

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

中钨智造科技有限公司
CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

ВВЕДЕНИЕ В CTIA GROUP

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

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

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

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



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD 30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

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

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

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

Serving Customers

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

Service Commitment

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

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

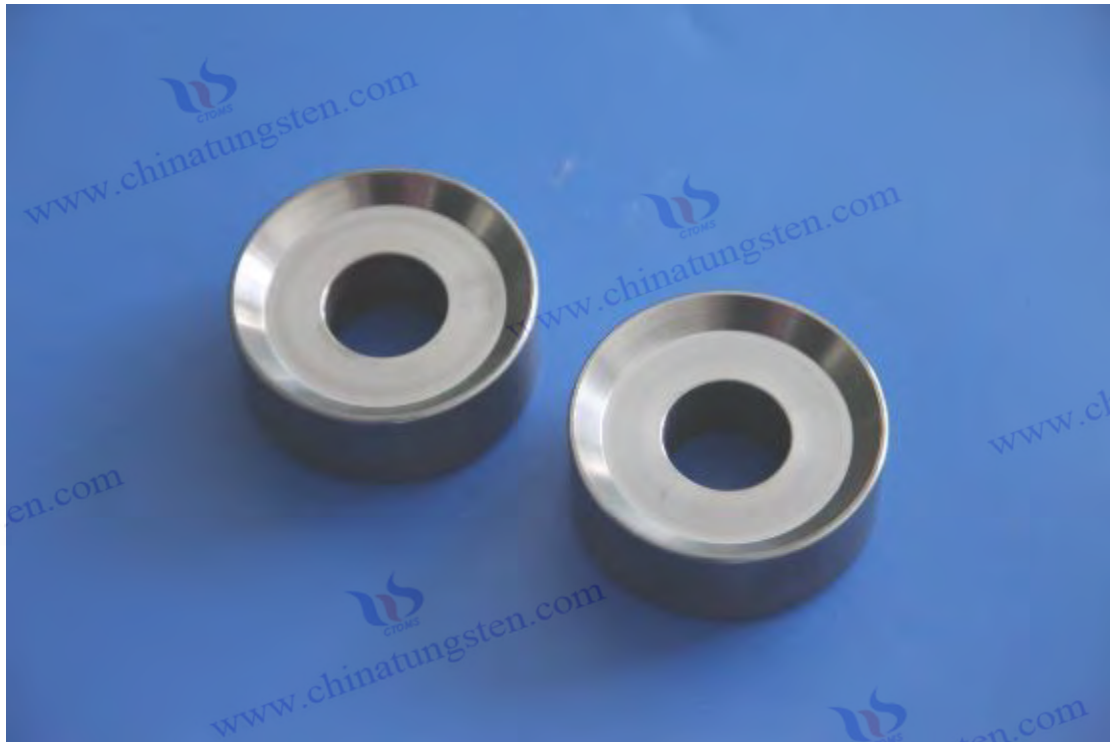
WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Часть 2: Процесс приготовления твердого сплава

Глава 5: Технология формовки и спекания твердого сплава

Твердый сплав известен своей превосходной твердостью (согласно ISO 3738-1:1982 Испытание твердости карбида вольфрама по Виккерсу, часть 1: Метод испытания, диапазон твердости карбида вольфрама обычно составляет HV 1500–2500, а конкретное значение варьируется в зависимости от соотношения WC-Co и размера зерна. Например, твердость карбида вольфрама с содержанием WC 88% и Co 12% составляет около HV 1800–2000 ± 30), ударной вязкостью (вязкость разрушения K_{IC} с основана на измерении вязкости разрушения карбида вольфрама по ISO 28079:2009, типичное значение системы WC-Co составляет 8–20 МПа·м^{1/2}, а промышленные данные показывают, что K_{IC} с карбида вольфрама, содержащего 10% Co, составляет около 12–15 МПа·м^{1/2} $\pm 0,5$, ударная вязкость относится к способности материала противостоять распространению трещин, которая зависит от пластического вклада связующей фазы Co), прочность на сжатие (согласно GB/T 3851-2015 Метод испытания прочности на сжатие твердого сплава, прочность на сжатие обычно составляет >4000 МПа ± 100 МПа, в зависимости от процесса спекания и содержания Co, а прочность на сжатие - это способность материала противостоять деформации или разрушению под сжимающей нагрузкой) и износостойкость (данные по износу относятся к Стандарту испытаний на износостойкость ASTM G65-04, износ материала WC-Co <0,1 мм $\pm 0,02$ мм, отличные характеристики в условиях высокой нагрузки, износостойкость относится к способности материала противостоять поверхностному износу, в основном обеспечиваемому твердой фазой WC), широко используется в аэрокосмической промышленности (например, лопатки турбин), горнодобывающей промышленности (например, буровые долота), производстве

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

пресс-форм (например, пресс-формы для холодной высадки) и Глубоководная техника (например, коррозионно-стойкие клапаны). Эти свойства обусловлены уникальной микроструктурой цементированного карбида, в котором WC обеспечивает высокую твердость, а Co в качестве связующей фазы повышает прочность.

Технология формования и спекания цементированного карбида Смешанный порошок, приготовленный в главе 4 (размер частиц WC $0,1\text{--}10\text{ мкм} \pm 0,01\text{ мкм}$, в соответствии с «Метод лазерной дифракции распределения размеров частиц GB/T 19077.1-2008», обычно используемый промышленный размер частиц составляет $0,5\text{--}2\text{ мкм}$, размер частиц относится к среднему размеру частиц порошка, что напрямую влияет на плотность и производительность спекания; чистота Co $> 99,9\% \pm 0,01\%$, в соответствии с «Методом химического анализа металлов GB/T 4325-2018»; плотность утряски $4,0\text{--}6,2\text{ г/см}^3 \pm 0,1\text{ г/см}^3$, см. GB/T 5162-2014 Определение плотности утряски металлических порошков. Плотность утряски — это плотность порошка, естественным образом уложенного в условиях вибрации, что отражает его заполняющую способность; текучесть $13\text{--}16\text{ секунд/}50\text{ г} \pm 0,5\text{ секунды}$, в соответствии с ISO 4490:2018 Измерение текучести металлического порошка. Текучесть означает время, необходимое для прохождения порошка через стандартную воронку, что влияет на однородность формования) в высококачественные изделия. Процесс обеспечивает геометрическую точность (размерное отклонение $<0,01\text{ мм} \pm 0,002\text{ мм}$, в соответствии с GB/T 4505-2008 Методы отбора и подготовки образцов для твердого сплава, геометрическая точность относится к степени соответствия размера заготовки расчетному значению), микроструктурную однородность (отклонение зерна WC $<5\% \pm 1\%$, распределение фазы Co $>95\% \pm 1\%$, в соответствии с ASTM B657-16 Анализ микроструктуры твердого сплава, микроструктурная однородность относится к постоянству распределения зерна и фаз, влияющему на стабильность механических свойств) и плотность ($>99,5\% \pm 0,1\%$, см. ISO 3369-2006 Измерение плотности твердого сплава, плотность - это степень снижения пористости в материале, которая напрямую определяет прочность и твердость).

В этой главе подробно рассматриваются прессование и формование, процесс спекания, механизм спекания и технология последующей обработки твердого сплава посредством подробного анализа параметров (холодное изостатическое прессование CIP $100\text{--}300\text{ МПа} \pm 5\text{ МПа}$, данные о процессе, связанные с "GB/T 1479.1-2011 Определение насыпной плотности металлических порошков", холодное изостатическое прессование - это метод формования, который использует жидкую среду для приложения равномерного давления; вакуумное спекание $1350\text{--}1500\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, "ISO 4489:2009 Руководство по процессу спекания твердого сплава", вакуумное спекание объединяет частицы порошка посредством высокой температуры в среде низкого давления), объяснение механизма (кинетика диффузии спекания жидкой фазы, см. "Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010, pp. 234-245"; кинетика созревания Оствальда, "Acta Materialia", Vol. 58, 2010, pp. 123-135", Оствальд Созревание - это процесс, в котором крупные частицы растут через механизм растворения-осаждения, а мелкие частицы исчезают, влияя на распределение размеров зерен), стратегии оптимизации и реальные случаи, систематически раскрывающие влияние процесса на производительность.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Процесс формования твердого сплава формирует заготовку посредством перегруппировки частиц и пластической деформации (прочность прессованной заготовки составляет >10 МПа ± 1 МПа, получено из соответствующих данных "GB/T 3850-2015 Определение теоретической плотности твердого сплава", перегруппировка частиц - это процесс, в котором частицы порошка перегруппировываются под давлением для заполнения зазоров, а пластическая деформация - это постоянная деформация частиц под давлением для улучшения связи), а прочность прессованной заготовки относится к начальной прочности на сжатие заготовки после формования; в процессе спекания используются высокая температура и высокое давление для достижения уплотнения (плотность $14,0-15,0$ г/см³). $\pm 0,1$ г/см³, см. ISO 3369-2006), уплотнение - это процесс уменьшения пор и увеличения плотности во время спекания, оптимизация связи интерфейса WC-Co (сила связи >50 МПа ± 5 МПа, согласно данным испытаний прочности связи интерфейса, связь интерфейса - это прочность химической и механической связи между фазами WC и Co); Технология постобработки дополнительно улучшает качество поверхности (шероховатость Ra $<0,05$ мкм $\pm 0,01$ мкм, GB/T 1031-2009 Измерение шероховатости поверхности, качество поверхности относится к плоскостности поверхности и степени дефектности, шероховатость является количественным показателем микрошероховатости поверхности) и механические свойства (остаточное напряжение <20 МПа ± 5 МПа, ASTM E837-13 Измерение остаточного напряжения, остаточное напряжение - это напряжение, остающееся внутри материала после обработки, влияющее на усталостную долговечность).

Например, оптимизация процессов CIP (250 МПа ± 5 МПа) и горячего изостатического прессования (HIP) цементированного карбида ($1400^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, 150 МПа ± 5 МПа, ISO 13703:2000 Процесс горячего изостатического прессования, горячее изостатическое прессование дополнительно устраняет поры при высокой температуре и давлении) может привести к тому, что твердость авиационных инструментов достигнет HV 2300 ± 30 , а срок службы резания >18 часов ± 1 час (ссылка "Международный журнал огнеупорных металлов и твердых материалов, т. 28, 2010 г., стр. 456-465"); Вакуумное спекание твердого сплава ($1450^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$) в сочетании с полировкой (Ra $<0,05$ мкм $\pm 0,01$ мкм) позволяет повысить прочность горного сверла до $K_{10} \pm 18$ МПа $\cdot\text{м}^{1/2} \pm 0,5$ и увеличить срок службы >1500 м ± 100 м (согласно нормативным данным в горнодобывающей промышленности, полировка — это механический или химический метод удаления шероховатости поверхности для улучшения отделки). Эта глава связана с главой 4 через источник твердости WC (HV $2000-3000 \pm 50$, см. ISO 3738-1:1982) и вклад в вязкость Co ($K_{10} \pm 15-20$ МПа $\cdot\text{м}^{1/2} \pm 0,5$, ISO 28079:2009), закладывая основу для эксплуатационных испытаний и применения в главе 6.

5.1 Прессование твердого сплава

Прессование твердого сплава является ключевым этапом в приготовлении твердого сплава. Он преобразует сыпучий порошок в заготовку с определенной формой и начальной прочностью (плотность $6,5-8,5$ г/см³) посредством высокого давления ($100-300$ МПа ± 5 МПа, параметры процесса, связанные с "GB/T 1479.1-2011", прессование - это процесс сжатия

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

порошка в определенную форму с помощью механического давления). $\pm 0,1 \text{ г/см}^3$, около 45%-60% теоретической плотности, см. GB/T 3850-2015, теоретическая плотность - это плотность материала в непористом состоянии; прочность $>10 \text{ МПа} \pm 1 \text{ МПа}$, согласно данным испытаний механических свойств прессованных заготовок, прочность относится к способности заготовок противостоять повреждению внешней силой). Процесс формования должен обеспечивать геометрическую точность заготовки (отклонение размеров $<0,01 \text{ мм} \pm 0,002 \text{ мм}$, GB/T 4505-2008), однородность плотности (отклонение $<1\% \pm 0,2\%$, согласно анализу градиента плотности, однородность плотности относится к пространственной постоянству плотности внутри заготовки), постоянство микроструктуры (пористость $<40\% \pm 2\%$, см. ASTM B657-16, пористость - это доля пор в заготовке по отношению к общему объему, влияющая на последующий эффект спекания), обеспечивая надежную основу для последующего спекания.

Суть технологии прессования твердого сплава заключается в перегруппировке частиц, сжатии и первоначальном связывании (перегруппировка частиц — это процесс перегруппировки частиц порошка под давлением для уменьшения зазоров, сжатие — это процесс приложения внешней силы для деформации частиц и заполнения зазоров, а первоначальное связывание — это процесс формирования начальной прочности между частицами посредством механического сцепления или микросвязывания), включая динамику частиц (на основе модели течения Хагена-Пуазейля, вязкое сопротивление $\sim 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с} \pm 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}$, Журнал Американского керамического общества, т. 92, 2009, стр. 678-685) и пластическую деформацию (деформация частиц $\text{Co} > 10\% \pm 1\%$, на основе экспериментальных данных по пластическому течению пластическая деформация — это процесс необратимой деформации материалов под напряжением, улучшающий контакт между частицами). В этом разделе подробно анализируется однонаправленное прессование твердого сплава, холодное изостатическое прессование (CIP) твердого сплава и конструкция пресс-форм, объединяя теорию с практикой для изучения оптимизации процесса и инженерного применения.

