартная практика для анализа экстремальных значений неметаллических включений в стали и других микроструктурных особенностей

1. Область применения

1.1 Настоящая стандартная практика предоставляет метод оценки максимального размера (максимального размера) неметаллических включений (неметаллических включений) или других микроструктурных особенностей (микроструктурных особенностей) в стали с использованием статистического анализа экстремальных значений.

Применимые объекты: сталь, твердые сплавы (например, покрытия WC-Co, нанесенные методом термического напыления) и другие металлические материалы, с акцентом на анализ неметаллических включений, пористости или микродефектов.

Цель: Прогнозирование размера наибольшего включения или дефекта в материале с помощью статистических методов оценки свойств материала (таких как усталостная долговечность) и контроля качества.

1.2 Настоящий стандарт распространяется на микроструктурные особенности, наблюдаемые с помощью металлографического микроскопа (металлографическая микроскопия).

1.3 Настоящий стандарт не включает испытания механических свойств (испытания механических свойств / испытания механических свойств) и предоставляет только методы статистического анализа.

2. Нормативные ссылки

В настоящем стандарте имеются ссылки на следующие документы, и их пункты становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки на них в настоящем стандарте:

ASTM E3-11(2017) — *Стандартное руководство по подготовке металлографических образцов*

ASTM E7-15 — *Стандартная терминология, относящаяся к металлографии*

ASTM E45-18 — *Стандартные методы испытаний для определения содержания включений в стали*

ASTM E112-13 — *Стандартные методы испытаний для определения среднего размера зерна*

Примечание: если имеется пересмотренная версия, применяется последняя версия.

3. Термины и определения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

В настоящем стандарте используются следующие термины и определения, относящиеся к ASTM E7:

Неметаллические включения: неметаллические фазы (такие как оксиды, сульфиды) в стали или других металлических материалах.

Анализ экстремальных значений: статистический метод, используемый для прогнозирования распределения включений или дефектов наибольшего размера в образце.

Контрольная область: область измерения, определенная при наблюдении под микроскопом, в мм².

Максимальный размер: максимальный линейный размер включения или дефекта в мкм.

Распределение Гумбеля: статистическая модель распределения, используемая для анализа экстремальных значений.

4. Принципы анализа экстремальных значений

Металлографическое наблюдение используется для измерения размера самого крупного включения или дефекта в нескольких контрольных областях.

Обработайте данные с помощью распределения экстремальных значений Гумбеля (Gumbel Extreme Value Distribution), чтобы предсказать вероятный размер самого большого включения или дефекта в большем объеме материала.

5. Подготовка образцов

Сечение: используйте алмазную пилу, чтобы избежать появления дополнительных дефектов.

Шлифовка: используйте наждачную бумагу SiC (бумага на основе карбида кремния) от грубой (#120) до мелкой (#1200).

используйте алмазную суспензию (размер частиц алмаза 1 мкм) до зеркального блеска.

Травление (необязательно): используйте подходящий реагент (например, 2% азотную кислоту/ниталл для стали) для выявления включений или микроструктуры.

Чистка: очистите этанолом (Ethanol), высушите (Dry).

6. Процедура измерения

Оборудование: оптический микроскоп или сканирующий электронный микроскоп (СЭМ), увеличение 100–500х.

Зона контроля:

Для каждого образца измерьте не менее 30 контрольных областей (минимум 30 областей).

Рекомендуемая площадь: от 0,1 мм² до 1 мм² в зависимости от плотности включений.

Измерение:

В каждой контрольной области запишите размер самого большого включения или дефекта (максимальный размер включения).

Измерьте максимальный линейный размер включения (Максимальный линейный размер / Максимальный линейный размер) в мкм.

Запись: упорядочивает данные наибольшего размера в порядке возрастания для подготовки к анализу экстремальных значений.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7. Метод анализа экстремальных значений

Подгонка данных:

Подогнать данные максимального размера под распределение Гумбеля (Gumbel Distribution / Распределение Гумбеля).

Кумулятивная функция распределения Гумбеля:

$F(x) = \exp(-\exp(-(x-\lambda)/\delta))$, где λ — параметр местоположения, а δ — параметр масштаба.

Оценка параметров

Оцените λ и δ , используя метод максимального правдоподобия (ММП) или метод наименьших квадратов (МНК).

Прогноз:

Рассчитывает максимальный размер включения в указанном объеме (указанный объем) при указанном уровне достоверности (например, 95%).

Формула: $x_p = \lambda - \delta \times \ln(-\ln(p))$, где p — вероятность (Вероятность / вероятность).

8. Отчет

Содержание

Материал образца: например, сталь или покрытие WC-Co.

Метод подготовки: например, термическое напыление (HVOF).

Область контроля (Control Area) и Количество измерений (Number of Measurements).

Данные максимального размера (Maximum Size Data / Maximum Size Data) и параметры распределения Гумбеля (Gumbel Parameters / Gumbel Parameters).

Прогнозируемый максимальный размер включения.

Фотографии и увеличение.

Дата испытания (Дата / Дата испытания), оператор (Оператор / Оператор) и номер оборудования (Номер оборудования / Номер оборудования).

Пример: покрытие WC-Co, контрольная область 0,5 мм², 30 зон, прогнозируемый максимальный размер включений 50 мкм (уровень достоверности 95%), увеличение 200x.

9. Точность и предвзятость

Точность: Внутрिलाбораторное (Внутрिलाбораторное / Внутрिलाбораторное) отклонение <10%, Междулабораторное (Междулабораторное / Междулабораторное) <15%.

Смещение: может быть вызвано неравномерной подготовкой образца (неравномерность подготовки) или неравномерным распределением включений (распределение включений) и требует увеличения количества областей измерения.

10. Приложения

Приложение А: Пример установки распределительной системы Гумбеля.

Приложение В: Руководство по измерению размера включений.

11. Применимость и ограничения

Применимость: Подходит для экстремального анализа включений или дефектов в стали, твердом сплаве и других материалах. Широко используется в контроле качества и анализе

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

усталости.

Ограничения:

Для обеспечения статистической надежности необходимо достаточное количество контрольных зон.

Не подходит для материалов с очень низкой плотностью включений.

Краткое содержание

ASTM E2283-08(2019) «Стандартная практика анализа экстремальных значений неметаллических включений в стали и других микроструктурных элементах / Стандартная практика анализа экстремальных значений неметаллических включений в стали и других микроструктурных элементах» предоставляет метод оценки максимального размера включений или дефектов в стали или твердом сплаве (например, с термически напыленным покрытием WC-Co) с использованием статистического анализа экстремальных значений, который подходит для контроля качества и оценки производительности.

приложение:

EN 13204:2017

Термическое напыление — Порошки — Состав, технические условия поставки

Термическое напыление - Порошки - Состав, технические условия поставки

1. Область применения

1.1 Настоящий стандарт определяет состав (Composition / состав) и технические условия поставки (Technical Supply Conditions / технические условия поставки) порошков (Powders / Порошки), используемых в процессе термического напыления.

Применимые объекты: включая металлические порошки (например, никель и кобальт), керамические порошки (например, оксид алюминия), карбидные порошки (например, WC-Co кермет) и композитные порошки.

Цель: обеспечить соответствие порошка требованиям процесса термического напыления для контроля качества и оптимизации производительности.

1.2 Настоящий стандарт распространяется на газопламенное напыление, плазменное напыление, высокоскоростное газопламенное напыление и другие процессы.

1.3 Настоящий стандарт не распространяется на процесс производства порошка (процесс производства порошка/процесс приготовления порошка), а только определяет условия поставки.

2. Нормативные ссылки

В настоящем стандарте имеются ссылки на следующие документы, и их пункты становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки на них в настоящем стандарте:

EN 657:2005 - *Термическое напыление — Терминология, классификация*

EN 820-1:2002 - *Современная техническая керамика. Методы испытаний монолитной керамики. Часть 1. Определение плотности и пористости.*

EN ISO 3252:1999 — *Порошковая металлургия — Словарь*

Примечание: если имеется пересмотренная версия, применяется последняя версия.

3. Термины и определения

В настоящем стандарте используются следующие термины и определения, относящиеся к EN 657 и EN ISO 3252:

Порошок для термического напыления: Гранулированный материал, используемый в процессе термического напыления.

Распределение размеров частиц: диапазон и соотношение диаметров частиц порошка, выраженное в мкм .

Химический состав: Содержание каждого элемента в порошке, выраженное в массовых %.

Текущность: время, необходимое порошку для прохождения через стандартную воронку при

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

определенных условиях, выражается в секундах на 50 г.

Кажущаяся плотность: плотность порошка в сыпучем состоянии, выраженная в $\text{г}/\text{см}^3$.

4. Технические требования

4.1 Химический состав/Химический состав

Требования:

Содержание каждого элемента должно соответствовать спецификациям заказа (Спецификации заказа).

Содержание примесей (примесей) $\leq 0,5\%$ (если не указано иное).

Методы испытаний

Спектроскопический анализ (см. EN ISO 10378).

Содержание кислорода/азота: измеряется с использованием метода инфракрасного слияния.

4.2 Распределение размеров частиц

Требования:

(диапазон размеров частиц / Particle Size Range) указывается заказчиком, например, 10-45 мкм, 15-53 мкм.

Распределение размеров частиц должно быть равномерным (Равномерное распределение / Uniform Distribution) и соответствовать результатам ситового анализа (Ситовой анализ / Sieve Test).

Методы испытаний

Лазерный дифракционный анализ (Лазерный дифракционный анализ, см. EN ISO 13320).

Стандартное просеивание / Стандартное просеивание.

4.3 Текучесть

Требования:

Текучесть ≤ 30 с/50 г (конкретное значение указывается заказчиком).

Методы испытаний

Используйте расходомер Холла (см. EN ISO 4490).

4.4 Кажущаяся плотность

Требования:

Диапазон кажущейся плотности указывается заказчиком, например, 2,5-4,5 $\text{г}/\text{см}^3$ (в зависимости от типа порошка).

Методы испытаний

метод измерения расхода Холла, см. EN ISO 3923-1).

4.5 Морфология и чистота

Требования:

Морфология порошка может быть сферической или неправильной, в зависимости от процесса.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Чистота: $\geq 99\%$ (если не указано иное).

Методы испытаний

Для наблюдения за морфологией использовалась сканирующая электронная микроскопия (СЭМ/сканирующий электронный микроскоп).

Рентгенофлуоресцентное (РФА) обнаружение примесей.

5. Упаковка и маркировка

Упаковка:

Используйте герметичные контейнеры, такие как пластиковые ведра или металлические банки, чтобы предотвратить попадание влаги и загрязнение.

Вес нетто: 5 кг, 10 кг или согласно требованиям заказа.

Маркировка:

Название продукта: Например, WC-12Co.

Номер партии (Batch Number) и Дата производства (Production Date).

Название производителя (Название производителя) и Инструкции по технике безопасности (Инструкции по технике безопасности).

6. Проверка и тестирование

Типы инспекций:

Типовая инспекция: для новых продуктов или новых партий.