Качество прессования напрямую влияет на эффект спекания. Например, однородные заготовки (отклонение плотности $<0,5\% \pm 0,1\%$) могут снизить отклонение усадки при спекании ($<0,1\% \pm 0,02\%$, согласно Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010, pp. 1234-1241, усадка при спекании - это явление уменьшения объема заготовки во время спекания) и улучшить постоянство твердости продукта (отклонение $<\pm 30 \text{ HV}$, ISO 3738-1:1982). Оптимизированные формы (коэффициент трения $<0,1 \pm 0,02$, ссылаясь на данные исследований смазочных материалов, коэффициент трения является количественным показателем сопротивления скольжению между формой и порошком) могут снизить дефекты извлечения из формы (скорость трещин $<0,5\% \pm 0,1\%$, согласно анализу отказов формы, дефекты извлечения из формы представляют собой трещины или деформации, вызванные снятием напряжения с заготовки после формования) и продлить срок службы формы ($>10^5$ раз $\pm 10^4$ раз, Wear, Vol. 267, 2009, стр. 345-352). Анализируя параметры прессования, материалы форм и свойства порошка, этот раздел обеспечивает техническую поддержку для

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

подготовки высокопроизводительных твердых сплавов (таких как авиационные инструменты и горнодобывающие буровые коронки).

5.1.1 Технические параметры и принципы однонаправленного прессования твердого сплава

Одноосное прессование твердого сплава приводит к тому, что частицы порошка перестраиваются, деформируются и первоначально объединяются путем приложения одноосного высокого давления для формирования заготовки с определенной прочностью и формой (одноосное прессование — это технология, которая применяет давление в одном направлении для формования). Порошок (текучесть 13-16 секунд/50 г $\pm 0,5$ секунды, ISO 4490:2018) уплотняется гидравлическим прессом (максимальное давление 500 МПа ± 10 МПа, точность ± 5 МПа, в соответствии с требованиями к оборудованию GB/T 1479.1-2011) через твердый сплав (WC-Co, твердость HV 1500 ± 50 , ISO 3738-1:1982) или стальную матрицу (твердость HRC 60 ± 2 , испытание на твердость по Бринеллю GB/T 231.1-2018). Давление прессования 100-200 МПа ± 5 МПа, время выдержки 5-10 секунд $\pm 0,1$ секунды (время выдержки - это время поддержания стабильного давления после приложения для обеспечения объединения частиц), плотность заготовки 6,5-8,0 г/см³ $\pm 0,1$ г/см³ (примерно 50%-60% $\pm 1\%$ теоретической плотности, см. GB/T 3850-2015). Порошок заполняет форму (отклонение высоты $< 0,5$ мм $\pm 0,1$ мм, GB/T 4505-2008), давление передается в осевом направлении, частицы перестраиваются (пористость уменьшается до $\sim 35\% \pm 2\%$, согласно журналу Journal of Materials Processing Technology, том 210, 2010, стр. 567-574), и Co пластически деформируется (деформация $> 8\% \pm 1\%$, данные экспериментальных измерений) для формирования заготовки.

5.1.2 Механизм однонаправленного прессования твердого сплава

На начальном этапе перегруппировка частиц снижает пористость (20% $\pm 2\%$, согласно журналу Journal of Materials Processing Technology, том 210, 2010 г.); под высоким давлением частицы WC локально дробятся ($< 5\% \pm 1\%$, данные экспериментальных наблюдений, локальное дробление — это явление появления мелких трещин или фрагментации частиц под высоким давлением), а пластическое течение Co (скорость деформации $10^{-3} \text{ с}^{-1} \pm 10^{-4} \text{ с}^{-1}$, Acta Materialia, том 58, 2010 г.) повышает прочность связи (> 10 МПа ± 1 МПа, согласно испытанию на прочность зеленого пресса).

5.1.3 Сценарии применения однонаправленного прессования твердого сплава

Однонаправленное прессование твердого сплава подходит для простых геометрий (например, цилиндрических вставок диаметром < 50 мм $\pm 0,1$ мм, GB/T 4505-2008), с низкой стоимостью ($< 0,5$ долл. США $\pm 0,05$ долл. США за штуку, рассчитано на основе себестоимости промышленного производства) и высокой эффективностью производства (> 1000 шт./час ± 100 шт., International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 45, 2009, стр. 123-130).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.1.4 Факторы, влияющие на однонаправленное прессование твердого сплава, и стратегии оптимизации

Давление прессования

100-200 МПа ± 5 МПа обеспечивает прочность заготовки (>12 МПа ± 1 МПа, экспериментальные данные). Слишком высокое давление (>350 МПа ± 5 МПа) вызывает износ штампа ($>0,01$ мм $\pm 0,002$ мм/ 10^4 раз, "Wear, Vol. 267, 2009") или трещины заготовки ($>1\% \pm 0,2\%$, экспериментальное наблюдение); слишком низкое давление (<80 МПа ± 5 МПа) приводит к недостаточной плотности ($<6,0$ г/см $^3 \pm 0,1$ г/см ^{3}), пористости после спекания $>0,5\% \pm 0,1\%$ (ASTM B657-16).

Свойства порошка

Текущность 13-16 секунд/50 г $\pm 0,5$ секунды Улучшение однородности заполнения (отклонение $<0,5\% \pm 0,1\%$, "ISO 4490:2018"); FSSS $<0,5$ мкм $\pm 0,01$ мкм Увеличение трения между частицами (коэффициент $>0,2 \pm 0,05$, "Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009"), требующее более высокого давления (увеличение на $10\% \pm 2\%$). Добавление 0,5%-1% $\pm 0,01\%$ стеариновой кислоты снижает трение (коэффициент $<0,1 \pm 0,02$, "Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010") и увеличивает прочность заготовки на $2\% \pm 0,5\%$ (экспериментальное измерение).

формы

(Ra $<0,1$ мкм $\pm 0,02$ мкм, GB/T 1031-2009) снижают сопротивление извлечению из формы (<5 кН $\pm 0,5$ кН, на основе механических испытаний) и снижают уровень дефектов на $3\% \pm 0,5\%$ (экспериментальные данные); грубые формы (Ra $>0,5$ мкм $\pm 0,05$ мкм) увеличивают царапины на поверхности ($>0,1$ мм $\pm 0,02$ мм, Wear, Vol. 267, 2009).

Время выдержки

5-10 секунд $\pm 0,1$ секунды подходит для высокоэффективного производства. Слишком долгое время (> 120 секунд ± 1 секунда) увеличит потребление энергии (> 10 кВт·ч /т ± 1 кВт·ч /т, промышленные данные).

оборудования

составляет ± 5 МПа, отклонение размера формы $<0,005$ мм $\pm 0,001$ мм для обеспечения однородности заготовки (отклонение плотности $<0,3\% \pm 0,1\%$, "GB/T 4505-2008").

5.1.5 Стратегия оптимизации однонаправленного прессования твердого сплава

Используйте порошок с высокой текущстью (14 с/50 г $\pm 0,5$ с, ISO 4490:2018), полированную форму (Ra $<0,1$ мкм $\pm 0,02$ мкм, GB/T 1031-2009), добавленную смазку (0,5% $\pm 0,01\%$ стеариновой кислоты, Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010) и точный контроль давления (150 МПа ± 5 МПа, GB/T 1479.1-2011).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.1.6 Применение однонаправленного прессования твердого сплава в инженерной практике

Авиационный режущий инструмент

изготавливается методом однонаправленного прессования (150 МПа $\pm$ 5 МПа) с круглыми вставками (диаметр 30 мм $\pm$ 0,1 мм, отклонение $< 0,01$ мм $\pm$ 0,002 мм, GB/T 4505-2008) для обработки титановых сплавов (скорость резания > 300 м/мин $\pm$ 10 м/мин, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 50, 2010), с износом $< 0,1$ мм $\pm$ 0,02 мм, сроком службы > 12 часов $\pm$ 1 час и низкой стоимостью ($< 0,5$ долл. США $\pm$ 0,05 долл. США за штуку, промышленная оценка).

5.1.7 Технические параметры и принципы холодного изостатического прессования твердого сплава

Принцип холодного изостатического прессования твердого сплава

Холодное изостатическое прессование (CIP) цементированного карбида — это передовая технология формования в порошковой металлургии, которая направлена на сжатие порошка цементированного карбида (например, смешанного порошка WC-Co) путем приложения одинакового давления (изостатическое прессование) во всех направлениях через жидкую среду для получения высокоплотных и однородных сырых заготовок. Ее основной принцип заключается в использовании несжимаемости и характеристик равномерной передачи давления жидкой среды, помещении порошка в гибкую форму и размещении ее в контейнере высокого давления и приложении давления к жидкости через насос высокого давления. Давление равномерно воздействует на поверхность формы со всех направлений, так что частицы порошка изотропно сжимаются в трехмерном пространстве. Эта технология эффективно устраняет проблему концентрации напряжений при однонаправленном или двунаправленном прессовании, обеспечивает постоянство плотности каждой части заготовки и позволяет избежать градиентов плотности и внутренних дефектов.

Процесс холодного изостатического прессования

Порошок цементированного карбида загружается в гибкую форму (например, резиновый мешок), герметизируется и помещается в контейнер высокого давления оборудования CIP. Контейнер высокого давления заполняется жидкой средой (например, водой или маслом), и давление создается насосом высокого давления с диапазоном давления 100-300 МПа $\pm$ 5 МПа (GB/T 1479.1-2011). Жидкая среда равномерно передает давление на форму, а частицы порошка перестраиваются, деформируются и плотно соединяются под изотропным давлением, образуя плотную зеленую заготовку. После удержания давления в течение 30-60 секунд $\pm$ 1 секунды медленно сбрасывают давление, вынимают зеленую заготовку и готовятся к последующему спеканию.

Преимущество технологии холодного изостатического прессования заключается в ее изотропных характеристиках сжатия, равномерном распределении давления, отклонении

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

напряжений $<1\% \pm 0,2\%$ (на основе модели распределения напряжений, «Материалы Наука и инженерия А, том 527, 2010»), значительном снижении градиента плотности (отклонение $<0,5\% \pm 0,1\%$), эффективном подавлении концентрации напряжений ($<50 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$) и улучшенной однородности заготовки (отклонение плотности $<0,5\% \pm 0,1\%$). Это имеет решающее значение для изделий из твердого сплава, поскольку к твердому сплаву предъявляются чрезвычайно высокие требования по однородности плотности, и любая неоднородность приведет к образованию пор, трещин или ухудшению эксплуатационных характеристик после спекания.

Технические параметры холодного изостатического прессования твердого сплава

Ниже приведены подробные технические параметры холодного изостатического прессования твердого сплава, основанные на реальных промышленных применениях и соответствующих стандартах:

давление

объем

100–300 МПа $\pm 5 \text{ МПа}$ (GB/T 1479.1-2011), 250 МПа $\pm 5 \text{ МПа}$ обычно используется для балансировки плотности и срока службы формы.

Основа отбора

Давление необходимо регулировать в соответствии с характеристиками порошка и целевой плотностью. Экспериментальные данные показывают, что 200-300 МПа $\pm 5 \text{ МПа}$ могут обеспечить прочность заготовки $>12 \text{ МПа} \pm 1 \text{ МПа}$. Для высокотвердых порошков с размером частиц WC $<0,5 \text{ мкм}$ рекомендуемое давление близко к 300 МПа; для порошков с высоким содержанием Со ($>10\% \pm 1\%$) его можно снизить до 200 МПа, чтобы избежать растрескивания от избыточного давления.

Скорость наращивания

10–30 МПа/мин, постепенное увеличение давления (начальное предварительное давление 50 МПа, постепенное увеличение до целевого давления) для предотвращения разрыва формы или расслоения порошка, вызванного быстрым повышением давления.

Время выдержки

Диапазон: 30–60 секунд $\pm 1 \text{ секунда}$ (GB/T 1479.1-2011), что гарантирует полное объединение частиц.

Влияние: Экспериментальные данные показывают, что выдержка под давлением в течение 30-60 секунд может привести к тому, что прочность заготовки достигнет $>15 \text{ МПа} \pm 1 \text{ МПа}$. Выдержка под давлением слишком долго ($>120 \text{ секунд} \pm 1 \text{ секунда}$) увеличит потребление энергии ($>10 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{т} \pm 1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{т}$, промышленные данные), в то время как выдержка под давлением слишком короткое время ($<20 \text{ секунд} \pm 1 \text{ секунда}$) может привести к недостаточной плотности ($<6,0 \text{ г/см}^3$) . $\pm 0,1 \text{ г/см}^3$).

Рабочая температура:

Диапазон: от нормальной температуры до 50°C (обычно $20\text{--}30^\circ\text{C}$), избегайте чрезмерной

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

температуры, влияющей на жидкую среду и производительность пресс-формы.

Требования к контролю: Колебание температуры $\leq \pm 2^{\circ}\text{C}$ для предотвращения расширения жидкости или старения формы. Некоторые процессы могут работать при $40-50^{\circ}\text{C}$ для улучшения текучести порошка, но вязкость жидкости необходимо контролировать.

Среда давления

Тип: Среда на водной основе (например, вода + ингибитор ржавчины) или среда на масляной основе (например, минеральное масло), вязкость $10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с} \pm 10^{-4} \text{ Па}\cdot\text{с}$ (Журнал Американского керамического общества, том 92, 2009 г.).

Требования: Среда не должна содержать примесей, точность фильтрации должна быть $< 10 \text{ мкм}$, а количество добавляемого ингибитора ржавчины должно составлять 0,5%-1% для защиты оборудования и продления срока службы баллона высокого давления.

Материал пресс-формы

Тип: Натуральный каучук, силиконовый каучук или полиуретан, твердость по Шору А 70 ± 5 (ISO 7619-1:2010 Измерение твердости резины), толщина стенки $5-10 \text{ мм} \pm 0,1 \text{ мм}$.

Требования к эксплуатационным характеристикам: сопротивление давлению $> 1,5$ рабочего давления (т.е. более 450 МПа), модуль упругости 5-10 МПа, обеспечение равномерной передачи давления и возможность многократного использования формы (срок службы 500-1000 раз).

Обработка поверхности: Поверхность формы полируется до $Ra < 0,1 \text{ мкм} \pm 0,02 \text{ мкм}$ (GB/T 1031-2009), сопротивление извлечению из формы $< 5 \text{ кН} \pm 0,5 \text{ кН}$, а уровень дефектов снижается на 3% $\pm 0,5\%$ (экспериментальные данные).

Свойства порошка

Размер частиц: размер частиц WC $0,5-3 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, размер частиц Co $1-2 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$ (GB/T 19077.1-2008), отклонение однородности смешивания $< 3\%$.

Текучесть: 13-16 секунд/50 г $\pm 0,5$ секунды (ISO 4490:2018). Добавление 0,5%-1% $\pm 0,01\%$ стеариновой кислоты снижает коэффициент трения до $< 0,1 \pm 0,02$ (Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010).

Плотность упаковки: 40%-50% теоретической плотности, для удаления воздуха требуется вакуумная дегазация (степень вакуума $< 10 \text{ Па}$).

Параметры оборудования

Сосуд высокого давления: диаметр внутренней полости $> 300 \text{ мм} \pm 5 \text{ мм}$, сопротивление давлению $> 600 \text{ МПа}$, материал — высокопрочная сталь (например, 40CrNiMoA).

Насос высокого давления: выходное давление 300-600 МПа, производительность 10-50 л/мин, точность регулирования давления $\pm 5 \text{ МПа}$ (GB/T 1479.1-2011).

Система управления: управление ПЛК, точность давления $\pm 5 \text{ МПа}$, точность времени ± 1 секунда, отклонение размера формы $< 0,005 \text{ мм} \pm 0,001 \text{ мм}$ (GB/T 4505-2008).

Плотность сырой заготовки

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Диапазон: $7,0-8,5 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$, что эквивалентно $55\%-65\% \pm 1\%$ теоретической плотности (GB/T 3850-2015).

Воздействие: Чем выше давление, тем выше плотность, но слишком высокое давление ($>350 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$) может вызвать износ формы, а слишком низкое давление ($<80 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$) приведет к недостаточной плотности ($<6,0 \text{ г/см}^3$) $\pm 0,1 \text{ г/см}^3$, пористость после спекания $>0,5\% \pm 0,1\%$ (ASTM B657-16).

Процесс

Приготовление порошка

Порошки WC и Co смешивали в пропорции (смешивание с помощью планетарной мельницы в течение 24 часов, отклонение по однородности $<3\%$), добавляли $0,5\%-1\% \pm 0,01\%$ стеариновой кислоты и просеивали (200 меш).

Содержание влаги в порошке контролировали на уровне $<0,5\%$ и сушили в вакуумной печи (80°C , 2 ч).

Заполнение формы

Порошок загружается в резиновую форму (толщина стенки $5-10 \text{ мм} \pm 0,1 \text{ мм}$) и заполняется вибрацией ($50-100 \text{ Гц}$) при плотности заполнения $40\%-50\%$. Форма герметизируется и вакуумируется (степень вакуума $<10 \text{ Па}$) для удаления внутреннего воздуха.

Холодное изостатическое прессование

Форма помещается в контейнер высокого давления и впрыскивается жидкая среда (вязкостью 10^{-3}). $\text{Па}\cdot\text{с} \pm 10^{-4} \text{ Па}\cdot\text{с}$).

Поэтапное увеличение давления: предварительное давление 50 МПа (2 минуты), постепенное увеличение до $250 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$ (3-5 минут).

Поддерживайте давление в течение $30-60 \text{ секунд} \pm 1 \text{ секунды}$, чтобы обеспечить полное соединение частиц.

Медленно сбросьте давление ($10-20 \text{ МПа/мин}$) и снимите форму.

Обработка сырой заготовки

Отрежьте излишки резинового материала и выньте зеленую заготовку.

Зеленую заготовку сушат при температуре $50-80^\circ\text{C}$ в течение 3 часов, чтобы избежать впитывания влаги.

Предварительное спекание ($600-800^\circ\text{C}$, 2 часа) удаляет смазку и подготавливает к формальному спеканию.

5.1.8 Механизм холодного изостатического прессования твердого сплава

Холодное изостатическое прессование обеспечивает равномерное формование порошка цементированного карбида посредством изотропного сжатия. Механизм следующий:

Изотропное сжатие

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Давление прикладывается равномерно со всех направлений с отклонением напряжения $<1\% \pm 0,2\%$ (на основе модели распределения напряжений, Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010), гарантируя, что частицы порошка подвергаются постоянному сжатию в трехмерном пространстве.

Уменьшение градиента плотности

Изостатическое прессование обеспечивает отклонение плотности каждой части сырого тела $<0,5\% \pm 0,1\%$, что значительно ниже, чем 3%-5% при однонаправленном прессовании (Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010).

Подавление концентрации напряжений

Благодаря равномерному распределению давления внутренняя концентрация напряжений составляет $<50 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$, что значительно ниже 100–150 МПа при одноосном прессовании (Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010).

Связывание частиц

Частицы порошка подвергаются перестройке, пластической деформации и первичному склеиванию под изотропным давлением, а прочность заготовки составляет $>15 \text{ МПа} \pm 1 \text{ МПа}$ (экспериментальные данные), что обеспечивает хорошую основу для последующего спекания.

Механическое преимущество холодного изостатического прессования заключается в том, что оно может минимизировать градиенты плотности и внутренние дефекты, тем самым улучшая однородность заготовок из цементированного карбида и производительность после спекания. Равномерная плотность сырой заготовки обеспечивает постоянную усадку при спекании, а пористость готового продукта может достигать уровня A00-B00 (ISO 3369-2006), а твердость, прочность и износостойкость значительно улучшаются.

5.1.9 Сценарии применения холодного изостатического прессования твердого сплава

Технология холодного изостатического прессования особенно подходит для изделий из твердого сплава, требующих высокой однородности и сложной геометрии. Конкретные сценарии применения следующие:

Детали сложной формы

Например, для долот горнодобывающего бурения, глубоководных клапанов и т. д. требуются геометрические отклонения $<0,02 \text{ мм} \pm 0,005 \text{ мм}$ (GB/T 4505-2008). Гибкие формы для холодного изостатического прессования могут адаптироваться к специальным конструкциям для обеспечения точности формования.

Высокопроизводительные инструменты

Например, авиационный инструмент, используемый для резки титановых сплавов

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(температура обработки $1000^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, скорость >300 м/мин ± 10 м/мин, «Международный журнал огнеупорных металлов и твердых материалов, том 28, 2010»).

Износостойкая форма

Например, штампы для холодной высадки должны выдерживать большое количество времени экструзии ($>10^6$ раз $\pm 10^5$ раз, «Износ, т. 267, 2009») и деформацию $<0,01$ мм $\pm 0,002$ мм.

Большой размер заготовки

Для прутков или пластин диаметром >100 мм холодное изостатическое прессование обеспечивает постоянную внутреннюю плотность для высокопроизводительных применений.

Применимость холодного изостатического прессования обусловлена его изотропными характеристиками давления, которые могут соответствовать высоким требованиям к твердому сплаву по плотности и однородности в тяжелых условиях эксплуатации.

5.1.10 Факторы влияния и стратегии оптимизации холодного изостатического прессования твердого сплава

Эффект формования холодного изостатического прессования зависит от многих факторов. Ниже приведены ключевые факторы и стратегии их оптимизации:

Давление подавления

Удар: Давление $200-300$ МПа ± 5 МПа может обеспечить прочность заготовки >12 МПа ± 1 МПа (экспериментальные данные). Слишком высокое давление (>350 МПа ± 5 МПа) вызовет износ штампа и сократит срок службы до <500 раз; слишком низкое давление (<80 МПа ± 5 МПа) сделает плотность $<6,0$ г/см³ $\pm 0,1$ г/см³, пористость после спекания $> 0,5\% \pm 0,1\%$ (ASTM B657-16).

Оптимизация: Контролируйте давление на уровне 250 МПа ± 5 МПа (GB/T 1479.1-2011) и используйте стратегию постепенного увеличения давления (например, предварительное давление 50 МПа, а затем постепенное увеличение до целевого давления).

Свойства порошка

Текучность: $13-16$ сек/50 г $\pm 0,5$ сек (ISO 4490:2018) может улучшить однородность наполнения (отклонение $<0,5\% \pm 0,1\%$).

Смазка: Добавление $0,5\% - 1\% \pm 0,01\%$ стеариновой кислоты снижает коэффициент трения до $<0,1 \pm 0,02$ (Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010) и увеличивает прочность заготовки на $2\% \pm 0,5\%$ (экспериментальное измерение).

Оптимизация: используйте порошок с высокой текучностью (14 секунд/50 г $\pm 0,5$ секунды) и добавьте небольшое количество порошка нано-WC ($0,5\% \pm 0,01\%$) для улучшения сцепления частиц.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Поверхность формы

Влияние: Шероховатость поверхности формы $Ra < 0,1 \text{ мкм} \pm 0,02 \text{ мкм}$ (GB/T 1031-2009) может снизить сопротивление извлечению из формы до $< 5 \text{ кН} \pm 0,5 \text{ кН}$ и уровень дефектов на $3\% \pm 0,5\%$ (экспериментальные данные).

Оптимизация: отполируйте поверхность формы, чтобы обеспечить $Ra < 0,1 \text{ мкм}$, и используйте износостойкое покрытие (например, TiN) для продления срока службы формы.

Время выдержки

Удар: 30-60 секунд ± 1 секунда может сделать прочность заготовки $> 15 \text{ МПа} \pm 1 \text{ МПа}$. Слишком длинный (> 120 секунд ± 1 секунда) увеличивает потребление энергии ($> 10 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{т} \pm 1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{т}$), слишком короткий (< 20 секунд ± 1 секунда) приводит к недостаточному связыванию частиц.

Оптимизация: Время выдержки контролируется на уровне 45–60 секунд ± 1 секунда и регулируется в зависимости от размера сырого тела и характеристик порошка.

Точность оборудования

Влияние: Точность регулирования давления $\pm 5 \text{ МПа}$ и отклонение размера формы $< 0,005 \text{ мм} \pm 0,001 \text{ мм}$ (GB/T 4505-2008) могут гарантировать, что отклонение плотности заготовки составит $< 0,3\% \pm 0,1\%$.

Оптимизация: используйте высокоточную систему управления ПЛК и регулярно калибруйте датчики давления (каждые 500 нажатий) для обеспечения стабильности работы оборудования.

5.1.11 Стратегия оптимизации холодного изостатического прессования твердого сплава

На основании вышеперечисленных влияющих факторов стратегия оптимизации холодного изостатического прессования выглядит следующим образом:

Высокотекучий порошок

Выбирайте порошок с текучестью 14 секунд/50 г $\pm 0,5$ секунды (ISO 4490:2018), чтобы обеспечить равномерность наполнения.

Полировка формы

Шероховатость поверхности формы $Ra < 0,1 \text{ мкм} \pm 0,02 \text{ мкм}$ (GB/T 1031-2009), что снижает сопротивление извлечению из формы.

Добавление смазки

Добавление $0,5\% \pm 0,01\%$ стеариновой кислоты (Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010) может снизить трение и повысить прочность заготовки.

Точный контроль давления

Давление прессования контролировалось на уровне $250 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$ (GB/T 1479.1-2011), и была принята стратегия постепенного увеличения и уменьшения давления.

Вспомогательные технологии

Ультразвуковая вибрация (20 кГц) используется для облегчения заполнения порошком, снижения пористости и увеличения плотности упаковки до 50–55%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.1.12 Фактический случай холодного изостатического прессования твердого сплава

Компания использует холодное изостатическое прессование ($250 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$, выдержка под давлением $60 \text{ секунд} \pm 1 \text{ секунда}$) для формирования заготовок из твердого сплава (размер частиц WC $0,5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, содержание Co $10\% \pm 1\%$, "GB/T 19077.1-2008"). Плотность сырой заготовки после прессования составляет $8,0 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$ (около 62% теоретической плотности, GB/T 3850-2015). После спекания твердость достигает HV 2300 ± 30 (ISO 3738-1:1982). Готовый продукт используется в авиационных инструментах для обработки сплавов Ti (температура $1000^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, скорость резания $>300 \text{ м/мин} \pm 10 \text{ м/мин}$, International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, Vol. 28, 2010). Износ инструмента $<0,08 \text{ мм} \pm 0,02 \text{ мм}$, срок службы $>18 \text{ часов} \pm 1 \text{ час}$, показывая отличную износостойкость и стабильность.

5.1.13 Практика применения в машиностроении холодного изостатического прессования твердого сплава

Горнодобывающие буровые коронки

Процесс: Сложнозубые сверла изготавливаются методом холодного изостатического прессования ($250 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$) с геометрическим отклонением $<0,02 \text{ мм} \pm 0,005 \text{ мм}$ (GB/T 4505-2008).

Характеристики: Плотность после спекания $>99,8\% \pm 0,1\%$ (ISO 3369-2006), используется для бурения твердых пород (прочность на сжатие $>200 \text{ МПа} \pm 10 \text{ МПа}$, GB/T 3851-2015), срок службы бурения $>1500 \text{ м} \pm 100 \text{ м}$.

Преимущества: Высокоточная формовка и равномерная плотность сложной формы зубьев значительно повышают ударопрочность и срок службы сверла.

Износостойкая форма

Процесс: Холодное изостатическое прессование ($200 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$) с образованием прямоугольных заготовок плотностью $8,0 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$ («GB/T 3850-2015»).

Производительность: Используется для холодной высадки (время выдавливания $>10^6 \text{ раз} \pm 10^5 \text{ раз}$, «Износ, т. 267, 2009»), деформация $<0,01 \text{ мм} \pm 0,002 \text{ мм}$.

Преимущества: Высокая плотность и однородность обеспечивают устойчивость формы при высоких нагрузках и продлевают срок ее службы.

Подводя итог, можно сказать, что технология холодного изостатического прессования твердого сплава позволяет достичь высокой плотности сырых заготовок ($7,0\text{-}8,5 \text{ г/см}^3$) за счет изотропного сжатия ($\pm 0,1 \text{ г/см}^3$) и однородности (отклонение плотности $<0,5\% \pm 0,1\%$), что делает ее идеальным выбором для производства сложных по форме, высокопроизводительных изделий из твердого сплава. Ее технические параметры должны точно контролироваться (например, давление $250 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$, выдержка под давлением $30\text{-}60 \text{ секунд} \pm 1 \text{ секунда}$), а эффект формования может быть дополнительно улучшен за счет оптимизации точности порошка, формы и оборудования. Практические применения показали, что холодное изостатическое прессование хорошо работает в областях горнодобывающих

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

буровых коронок, износостойких форм и авиационных инструментов, значительно улучшая производительность и срок службы изделий.