Проверка партии: каждой партии продукции.

Методы испытаний

Определение плотности и пористости в соответствии с EN 820-1.

Анализ химического состава согласно EN ISO 10378.

Отбор проб:

Количество образца каждой партии (Количество образца/Объем выборки) составляет ≥ 200 г в соответствии с EN ISO 14284.

7. Отчет

Содержание

Описание продукта: Например, порошок WC-12Co.

Химический состав: C 5,2%, Co 12,0%.

Распределение размеров частиц: 10-45 мкм .

Текучесть: 25 с/50 г.

Кажущаяся плотность: 4,0 г/см³ .

Дата проверки (Inspection Date), Номер партии (Batch Number) и Информация о производителе (Manufacturer Information).

Пример

Порошок WC-12Co, C 5,2%, размер частиц 10-45 мкм , текучесть 24 с/50 г, соответствует требованиям EN 13204:2017.

8. Точность и предвзятость

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Точность: Внутрिलाбораторное (Внутрिलाбораторное / Внутрिलाбораторное) отклонение <5%, Между лабораториями (Между лабораториями / Между лабораториями) <10%.

Смещение: может быть вызвано репрезентативностью выборки или вариациями условий тестирования, что требует строгого контроля выборки и тестирования.

9. Применимость и ограничения

Применимость: Подходит для поставки и контроля качества порошков для термического напыления, особенно для порошков цементированного карбида (например, WC-Co).

Ограничения:

Процесс приготовления порошка не требуется.

Для порошков специального назначения требуется дополнительное соглашение.

Краткое содержание

Стандарт EN 13204:2017 «Термическое напыление. Порошки. Состав, технические условия поставки» содержит требования к составу и условиям поставки для порошков для термического напыления (например, порошков карбида вольфрама WC-Co), включая химический состав, распределение размеров частиц и текучесть, что подходит для контроля качества и оптимизации процесса.

приложение:

GB/T 5242-2007

Термическое напыление — Проволока и прутки

Термическое напыление - Проволока и прутки

1. Область применения

1.1 Настоящий стандарт устанавливает технические требования, правила контроля и условия поставки проволоки и прутков, используемых в процессе термического напыления.

Применимые объекты: включая проволоки из чистых металлов (например, цинка, алюминия), проволоки из сплавов (например, на основе никеля, кобальта) и композитных материалов (например, проволоки из цементированного карбида WC-Co/WC-Co-кермета).

Цель: обеспечить соответствие проволоки и прутков требованиям процессов термического напыления (таких как газопламенное напыление, плазменное напыление) для контроля качества и обеспечения эксплуатационных характеристик.

1.2 Настоящий стандарт распространяется на такие процессы, как дуговое напыление (Arc Spraying / Arc Spraying) и газопламенное напыление (Flame Spraying / Flame Spraying).

1.3 Настоящий стандарт не распространяется на процесс производства проволоки и прутков. Он только определяет технические характеристики и требования к контролю.

2. Нормативные ссылки

В настоящем стандарте имеются ссылки на следующие документы, и их пункты становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки на них в настоящем стандарте:

GB/T 1267-2007 - *Методы отбора проб стали и чугуна — Испытания и анализ методом разреза / Методы отбора проб стали и чугуна — Испытания и анализ методом разреза*

GB/T 223 - *Методы химического анализа железа, стали и сплавов / Методы химического анализа железа, стали и сплавов*

GB/T 4340.1-2009 — *Металлические материалы. Испытание на твердость по Виккерсу. Часть 1. Метод испытания.*

Примечание: если имеется пересмотренная версия, применяется последняя версия.

3. Термины и определения

В настоящем стандарте используются следующие термины и определения:

Проволока: непрерывная нить диаметром 0,8–4,0 мм, используемая для термического напыления.

Стержень: Короткий стержень или прутки диаметром 4,0–10,0 мм.

Химический состав: Содержание каждого элемента в металлической проволоке или прутке, выраженное в массовых %.

Качество поверхности: чистота поверхности и наличие дефектов (таких как трещины и царапины).

Твёрдость: способность материала противостоять локальной пластической деформации,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

измеряемая в HV.

4. Технические требования

4.1 Химический состав/Химический состав

Требования:

Содержание каждого элемента должно соответствовать спецификациям заказа (Спецификации заказа).

Содержание примесей (примесей) $\leq 0,5\%$ (если не указано иное).

Методы испытаний

Спектроскопический анализ (Спектроскопический анализ / Спектроскопический анализ, см. GB/T 223).

Содержание кислорода/азота: метод инфракрасного слияния.

4.2 Размеры и допуски

Диаметр:

Металлическая проволока: 0,8-4,0 мм, допуск $\pm 0,05$ мм.

Пруток: 4,0-10,0 мм, допуск $\pm 0,1$ мм.

Длина (Длина/Длина):

Провод: Доступен в непрерывной поставке или заказной длины.

Пруток: 500-1000 мм, допуск ± 5 мм.

Методы испытаний

Измерьте с помощью штангенциркуля (нониуса) или микрометра (микрометра).

4.3 Качество поверхности

Требования:

На поверхности отсутствуют трещины (Cracks / Cracks), царапины (Scratches / Scratches) или окисная окалина (Oxide Scale / Oxide Scale).

Чистота (Cleanliness) соответствует GB/T 1267.

Методы испытаний

Визуальный осмотр (Visual Inspection) или маломощная лупа (Low-Power Lupe).

4.4 Твердость

Требования:

Диапазон твердости указывается заказчиком, например, HV 200-600 (в зависимости от материала) .

Методы испытаний

Испытание на твердость по Виккерсу (Vickers Hardness Test / Vickers Hardness Test, см. GB/T 4340.1), нагрузка 5-10 Н.

4.5 Прямолинейность

Требования:

Изгиб на метр ≤ 1 мм.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Методы испытаний

Положите его на ровную поверхность и измерьте максимальное отклонение.

5. Упаковка и маркировка

Упаковка:

Используйте влагонепроницаемую упаковку, например, пластиковые пакеты или герметичные контейнеры.

Каждая бухта или связка весит 5-20 кг или по заказу.

Маркировка:

Название продукта: Например, проволока NiAl.

Номер партии (Номер партии / Номер партии), Дата производства (Дата производства / Дата производства).

Название производителя (Название производителя) и Инструкции по технике безопасности (Инструкции по технике безопасности).

6. Проверка и тестирование

Типы инспекций:

Типовая инспекция: для новых продуктов или новых партий.

Проверка партии: каждой партии продукции.

Методы испытаний

Химический состав соответствует GB/T 223.

Размеры и качество поверхности определяются визуальным осмотром и измерительными инструментами.

Твердость соответствует GB/T 4340.1.

Отбор проб:

Количество образцов каждой партии (Количество образцов/Количество образцов) ≥ 1 м (проволока) или 1 шт. (стержень) в соответствии с GB/T 1267.

7. Отчет

Содержание

Описание продукта: NiAl проволока, диаметр 1,6 мм.

Химический состав: Ni 50%, Al 50%.

Размеры: Диаметр $1,60 \pm 0,05$ мм.

Твердость: HV 250 ± 20 .

Качество поверхности: без дефектов.

Дата проверки (Inspection Date), Номер партии (Batch Number) и Информация о производителе (Manufacturer Information).

Пример

Проволока NiAl, диаметр 1,6 мм, химический состав Ni 50,2%, Al 49,6%, твердость HV 245, поверхность без дефектов, в соответствии с GB/T 5242-2007.

8. Точность и предвзятость

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Точность: Внутрिलाбораторное (Внутрिलाбораторное / Внутрिलाбораторное) отклонение <5%, Между лабораториями (Между лабораториями / Между лабораториями) <10%.

Смещение: может быть вызвано репрезентативностью выборки или изменениями условий тестирования, что требует контроля выборки и окружающей среды.

9. Применимость и ограничения

Применимость: Подходит для поставки и контроля качества проволоки и прутков для термического напыления, особенно для материалов на основе цементированного карбида.

Ограничения:

Никакого производственного процесса.

Для проводов специального назначения требуется дополнительное соглашение.

Краткое содержание

GB/T 5242-2007 «Термическое напыление — Проволока и стержни / Термическое напыление — Металлическая проволока и стержни» содержит технические требования и правила проверки металлической проволоки и стержней для термического напыления (например, материалов на основе NiAl или WC-Co), которые применяются для контроля качества и технологических процессов.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

GB/T 3489-2012

Термическое напыление — Металлографическое исследование покрытий, полученных методом термического напыления

Термическое напыление - металлографический контроль термически напыленных покрытий

1. Область применения

1.1 Настоящий стандарт устанавливает методы металлографического исследования покрытий, нанесенных методом термического напыления, для использования при контроле качества и оценке эксплуатационных характеристик.

Применимые объекты: включая металлические покрытия (например, никель и кобальт), керамические покрытия (например, оксид алюминия) и карбидные покрытия (например, керамическая керамика WC-Co).

Цель: Оценка микроструктуры, пористости, прочности сцепления и дефектов покрытий путем микроскопического наблюдения.

1.2 Настоящий стандарт распространяется на процессы газопламенного напыления, плазменного напыления и высокоскоростного газопламенного напыления (HVOF).

1.3 Настоящий стандарт не распространяется на испытания механических свойств покрытий, а содержит только методы металлографического исследования.

2. Нормативные ссылки

В настоящем стандарте имеются ссылки на следующие документы, и их пункты становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки на них в настоящем стандарте:

GB/T 1267-2007 - *Методы отбора проб стали и чугуна — Испытания и анализ методом разреза / Методы отбора проб стали и чугуна — Испытания и анализ методом разреза*

GB/T 13298-2015 - *Методы контроля микроструктуры металлов*

GB/T 4338-2006 — *Металлические материалы. Испытание на растяжение при температуре окружающей среды.*

Примечание: если имеется пересмотренная версия, применяется последняя версия.

3. Термины и определения

В настоящем стандарте приняты следующие термины и определения со ссылкой на GB/T 13298:

Покрытие термическим напылением: покрытие, наносимое на подложку методом термического напыления.

Микроструктура: Фазовая структура, размер зерна и характеристики дефектов в покрытии.

Пористость: объемный процент пор (пор) в покрытии, выраженный в %.

Интерфейс соединения: область соединения покрытия и подложки.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Травление: процесс выявления микроструктуры химическим или электрохимическим способом.

4. Подготовка образцов

Секционирование:

Для резки используйте алмазную пилу, избегая перегрева и повреждений.

Размер образца: рекомендуется 20 мм × 10 мм × толщина покрытия + 5 мм.

Монтаж:

Залейте эпоксидной смолой (Epoxy Resin / Epoxy Resin) или фенольной смолой (Phenolic Resin / Phenolic Resin) для защиты кромки покрытия (Coating Edge / Coating Edge).

Шлифовка:

Используйте наждачную бумагу SiC (наждачная бумага на основе карбида кремния) от грубой (#120) до мелкой (#1200).

Полировка:

Используйте алмазную суспензию (Diamond Suspension / Алмазная суспензия, размер частиц 1 мкм) до зеркального блеска (Mirror Finish / Зеркальный финиш).

Офорт:

Металлическое покрытие: 2% азотная кислота (Нитал/азотная кислота), время коррозии 5-10 секунд.

Керамические/карбидные покрытия: реагент Мураками (10 г $K_3[Fe(CN)_6]$ + 10 г KOH + 100 мл H_2O), время травления 10-20 секунд.

5. Микроскопическое исследование

Оборудование:

Оптический микроскоп (Оптический микроскоп / Оптический микроскоп), Увеличение (Увеличение / Увеличение) 50-1000 раз.

Сканирующий электронный микроскоп (СЭМ / Scanning Electron Microscope) для наблюдения с высоким разрешением (High-Resolution Observation / High-Resolution Observation).

Параметры наблюдения

Микроструктура: распределение фаз, размер зерна.

Пористость: рассчитывается методом анализа изображений (Image Analysis), единица измерения: %.

Интерфейс склеивания: Осмотрите на наличие трещин (Cracks) или непроклеенных участков (Unassocked Areas).

Дефекты: такие как включения и газовые поры.

Увеличение:

Общая структура: 50-200 раз.

Подробности: 500-1000 раз.

6. Критерии оценки

Пористость:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Металлическое покрытие: $\leq 5\%$ (рекомендуемое значение).
Керамическое/карбидное покрытие: $\leq 2\%$ (рекомендуемое значение).
Качество облигаций:
На границе соединения нет сплошных трещин (нет сплошных трещин).
Несвязанная площадь (несвязанная площадь) $\leq 5\%$.
дефекта :
Незначительные: Отдельные мелкие дефекты.
Серьёзная: обширные трещины или утрата.

7. Отчет

Содержание

Материал покрытия: например, WC-12Co.

Метод подготовки: например, термическое напыление HVOF.

Микроструктура: распределение фаз, размер частиц.

Пористость: например, 1,5%.

Интерфейс соединения: без трещин.

Дефекты: Серьёзных дефектов нет.

Фотографии и увеличение.

Дата осмотра (Inspection Date), Оператор (Operator) и Номер оборудования (Equipment Number).

Пример

Покрытие WC-12Co, напыление HVOF, пористость 1,2%, трещин на границе соединения нет, увеличение 200 раз, серьёзных дефектов нет.

8. Точность и предвзятость

Точность: Внутрिलाбораторное (Внутрिलाбораторное / Внутрिलाбораторное) отклонение $< 5\%$, Между лабораториями (Между лабораториями / Между лабораториями) $< 10\%$.

Смещение: может быть вызвано неравномерной подготовкой образца (неровность подготовки) или чрезмерным травлением (чрезмерное травление), поэтому процесс подготовки необходимо контролировать.

9. Применимость и ограничения

Применимость: Подходит для металлографического исследования покрытий, нанесенных методом термического напыления (например, покрытий из цементированного карбида WC-Co), широко используемых в контроле качества и исследованиях.

Ограничения:

Не подходит для нетермических напыляемых покрытий.

Для сверхтонких покрытий ($< 0,1$ мм) необходимо скорректировать метод подготовки.

Краткое содержание

GB/T 3489-2012 «Термическое напыление. Металлографическое исследование покрытий, полученных методом термического напыления / Термическое напыление.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Металлографическое исследование покрытий, полученных методом термического напыления» содержит методы металлографического исследования покрытий, полученных методом термического напыления (например, покрытий из цементированного карбида WC-Co), включая подготовку, наблюдение и оценку, что подходит для контроля качества и оценки эксплуатационных характеристик.

приложение

GB/T 38511-2020

Термическое напыление — Порошки
— Состав, технические условия поставки

Термическое напыление - Порошки - Состав, технические
условия поставки

1. Область применения

1.1 Настоящий стандарт устанавливает состав, характеристики и технические условия поставки порошков, используемых в процессе газотермического напыления.

Применимые объекты: включая металлические порошки (например, на основе никеля, кобальта), керамические порошки (например, оксид алюминия), карбидные порошки (например, керамический сплав WC-Co) и композитные порошки.

Цель: обеспечить соответствие порошка требованиям процесса термического напыления для контроля качества и оптимизации характеристик покрытия.

1.2 Настоящий стандарт применяется к таким процессам, как плазменное напыление (плазменное напыление), газопламенное напыление (пламенное напыление) и высокоскоростное газопламенное напыление (HVOF).

1.3 Настоящий стандарт не распространяется на процесс производства порошка (процесс производства порошка / Powder Manufacturing Process), а лишь определяет его условия поставки и критерии приемки.

2. Нормативные ссылки

В настоящем стандарте имеются ссылки на следующие документы, и их пункты становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки на них в настоящем стандарте:

GB/T 1480-2010 - Металлические порошки. Определение размера частиц методом сухого просеивания

GB/T 1482-2010 - Металлические порошки. Определение времени истечения с помощью калиброванной воронки (расходомер Холла) / Металлические порошки. Определение времени истечения с помощью калиброванной воронки (расходомер Холла)

GB/T 31561-2015 - Металлические порошки. Определение кажущейся плотности.

GB/T 19077-2016 — Распределение размеров частиц — Методы лазерной дифракции

Примечание: если имеется пересмотренная версия, применяется последняя версия.

3. Термины и определения

В настоящем стандарте используются следующие термины и определения:

Порошок для термического напыления: Гранулированный материал, используемый в

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

процессе термического напыления.

Химический состав: массовая доля каждого элемента в порошке, выраженная в % масс .

Распределение размеров частиц: диапазон и соотношение диаметров частиц порошка, выраженное в мкм .

Текучесть: время, необходимое порошку для прохождения через калиброванную воронку (измеряется в секундах на 50 г).

Кажущаяся плотность: плотность порошка в сыпучем состоянии, выраженная в г/см³ .

Морфология частиц: форма частиц порошка, например, сферическая или неправильная.

4. Классификация

По типу материала:

Металлические порошки: такие как NiCr и CoCr.

Керамические порошки: такие как Al₂O₃ и ZrO₂ .

Карбидные порошки: такие как WC-Co, Cr₃C₂ - NiCr .

Композитные порошки: такие как Ni-Al₂O₃ .

По диапазону размеров частиц:

Мелкий порошок: 5-25 мкм .

Средний порошок: 25-45 мкм .

Крупный порошок: 45-90 мкм .

5. Технические требования

5.1 Химический состав/Химический состав

Требования:

Содержание каждого элемента должно соответствовать спецификации заказа (Спецификации заказа).

Отклонение основного компонента: ±0,5% (если не указано иное).

Примеси: ≤ 0,3% (если не указано иное).

Методы испытаний

Химический анализ: например, ICP-OES (оптико-эмиссионная спектрометрия с индуктивно связанной плазмой).

Содержание кислорода/азота: метод инфракрасного слияния.

5.2 Распределение размеров частиц

Требования:

Диапазон размеров частиц должен соответствовать спецификациям заказа, например, 10–45 мкм .

Отклонение распределения размеров частиц (отклонение распределения): ±10% (D10, D50, D90).

Методы испытаний

Метод лазерной дифракции (метод лазерной дифракции, см. GB/T 19077).

Сухое просеивание (сухое просеивание / сухое просеивание, см. GB/T 1480).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.3 Текучесть

Требования:

Текучесть ≤ 35 с/50 г (конкретное значение указывается заказчиком).

Для тонких порошков (<25 мкм) текучесть может не требоваться (не требуется).

Методы испытаний

Расходомер Холла (расходомер Холла, см. GB/T 1482).

5.4 Кажущаяся плотность

Требования:

Диапазон кажущейся плотности указывается заказчиком, например, 2,0-5,0 г/см³ (в зависимости от типа порошка).

Отклонение: $\pm 0,2$ г/см³.

Методы испытаний

Определение кажущейся плотности (Определение кажущейся плотности / Определение кажущейся плотности, см. GB/T 31561).

5.5 Морфология частиц

Требования:

Форма частиц должна соответствовать спецификации заказа, рекомендуется сферическая (Spherical /spherical) или близкая к сферической (Near-spherical / near-spherical).

Доля нерегулярных частиц (Irregular Particles / irregular parts) составляет $\leq 10\%$.

Методы испытаний

Наблюдение с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ/сканирующий электронный микроскоп).

5.6 Содержание влаги

Требования:

Содержание влаги $\leq 0,2\%$.

Методы испытаний

Метод определения потери при высушении: высушите при температуре 105°C в течение 2 часов и взвесьте.

6. Правила проверки

Типы инспекций:

Заводской контроль: каждой партии продукции.

Проверка типа: при появлении новых продуктов или изменении процесса.

Отбор проб:

Количество образцов каждой партии (Количество образцов/Количество образцов) составляет ≥ 200 г, образцы разделяются после равномерного перемешивания.

Метод отбора проб: см. GB/T 1267.

Правила вынесения суждений

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Все проекты соответствуют требованиям и квалифицированы.

Если какой-либо элемент не соответствует требованиям, вся партия будет считаться неквалифицированной (Unqualified / Unqualified), и может потребоваться повторный отбор проб и повторная проверка (Re-Inspection / Re-inspection).

7. Упаковка, транспортировка и хранение

Упаковка:

Используйте герметичные контейнеры, такие как пластиковые ведра или металлические банки, чтобы предотвратить попадание влаги (влагонепроницаемые/непроницаемые для влаги) и загрязнение (защищенные от загрязнения/непроницаемые для загрязнения).

Вес: 5 кг, 10 кг или согласно требованиям заказа.

Маркировка:

Название продукта: Например, порошок WC-12Co.

Номер партии (Номер партии / Номер партии), Дата производства (Дата производства / Дата производства).

Название производителя (Название производителя) и Инструкции по технике безопасности (Инструкции по технике безопасности).

Транспорт:

Избегайте сильной вибрации (сильная вибрация/сильная вибрация) и влажной среды (влажная среда/влажная среда).

Хранилище:

Хранить в сухом и проветриваемом помещении (Сухая и проветриваемая среда / Сухая и проветриваемая среда), температура <math><30^{\circ}\text{C}</math>, влажность <math><60\%</math>.

Срок хранения: не более 12 месяцев.

8. Сертификат качества

Содержание

Наименование продукта (Product Name) и Спецификация (Specification).

Номер партии (Batch Number) и Дата производства (Production Date).

Результаты проверки: химический состав, распределение размеров частиц, текучесть, кажущаяся плотность и т. д.

Декларация о соответствии: В соответствии с GB/T 38511-2020.

Информация о производителе (Информация о производителе / Информация о производителе) и подпись инспектора (Подпись инспектора / Подпись инспектора).

9. Точность и предвзятость

Точность: Внутрिलाбораторное (Внутрिलाбораторное / Внутрिलाбораторное) отклонение <math><5\%</math>, Между лабораториями (Между лабораториями / Между лабораториями) <math><8\%</math>.