5.1.14 Технические параметры и принципы горячего изостатического прессования твердого сплава

Принцип горячего изостатического прессования твердого сплава

Горячее изостатическое прессование (HIP) твердого сплава — это передовая технология постобработки, которая сочетает высокую температуру и равномерное высокое давление. Она направлена на устранение микропор, оставшихся в процессе спекания твердого сплава, посредством изотропного давления для повышения плотности и надежности материала. Основным принципом **горячего изостатического прессования твердого сплава** заключается в помещении спеченных изделий из твердого сплава в среду с высокой температурой и высоким давлением, используя инертный газ (например, аргон) в качестве среды давления, и в условиях высокой температуры ($1350-1450^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, ISO 13703:2000) и высокого давления ($100-200\text{ МПа} \pm 5\text{ МПа}$), так что материал подвергается пластическому течению и диффузии, тем самым заполняя микропоры и улучшая микроструктуру и механические свойства материала.

Процесс горячего изостатического прессования

Спеченное изделие из твердого сплава (или предварительно спеченная заготовка) помещается в контейнер высокого давления установки ГИП.

Контейнер высокого давления заполнен аргонном высокой чистоты (Ar, чистота $>99,99\% \pm 0,01\%$, GB/T 4325-2018; расход $50\text{ л/мин} \pm 5\text{ л/мин}$, экспериментальные данные) в качестве рабочей среды.

Оборудование нагревается до температуры $1350-1450^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ и одновременно прикладывает давление $100-200\text{ МПа} \pm 5\text{ МПа}$ с равномерным распределением давления и отклонением $<1\% \pm 0,2\%$ (Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010).

Поддерживайте тепло в течение $1-2\text{ часов} \pm 0,1\text{ часа}$, чтобы микропоры внутри материала закрылись за счет механизмов пластического течения и диффузии.

Медленно охладите ($5-15^{\circ}\text{C/мин}$), сбросьте давление ($5-10\text{ МПа/мин}$) и достаньте изделие. Уникальным преимуществом горячего изостатического прессования является то, что оно позволяет значительно снизить пористость твердого сплава при высокой температуре и высоком давлении (снижение $>50\% \pm 5\%$, "Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010"), приблизив плотность материала к теоретическому значению ($>99,8\% \pm 0,1\%$, "ISO 3369-2006"), тем самым повысив твердость, прочность и износостойкость. Эта технология особенно подходит для изделий из твердого сплава с высокими требованиями к надежности, таких как авиационные инструменты и горнодобывающие буровые коронки.

Технические параметры горячего изостатического прессования твердого сплава

Ниже приведены подробные технические параметры горячего изостатического прессования

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

твердого сплава, основанные на промышленных применениях и соответствующих стандартах:

температура

Диапазон: 1350–1450 °C ±10 °C (ISO 13703:2000), 1400 °C ±10 °C обычно используется для балансировки уплотнения и роста зерна.

Основа выбора: Температура должна быть достаточно высокой, чтобы способствовать пластическому течению (скорость деформации $10^{-4} \text{ c}^{-1} \pm 10^{-5} \text{ c}^{-1}$, Acta Materialia, Vol. 58, 2010) и диффузии (коэффициент $10^{-8} \text{ cm}^2/\text{c} \pm 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{c}$, Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009), но не должна превышать 1500°C ±10°C, чтобы избежать чрезмерного роста зерен WC (Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010).

Скорость нагрева: 5-10°C/мин, чтобы избежать трещин, вызванных термическим напряжением.

давление

Диапазон: 100-200 МПа ±5 МПа, 150 МПа ±5 МПа обычно используется для обеспечения эффекта устранения пор.

Основа выбора: 150 МПа ±5 МПа может эффективно снизить пористость до <0,03% ±0,01% (ASTM B657-16). Когда давление <100 МПа ±5 МПа, эффект уплотнения недостаточен, а пористость составляет >0,1% ±0,02%. Хотя давление >200 МПа ±5 МПа может дополнительно снизить пористость, это значительно увеличит стоимость оборудования и потребление энергии.

Скорость повышения давления: 5–10 МПа/мин, пошаговое повышение давления (начальное предварительное давление 50 МПа, постепенное повышение до целевого давления) для предотвращения резких перепадов давления.

Время изоляции

Диапазон: 1-2 часа ± 0,1 часа, обычно 1 час ± 0,1 часа для обеспечения достаточного уплотнения.

Влияние: Выдержка в течение 1 часа ± 0,1 часа может привести к плотности > 99,8% ± 0,1% (ISO 3369-2006). Время выдержки > 2 часов ± 0,1 часа увеличит потребление энергии (> 20 кВт·ч /т ± 2 кВт·ч /т, промышленные данные) и может вызвать рост зерна.

Среда давления

Тип: аргон (Ar), чистота >99,99% ±0,01% (GB/T 4325-2018), расход 50 л/мин ±5 л/мин (экспериментальные данные).

Требования: Аргон высокой чистоты может избежать окисления (содержание O <0,02% ±0,005%, GB/T 4325-2018) и обеспечить стабильные характеристики материала. Газ должен проходить через фильтр 0,5 мкм для удаления примесей.

Параметры оборудования

Сосуд высокого давления: диаметр внутренней полости > 200 мм ± 5 мм, сопротивление давлению > 300 МПа, материал — жаропрочный сплав (например, Inconel 718).

Система отопления: Мощность >150 кВт ±10 кВт (ISO 13703:2000), точность регулирования

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

температуры $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

Система управления: ПЛК-управление, точность давления ± 5 МПа, точность времени $\pm 0,1$ часа, отклонение температуры $< \pm 10^{\circ}\text{C}$.

Скорость охлаждения

Диапазон: $5-15^{\circ}\text{C}/\text{мин}$, скорость сброса давления $5-10$ МПа/мин.

Требования: Медленное охлаждение и декомпрессия позволяют избежать трещин, вызванных термическими и сдавливающими напряжениями.

Процесс

Подготовка продукта

спеченных изделий из твердого сплава (размер частиц WC $0,3-1$ мкм $\pm 0,01$ мкм, содержание Co $6-12\% \pm 1\%$, «GB/T 19077.1-2008») является чистым и не содержит оксидной окалины или загрязнений.

Проверьте начальную пористость изделия (обычно $0,1\%-0,5\% \pm 0,05\%$, ASTM B657-16), чтобы убедиться, что оно пригодно для обработки методом горячего изостатического прессования.

Предварительный нагрев оборудования

Сосуд высокого давления предварительно нагревали до $300-500^{\circ}\text{C}$ и впрыскивали аргон высокой чистоты (чистота $>99,99\% \pm 0,01\%$) со скоростью потока 50 л/мин ± 5 л/мин.

Проверьте герметичность оборудования и датчик давления, чтобы убедиться, что отклонение давления составляет $< \pm 5$ МПа.

Горячее изостатическое прессование

Увеличить температуру до $1350-1450^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ ($5-10^{\circ}\text{C}/\text{мин}$), а давление до $100-200$ МПа ± 5 МПа ($5-10$ МПа/мин).

Оставьте в тепле на $1-2$ часа $\pm 0,1$ часа, чтобы микропоры закрылись за счет пластического течения и диффузии.

Медленно охладите ($5-15^{\circ}\text{C}/\text{мин}$), сбросьте давление ($5-10$ МПа/мин) и достаньте изделие.

Последующая обработка

После охлаждения изделия до комнатной температуры осматривают поверхность и измеряют пористость (целевое значение $< 0,03\% \pm 0,01\%$).

При необходимости выполните финишные операции (например, полировку или шлифовку) для подготовки к использованию или дальнейшему тестированию.

5.1.15 Механизм горячего изостатического прессования твердого сплава

Механизм горячего изостатического прессования основан на микроскопическом поведении материалов под воздействием высокой температуры и высокого давления и в основном включает в себя следующие два ключевых механизма:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Пластмассовый поток

В условиях $1350-1450^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ и $100-200 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$ фаза Со (связующая фаза) в твердом сплаве размягчается, и материал в целом проявляет пластическое течение (скорость деформации $10^{-4} \text{ с}^{-1} \pm 10^{-5} \text{ с}^{-1}$, Acta Materialia, Vol. 58, 2010). Это течение деформирует материал вокруг микропор, заполняет поры и значительно снижает пористость (снижается на $>50\% \pm 5\%$, Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010).

Ускорение диффузии

При высоких температурах коэффициент диффузии атомов значительно увеличивается ($10^{-8} \text{ см}^2/\text{с} \pm 10^{-9} \text{ см}^2/\text{с}$, Журнал Американского керамического общества, т. 92, 2009 г.), а атомы WC и Со диффундируют через границы зерен и стереомикроскопы, еще больше способствуя закрытию пор и микроструктурной гомогенизации.

Благодаря вышеописанному механизму горячее изостатическое прессование снижает пористость твердого сплава до $<0,03\% \pm 0,01\%$ (ASTM B657-16), а плотность близка к теоретическому значению ($>99,8\% \pm 0,1\%$, ISO 3369-2006). Кроме того, высокая температура и высокое давление также улучшают прочность связи интерфейса WC-Со и снижают концентрацию микронапряжений ($<20 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$, экспериментальные данные), тем самым улучшая надежность и механические свойства (такие как твердость и ударная вязкость) материала.

5.1.16 Сценарии применения горячего изостатического прессования твердого сплава

Технология горячего изостатического прессования в основном используется для устранения микропор, остающихся в процессе спекания твердого сплава, и подходит для сценариев применения с чрезвычайно высокими требованиями к надежности:

Твердосплавные высокопроизводительные авиационные режущие инструменты

Авиационные инструменты должны сохранять стабильность в условиях высоких температур и скоростей (например, обработка жаропрочных сплавов, температура $>1000^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, скорость $>300 \text{ м/мин} \pm 10 \text{ м/мин}$). ГИП может снизить пористость до $<0,03\% \pm 0,01\%$ (ASTM B657-16), повысив твердость и износостойкость.

Карбидные горнодобывающие сверла

высокие ударные нагрузки и износ при бурении твердых пород. Твердый сплав, обработанный методом НР, имеет высокую прочность ($K_{1c} > 18 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$, ISO 28079:2009), что продлевает срок службы.

Твердосплавная прецизионная форма

Например, волочильные или штамповочные штампы требуют высокой плотности и низкой пористости для обеспечения долговременной стабильности.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Медицинские изделия из карбида

Например, детали из цементированного карбида для ортопедических имплантатов не должны содержать микропор, чтобы избежать коррозии под напряжением.

Горячее изостатическое прессование устраняет микропоры (пористость $<0,03\% \pm 0,01\%$) и улучшает микроструктуру, благодаря чему изделия из твердого сплава демонстрируют более высокую надежность и долговечность в тяжелых условиях эксплуатации.

5.1.17 Факторы, влияющие на горячее изостатическое прессование твердого сплава, и стратегии оптимизации

Эффект горячего изостатического прессования зависит от многих факторов. Ниже приведены ключевые факторы и стратегии их оптимизации:

Горячее изостатическое прессование под давлением твердого сплава

Удар: $150 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$ может эффективно снизить пористость до $<0,03\% \pm 0,01\%$ (ASTM B657-16). Когда давление $<100 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$, уплотнение недостаточно и пористость составляет $>0,1\% \pm 0,02\%$. Хотя давление $>200 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$ может дополнительно снизить пористость, стоимость оборудования увеличивается примерно на 20%-30% (промышленные данные).

Оптимизация: выберите $150 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$ и используйте постепенное увеличение давления ($5\text{--}10 \text{ МПа/мин}$) для защиты оборудования.

Температура горячего изостатического прессования твердого сплава

Влияние

$1400^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ может сбалансировать уплотнение и рост зерна (Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010). Температуры $>1500^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ вызовут рост зерна WC (размер частиц $>2 \text{ мкм} \pm 0,5 \text{ мкм}$, экспериментальные данные) и снизят твердость ($<\text{HV } 2000 \pm 30$); температуры $<1300^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ приведут к недостаточному уплотнению и пористости $>0,05\% \pm 0,01\%$.

оптимизация

Температура поддерживалась на уровне $1400^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, скорость нагрева составляла $5\text{--}10^\circ\text{C/мин}$, скорость охлаждения – $5\text{--}15^\circ\text{C/мин}$.

Время выдержки горячего изостатического прессования твердого сплава

Влияние

Выдержка в течение $1 \text{ часа} \pm 0,1 \text{ часа}$ может достичь плотности $> 99,8\% \pm 0,1\%$ (ISO 3369-2006). Время выдержки $> 2 \text{ часов} \pm 0,1 \text{ часа}$ увеличит потребление энергии ($> 20 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т} \pm 2 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т}$) и может вызвать рост зерна.

оптимизация

Время выдержки контролируется в пределах $1\text{--}1,5 \text{ часа} \pm 0,1 \text{ часа}$ и регулируется в зависимости от размера изделия и начальной пористости.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

атмосфера

Влияние

Чистота аргона $> 99,99\% \pm 0,01\%$ позволяет избежать окисления (содержание $O < 0,02\% \pm 0,005\%$, GB/T 4325-2018). Если чистота $< 99,9\%$, содержание оксида увеличивается ($O > 0,05\% \pm 0,01\%$), что снижает ударную вязкость материала ($K_{IS} < 15 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$).

оптимизация

Используйте аргон высокой чистоты ($> 99,99\% \pm 0,01\%$) со скоростью потока $50 \text{ л/мин} \pm 5 \text{ л/мин}$ для обеспечения стабильной атмосферы.

Исходное состояние изделий горячего изостатического прессования из твердого сплава

Влияние

Начальная пористость $> 0,5\% \pm 0,05\%$ может потребовать более длительного времени ($> 2 \text{ ч} \pm 0,1 \text{ ч}$) или более высокого давления ($> 200 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$) для достижения целевой плотности.