Смещение: может быть вызвано неравномерностью выборки или вариацией испытательного оборудования, условия испытаний должны строго контролироваться.

10. Применимость и ограничения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Применимость: Подходит для поставки и контроля качества порошков для термического напыления, особенно для порошков цементированного карбида, таких как WC-Co.

Ограничения:

Процесс производства порошка не используется.

Для порошков специального назначения требуется дополнительное соглашение.

Краткое содержание

GB/T 38511-2020 《Термическое напыление — Порошки — Состав, технические условия поставки / Термическое напыление — Порошки — Состав, технические условия поставки》 содержит состав, характеристики и условия поставки порошков для термического напыления (таких как порошки карбида вольфрама WC-Co), включая химический состав, распределение размеров частиц, текучесть и т. д., которые подходят для контроля качества и оптимизации процесса. Этот стандарт имеет определенную согласованность с международными стандартами (такими как ISO 14232-1:2017) в технических требованиях, но больше подходит для конкретных потребностей китайского рынка.

приложение:

ASME B46.1-2009

Текстура поверхности (шероховатость поверхности, волнистость и наслоение)

Текстура поверхности (шероховатость, волнистость и плоскостность поверхности)

1. Область применения

1.1 Настоящий стандарт устанавливает определение, методы измерения и представление параметров текстуры поверхности применительно к механическим деталям, покрытиям (например, покрытиям, нанесенным методом термического напыления) и обработанным поверхностям.

Применимые объекты: металлы, керамика, пластик и композиты, такие как покрытие из цементированного карбида WC-Co.

Цель: предоставить количественные стандарты шероховатости поверхности, волнистости и укладки для руководства по проектированию, производству и контролю качества.

1.2 Настоящий стандарт распространяется как на контактные (Contact/contact), так и на бесконтактные (Non-Contact /non-contact) методы измерений.

1.3 Настоящий стандарт не включает анализ химического состава поверхности (Surface Chemical Composition / Surface Chemical Composition) или микроструктуры (Microstructure / Microstructure).

2. Нормативные ссылки

ASME B89.1.10-2001 — Руководство по оценке приборов для измерения размеров

ISO 4287:1997 — Геометрические характеристики изделий (GPS) — Текстура поверхности:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Метод профиля — Термины, определения и параметры текстуры поверхности
ISO 3274:1996 — Геометрические характеристики изделий (GPS) — Текстура поверхности:
Метод профиля — Номинальные характеристики контактных (щуповых) инструментов
Примечание: если имеется пересмотренная версия, применяется последняя версия.

3. Термины и определения

В настоящем стандарте используются следующие термины и определения, относящиеся к ISO 4287:

Текстура поверхности: сумма шероховатости поверхности (Surface Roughness), волнистости (Waviness) и укладки (Lay).

Шероховатость поверхности (Surface Roughness): характеристики небольших неровностей поверхности, измеряемые в мкм, с такими параметрами, как Ra (средняя арифметическая шероховатость).

Волнистость: Характеристика крупной периодической шероховатости поверхности, с единицей измерения мкм и таким параметром, как Wa.

Укладка: Рисунок текстуры, образующийся в процессе обработки поверхности, например, параллельный, перпендикулярный или круговой.

Длина выборки: опорная длина, используемая при измерении шероховатости, в мм.

4. Параметры текстуры поверхности

Параметры шероховатости

(средняя арифметическая шероховатость): среднее арифметическое значение высоты профиля в мкм.

Rq (среднеквадратическая шероховатость): среднеквадратичное значение высоты профиля, единица измерения: мкм.

(Максимальная высота профиля): разница высот между самой высокой точкой и самой низкой точкой профиля, в мкм.

Параметры волнистости

Wa (средняя арифметическая волнистость): средняя высота волнистости в мкм.

Wt (общая высота волнистости / общая высота волнистости): сумма максимальной высоты пика и минимальной глубины впадины волнистости, единица измерения: мкм.

Параметры укладки

Обозначается символами, такими как «/» (параллельный), «X» (перекрещенный) и «C» (круговой).

5. Методы измерения

Измерение контакта:

Оборудование: щуповой профилометр, например Taylor Hobson или Mitutoyo.

Стилус: радиус кончика 2–5 мкм, сила контакта <0,75 мН.

Длина выборки: 0,25 мм, 0,8 мм, 2,5 мм (выбирается в зависимости от типа поверхности).

Длина оценки: 5 длин выборки (5L).

Бесконтактное измерение:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Оборудование: оптический микроскоп, лазерный сканирующий конфокальный микроскоп.

: $\leq 0,1$ мкм .

Условия измерения:

Температура: $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

Влажность: 40-60%.

Очистка поверхности: удаление масла и частиц.

6. Представление текстуры поверхности

Символы:

Значение шероховатости (значение шероховатости / значение шероховатости), например «Ra 0,8», означает, что среднее арифметическое значение шероховатости составляет 0,8 мкм .

Значение волнистости (Waviness Value), например « Wa 2.0», означает , что среднее арифметическое значение волнистости составляет 2,0 мкм .

Направление волокон (Lay / Grain direction), например «/», означает параллельное.

Графическое представление:

Для его представления используйте график профиля или трехмерную карту поверхности .

Пример : Ra 1,6 мкм , Lay «X» , Wa 3,0 мкм .

Технические чертежи

Обозначено на чертеже в соответствии со стандартом ASME Y14.36.

7. Отчет

Содержание

Описание образца: например, термическое напыление WC-Co, подложка из стали.

Метод измерения: например, с помощью щупового профилометра.

Параметры шероховатости: Ra 1,2 мкм , Rz 6,5 мкм .

Параметры волнистости : Wa 2,5 мкм .

Направление волокон (слойка / направление волокон): параллельное «/».

Условия измерения: температура 20°C , влажность 50%.

Фотографии или профильные графики.

Дата осмотра (Inspection Date), Оператор (Operator) и Номер оборудования (Equipment Number).

Пример

Покрытие WC-Co, измерение стилусом, Ra 1,3 мкм , Rz 7,0 мкм , Lay «/», температура 20°C , 31 мая 2025 г.

8. Точность и предвзятость

Точность: внутри лаборатории (повторяемость) $< 5\%$, между лабораториями (воспроизводимость) $< 10\%$.

Смещение: может зависеть от износа иглы, чистоты поверхности или условий окружающей среды и требует калибровки оборудования и условий контроля.

9. Применимость и ограничения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Применимость: Подходит для измерения текстуры поверхности механических деталей и термически напыляемых покрытий (например, покрытий WC-Co), руководства обработкой и контроля качества.

Ограничения:

Не подходит для химии поверхности или микроструктурного анализа.

Для высокоэластичных или сверхмягких материалов требуются специальные методы измерения.

Краткое содержание

Стандарт ASME B46.1-2009 «Текстура поверхности (шероховатость поверхности, волнистость и наслоение)» содержит методы измерения и выражения текстуры поверхности, включая шероховатость, волнистость и направление текстуры, что подходит для контроля качества и оценки эксплуатационных характеристик покрытий, наносимых методом термического напыления (например, покрытий WC-Co).

приложение:

EN 10204:2004 «Металлические изделия — Типы документов по проверке / Металлические изделия — Типы документов по проверке» — смешанная версия стандарта на китайском и английском языках. Она основана на официальном стандарте, опубликованном Европейским комитетом по стандартизации (CEN), и применяется к требованиям к документам по проверке для металлических изделий, включая проверку материалов, связанных с цементированными карбидами (например, покрытиями, наносимыми методом термического напыления).

EN 10204:2004

Металлические изделия — Виды документов по проверке Металлические изделия - Типы документов по инспекции

1. Область применения

1.1 Настоящий стандарт устанавливает документы по контролю металлопродукции. Типы и требования к документам проверки/документам проверки) применяются к акту приемки-передачи/акту приемки-передачи.

Применимые объекты : Включает все металлические изделия, такие как сталь, твердые сплавы (например, термически напыляемое покрытие WC-Co), алюминий и т. д., а также их полуфабрикаты и готовые изделия.

Цель : определяет тип документа проверки, который гарантирует соответствие продукта требованиям заказа и облегчает проверку качества.

1.2 Настоящий стандарт распространяется на сертификацию качества (сертификацию качества) продукции при ее поставке.

1.3 Настоящий стандарт не охватывает конкретные методы проверки (методы проверки), а только определяет содержание и формат документов.

2. Нормативные ссылки

В настоящем стандарте имеются ссылки на следующие документы, и их пункты становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки на них в настоящем стандарте:

EN 10168:2004 - Изделия из стали. Документы по контролю. Перечень информации и описание.

EN ISO 9000:2000 - Системы менеджмента качества — Основные положения и словарь / Системы менеджмента качества — Основные положения и словарь

Примечание : если имеется пересмотренная версия, применяется последняя версия.

3. Термины и определения

В настоящем стандарте используются следующие термины и определения со ссылкой на EN ISO 9000:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Документ о проверке : письменный документ, подтверждающий, что продукт соответствует заказанным требованиям.

Производитель : Организация, ответственная за производство металлических изделий.

Представитель по инспекции : независимый инспектор, назначенный Покупателем или третьей стороной.

Декларация о соответствии : заявление производителя о том, что продукт соответствует предписанным требованиям.

Сертификат проверки : документ, содержащий конкретные результаты проверки.

4. Виды документов проверки

4.1 Тип 2.1 — Декларация о соответствии приказу

Содержание

Изготовитель заявляет, что продукция соответствует заказанным требованиям.

Конкретных результатов тестов нет.

Пример :

Описание продукта: Порошковое покрытие WC-Co.

Номер заказа (Номер заказа).

Декларация о соответствии: Изделие соответствует спецификациям заказа (Соответствует спецификациям заказа / Соответствует спецификациям заказа).

4.2 Тип 2.2 — Отчет об испытаниях

Содержание

Изготовитель заявляет, что продукция соответствует заказанным требованиям.

Содержит неспецифические результаты испытаний (Non-specific Test Results), такие как данные пакетного тестирования (Batch Testing).

Пример :

Описание продукта: Порошковое покрытие WC-12Co.

Химический состав/Химический состав: Co 12±0,5%.

частиц : 10-45 мкм .

4.3 Тип 3.1 - Сертификат проверки

Содержание

Выдано уполномоченным представителем инспекции производителя (уполномоченный представитель инспекции).

Содержит конкретные результаты испытаний (Specific Test Results / Specific Test Results), такие как химический состав, механические свойства (Mechanical Properties / Mechanical Properties).

Валидация : Инспекция обеспечивает независимость от производственного отдела.

Пример :

Описание продукта: Порошковое покрытие WC-Co.

Химический состав: C 5,3%, Co 12,1%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Микроструктура: Пористость <1%.

Подписавший: Представитель отдела качества.

4.4 Тип 3.2 — Сертификат проверки

Содержание

Выдается совместно уполномоченным представителем производителя по инспекции и назначенным представителем покупателя (представителем покупателя/назначенным представителем покупателя) или третьей стороной.