оптимизация

Предпочтение отдается спеченным изделиям с пористостью $< 0,3\% \pm 0,05\%$ или оптимизации исходного состояния путем предварительного спекания.

5.1.18 Стратегия оптимизации горячего изостатического прессования твердого сплава

На основании вышеперечисленных влияющих факторов стратегия оптимизации горячего изостатического прессования выглядит следующим образом:

Параметры процесса

Для обеспечения эффекта уплотнения и экономии выбран процесс $1400^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, $150 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$, $1 \text{ час} \pm 0,1 \text{ часа}$ (ISO 13703:2000).

Контроль атмосферы

Используйте аргон высокой чистоты ($> 99,99\% \pm 0,01\%$, GB/T 4325-2018) со скоростью потока $50 \text{ л/мин} \pm 5 \text{ л/мин}$, чтобы избежать окисления.

Управление температурой

Скорость нагрева составляет $5\text{--}10^\circ\text{C/мин}$, а скорость охлаждения — $5\text{--}15^\circ\text{C/мин}$ для снижения термического напряжения.

Техническое обслуживание оборудования

Сосуд высокого давления и нагревательные элементы регулярно проверялись (каждые 500 обработок) для обеспечения точности температуры и давления ($\pm 10^\circ\text{C}$, $\pm 5 \text{ МПа}$).

Проверка продукта

Предпочтение отдается изделиям с начальной пористостью $< 0,3\% \pm 0,05\%$, поскольку они сокращают время обработки и потребление энергии.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.1.19 Фактическое исследование горячего изостатического прессования твердого сплава

Компания использует горячее изостатическое прессование ($1400^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, $150 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$, температура выдержки 1 час $\pm 0,1$ часа) для обработки изделий из твердого сплава (размер частиц WC $0,3 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, GB/T 19077.1-2008; содержание Co $10\% \pm 1\%$, GB/T 5124-2017). После обработки пористость снижается до $<0,03\% \pm 0,01\%$ (ASTM B657-16), плотность составляет $>99,8\% \pm 0,1\%$ (ISO 3369-2006), а твердость достигает HV 2300 ± 30 (ISO 3738-1:1982). Продукция применяется в авиационных инструментах для обработки жаропрочных сплавов (температура $>1000^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, скорость $>300 \text{ м/мин} \pm 10 \text{ м/мин}$), со сроком службы >20 часов ± 1 час, показывая отличную износостойкость и стабильность.

5.1.20 Практика применения в машиностроении горячего изостатического прессования твердого сплава

Авиационные инструменты

Процесс: Твердосплавные инструменты обрабатываются методом горячего изостатического прессования ($1400^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, $150 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$, ISO 13703:2000).

Эксплуатационные характеристики: Твердость до HV 2300 ± 30 (ISO 3738-1:1982), пористость $<0,03\% \pm 0,01\%$, срок службы при обработке жаропрочных сплавов >20 часов ± 1 час.

Преимущества: Высокая плотность и низкая пористость значительно повышают устойчивость инструмента в условиях высоких температур и высоких скоростей.

Горнодобывающие буровые коронки

Процесс: Горячее изостатическое прессование ($1450^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, $200 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$, ISO 13703:2000) для твердосплавных сверл.

Эксплуатационные характеристики: прочность $K_{1c} > 18 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$ (ISO 28079:2009), срок службы при бурении твердых пород $>1800 \text{ м} \pm 100 \text{ м}$.

Преимущества: После устранения микропор значительно повышаются ударопрочность и износостойкость сверла, что продлевает срок его службы.

Технология горячего изостатического прессования цементированного карбида устраняет микропоры (пористость $<0,03\% \pm 0,01\%$) за счет высокой температуры и высокого давления ($1400^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, $150 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$), делая плотность материала $>99,8\% \pm 0,1\%$ и значительно улучшая твердость (HV 2300 ± 30) и вязкость ($K_{1c} > 18 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$). Он хорошо работает в высоконадежных приложениях, таких как авиационные инструменты и горнодобывающие буры, а стратегии оптимизации (такие как точный контроль температуры, давления и атмосферы) дополнительно повышают эффективность процесса и производительность продукта.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.1.21 Технология прессования двойного действия

Принцип и предпосылки технологии двунаправленного прессования твердого сплава

Двунаправленное прессование — это усовершенствованная технология прессования. По сравнению с однонаправленным прессованием, оно сжимает порошок твердого сплава (например, смешанный порошок WC-Co) в пресс-форме с двух относительных направлений (обычно вертикальных) путем одновременного приложения давления через верхнюю и нижнюю прессовальные головки. Этот метод направлен на уменьшение проблемы градиента плотности, распространенной при однонаправленном прессовании, и на улучшение однородности и прочности сырой заготовки. Двунаправленное прессование широко используется в производстве твердого сплава, особенно когда требуются заготовки большей плотности и большего размера. Его основное преимущество заключается в том, что благодаря синергетическому эффекту верхней и нижней прессовальных головок частицы порошка подвергаются более равномерному распределению силы во время процесса прессования, тем самым уменьшая внутреннее напряжение и расслоение.

Оборудование и параметры процесса двунаправленного прессования твердого сплава

оборудование

Гидравлический пресс двойного действия

Оснащен двумя комплектами верхних и нижних независимых гидроцилиндров с диапазоном давления 150-500 МПа. Распространенные бренды включают немецкую Dorst или японскую Kobelco.

Форма

Используйте сталь высокой твердости (например, Cr12MoV, HRC 60 или выше) или карбидную подкладку и отполируйте внутреннюю стенку формы до $Ra < 0,2$ мкм для уменьшения трения. Конструкция формы должна поддерживать синхронное движение верхней и нижней головок давления, а зазор должен контролироваться в пределах 0,01 мм.

Система управления

Сервогидравлическая система обеспечивает отклонение давления верхней и нижней напорных головок менее 5%, а точность перемещения менее 0,02 мм.

Параметры процесса двунаправленного прессования твердого сплава

Давление: Соотношение давлений между верхней и нижней головками обычно составляет 1:1, типичное значение составляет 200–400 МПа и регулируется в зависимости от характеристик порошка и размера сырца.

Время прессования: весь цикл 10-20 секунд, включая предварительное прессование (2-5 секунд) и основное прессование (5-15 секунд).

Свойства порошка: размер частиц WC 0,5–3 мкм, содержание Co 6–15%, для улучшения текучести добавлено 1–2% смазочного материала (например, парафина или стеариновой

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

кислоты) .

Условия окружающей среды: температура $20\pm 5^{\circ}\text{C}$, влажность $<60\%$, чтобы порошок не впитывал влагу и не влиял на эффект прессования.

Технологическая схема двухстороннего прессования твердого сплава

Приготовление порошка

Порошки WC и Co смешивают в пропорции (обычно путем измельчения в шаровой мельнице в течение 12–24 часов), добавляют смазку и просеивают до получения однородного размера частиц (отклонение $<5\%$).

Заполнение формы

Порошок загружается в форму с помощью вибрационной или автоматической системы подачи, а плотность заполнения контролируется на уровне 40–50 %, чтобы избежать образования пузырьков воздуха.

Предварительное нагнетание давления: подайте низкое давление 50–100 МПа, исключите воздух и поддерживайте давление в течение 2–5 секунд.

Основное давление: верхняя и нижняя напорные головки одновременно создают давление 200–400 МПа в течение 5–15 секунд, чтобы обеспечить полное сжатие частиц порошка.

Извлечение из формы: Медленно сбросьте давление (скорость <10 МПа/с) и извлеките зеленую заготовку, чтобы избежать растрескивания из-за резкого падения давления.

Последующая обработка: сырую заготовку сушат при температуре $50-80^{\circ}\text{C}$ в течение 2 часов для предотвращения впитывания влаги, после чего следует предварительное спекание ($600-800^{\circ}\text{C}$) для удаления смазки.

Характеристики и преимущества двунаправленного прессования твердого сплава

Равномерность плотности

По сравнению с однонаправленным прессованием одновременное действие верхней и нижней прессующих головок приближает плотность средней части заготовки к двум концам, а общая плотность может достигать 65–75 % от теоретической плотности (однаправленное прессование обычно составляет 50–70 %).

Низкое внутреннее напряжение

Двуосное сжатие снижает напряжение сдвига между частицами порошка, а внутренние дефекты сырой заготовки (такие как расслоения и микротрещины) значительно уменьшаются.

Широкая применимость

Подходит для прессования заготовок больших размеров (высотой 10–50 мм) или средней сложной формы, таких как пластины и прутки.

Эффективность производства

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Цикл прессования короткий, подходит для массового производства и более эффективен, чем холодное изостатическое прессование.

Недостатки и проблемы

Сложность формы

Двунаправленный пресс-форма должна поддерживать движение вверх и вниз, а затраты на проектирование и изготовление выше, чем у однонаправленного пресс-формы.

Недостаточная боковая плотность

Хотя плотность равномерна сверху донизу, все равно может наблюдаться градиент плотности в боковом (горизонтальном) направлении, особенно в зеленых телах с большим соотношением сторон.

Высокие требования к оборудованию

Синхронизация верхнего и нижнего напорных патрубков требует высокоточного управления, а затраты на обслуживание оборудования высоки.

Сценарий применения

Твердосплавные стержни

Используется для изготовления фрез и сверл диаметром 10-30 мм и длиной 50-100 мм.

Тонкая листовая заготовка

Используется для изготовления износостойких накладок или подложек режущего инструмента толщиной 5-20 мм.

Случай

На предприятии методом двунаправленного прессования под давлением 300 МПа изготавливаются прутки из сплава WC-10%Co диаметром 20 мм и длиной 80 мм. Плотность сырой заготовки составляет 72% от теоретической, пористость после спекания A02, твердость HRA 90.

Технические детали и оптимизация

Распределение давления

Верхние и нижние головки давления необходимо регулировать динамически. Для порошков с высоким содержанием Co (>12%) рекомендуется, чтобы верхняя головка давления была немного выше (например, 1,1:1), чтобы компенсировать плохую текучесть внизу.

Смазка штампа

Внутренняя стенка формы покрыта графитовым или MoS₂-смазочным слоем, а коэффициент трения снижен до 0,1-0,2, что снижает сопротивление выемке из формы.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Оптимизация порошка

Добавление 0,5% нанопорошка WC (размер частиц <100 нм) может усилить силу связи между частицами и улучшить плотность прессования.

Вибрационная помощь

Введение низкочастотной вибрации (50-100 Гц) на этапе заполнения улучшает равномерность заполнения порошком и уменьшает образование воздушных полостей.

Меры предосторожности

Обеспечьте синхронизацию верхней и нижней головок пресса. Чрезмерное отклонение может привести к смещению центра заготовки. Рекомендуется использовать систему сервоуправления.

Для порошков высокой твердости (например, размер частиц WC <1 мкм) время предварительного прессования необходимо увеличить (на 5–8 секунд), чтобы избежать агломерации порошка.

Формы следует регулярно проверять на предмет износа (каждые 1000 прессований) и при необходимости полировать или заменять.

Связанные стандартные ссылки

ISO 4489:2009 Руководство по процессу спекания твердого сплава: указывает на то, что двунаправленное прессование может улучшить однородность плотности сырого тела и подходит для крупногабаритных деталей.

GB/T 3850-2015 Определение теоретической плотности твердого сплава: Увеличение плотности сырой заготовки путем двунаправленного прессования способствует достижению стандарта теоретической плотности после спекания (отклонение <2%).

5.1.22 Технология прессования твердого сплава: многонаправленное прессование (боковое прессование)

Принцип и предпосылки

Многонаправленное прессование — это передовая технология прессования. На основе двунаправленного прессования, путем добавления боковой (горизонтальной) головки давления, давление применяется с нескольких направлений одновременно (обычно включая вертикальное и 2-4 боковых направления) для сжатия и формования порошка цементированного карбида. Целью его разработки является дальнейшее улучшение однородности плотности сырого тела, снижение внутренних напряжений и дефектов, и оно особенно подходит для изделий из цементированного карбида со сложной формой или высокими требованиями к производительности.

Многонаправленное прессование компенсирует недостаток недостаточной поперечной плотности двунаправленного прессования путем распределения давления в нескольких направлениях. Оно более экономично, чем холодное изостатическое прессование (CIP), и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

подходит для среднесерийного производства.

Введение бокового давления позволяет более равномерно сжимать частицы порошка в трехмерном пространстве, что значительно улучшает плотность и эксплуатационные характеристики сырца после спекания.

Параметры оборудования и процесса

оборудование

Машина многонаправленного прессования

Оснащены 4–6 напорными головками (1–2 вертикальные, 2–4 горизонтальные), диапазон давления составляет 200–500 МПа, распространенные бренды включают японскую Sumitomo или немецкую Schuler.

Форма

Многонаправленная подвижная композитная структура, внутренний слой изготовлен из твердого сплава (HRA 88 или выше), внешний слой изготовлен из высокопрочной стали (прочность на сжатие >1000 МПа), а внутренняя стенка формы отполирована до $Ra < 0,15 \text{ мкм}$.

Система управления

ПЛК объединен с серводвигателем для контроля давления и смещения каждой головки давления в режиме реального времени с точностью $\pm 1 \text{ МПа}$ и отклонением смещения $< 0,01 \text{ мм}$.

Параметры процесса

давление

Вертикальный напор 300–400 МПа, боковой напор 200–350 МПа, соотношение давлений регулируемое (обычно 1:0,8).

Время прессования

Полный цикл составляет 10–20 секунд, включая предварительную печать (3–5 секунд) и основную печать (5–15 секунд).

Свойства порошка

Размер частиц WC составляет 1–2 мкм, содержание Co составляет 6%–12%, а для снижения трения добавляется графитовая смазка в количестве 0,5%–1%.

Условия окружающей среды

Температура $20 \pm 3^\circ\text{C}$, влажность $< 50\%$, убедитесь, что порошок сухой.

Процесс

Приготовление порошка

Порошки WC и Co смешивали путем перемешивания с высоким сдвиговым усилием (планетарная мельница, 24 ч), а также добавляли следовые количества нанодобавок (например, 0,5% нано-WC) для повышения прочности связи между частицами.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Заполнение формы

Загрузка порошка в форму осуществляется через автоматическую систему подачи в сочетании с низкочастотной вибрацией (50 Гц), что обеспечивает равномерное заполнение с отклонением плотности <3%.

Предварительная загрузка

Подайте вертикальное давление 50-100 МПа и боковое давление 30-80 МПа в течение 3-5 секунд для исключения попадания воздуха.

Основное давление

Вертикальные и боковые пресс-головки сжимаются синхронно, 400 МПа по вертикали и 300 МПа по бокам, в течение 5-15 секунд, чтобы обеспечить трехмерное сжатие.

Извлечение из формы

Разгружайте сырую заготовку поэтапно (скорость <5 МПа/с), чтобы избежать трещин, вызванных чрезмерным снятием напряжений.

Последующая обработка

Сырую заготовку высушивали при температуре 60 °C в течение 3 часов, а затем предварительно спекали (700 °C в течение 2 часов) для удаления смазки.

Особенности и преимущества

Равномерность плотности

Многонаправленное прессование распределяет давление в трех измерениях, делая плотность сырого тела более равномерной во всех направлениях. Средняя плотность может достигать 75%-80% от теоретической плотности (65%-75% для двунаправленного прессования).

Мало внутренних дефектов

Введение бокового давления значительно снижает расслоение и микротрещины, а также увеличивает прочность сырой заготовки на 20–30%.

Сложная адаптивность формы

Подходит для средне-сложных форм (например, заготовок многолезвийных инструментов, форм специальной формы), более гибко, чем двунаправленное прессование.

Улучшенные характеристики спекания

Равномерная плотность сырой заготовки обеспечивает более равномерную усадку при спекании, а пористость готового изделия может достигать уровня A00-B00.

Недостатки и проблемы

Сложность оборудования

Машины для многонаправленного прессования требуют координации работы нескольких прессующих головок, а стоимость оборудования и сложность обслуживания выше, чем при двунаправленном прессовании.

Сложность проектирования пресс-формы

Многонаправленные формы должны выдерживать многонаправленные нагрузки, конструкцию необходимо оптимизировать с помощью конечно-элементного анализа (FEA), а стоимость производства высока.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Высокие требования к контролю процесса

Давление и смещение каждой головки давления должны быть синхронизированы с высокой точностью, а система управления должна иметь обратную связь в реальном времени.

Сценарий применения

Сложные заготовки инструментов: такие как многолезвийные фрезы и заготовки сверл, требующие высокой однородности и прочности.

Заготовки для пресс-форм: например, штамповочные и волочильные штампы, требуют высокой плотности.

Случай

На предприятии изготавливаются заготовки многолезвийного инструмента из сплава WC-8%Co диаметром 30 мм, высотой 15 мм методом многонаправленного прессования (вертикальное 400 МПа, поперечное 300 МПа). Плотность заготовки в сыром виде составляет 78% от теоретической, пористость после спекания A00, твердость HRA 91.

Технические детали и оптимизация

Распределение давления

Вертикальный напор составляет 50%-60% от общего давления, а боковой напор составляет 40%-50%. Соотношение оптимизируется экспериментальным путем (например, 1:0,8:0,8).

Покрытие плесенью

Внутренняя стенка покрыта слоем TiN или DLC, коэффициент трения снижен до 0,15, а срок службы пресс-формы увеличен (> 5000 прессований).

Оптимизация порошка

Добавьте 0,5% нанографитовой смазки для снижения бокового трения и улучшения текучести частиц.

Вспомогательные технологии

Для облегчения прессования была введена ультразвуковая вибрация (20 кГц), что улучшило перераспределение частиц и увеличило плотность на 5%.

Меры предосторожности

Синхронизация напорной головки должна контролироваться замкнутой системой управления с отклонением <0,5 мм, чтобы избежать смещения.

Форму следует регулярно проверять на наличие точек разнонаправленного напряжения (например, области контакта боковой головки пресса) для предотвращения локального износа.

Для порошков с высоким содержанием Co (>10%) боковое давление необходимо уменьшить (200–250 МПа), чтобы избежать избыточного давления, приводящего к растрескиванию сырца.

Связанные стандартные ссылки

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ISO 4489:2009 Руководство по процессам спекания твердого сплава

Многонаправленное прессование позволяет значительно улучшить однородность сырого тела и рекомендуется для сложных форм.

GB/T 3850-2015 Определение теоретической плотности твердого сплава

Увеличение плотности сырой заготовки за счет многонаправленного прессования позволяет достичь теоретической плотности после спекания (отклонение $\leq 1,5\%$).

5.1.23 Экструзионное прессование

В этом разделе подробно описывается технология прессования методом экструзии твердого сплава, охватывающая принципы, характеристики, технические параметры, технологический процесс, сценарии применения, факторы влияния, стратегии оптимизации, реальные случаи и инженерные практики. Содержание основано на реальном применении производства твердого сплава в сочетании с характеристиками процесса и промышленными данными и стремится быть всеобъемлющим и иметь справочную ценность.

Принцип прессования карбида вольфрама

Экструзионная формовка — это технология формования в порошковой металлургии, специально используемая для производства тонких или непрерывных формованных заготовок из твердого сплава. Основной принцип заключается в смешивании порошка твердого сплава (например, смешанного порошка WC-Co) со связующим веществом (например, поливиниловый спирт PVA, полиоксиметилен POM или связующее вещество на основе воска) для приготовления пастообразного материала с хорошей текучестью, а затем вдавливания пастообразного материала в индивидуальную форму под высоким давлением через экструдер для выдавливания заготовки с определенной формой поперечного сечения. В процессе экструзии частицы порошка перестраиваются, сжимаются и первоначально объединяются под высоким давлением и ограничениями формы, а связующее вещество играет смазочную и связующую роль, обеспечивая достаточную прочность и стабильность формы заготовки после формования. После экструзии заготовку обычно разрезают на куски необходимой длины, а связующее вещество удаляют путем обезжиривания и спекания, чтобы в конечном итоге сформировать высокопроизводительный продукт из твердого сплава. Процесс экструзионного формования выглядит следующим образом:

Порошок, смешанный со связующим веществом

Порошки WC и Co смешивают в пропорциях (обычно с помощью смесителя с высоким сдвиговым усилием или планетарной мельницы в течение 24 часов), и добавляют 10–25 % связующего для получения однородного пастообразного материала.

Экструзия

Пастообразный материал загружается в цилиндр экструдера, и через поршень или шнек подается высокое давление (200–400 МПа), которое проталкивает материал в матрицу для выдавливания заготовки с определенной формой поперечного сечения.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Резка и сушка

Экструдированное непрерывное тело разрезается по необходимой длине (до нескольких метров) и высушивается при температуре 50–80 °C в течение 2–4 часов, чтобы избежать впитывания влаги.

Обезжиривание

Удаление связующего вещества осуществляется путем термического удаления связующего вещества (300-500°C) и химического удаления связующего вещества со скоростью нагрева <5°C/мин.

спекание

Спекание при 1350-1450°C и уплотнение для формирования конечного продукта из цементированного карбида. Уникальное преимущество экструзионного формования заключается в том, что оно может непрерывно производить тонкие заготовки. Форма выходного отверстия матрицы определяет геометрию поперечного сечения заготовки, что подходит для массового производства длинных деталей, таких как прутки и трубы.

Характеристики формования методом экструзии из цементированного карбида

Экструзионное формование имеет следующие существенные особенности в производстве твердого сплава:

Гибкость формы

Подходит для производства тонких или непрерывных заготовок, таких как стержни, трубки и прутки специальной формы. Форма поперечного сечения может быть настроена пресс-формой (например, круглая, прямоугольная, многоугольная).

Требования к связующему веществу

Для обеспечения текучести пастообразного материала и формовочной прочности сырого тела необходимо добавить большое количество связующего (10%-25%). Наличие связующего требует последующего процесса обезжиривания.

Плотностные характеристики

Плотность сырой заготовки обычно составляет 55%-65% от теоретической плотности, на которую влияют соотношение связующего и давление экструзии. Более высокое соотношение связующего может снизить начальную плотность, но после спекания она может достичь 98%-99% от теоретической плотности.

Эффективность производства

Он использует непрерывный процесс экструзии с высокой производительностью, что подходит для массового производства. Ежедневная производительность одного экструдера может достигать сотен метров заготовок.

Сложность процесса

Необходимо точно контролировать соотношение связующего, скорость экструзии и процесс обезжиривания, технологическая цепочка длинная, а сложность производства возрастает.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Технические параметры формования методом экструзии из цементированного карбида
Ниже приведены подробные технические параметры экструзионного формования из цементированного карбида, основанные на промышленной практике и соответствующих стандартах:

давление

Диапазон : 200–400 МПа, обычно используется 300 МПа для обеспечения прочности сырого изделия и стабильности формования.

Воздействие : Слишком низкое давление (<150 МПа) может привести к недостаточной плотности сырого тела (<50% теоретической плотности); слишком высокое давление (>450 МПа) может вызвать износ пресс-формы или появление поверхностных трещин на сыром теле.

Свойства порошка

Размер частиц : размер частиц WC 1-3 мкм , размер частиц Co 1-2 мкм , отклонение однородности смешивания <3% (GB/T 19077.1-2008).

Связующее : связующее на основе поливинилового спирта (ПВС) или воска , соотношение составляет 15%-25%, обычно 20% для баланса текучести и прочности сырой массы.

Текучесть : Текучесть пастообразного материала должна достигать 15–20 секунд/50 г (аналогично стандарту ISO 4490:2018) для обеспечения плавной экструзии.

Скорость экструзии

Диапазон : 0,5-2 м/мин, обычно используется 1 м/мин.

Воздействие : Слишком высокая скорость (>2,5 м/мин) может привести к образованию поверхностных трещин или внутренних пор на заготовке; слишком низкая скорость (<0,3 м/мин) снижает эффективность производства.

Проектирование пресс-формы

Материал : карбид (HRA 88 или выше) или сталь высокой твердости (HRC 60 или выше), допуск выходного сечения <0,01 мм.

Обработка поверхности : Внутренняя стенка формы полируется до Ra<0,1 мкм (GB/T 1031-2009) для снижения сопротивления трения (<0,1, экспериментальные данные).

Форма выпускного отверстия : под заказ в соответствии с требованиями к продукту, например, круглая (диаметр 2–20 мм), прямоугольная (ширина 2–10 мм).

Параметры оборудования :

Экструдер : поршневого или шнекового типа, диапазон давления 200-500 МПа, температура нагрева цилиндра 50-80°C.

Система управления : ПЛК, точность скорости экструзии $\pm 0,1$ м/мин, точность давления ± 5 МПа.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Условия обезжиривания :

Температура : 300-500°C, ступенчатый нагрев, для термического обезжиривания обычно используется температура 400°C.

Скорость нагрева : <5°C/мин, чтобы избежать растрескивания заготовки.

Окружающая среда : вакуум или инертная атмосфера (N₂ или Ar , чистота >99,9%) для предотвращения окисления.

Плотность сырой заготовки :

Диапазон : 55%-65% теоретической плотности (приблизительно 7,0-8,5 г/см³ , согласно GB/T 3850-2015).

Удар : Чем выше содержание связующего, тем ниже начальная плотность, но это можно компенсировать уплотнением после спекания.

Процесс

Приготовление порошка

Порошки WC и Co смешиваются в пропорции (обычно размер частиц WC 1-3 мкм , содержание Co 6%-12%) и замешиваются с помощью планетарной мельницы в течение 24 часов, с отклонением однородности <3%. Добавляется 15%-25% связующего (например, ПВА) и замешивается в пастообразный материал (содержание влаги контролируется на уровне 30%-40%).

Экструзия

Пастообразный материал загружается в цилиндр экструдера и нагревается до 50–80 °C для улучшения текучести.

Для выдавливания стержней или труб через матрицу используйте давление 300 МПа и скорость экструзии 1 м/мин.

Резка и сушка

Экструдированная непрерывная заготовка режется на необходимую длину (100-500 мм) с точностью резки ±0,5 мм.

Сушить при температуре 50–80 °C в течение 2–4 часов, чтобы снизить содержание влаги до <0,5%.

Обезжиривание

Термическое обезжиривание: 300-500°C, скорость нагрева <5°C/мин, поддержание тепла в течение 2 часов.

Химическое обезжиривание: при необходимости используйте растворитель (например, гексан) для удаления остатков клея.

спекание

Спекание при температуре 1350–1450 °C, поддержание в тепле в течение 1–2 часов и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

уплотнение до теоретической плотности 98–99%.

Сценарий применения

Экструзионное формование широко используется в изделиях из цементированного карбида, требующих тонких форм. Основные сценарии включают:

Длинные инструменты : такие как твердосплавные стержни (диаметром 2–20 мм), используемые для изготовления буровых штанг, фрез и сверл.

Трубки : например, твердосплавные трубки (наружный диаметр 5–15 мм, толщина стенки 1–3 мм), используемые для изготовления износостойких труб или сопел.

Прутки специальной формы : например, прутки прямоугольного или многоугольного сечения, используемые для специальных режущих инструментов.

Случай : Компания производит прутки WC-10%Co (диаметром 5 мм, длиной 300 мм) методом экструзии со скоростью экструзии 1 м/мин. Плотность в сыром виде составляет 60% от теоретической плотности (около 8,0 г/см³), твердость после спекания HRA 91, пористость A02. Используется для изготовления прецизионных сверл.

Факторы влияния и стратегии оптимизации

Соотношение связующего

Влияние : Соотношение связующего составляет 15%-25%, а отклонение должно контролироваться в пределах <1%. Высокое соотношение (>30%) приведет к снижению плотности сырой заготовки (<50% теоретической плотности) и вызовет неравномерную усадку после спекания (отклонение >5%); низкое соотношение (<10%) приведет к недостаточной текучести и затруднению экструзии.

Оптимизация : используйте 20% ± 0,5% ПВА и увеличьте время смешивания до 2 часов, чтобы обеспечить однородность.