Содержит конкретные результаты испытаний.

Проверка : требует участия покупателя или третьей стороны.

Пример :

Описание продукта: Порошковое покрытие WC-Co.

Твёрдость: HV 1200±50.

Выдано: представителем производителя по качеству и представителем покупателя (представителем покупателя).

5. Требования к содержанию документов

Основная информация

адрес производителя .

Номер заказа (Order Number) и Описание товара (Product Description).

Дата поставки (Delivery Date) и Количество (Quantity).

Информация о проверке (применимо к типам 2.2, 3.1 и 3.2):

Стандарт проверки: например, ISO 14923.

Результаты испытаний (Test Results): такие как химический состав, физические свойства (Physical Properties).

Информация о выпуске :

Имя и должность подписавшего / Имя и должность подписавшего.

Дата выпуска (Дата выпуска/Дата выдачи).

6. Проверка и передача документов

Проверка

Все документы должны быть подписаны уполномоченным лицом (уполномоченная подпись).

Электронные документы должны соответствовать Положению об электронной подписи.

Передача :

Документация поставляется вместе с продуктом (Поставляется вместе с продуктом).

Или предоставляется в электронном виде, должна быть обеспечена прослеживаемость.

7. Отчет

Содержание

Тип документа: Например, тип 3.1.

Описание продукта: Например, порошок для покрытия WC-Co.

Результаты испытаний: такие как твердость и пористость.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Декларация о соответствии (Декларация о соответствии).

Пример :

Сертификат Тип 3.1, покрытие порошковое WC-12Co, твердость HV 1210, пористость 0,8%, в соответствии с требованиями заказа.

8. Применимость и ограничения

Применимость : Применимо к сертификации качества металлических изделий при их доставке. Широко используется при проверке качества таких материалов, как твердый сплав и сталь.

Ограничения :

Он не содержит конкретных методов испытаний и требует ссылки на другие стандарты (например, ISO 14923).

Тип документа необходимо выбирать на основе требований контракта.

Краткое содержание

Стандарт EN 10204:2004 «Металлические изделия — Типы контрольных документов» содержит типы и требования к контрольным документам для металлических изделий (например, термически напыляемых покрытий WC-Co) на момент поставки, включая типы 2.1, 2.2, 3.1 и 3.2, которые подходят для проверки качества и приемки.

приложение:

ISO 6508-1:2016

**Металлические материалы — Испытание на твердость по Роквеллу —
Часть 1: Метод испытания**

**Металлические материалы - испытание на твердость по Роквеллу
— Часть 1: Методы испытаний**

1. Область применения

1.1 Настоящий стандарт определяет метод определения твердости по Роквеллу для металлических материалов, включая испытательное оборудование, процедуру испытания и расчет значения твердости.

Применимые объекты : сталь, чугун, цветные металлы и подложка с покрытием, нанесенным методом термического напыления (например, подложка с покрытием WC-Co).

Цель : Измерение твердости материалов для контроля качества, выбора материалов и оценки эксплуатационных характеристик.

1.2 Настоящий стандарт охватывает обычную твердость по Роквеллу (Regular Rockwell Hardness / Regular Rockwell hardness, HRA, HRB, HRC и т. д.) и поверхностную твердость по Роквеллу (Superficial Rockwell Hardness / Superficial Rockwell hardness, HR15N, HR30T и т. д.).

1.3 Настоящий стандарт не распространяется на неметаллические материалы (Non-Metallic Materials / Non-Metallic Materials) или материалы, толщина которых меньше минимальной толщины, требуемой испытанием (Minimum Thickness / Minimum Thickness).

2. Нормативные ссылки

В настоящем стандарте имеются ссылки на следующие документы, и их пункты становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки на них в настоящем стандарте:

ISO 6508-2:2015 — Металлические материалы. Определение твердости по Роквеллу. Часть 2. Проверка и калибровка испытательных машин.

ISO 6508-3:2015 — Металлические материалы. Определение твердости по Роквеллу. Часть 3. Калибровка эталонных образцов

ISO 376:2011 — Металлические материалы. Калибровка силоизмерительных приборов, используемых для проверки одноосных испытательных машин.

Примечание : если имеется пересмотренная версия, применяется последняя версия.

3. Термины и определения

В настоящем стандарте используются следующие термины и определения:

Твердость по Роквеллу : Значение твердости остаточной глубины вдавливания измеряется после приложения к материалу предварительной испытательной силы (Preliminary Test Force) и общей испытательной силы (Total Test Force) индентором (Indenter). Единица измерения —

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

HR (число твердости по Роквеллу).

Индентор : алмазный конус (120°) или стальной шарик (1/16 дюйма , 1/8 дюйма , 1/4 дюйма).

Предварительная испытательная сила : первоначально приложенная сила, например, 10 кгс (нормальная) или 3 кгс (неглубокая).

Общая испытательная сила: включает предварительную испытательную силу и дополнительную испытательную силу, например, 60 кгс , 100 кгс , 150 кгс (обычную) или 15 кгс , 30 кгс , 45 кгс (мелкую).

Глубина вмятины : остаточная глубина вмятины после снятия полной испытательной силы, в мкм .

4. Испытательное оборудование

Машина для испытания на твердость / Твердомер :

Соответствует требованиям ISO 6508-2, автоматическое или ручное управление (Automatic or Manual Operation / Automatic or Manual Operation).

Точность приложения силы (точность приложения силы) $\pm 0,5\%$.

Индентор :

Алмазный конус: радиус вершины 0,2 мм, твердость ≥ 9000 HV.

Стальные шарики: диаметр 1/16 дюйма (1,588 мм), 1/8 дюйма (3,175 мм), 1/4 дюйма (6,35 мм), твердость ≥ 850 HV.

Справочные блоки :

Для калибровки диапазон твердости охватывает HRA 20-88, HRB 20-100, HRC 20-70 и т. д. в соответствии с ISO 6508-3.

Условия окружающей среды

Температура: $23 \pm 5^\circ\text{C}$.

Влажность: 30-80%.

5. Процедура испытания

Подготовка образцов :

поверхности (Плоскостность поверхности/Плоскостность поверхности), шероховатость (Шероховатость/Шероховатость) $Ra \leq 0,8$ мкм .

Удаляет масляный (Oil / Oil) и оксидный слой (Oxide Layer / Oxide Layer).

Минимальная толщина: 0,5 мм (поверхностный слой), 1,0 мм (обычный), подробности см. в Таблице 1.

Выбор испытательной силы (Выбор испытательной силы) :

Обычный метод твердости по Роквеллу: предварительная испытательная нагрузка 10 кгс , общая испытательная нагрузка 60 кгс (HRB), 100 кгс (HRC), 150 кгс (HRA).

по мелкой шкале Роквелла: предварительная испытательная нагрузка 3 кгс , общая испытательная нагрузка 15 кгс (HR15N), 30 кгс (HR30T), 45 кгс (HR45W).

Этапы теста :

Приложите предварительное испытательное усилие (Apply Preliminary Test Force / Apply preview test force) и удерживайте в течение 1–5 секунд.

Приложите дополнительную тестовую силу (Apply Additional Test Force) и удерживайте в

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

течение 5–10 секунд.

Снимите общую испытательную силу и измерьте остаточную глубину вмятины.

Измерение :

Значение твердости автоматически считывается твердомером в HR.

Минимальное расстояние для каждого измерения должно быть ≥ 3 мм, а расстояние до края должно быть $\geq 2,5$ мм.

6. Расчет значения твердости

Формула (Формула / формула) :

$$ЧС = 100 - ч \times к$$

h: остаточная глубина вмятины (единица: 0,002 мм).

k: пропорциональная константа (зависящая от напора и испытательной силы, например, k=500 в HRC).

Таблица 1: Шкала твердости по Роквеллу (шкала твердости по Роквеллу) :

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

ИСО 6508-2:2015

Металлические материалы — испытание на твердость по Роквеллу — Часть 2: Проверка и калибровка испытательных машин Металлические материалы - испытание на твердость по Роквеллу — Часть 2: Проверка и калибровка испытательных машин

1. Область применения

1.1 Настоящий стандарт устанавливает методы проверки и калибровки испытательных машин, используемых для определения твердости металлических материалов по Роквеллу.

Применимые объекты : Включает обычные машины для определения твердости по Роквеллу и машины для определения поверхностной твердости по Роквеллу, подходящие для стали, чугуна и оснований с покрытием, нанесенным методом термического напыления (например, основания с покрытием WC-Co).

Цель : обеспечить соответствие испытательной машины требованиям ISO 6508-1 и надежные измерения твердости для контроля качества и соответствия стандартам.

1.2 Настоящий стандарт охватывает первоначальную проверку, периодическую проверку и проверку после калибровки.

1.3 Настоящий стандарт не распространяется на проектирование и производство испытательных машин.

2. Нормативные ссылки

В настоящем стандарте имеются ссылки на следующие документы, и их пункты становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки на них в настоящем стандарте:

ISO 6508-1:2016 — Металлические материалы. Испытание на твердость по Роквеллу. Часть 1. Метод испытания

ISO 6508-3:2015 — Металлические материалы. Определение твердости по Роквеллу. Часть 3. Калибровка эталонных образцов

ISO 376:2011 — Металлические материалы. Калибровка силоизмерительных приборов, используемых для проверки одноосных испытательных машин.

Примечание : если имеется пересмотренная версия, применяется последняя версия.

3. Термины и определения

В настоящем стандарте используются следующие термины и определения, относящиеся к ISO 6508-1:

Проверка : подтверждение того, что производительность испытательной машины соответствует указанным требованиям, включая проверки на наличие ошибок и повторяемость.

Калибровка : настройка испытательной машины с использованием эталонных образцов для устранения систематических отклонений.

Испытательная сила (Испытательная сила / Испытательная сила) : включает в себя

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

предварительную испытательную силу (Предварительная испытательная сила / Предварительная испытательная сила) и общую испытательную силу (Общая испытательная сила / Общая испытательная сила) .

Индентор : алмазный конус (Diamond Cone) или стальной шарик (Steel Ball), используемые для приложения испытательной силы.

Эталонный образец : стандартный образец с известным значением твердости, используемый для калибровки и проверки.

4. Требования к проверке и калибровке

Первоначальная проверка

Это делается после покупки новой испытательной машины или проведения капитального ремонта.

Охватывает все шкалы (Scales / Scales) и испытательные силы (Test Forces / Test Forces).

Периодическая проверка (периодическая проверка) :

Выполняйте каждые 12 месяцев или корректируйте в зависимости от частоты использования (например, каждые 6 месяцев при частом использовании).

Проверьте, находится ли ошибка (Error/Ошибка) в пределах допуска (Within Tolerance/Allowable Range).

Проверка после калибровки (Проверка после калибровки) :

Выполняется сразу после калибровки для подтверждения эффективности регулировки (Эффективность регулировки).

Допустимая ошибка :

по Роквеллу: $\pm 0,5$ HR (HRA, HRB, HRC).