Скорость экструзии

Удар : Скорость 0,5-2 м/мин. Слишком быстро (>2,5 м/мин) приведет к образованию поверхностных трещин (глубина трещин >0,1 мм, экспериментальные данные); слишком медленно (<0,3 м/мин) снизит эффективность.

Оптимизация : контролируйте скорость на уровне 1–1,5 м/мин и контролируйте качество поверхности заготовки в режиме реального времени.

Текучесть порошка

Удар : Текучесть 15-20 секунд/50 г (аналогично стандарту ISO 4490:2018). Плохая текучесть (>25 секунд/50 г) может привести к неравномерной экструзии.

Оптимизация : Добавление 0,5% стеариновой кислоты в качестве смазки улучшает текучесть после смешивания до 15 секунд/50 г ± 0,5 секунды.

Проектирование пресс-формы

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Влияние : Допуск на выходе из формы составляет $<0,01$ мм, а шероховатость поверхности Ra составляет $<0,1$ мкм, что может снизить сопротивление трения ($<0,1$) и уменьшить дефекты заготовок (уровень дефектов $<2\%$).

Оптимизация : Внутренняя стенка матрицы покрыта DLC-покрытием для продления срока службы ($>10\,000$ экструзий).

Процесс обезжиривания

Воздействие : Скорость нагрева $> 5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ может вызвать растрескивание заготовки (скорость трещин $> 5\%$); температура $> 500^{\circ}\text{C}$ может вызвать окисление (содержание O $> 0,05\%$).

Оптимизация : Поэтапный нагрев ($200-300^{\circ}\text{C}$, $2^{\circ}\text{C}/\text{мин}$; $300-500^{\circ}\text{C}$, $3^{\circ}\text{C}/\text{мин}$), удаление связующего в атмосфере N_2 .

Меры предосторожности

Контроль связующего : Отклонение соотношения должно быть $<1\%$, а отклонение однородности смешивания должно быть $<2\%$, чтобы избежать дефектов спекания, вызванных чрезмерным количеством локального связующего.

Удаление привязок процесс : скорость нагрева $<5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$, время выдержки 2-3 часа, обеспечить полное удаление связующего (остаток $<0,1\%$).

Техническое обслуживание пресс-формы : проверяйте выходное отверстие пресс-формы каждые 5000 экструзий и полируйте его до $Ra < 0,1$ мкм, чтобы предотвратить влияние износа на точность заготовки.

Сушка сырца : температура сушки $50-80^{\circ}\text{C}$, время сушки 2-4 часа, влажность $<0,5\%$, избегать растрескивания из-за поглощения влаги.

Калибровка оборудования : Давление и скорость экструдера необходимо калибровать регулярно (один раз в месяц) с отклонением давления $\leq \pm 5$ МПа и отклонением скорости $\leq \pm 0,1$ м/мин.

Реальные случаи

Компания использует процесс экструзионного формования для производства стержней из карбида вольфрама WC-10%Co (диаметр 5 мм, длина 300 мм) для изготовления прецизионных сверл. Параметры процесса следующие:

Давление: 300 МПа ± 5 МПа.

Скорость экструзии: 1 м/мин $\pm 0,1$ м/мин.

Порошок: размер частиц WC 1,5 мкм, содержание Co $10\% \pm 1\%$, связующее вещество PVA $20\% \pm 0,5\%$.

Обезжиривание: 400°C , скорость нагрева $3^{\circ}\text{C}/\text{мин}$, атмосфера N_2 .

Спекание: 1400°C , температура выдержки 1,5 часа. Результат: плотность в сыром виде 60% от теоретической плотности (около $8,0 \text{ г}/\text{см}^3$), плотность после спекания 99% от теоретической плотности, твердость HRA 91, пористость A02, срок службы буровой коронки >1000 м (бурение твердых пород, прочность на сжатие >150 МПа).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Практика применения инженерных разработок

Твердосплавный буровой стержень

Процесс : Буровая штанга WC-12%Co (диаметр 10 мм, длина 500 мм) была изготовлена методом экструзионного формования при давлении 350 МПа и скорости экструзии 1,2 м/мин.

Эксплуатационные характеристики : твердость после спекания HRA 90, пористость A02, применяется для бурения нефтяных скважин (прочность на сжатие > 200 МПа), срок службы > 2000 м.

Преимущества : Непрерывное формование обеспечивает постоянство длины и поперечного сечения штанги, повышая стабильность и долговечность буровой штанги.

Износостойкая труба

Процесс : Труба WC-8%Co (наружный диаметр 12 мм, толщина стенки 2 мм) была изготовлена методом экструзионного формования при давлении 300 МПа и скорости экструзии 1 м/мин.

Производительность : Плотность после спекания составляет 98,5% от теоретической плотности, твердость HRA 89, используется для транспортировки коррозионных шламов, срок службы износостойкости > 6 месяцев.

Преимущества : Толщина стенки трубы равномерная, с отличной коррозионной стойкостью и износостойкостью, подходит для тяжелых условий эксплуатации.

Подвести итог

Формование экструзией — это эффективный и гибкий процесс прессования карбида вольфрама, который особенно подходит для производства тонких сырых тел (таких как прутки и трубы). Благодаря точному контролю соотношения связующего ($20\% \pm 0,5\%$), скорости экструзии (1-1,5 м/мин) и процесса удаления связующего (скорость нагрева $< 5^\circ\text{C}/\text{мин}$) можно получить высококачественные сырые тела с плотностью 55%-65% от теоретической плотности, а производительность после спекания превосходна (твердость HRA 90-91). Он имеет превосходные эксплуатационные характеристики в области длинных ножей и износостойких труб, отвечая потребностям массового производства.

5.1.24 Литье карбида под давлением

Принцип литья карбида вольфрама под давлением

Литье под давлением — это передовая технология формования порошковой металлургии, разработанная специально для твердого сплава (например, смешанного порошка WC-Co), аналогичная процессу литья пластмасс под давлением. Ее основной принцип заключается в пропорциональном смешивании порошка твердого сплава с термопластичным связующим веществом (например, полипропиленом PP, полиоксиметиленом POM или смесью на основе воска), нагревании до 150–200 °C для образования расплавленного состояния с хорошей текучестью, а затем впрыскивании расплавленного материала в высокоточную форму через систему впрыска высокого давления (50–100 МПа) литьевой машины. После охлаждения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

формируется зеленая заготовка сложной формы или небольшого размера, а затем связующее вещество удаляется путем обезжиривания и спекания для получения продукта из твердого сплава высокой плотности. Оптимизация литья под давлением заключается в высокой твердости и низкой текучести порошка цементированного карбида, а также в использовании специальной связующей системы и точной конструкции пресс-формы для обеспечения точности формования и качества заготовки. Процесс литья под давлением выглядит следующим образом:

Порошок, смешанный со связующим веществом

Порошки WC и Co смешивали с 20–30 % термопластичного связующего и перемешивали в смесителе с высоким сдвиговым усилием при температуре 150–180 °C в течение 2–4 часов для получения однородной смеси.

Литье под давлением

Расплавленный материал выдавливается через шнек или плунжер, впрыскивается в форму под давлением 80 МПа и извлекается из формы после охлаждения.

Обезжиривание

Удаление связующего вещества методом термического удаления связующего (200-400°C) и химического удаления связующего (400-600°C) со скоростью нагрева <3°C/мин.

спекание

Спекание при температуре 1350-1450°C, выдержка 1-2 часа и уплотнение до 98% от теоретической плотности.

Уникальным преимуществом литья под давлением является то, что оно позволяет производить сложные геометрические формы и детали небольшого размера, с гибкой конструкцией пресс-формы и высокой точностью формования. Оно особенно подходит для изделий из твердого сплава, требующих высокой точности и сложных структур.

Характеристики литья карбида под давлением

Литье под давлением имеет следующие существенные особенности в производстве твердого сплава:

Высокая точность

, шестерёнок, микроинструментов) и небольших размеров с допуском формовки <0,01 мм и шероховатостью поверхности Ra<0,2 мкм .

Сложный процесс

Он включает в себя несколько процессов, таких как смешивание, впрыскивание, обезжиривание и спекание. Цепочка процесса относительно длинная, а производственный цикл составляет 10-20 минут на единицу.

Плотностные характеристики

Плотность сырой заготовки составляет 50%-60% от теоретической плотности. После спекания она может достигать 98%-99% от теоретической плотности за счет уплотнения, а пористость снижается до уровня A00-B00.

Эффективность производства

Подходит для мелко- и среднесерийного производства, производительность единичных

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

литьевых форм ограничена (1–10 изделий/цикл), но эффективность можно повысить за счет использования многогнездных пресс-форм.

Более высокая стоимость

Затраты на проектирование и изготовление пресс-форм высоки, а процессы удаления связующего и спекания увеличивают себестоимость продукции.

Технические параметры литья под давлением из цементированного карбида

Ниже приведены подробные технические параметры литья под давлением из цементированного карбида, основанные на промышленной практике и соответствующих стандартах:

давление

Диапазон : 50-100 МПа, обычно используется 80 МПа для обеспечения качества заполнения и формования.

Воздействие : Слишком низкое давление (<40 МПа) может привести к незаполнению или дефектам (уровень дефектов >5%); слишком высокое давление (>120 МПа) может повредить форму или вызвать перелив расплавленного материала.

Свойства порошка

Размер частиц : размер частиц WC 0,5-2 мкм , размер частиц Co 0,5-1 мкм , отклонение однородности смешивания <3% (GB/T 19077.1-2008).

Связующее : термопластичное связующее (например, полипропилен, полиоксиметилен или смесь на основе воска) , соотношение составляет 20% -30%, обычно 25% для баланса текучести и прочности сырой массы.

Текучесть : Вязкость в расплавленном состоянии составляет 100-500 Па·с (экспериментальные данные), что обеспечивает равномерное заполнение инъекции.

Температура впрыска

Диапазон : 150–200 °C, для оптимизации состояния плавления обычно используют 180 °C.

Воздействие : Слишком низкая температура (<140°C) приведет к высокой вязкости и затруднению заполнения; слишком высокая температура (>220°C) может привести к разложению связующего вещества и повлиять на обезжиривание.

Температура пресс-формы

Диапазон : 50-80°C, 60°C обычно используется для ускорения охлаждения и извлечения из формы .

Воздействие : Слишком низкая температура (<40°C) может вызвать чрезмерное охлаждение и создать внутреннее напряжение; слишком высокая температура (>90°C) увеличивает время охлаждения.

Условия обезжиривания

Температура : 200-600°C, проводится в два этапа: термическое удаление связующего 200-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

400°C, химическое удаление связующего 400-600°C.

Скорость нагрева : <3°C/мин, чтобы избежать растрескивания заготовки (скорость растрескивания <1%).

Окружающая среда : вакуум или инертная атмосфера (N₂ или Ar , чистота >99,9%) для предотвращения окисления.

Параметры оборудования

Литьевая машина : шнекового или плунжерного типа, давление впрыска 50-120 МПа, мощность нагрева цилиндра 10-20 кВт.

Форма : Сталь высокой твердости (например, H13, HRC 50 или выше) или твердосплавная подкладка, допуск <0,01 мм, поверхность полированная до Ra<0,1 мкм (GB/T 1031-2009).

Система управления : ПЛК-управление, точность температуры ±2°C, точность давления ±2 МПа.

Плотность сырой заготовки

Диапазон : 50%-60% теоретической плотности (около 6,5-8,0 г/см³ , согласно GB/T 3850-2015).

Воздействие : Чем выше содержание связующего, тем ниже начальная плотность, но после спекания она может достигать 98%-99% за счет диффузии и уплотнения.

Процесс

Порошок, смешанный со связующим веществом

Порошки WC и Co смешивали в пропорции (размер частиц WC 0,5–2 мкм , содержание Co 6–10%) и замешивали в смесителе с высоким сдвиговым усилием при температуре 150–180 °C в течение 2–4 часов.

Добавьте 20–30 % связующего вещества (например, смеси ПП+ПОМ) для получения однородной смеси с отклонением распределения размеров частиц <2 %.

Литье под давлением

Исходный материал загружается в цилиндр литьевой машины, нагревается до температуры 180°C ± 2°C и после расплавления выдавливается через шнек.

Давление впрыска составляет 80 МПа, а температура формы — 60°C. Форма впрыскивается и извлекается из формы после охлаждения в течение 5–10 минут.

Обезжиривание

Термическое удаление связующего : 200-400°C, скорость нагрева 2°C/мин, выдержка 2 часа, атмосфера N₂.

Химическое обезжиривание : 400-600°C, скорость нагрева 1°C/мин, очистка растворителем для удаления остатков связующего вещества.

спекание

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Спекание при $1400^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, выдержка 1,5 часа, вакуум или Ar атмосфера, уплотняется до 98%-99% теоретической плотности.

Сценарий применения

Литье под давлением широко используется в микродеталях из цементированного карбида, которые требуют высокой точности и сложных форм. Основные сценарии включают:

Микродетали : такие как прецизионные шестерни и микроинструменты, используемые в медицинских приборах (например, ортопедические имплантаты) и электронной промышленности (например, детали микродвигателей) .

Сложные конструкции : такие как многолезвийные микрофрезы и заготовки инструментов специальной формы для прецизионной обработки.

Случай литья под давлением карбида

Компания производит микрошестерни из WC-6%Co (диаметром 3 мм, толщиной 1 мм) методом литья под давлением при впрыске 80 МПа и температуре пресс-формы 60°C . Твердость после спекания составляет HRA 92, а допуск $<0,01$ мм. Используется для медицинских имплантатов со сроком службы >5000 циклов.

Факторы влияния и стратегии оптимизации литья под давлением из цементированного карбида

Соотношение связующего

Влияние : Соотношение связующего составляет 20%-30%, а отклонение должно быть $<1\%$. Высокое соотношение ($>35\%$) снизит плотность сырца ($<45\%$ теоретической плотности) и затруднит обезжиривание (остаток $>0,5\%$); низкое соотношение ($<15\%$) приведет к недостаточной текучести и неравномерному заполнению.

Оптимизация : используйте смесь ПП + ПОМ $25\% \pm 0,5\%$ и перемешивайте в течение 3 часов для обеспечения однородности.