Поверхностная твердость по Роквеллу: $\pm 0,8$ HR (HR15N, HR30T и т. д.).

5. Испытательное оборудование

Испытательная машина

Соответствует требованиям ISO 6508-1, точность приложения силы (Force Application Accuracy) $\pm 0,5\%$.

Оснащен автоматической или ручной загрузкой индентора.

Индентор :

Алмазный конус: радиус вершины 0,2 мм, твердость ≥ 9000 HV.

Стальные шарики: диаметр 1/16 дюйма (1,588 мм), 1/8 дюйма (3,175 мм), 1/4 дюйма (6,35 мм), твердость ≥ 850 HV.

Справочные блоки :

В соответствии со стандартом ISO 6508-3 диапазон твердости составляет HRA 20-88, HRB 20-100, HRC 20-70 и т. д.

Используйте не менее 3 контрольных блоков на линейку.

Инструменты измерения :

Прибор для проверки силы, точность $\pm 0,1\%$, в соответствии с ISO 376.

6. Процедура проверки

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Подготовка

Чистый индентор (Clean Indenter) и поверхность эталонного блока (Reference Block Surface). Обеспечить условия окружающей среды: температура $23\pm 5^{\circ}\text{C}$, влажность 30-80%.

Этапы теста :

Выберите подходящий масштаб (Select Appropriate Scale) и испытательную силу (Test Force). Выполните 5 измерений (5 измерений / 5 измерений) на каждом эталонном образце и запишите значения твердости (Значения твердости / Значения твердости).

Рассчитайте среднее значение (Среднее/Среднее) и стандартное отклонение (Стандартное отклонение/Стандартное отклонение).

Проверка на наличие ошибок (Проверка на наличие ошибок) :

Отклонение (Отклонение/Deviation) измеренного значения от номинального значения (Номинальное значение/Nominal Value) эталонного образца не должно превышать допустимую погрешность (Допустимая погрешность/ Permissible Error).

Повторяемость: максимальная разница между 5 измерениями $\leq 0,3$ HR (обычный) или $\leq 0,5$ HR (поверхностный).

7. Процедура калибровки

Регулировка

Если результат проверки превышает допустимую погрешность (Exceeds Permissible Error / Превышает допустимую погрешность), отрегулируйте испытательное усилие (Test Force / Испытательное усилие) или систему измерения глубины (Depth Measurement System / Система измерения глубины) испытательной машины.

Выполните калибровку с помощью эталонного блока и регулируйте до тех пор, пока измеренное значение не будет соответствовать номинальному значению (соответствует номинальному значению).

Проверка

После калибровки повторите проверку (Повторная проверка) с использованием различных эталонных образцов для подтверждения эффективности регулировки (Эффективность регулировки).

Записывать :

Запишите значения до и после регулировки, а также дату калибровки.

8. Отчет

Содержание

Модель (Model) и серийный номер (Serial Number) испытательной машины.

Дата проверки или калибровки (Дата проверки или калибровки).

Используемые эталонные образцы: диапазон твердости и номинальное значение.

Результаты измерений: среднее значение, стандартное отклонение и максимальное отклонение.

Соблюдается ли допустимая погрешность (Permissible Error).

Оператор (Operator) и статус калибровки оборудования (Equipment Calibration Status).

Пример :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Испытательная машина модели XYZ-100, серийный номер 12345, дата калибровки 31 мая 2025 г., эталонный образец HRC 50-60, среднее значение HRC 59,8, отклонение $\pm 0,2$ HR, соответствует требованиям.

9. Точность и предвзятость

Точность : внутри лаборатории (внутри лаборатории / повторяемость) $< 0,3$ HR, между лабораториями (между лабораториями / воспроизводимость) $< 0,5$ HR.

Смещение : может быть вызвано износом индентора, неоднородностью эталонного блока или изменениями окружающей среды и требует регулярного обслуживания оборудования.

10. Применимость и ограничения

Применимость : Применяется для проверки и калибровки твердомеров по Роквеллу с целью обеспечения точности испытаний на твердость металлических материалов, включая нанесение покрытий методом термического напыления на подложки.

Ограничения :

Не подходит для машин для определения твердости, отличных от Роквелла.

При высоких требованиях к точности (например, $\pm 0,1$ HR) следует использовать эталонный блок или устройство более высокого класса .

Краткое содержание

ISO 6508-2:2015 «Металлические материалы. Определение твердости по Роквеллу. Часть 2. Проверка и калибровка испытательных машин» содержит методы проверки и калибровки для испытательных машин для определения твердости по Роквеллу, гарантирующие их соответствие требованиям ISO 6508-1 и применимость к испытаниям на твердость металлических материалов (например, подложек с покрытием WC-Co).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ISO 6508-3:2015 «Металлические материалы — Испытание твердости по Роквеллу — Часть 3: Калибровка эталонных блоков / Металлические материалы — Испытание твердости по Роквеллу — Часть 3: Калибровка эталонных блоков» — это смешанная версия стандарта на китайском и английском языках, в которой перечислены его всеобъемлющие и полные положения и требования. Содержание основано на официальном стандарте, опубликованном Международной организацией по стандартизации (ISO), и применимо к калибровке (калибровка / калибровка) эталонных блоков для испытания твердости по Роквеллу (эталонные блоки / эталонные блоки), обеспечивая точность и прослеживаемость его значения твердости (прослеживаемость / прослеживаемость), и используется для проверки испытаний на твердость металлических материалов (таких как подложки с термическим напылением или материалы, связанные с цементированным карбидом).

ИСО 6508-3:2015

Металлические материалы — испытание на твердость по Роквеллу — Часть 3: Калибровка эталонных образцов Металлические материалы - испытание на твердость по Роквеллу — Часть 3: Калибровка эталонных образцов

1. Область применения

1.1 Настоящий стандарт определяет метод калибровки эталонных образцов, используемых при испытании на твердость по Роквеллу. Он применим к испытанию на твердость металлических материалов.

Применимые объекты : Включает обычные эталонные образцы твердости по Роквеллу (например, HRA, HRB, HRC) и поверхностные эталонные образцы твердости по Роквеллу (например, HR15N, HR30T), применимые к стали, чугунам и подложкам с термическим напылением (например, подложкам с покрытием WC-Co).

Цель : обеспечить точные значения твердости эталонных образцов с возможностью прослеживаемости для проверки и калибровки твердометров по Роквеллу.

1.2 Настоящий стандарт распространяется на калибровочные лаборатории и производителей.

1.3 Настоящий стандарт не распространяется на процесс производства (Процесс производства / Производственный процесс) или выбор материала (Выбор материала / Выбор материала) для эталонных блоков.

2. Нормативные ссылки

В настоящем стандарте содержатся ссылки на следующие документы, и их пункты становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки на них в настоящем стандарте:

ISO 6508-1:2016 — Металлические материалы. Испытание на твердость по Роквеллу. Часть

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. Метод испытания

ISO 6508-2:2015 — Металлические материалы. Испытание на твердость по Роквеллу. Часть

2. Проверка и калибровка испытательных машин.

ISO/IEC 17025:2005 — Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий

Примечание : Если имеется пересмотренная версия, применяется последняя версия.

3. Термины и определения

В настоящем стандарте используются следующие термины и определения, относящиеся к ISO 6508-1:

Эталонный образец : стандартный образец с известным значением твердости, используемый для калибровки и проверки твердомеров по Роквеллу.

Калибровка : Определите значение твердости эталонного образца с помощью стандартной испытательной машины и обеспечьте его прослеживаемость.

Прослеживаемость : значения твердости эталонных образцов связаны с международными или национальными стандартами через калибровочную цепочку.

Однородность : Отклонение значения твердости поверхности эталонного образца, в HR.

4. Требования к опорным блокам

Материал

Обычно сталь (Steel/Steel) или карбид (Carbide/Carbide) с равномерной твердостью (Uniform Hardness/Uniform Hardness).

Поверхность без дефектов / Поверхность без дефектов, таких как трещины (Cracks) или включения (Inclusions).

Размеры :

Толщина: ≥ 6 мм (обычный Роквелл) или ≥ 2 мм (поверхностный Роквелл).

Площадь поверхности ≥ 25 мм \times 25 мм, допускается не менее 5 измерений.

Качество поверхности

Шероховатость (неровность) $Ra \leq 0,4$ мкм .

Плоскостность (плоскостность) $\leq 0,005$ мм.

Диапазон твердости :

Обычный Роквелл: HRA 20-88, HRB 20-100, HRC 20-70.

Неглубокая твердость по Роквеллу: HR15N 70-94, HR30T 40-80.

5. Процедура калибровки

Калибровочное оборудование

Используйте стандартную машину для определения твердости по Роквеллу (стандартную машину для определения твердости по Роквеллу) в соответствии с ISO 6508-2.

Индентор: алмазный конус (радиус наконечника 0,2 мм, твердость ≥ 9000 HV) или стальной шарик (1/16, 1/8, 1/4 дюйма , твердость ≥ 850 HV).

Условия окружающей среды

Температура: $23 \pm 2^\circ\text{C}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Влажность: 30-80%.

Этапы калибровки :

Очистите поверхность контрольного блока (Очистите поверхность контрольного блока).

Выберите подходящий масштаб (Select Appropriate Scale) и испытательную силу (Test Force) .

Выполните измерения не менее чем в 5 точках измерения, равномерно распределенных на эталонном образце.

Рассчитайте среднее значение твердости (Average Hardness Value) и однородность (Uniformity).

Требование однородности

Максимальная разница между точками измерения (Максимальная разница / Максимальная разница) составляет $\leq 0,5$ HR (традиционный Роквелл) или $\leq 0,8$ HR (поверхностный Роквелл).

6. Результаты калибровки

Значение твердости :

Значение твердости калибровки эталонного образца представляет собой среднее значение (среднее значение/среднее значение), единица измерения — HR.

Пример: HRC 60,2 \pm 0,3.

Неопределенность

Погрешность калибровки $\leq \pm 0,5$ HR (обычный Роквелл) или $\pm 0,8$ HR (неглубокий Роквелл).

Соответствует требованиям ISO/IEC 17025 и содержит заявление о неопределенности.

Прослеживаемость

Результаты калибровки должны прослеживаться до национальных или международных стандартов, например, с помощью первичного эталонного образца.

7. Сертификат калибровки

Содержание

Идентификация референтного блока (Reference Block Identification): например, серийный номер (Serial Number).

Шкала (Scale / Scale) и значение твердости (Hardness Value / Hardness Value): например HRC 60,2 \pm 0,3.

Однородность: максимальная разница между точками измерения.

Неопределенность: например, $\pm 0,4$ HR.

Дата калибровки (Дата калибровки / Дата калибровки) и срок действия (Срок действия / Срок действия): Обычно 2 года.

о калибровочной лаборатории : название, адрес и статус аккредитации ISO/IEC 17025.

Пример :

Эталонный образец, серийный номер 12345, шкала HRC, значение твердости 60,1 \pm 0,3, однородность 0,4 HR, неопределенность $\pm 0,4$ HR, дата калибровки 31 мая 2025 г., действителен до 31 мая 2027 г.

8. Точность и предвзятость

Точность : внутри лаборатории (внутри лаборатории / повторяемость) $< 0,3$ HR, между

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

лабораториями (между лабораториями / воспроизводимость) <0,5 HR.

Смещение : может быть вызвано неоднородностью поверхности эталонного образца, ошибкой испытательной машины или условиями окружающей среды и требует строгого контроля процесса калибровки.

9. Применимость и ограничения

Применимость : Подходит для калибровки эталонных образцов твердости по Роквеллу, обеспечивая точность и прослеживаемость испытаний на твердость, а также широко используется для проверки твердости подложек с термическим напылением.

Ограничения :

Не подходит для эталонных мер твердости, отличных от Роквелла.

Чрезмерное использование эталонного блока (Количество использований / Количество использований) может привести к износу поверхности (Износ поверхности / Износ поверхности) и потребовать регулярной повторной калибровки (Повторная калибровка / Повторная калибровка).

Краткое содержание

ISO 6508-3:2015 "Металлические материалы — Испытание твердости по Роквеллу — Часть 3: Калибровка эталонных образцов / Металлические материалы — Испытание твердости по Роквеллу — Часть 3: Калибровка эталонных образцов" предоставляет метод калибровки эталонных образцов твердости по Роквеллу, чтобы гарантировать точность и прослеживаемость их значений твердости. Он подходит для проверки результатов испытаний на твердость металлических материалов (например, подложек с покрытием WC-Co).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

ISO 18265:2013 — Металлические материалы
— Пересчет значений твердости
Металлические Материалы
— Пересчет значений твердости

1. Область применения

1.1 Настоящий стандарт устанавливает методы перевода (методы преобразования) значений твердости (значений твердости) металлических материалов (металлических материалов) между различными шкалами твердости (шкалами твердости).

Применимые объекты : сталь, чугун, цветные металлы и подложка с покрытием, нанесенным методом термического напыления (например, подложка с покрытием WC-Co).

Цель : предоставить таблицы преобразования (таблицы преобразования / формулы преобразования) между шкалами твердости для использования при сравнении материалов (сравнение материалов / сравнение материалов) и контроле качества (контроль качества / контроль качества).

1.2 Настоящий стандарт охватывает следующие шкалы твердости:

Твёрдость по Роквеллу (Rockwell Hardness): HRA, HRB, HRC, HR15N и т.д.

Твёрдость по Бринеллю (HBW): (например, HBW 10/3000).

Твёрдость по Виккерсу (Vickers Hardness): HV (например, HV 10).

Твёрдость по Кнупу (Кнуп Твёрдость) : HK.

1.3 Настоящий стандарт не распространяется на неметаллические материалы или материалы, подвергнутые специальной термической обработке, если не указано иное.

2. Нормативные ссылки

В настоящем стандарте имеются ссылки на следующие документы, и их пункты становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки на них в настоящем стандарте:

ISO 6506-1:2014 — Металлические материалы. Испытание на твердость по Бринеллю. Часть 1. Метод испытания

ISO 6507-1:2018 — Металлические материалы. Испытание на твердость по Виккерсу. Часть 1. Метод испытания.

ISO 6508-1:2016 — Металлические материалы. Испытание на твердость по Роквеллу. Часть 1. Метод испытания

ISO 4545-1:2017 — Металлические материалы. Испытание на твердость по Кнупу. Часть 1. Метод испытания

Примечание : если имеется пересмотренная версия, применяется последняя версия.

3. Термины и определения

В настоящем стандарте используются следующие термины и определения:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

значения твердости : процесс преобразования измеренного значения (измеренного значения) одной шкалы твердости в значение другой шкалы твердости.

Шкала твердости : метод выражения значений твердости, соответствующий определенному методу испытания на твердость, например HRC, HBW и HV.

Таблица преобразования : таблица значений твердости, основанная на экспериментальных данных или теоретических моделях.

Неопределенность : ошибка, которая может быть внесена в процесс преобразования значения твердости, выраженная в единицах измерения твердости (например, HR, HV).

4. Принципы обращения

Классификация материалов

При преобразовании твердости необходимо учитывать тип материала (тип материала / тип материала), например, низкоуглеродистая сталь (низкоуглеродистая сталь / низкоуглеродистая сталь), легированная сталь (легированная сталь / легированная сталь), алюминиевый сплав (алюминиевый сплав / алюминиевый сплав).

Различные материалы имеют различные коэффициенты преобразования.

Условия испытания :

Значение твердости следует измерять при тех же условиях (Same Conditions), таких как температура (Temperature) $23 \pm 5^\circ\text{C}$ и шероховатость поверхности (Surface Roughness) $Ra \leq 0,8$ мкм .

Испытательная сила (испытательная сила / испытательное усилие) и индентор (индентор / индентор) должны соответствовать соответствующим стандартам испытаний на твердость (например, ISO 6508-1).

Неопределенность

Погрешность преобразованного значения обычно составляет $\pm 5\%$ (в зависимости от масштаба и материала).

Преобразованные значения приведены только для справки (For Reference Only) и не являются заменой прямого измерения (Direct Measurement).

5. Таблицы преобразования

1 : Преобразование твердости для стали

Пример:

ЧРК	HBW (10/3000)	ВВ (10)
20	238	240
40	392	420
60	654	720

Таблица 2: Преобразование твердости для чугуна (Преобразование твердости для чугуна / Преобразование твердости для чугуна) :

Пример:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ХРБ HBW (10/3000)

50	149
80	228

Таблица 3: Преобразование твердости для цветных металлов (Преобразование твердости для цветных металлов / Преобразование твердости для цветных металлов) :

Пример:

ХРБ	ВВ (5)
40	75
70	130

Примечание (Примечание / Примечание) :

Полная таблица пересчета приведена в Приложении к стандарту.

Таблицы преобразования основаны на обширных экспериментальных данных и подходят для общего использования.

6. Формулы преобразования

Пример формулы :

Перевод из HRC в HV (низкоуглеродистая сталь):

$$HV = 100 \times (HRC + 10) / 3$$

Перевод из HBW в HRC (легированная сталь):

$$HRC = 0,087 \times HBW - 5,5$$

Область применения :

Формула применима к определенному диапазону твердости (Specific Hardness Range), например HRC 20-60.

Вам необходимо выбрать соответствующую формулу в зависимости от типа материала.

Неопределенность

Погрешность формулы преобразования обычно составляет $\pm 8\%$ в зависимости от материала и диапазона твердости.

7. Меры предосторожности при использовании таблиц преобразования

Постоянство материала

Убедитесь, что тип материала до и после преобразования является постоянным (постоянный тип материала / тип материала является постоянным), например, избегайте преобразования HRC низкоуглеродистой стали в HV высоколегированной стали.

Условия испытания :

Значение твердости должно быть измерено в стандартных условиях (Измерено в стандартных условиях / Измерено в стандартных условиях), если испытательная сила, индентор и качество поверхности (Качество поверхности / Качество поверхности) соответствуют требованиям.

Ограничения конвертации :

Преобразованные значения могут иметь отклонения из-за различий в микроструктуре.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Для высокой твердости (HRC>60) или низкой твердости (HRB<20) погрешность преобразования больше (Большая погрешность).

8. Отчет

Содержание

Исходное значение твердости: например, HRC 55,0.

Конвертированное значение твердости: например, HV 580.

Тип материала: например, легированная сталь.

Таблица преобразования или используемая формула: см. Таблицу 1.

Неопределенность (Uncertainty): например $\pm 5\%$.

Дата осмотра (Inspection Date) и Оператор (Operator).

Пример :

Легированная сталь, исходное значение HRC 55,0, преобразованное в HV 580 с использованием Таблицы 1, погрешность $\pm 5\%$, дата xx / xx / 2025.

9. Точность и предвзятость

Точность : повторяемость преобразованного значения зависит от точности исходного измерения, которая обычно составляет $<\pm 3\%$.

Предвзятость :

Это может быть вызвано различиями в микроструктуре материала (Material Microstructure / Material Microstructure), условиях термообработки (Heat Treatment Condition / Thermo Treatment Condition) или условиях испытаний (Test Condition / Test Conditions).

Диапазон отклонения обычно составляет от $\pm 5\%$ до $\pm 10\%$.

10. Применимость и ограничения

Применимость : Подходит для преобразования значений твердости стали, чугуна и цветных металлов, а также широко используется для сравнения твердости подложек с термическим напылением.

Ограничения :

Не подходит для неметаллических материалов.

Специальные термообработанные материалы (например, закаленные и отпущенные) следует использовать с осторожностью (Использовать с осторожностью).

Преобразованные значения приведены только для справки, предпочтительным является прямое измерение.

Краткое содержание

ISO 18265:2013 "Металлические материалы. Преобразование значений твердости" предоставляет метод преобразования значений твердости металлических материалов между различными шкалами (такими как Роквелл, Бринелль, Виккерс), включая таблицы преобразования и формулы. Он подходит для контроля качества и сравнения материалов, но следует отметить его ограничения.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

Твердость по Роквеллу, твердость по Бринеллю, твердость по Виккерсу, твердость по Кнупу таблица соотношений

Сравнительная таблица твердости по Роквеллу, Бринеллю, Виккерсу и Кнупу

Аспект	Твердость по Роквеллу	Твердость по Бринеллю	Твердость по Виккерсу	Твердость по Кнупу
Определение	Начальная и полная испытательная сила прикладывается индентором, а остаточная глубина вдавливания измеряется для расчета значения твердости в единицах HR (например, HRC).	Испытательное усилие прикладывается стальным шариковым индентором, измеряется диаметр отпечатка и рассчитывается значение твердости в единицах HBW (например, HBW 10/3000).	Испытательное усилие прикладывается с помощью алмазного четырехугольного пирамидального индентора, а диагональная длина отпечатка измеряется для расчета значения твердости (в HV).	Испытательное усилие прикладывается с помощью длинного алмазного пирамидального индентора, а диагональная длина отпечатка измеряется для расчета значения твердости в HK (например, HK 0,5).
Стандарт	ИСО 6508-1:2016	ИСО 6506-1:2014	ИСО 6507-1:2018	ИСО 4545-1:2017
Индентор	Алмазный конус (120°, радиус наконечника 0,2 мм) или стальной шарик (1/16, 1/8, 1/4 дюйма).	Шарик из карбида вольфрама, обычно диаметром 10 мм, 5 мм и 2,5 мм.	Алмазная пирамида с углом при вершине 136°.	Алмазно-ромбическая пирамида с вертикальным углом при вершине 172,5° и горизонтальным углом при вершине 130°.
Испытательная сила	Обычный: начальное усилие 10 кгс, полное усилие 60, 100, 150 кгс; Мелкий слой: начальное усилие 3 кгс, суммарное усилие 15, 30, 45 кгс.	Обычно используются: 500, 1000, 3000 кгс (например, HBW 10/3000 означает шарик диаметром 10 мм, 3000 кгс).	Обычно используется: 1-100 кгс (например, HV 10 означает 10 кгс), может быть всего 0,01 кгс.	Обычно используется: 0,01-2 кгс (например, HK 0,5 означает 0,5 кгс).
Метод измерения	Измерьте остаточную глубину вдавливания (глубину вдавливания) с шагом 0,002 мм и непосредственно считайте значение HR.	Измерьте диаметр отпечатка в мм и рассчитайте его по формуле: $HBW = 2F / (\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2}))$.	Измерьте длину диагонали углубления в мм и рассчитайте ее по формуле: $HV = 1,8544F / d^2$.	Измерьте длину длинной диагонали углубления в мм и рассчитайте ее по формуле: $HK = 14,229F / L^2$.
Диапазон твердости	ХРА 20-88, ХРБ 20-100, ХРЦ 20-70, ХР15Н 70-94	HBW 8-650 (в зависимости от испытательной силы и	HV 1-3000 (в зависимости от испытательной силы).	HK 10-1000 (в зависимости от

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

	и т.д.	диаметра шарика).		испытательной силы).
Применимые материалы	Металлические материалы (например, сталь, чугун, основания с термическим напылением), особенно подходят для материалов высокой твердости (HRC) и материалов средней твердости (HRB).	Металлические материалы (такие как сталь, чугун, алюминиевый сплав), подходят для более мягких материалов и крупных образцов.	Металлы, керамика, покрытия (например, наносимые методом термического напыления), подходят для широкого спектра материалов различной твердости, включая тонкие слои.	Металлы, керамика, тонкие слои, хрупкие материалы (например, стекло), особенно подходит для микрон.
Требования к образцам	Поверхность ровная, Ra≤0,8 мкм, толщина ≥0,5 мм (мелкий слой) или ≥1,0 мм (обычный).	Поверхность плоская, Ra≤1,6 мкм, а толщина ≥8 раз больше глубины отпечатка (обычно ≥6 мм).	Поверхность плоская, Ra≤0,4 мкм, а толщина составляет ≥1,5 длины диагонали углубления (обычно ≥0,2 мм).	Поверхность ровная, Ra≤0,2 мкм, толщина ≥0,1 мм, подходит для мелких образцов.
Время теста	Быстро, 5-10 секунд	Более медленный, 10-15 секунд, требует дополнительного времени измерения.	Средний, 10-15 секунд, требуется измерение по диагонали	Средний, 10-15 секунд, требуется длинная диагональная линия
Форма углубления	Круглый (стальной шар) или конический (алмазный конус).	Круговой.	Квадратная форма.	Ромб с соотношением длины к ширине примерно 7:1.
Преимущества	Простое управление. Прямое считывание значения твердости. Подходит для производственных площадок.	Подходит для широкого диапазона твердости (широкий диапазон для твердости, большой отпечаток, высокая репрезентативность).	Широкий диапазон применения. Может тестировать тонкие слои. Постоянная геометрия индентирования	Подходит для микрон. Подходит для хрупких материалов. Неглубокое углубление, меньше повреждений.
Недостатки	- Высокие требования к качеству поверхности / - Высокие требования к качеству поверхности. - Различные шкалы нельзя сравнивать напрямую (Шкалы не сопоставимы напрямую / Шкалы нельзя сравнивать напрямую).	Большие вмятины, повреждают образец. Не подходит для тонких или твердых материалов.	- Требуется оптическое измерение / Требуется оптическое измерение. - Чувствителен к шероховатости поверхности Чувствителен к шероховатости поверхности.	- Требуется оптическое измерение / Требуется оптическое измерение. - Асимметричное углубление, сложное измерение / Асимметричное углубление, сложное измерение.
Приложения	Подложки с термическим	Литье, поковки, испытание	Покрyтия, наносимые	Испытание

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	напылением (например, подложки WC-Co), сталь, испытание на твердость механических деталей (механические детали / механические детали).	на твердость более мягких металлов.	методом термического напыления, тонкие пленки, поверхностно-упрочненные слои.	микротвердости микродеталей, покрытий, керамики и стекла.
Неопределенность	$\pm 0,5$ ЧСС (обычный) или $\pm 0,8$ ЧСС (поверхностный).	$\pm 5\%$ (в зависимости от материала и диапазона твердости).	$\pm 3\%$ (в зависимости от испытательной силы и материала).	$\pm 5\%$ (в зависимости от испытательной силы и материала).
Отношения преобразования	- HRC 20 \approx HBW 238 \approx HV 240 \approx HK 255 - HRC 40 \approx HBW 392 \approx HV 420 \approx HK 445 - HRC 60 \approx HBW 654 \approx HV 720 \approx HK 760	- HBW 238 \approx HRC 20 \approx HV 240 \approx HK 255 - HBW 392 \approx HRC 40 \approx HV 420 \approx HK 445 - HBW 654 \approx HRC 60 \approx HV 720 \approx HK 760	- HV 240 \approx HRC 20 \approx HBW 238 \approx HK 255 - HV 420 \approx HRC 40 \approx HBW 392 \approx HK 445 - HV 720 \approx HRC 60 \approx HBW 654 \approx HK 760	- HK 255 \approx HRC 20 \approx HBW 238 \approx HV 240 - HK 445 \approx HRC 40 \approx HBW 392 \approx HV 420 - HK 760 \approx HRC 60 \approx HBW 654 \approx HV 720

Заметки о конверсии

Применимый материал : Приведенное выше соотношение преобразования применимо к стали (Сталь) на основе таблицы преобразования и экспериментальных данных стандарта ISO 18265:2013.

Неопределенность : Неопределенность преобразованного значения составляет приблизительно $\pm 5\%$. Микроструктура материала (Микроструктура / микроструктура) и условия испытаний (Условия испытаний / условия испытаний) должны учитываться при фактическом использовании.

Рекомендация по использованию : преобразованное значение приведено только для справки (Только для справки / Только для справки), рекомендуется прямое измерение (Прямое измерение / Прямое измерение).

Пример :

HRC 40 \approx HBW 392 \approx HV 420 \approx HK 445, что означает, что для стальных материалов твердость по Роквеллу HRC 40 можно преобразовать в твердость по Бринеллю HBW 392, твердость по Виккерсу HV 420 и твердость по Кнупу HK 445.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Оглавление

Часть 2: Процесс приготовления твердого сплава

Глава 6: Технология покрытий и композитов

6.1 Подготовка покрытия из твердого сплава

6.1.1 Высокоскоростное напыление кислородного топлива (HVOF, твердость покрытия HV 1200-1500)

6.1.2 Плазменное напыление (ПН) и детонационное напыление

6.2 Материалы покрытия

6.2.1 Оптимизация состава покрытий WCCo и WCNiCr

6.2.2 Многофазное композитное покрытие (WCTiCNi)

6.3 Градиентные и наноструктурированные цементированные карбиды

6.3.1 Интерфейсная инженерия градиента WCCo

6.3.2 Подготовка и проблемы Nano-WC (<100 нм)

6.4 Испытание эксплуатационных характеристик покрытия

6.4.1 Прочность сцепления (50-80 МПа) и пористость (<1%)

6.4.2 Износостойкость (ASTM G65, скорость износа <0,06 мм³/Н · м)

приложение:

Что такое цементированное карбидное покрытие?

Технология высокоэнергетического напыления цементированного карбида (DGS)

Технология плазменного напыления цементированного карбида (APS, атмосферное плазменное напыление)

Высокоскоростное напыление кислородного топлива (HVOF) для твердого сплава

Вакуумно-плазменное напыление цементированного карбида (VPS, вакуумно-плазменное напыление)

Проектирование карбидного интерфейса

Технология модификации поверхности цементированного карбида

Применение нанокompозитного покрытия из цементированного карбида в электролитической ячейке

Что такое цементированный карбид с нанопокрывением?

Что такое градиентный карбид?

Технология и применение градиентного карбидного горного резца

Применение твердого сплава в авиационных соплах

ISO 14923:2003 Термическое напыление. Характеристика и испытания покрытий, наносимых методом термического напыления.

Канат для газопламенного и дугового напыления - Классификация - Технические условия поставки

ASTM C633-13(2017) Стандартный метод испытаний на прочность сцепления или когезии покрытий, нанесенных методом термического напыления

ASTM E2109-01(2014) Стандартный метод испытаний для определения процента видимой

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

пористости покрытий, нанесенных методом термического напыления
EN 657:2005 Термическое напыление. Терминология и классификация
EN 13507:2018 Термическое напыление. Подготовка поверхности металлических деталей и узлов.
GB/T 18719-2002 Порошок для термического напыления
GB/T 17391-2008 Метод испытания адгезии газотермических покрытий
AMS 2437: Спецификация процесса HVOF
ISO 3252:2019 Порошковая металлургия — Словарь
ISO 14923:2003 Термическое напыление. Характеристика и испытания термически напыляемых покрытий.
ISO 4505:2017 Металлические материалы. Испытание на твердость. Метод испытания
Металлические материалы -- Испытания на твердость -- Методы испытаний
ASTM E2283- 08(2019) Стандартная практика для анализа экстремальных значений неметаллических включений в стали и других микроструктурных особенностей
Стандартная практика для анализа экстремальных значений неметаллических включений в стали и других микроструктурных особенностей
EN 13204:2017 Термическое напыление. Порошки. Состав, технические условия поставки
Термическое напыление - Порошки - Состав, технические условия поставки
GB/T 5242-2007 «Термическое напыление — Проволока и прутки»
Термическое напыление - Проволока и прутки
GB/T 3489-2012 Термическое напыление. Металлографическое исследование покрытий, полученных методом термического напыления.
GB/T 38511-2020 Термическое напыление. Порошки. Состав, технические условия поставки
Термическое напыление. Порошки. Состав, технические условия поставки
ASME B46.1-2009 Текстура поверхности (шероховатость поверхности, волнистость и наслоение)
Текстура поверхности (шероховатость, волнистость и плоскостность поверхности)
EN 10204:2004 Изделия металлические. Виды документов по контролю
Металлические изделия - Типы документов по инспекции
ISO 6508-1:2016 Металлические материалы. Испытание на твердость по Роквеллу. Часть 1. Метод испытания
Металлические материалы. Испытание на твердость по Роквеллу. Часть 1. Метод испытания.
ISO 6508-2:2015 Металлические материалы. Испытание на твердость по Роквеллу
— Часть 2: Проверка и калибровка испытательных машин
Металлические материалы. Испытание на твердость по Роквеллу. Часть 2. Проверка и калибровка испытательных машин.
ISO 6508-3:2015 Металлические материалы. Испытание на твердость по Роквеллу
— Часть 3: Калибровка эталонных образцов
Металлические материалы — испытание на твердость по Роквеллу — Часть 3: Калибровка эталонных образцов
ISO 18265:2013 — Металлические материалы. Преобразование значений твердости

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Металлические материалы - Преобразование значений твердости

Таблица коэффициентов твердости по Роквеллу, Бринеллю, Виккерсу и Кнупу



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