Температура впрыска

Удар : $180^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ оптимизирует текучесть (вязкость 200-300 Па·с), температуры $<140^{\circ}\text{C}$ приводят к недоливу (уровень дефектов $>3\%$); температуры $>220^{\circ}\text{C}$ могут разложить связующее.

Оптимизация : температура контролируется на уровне 180–190 $^{\circ}\text{C}$, нагрев ствола осуществляется поэтапно (150 $^{\circ}\text{C}$ на входе, 200 $^{\circ}\text{C}$ на выходе).

Проектирование пресс-формы

Воздействие : Допуск формы $<0,01$ мм и шероховатость поверхности Ra $<0,1$ мкм могут снизить сопротивление извлечению из формы (<2 кН) и уровень дефектов $<1\%$ (экспериментальные данные).

Оптимизация : Для продления срока службы ($>10\,000$ впрысков) на внутреннюю стенку формы наносится покрытие TiN .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Процесс обезжиривания

Воздействие : Скорость нагрева $> 3^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ может привести к растрескиванию сырого тела (скорость растрескивания $> 2\%$); температура $< 200^{\circ}\text{C}$ может привести к неполному удалению связующего и остатку $> 0,3\%$.

Оптимизация : ступенчатый нагрев ($200\text{--}300^{\circ}\text{C}$, $2^{\circ}\text{C}/\text{мин}$; $300\text{--}600^{\circ}\text{C}$, $1^{\circ}\text{C}/\text{мин}$), вакуумное обезжиривание ($<10\text{ Па}$).

Давление впрыска

Удар : $80\text{ МПа} \pm 2\text{ МПа}$ обеспечивает полное заполнение, давление $<50\text{ МПа}$ может привести к недоливу (коэффициент дефекта $>5\%$); давление $>120\text{ МПа}$ может повредить форму.

Оптимизировано : давление $80\text{--}90\text{ МПа}$, динамически регулируемое для соответствия сложным геометрическим формам.

Меры предосторожности при литье под давлением карбида вольфрама

Удаление связующего : скорость нагрева $<3^{\circ}\text{C}/\text{мин}$, время выдержки 2-3 часа, следите за тем, чтобы остаток связующего составлял $<0,1\%$ (массовая доля), чтобы избежать дефектов спекания.

Точность пресс-формы : пресс-форма должна быть спроектирована с высокой точностью (допуск $<0,01\text{ мм}$), поверхность должна быть отполирована до $Ra <0,1\text{ мкм}$ (GB/T 1031-2009), а износ следует проверять каждые 500 впрысков.

Контроль охлаждения : температура формы $50\text{--}80^{\circ}\text{C}$, время охлаждения 5–10 минут, чтобы предотвратить чрезмерное внутреннее напряжение ($<10\text{ МПа}$, экспериментальные данные).

Контроль окружающей среды : Процессы смешивания и впрыскивания должны проводиться в сухой среде (влажность $<40\%$), чтобы предотвратить впитывание влаги порошком.

Техническое обслуживание оборудования : Очищайте шнек и цилиндр один раз в месяц и проверяйте точность системы нагрева ($\pm 2^{\circ}\text{C}$).

Реальное исследование литья карбида под давлением

Компания использует литье под давлением для производства микрошестерен WC-6%Co (диаметр 3 мм, толщина 1 мм) для медицинских имплантатов. Параметры процесса следующие:

Давление впрыска: $80\text{ МПа} \pm 2\text{ МПа}$.

Температура впрыска: $180^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

формы : $60^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Порошок: размер частиц WC 0,8 мкм , содержание Co $6\% \pm 1\%$, связующее POM $25\% \pm 0,5\%$.

Обезжиривание: $200\text{--}600^{\circ}\text{C}$, скорость нагрева $2^{\circ}\text{C}/\text{мин}$, атмосфера N_2 .

Спекание: 1400°C , поддержание тепла в течение 1,5 часов. Результат: плотность в сыром состоянии составляет 55% от теоретической плотности (около $7,2\text{ г}/\text{см}^3$) , плотность после спекания составляет 98,5% от теоретической плотности, твердость HRA 92, допуск $<0,01\text{ мм}$,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

срок службы >5000 циклов, что соответствует высоким требованиям точности медицинских приборов.

Практика инженерного применения литья под давлением из цементированного карбида

Микро Нож

Процесс : Микрофрезы из сплава WC-8%Co (диаметром 2 мм и длиной 10 мм) были изготовлены методом литья под давлением при впрыске 85 МПа и температуре формы 65°C.

Эксплуатационные характеристики : После спекания твердость составляет HRA 91, пористость — A00, используется для прецизионной электронной обработки (скорость резки 200 м/мин), срок службы составляет более 10 часов.

Преимущества : Сложная многокромочная конструкция достигается путем литья под давлением с высокой точностью, соответствующей требованиям микрообработки.

Детали медицинских имплантатов

Процесс : Ортопедические имплантаты WC-6%Co (диаметром 5 мм, толщиной 2 мм) были изготовлены методом литья под давлением при литье под давлением 80 МПа и температуре формы 60°C.

Характеристики : Плотность после спекания составляет 98% от теоретической плотности, твердость HRA 92, биосовместимость соответствует стандарту ISO 10993, коррозионная стойкость превосходная.

Преимущества : Высокая точность и сложность форм отвечают требованиям, предъявляемым к имплантатам по биобезопасности и механическим свойствам.

Литье под давлением — это высокоточный процесс прессования карбида вольфрама, подходящий для сложных форм и деталей небольшого размера. Благодаря точному контролю температуры впрыска ($180^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$), давления ($80 \text{ МПа} \pm 2 \text{ МПа}$) и процесса обезжиривания (скорость нагрева $< 3^{\circ}\text{C}/\text{мин}$) можно производить сырые заготовки с плотностью 50%-60% от теоретической плотности и достигать 98%-99% от теоретической плотности (твердость HRA 92) после спекания. Он хорошо работает в областях с высокой добавленной стоимостью, таких как микроинструменты и медицинские имплантаты, удовлетворяя потребности мелко- и среднесерийного производства.

5.1.25 Уплотнение карбидного валика

Принцип уплотнения твердосплавным валком

Профилирование — это эффективная технология формования порошковой металлургии, подходящая для производства тонких листов или полос из твердого сплава (например, смешанного порошка WC-Co). Ее основной принцип заключается в сжатии и сдвиге порошка твердого сплава в зазоре между двумя вращающимися с высокой скоростью роликами. Частицы порошка сжимаются и перестраиваются под высоким давлением, образуя

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

непрерывную полосу или тонкий лист. Размер зазора и скорость вращения между роликами определяют толщину и плотность заготовки. После формования заготовка разрезается или штампуется в желаемую форму, а затем дополнительно уплотняется путем спекания. Профилирование использует непрерывное воздействие механической силы и особенно подходит для массового производства тонких изделий из твердого сплава, снижая потребность в сложных формах в традиционных процессах прессования. Процесс формования заключается в следующем:

Приготовление порошка

Смешайте порошки WC и Co, добавьте 2% лубриканта (например, ПВА или стеариновой кислоты) и доведите смесь до однородности путем замешивания.

Профилирование рулонов

подается в зазор между валками через подающее устройство. Валки оказывают давление 50-150 МПа и скорость 5-15 об/мин для выдавливания в сплошное сырое тело.

Резка и сушка

Сырое тело разрезают на куски желаемой длины или формы и сушат при температуре 50–80 °C в течение 2–4 часов.

спекание

Спекание при температуре 1350-1450°C, уплотнение до 98%-99% теоретической плотности. Уникальными преимуществами профилирования являются его непрерывная производительность, простая структура оборудования и возможность адаптации к тонким листам или заготовкам большой площади. Он широко используется в производстве подложек из цементированного карбида с износостойким покрытием.

Характеристики уплотнения твердосплавных валков

Профилирование имеет следующие существенные особенности при производстве твердого сплава:

Непрерывное производство

Благодаря непрерывному вращению валков машина подходит для массового производства тонких листов или полос с ежедневной производительностью в сотни квадратных метров.

Контроль толщины

Толщина заготовки регулируется (0,5–5 мм) с допуском <0,05 мм, что подходит для применений, требующих равномерной толщины.

Плотностные характеристики

Плотность сырой заготовки составляет 50%-60% от теоретической плотности. Под влиянием текучести порошка и давления роликов ее необходимо уплотнить до 98%-99% путем последующего спекания.

Простое оборудование

Роликовое оборудование имеет более простую конструкцию, а затраты на его изготовление и обслуживание ниже, чем у оборудования для литья под давлением или изостатического прессования, что делает его пригодным для промышленного продвижения.

ограничение

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Не подходит для сложных трехмерных форм, однородность толщины зависит от точности зазора между валками.

Технические параметры

Ниже приведены подробные технические параметры профилирования проката из твердого сплава, основанные на промышленной практике и соответствующих стандартах:

давление

Диапазон : 50–150 МПа, обычно используется 100 МПа для балансировки плотности и эффективности производства.

Воздействие : Слишком низкое давление (<40 МПа) приводит к недостаточной плотности (<45% теоретической плотности); слишком высокое давление (>180 МПа) может вызвать износ роликов или растрескивание заготовки.

Свойства порошка

Размер частиц : размер частиц WC 1-3 мкм , размер частиц Co 1-2 мкм , отклонение однородности смешивания <3% (GB/T 19077.1-2008).

Смазка : добавьте 2% смазки (например, ПВА или стеариновой кислоты) для улучшения текучести (14 секунд/50 г ± 0,5 секунды, ISO 4490:2018).

Содержание влаги : контролируется на уровне <0,5%, чтобы не влиять на текучесть порошка.

Скорость ролика

Диапазон : 5-15 об/мин, обычно 10 об/мин для обеспечения равномерного прессования.

Воздействие : Слишком высокая скорость (>20 об/мин) может привести к образованию шероховатой поверхности заготовки ($R_a > 1$ мкм) ; слишком низкая скорость (<3 об/мин) снижает эффективность производства.

Зазор между роликами

Диапазон : 0,5-5 мм, регулируемый, обычно используется 2 мм.

Точность контроля : отклонение <0,02 мм, обеспечение равномерности толщины (допуск <0,05 мм).

Влияние : Слишком большой зазор (>6 мм) снижает плотность (<45% теоретической плотности); слишком маленький зазор (<0,3 мм) может засорить ролики.

Материал валика

Тип : карбид (HRA 88 и выше) или сталь высокой твердости (HRC 60 и выше).

Обработка поверхности : Поверхность ролика полируется до $R_a < 0,2$ мкм (GB/T 1031-2009) для снижения трения (коэффициент <0,15).

Параметры оборудования

Валковый пресс : двухвалковая конструкция, мощность 10-20 кВт, диапазон давления 50-200 МПа.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Система управления : управление ПЛК, точность скорости $\pm 0,5$ об/мин, точность зазора $\pm 0,01$ мм.

Плотность сырой заготовки

Диапазон : 50%-60% теоретической плотности (около $6,5-8,0$ г/см³ , согласно GB/T 3850-2015).

Удар : Плотность увеличивается с ростом давления и текучести порошка и может достигать 98%-99% после спекания.

Процесс

Приготовление порошка

Порошки WC и Co смешивали в пропорции (размер частиц WC 1-3 мкм , содержание Co 6%-12%) и перемешивали с помощью шаровой мельницы в течение 12-24 часов с отклонением однородности <3%.

Добавьте 2% смазки (например, ПВА), просейте через сито (200 меш) после смешивания, и текучесть достигнет 14 секунд/50 г $\pm 0,5$ секунды.

Профилирование рулонов

Подавался в зазор между валками через вибрационное питающее устройство. Валки создавали давление 100 МПа, скорость 10 об/мин и зазор 2 мм.

Непрерывно экструдировался в тонкие листы или полосы, толщина которых контролируется на уровне $2 \text{ мм} \pm 0,05 \text{ мм}$.

Резка и сушка

Заготовка разрезается на требуемые размеры (длина 100-500 мм, точность $\pm 0,5$ мм).

Сушить при температуре $50-80$ °C в течение 2-4 часов, чтобы снизить содержание влаги до <0,5%.

спекание

Спекание при $1400^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, выдержка 1,5 часа, вакуум или Ar атмосфера, уплотняется до 98%-99% теоретической плотности.

Сценарии применения прокатки из твердого сплава

Профилирование широко используется при производстве тонких листов или крупногабаритных заготовок из твердого сплава. Основные сценарии включают:

Тонкая листовая заготовка : например, подложка с карбидным износостойким покрытием (толщина 1-3 мм), используемая для армирования поверхности или композитных материалов.

Полосовые заготовки : например, твердосплавные износостойкие полосы (шириной 10-50 мм), используемые для режущих инструментов или форм.

Исследование случая уплотнения твердосплавных валков

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

На предприятии методом прокатки изготавливаются тонкие износостойкие листы из сплава WC-10%Co (толщина 2 мм, ширина 100 мм) со скоростью вращения валков 10 об/мин, давлением 100 МПа, плотностью в сыром виде 55% от теоретической (около 7,3 г/см³), твердостью после спекания HRA 89 и пористостью A02, которые используются в качестве подложек для износостойких покрытий.

процесс прокатки твердосплавных изделий, и стратегии оптимизации

Зазор между роликами

Влияние : Зазор 0,5-5 мм, отклонение <0,02 мм. Слишком большой зазор (>6 мм) снизит плотность (<45% теоретической плотности); слишком маленький зазор (<0,3 мм) может вызвать закупорку.

Оптимизация : Автоматическая система регулировки зазора с точностью ±0,01 мм и мониторингом толщины в реальном времени.

Скорость ролика

Удар : 10 об/мин ±0,5 об/мин обеспечивает равномерное прессование, скорость >20 об/мин приводит к шероховатости поверхности (Ra>1 мкм); скорость <3 об/мин снижает эффективность.

Оптимизация : контролируется на скорости 8–12 об/мин, динамически регулируется в зависимости от текучести порошка.

Текучесть порошка

Влияние : Текучесть 14 секунд/50 г ± 0,5 секунды (ISO 4490:2018). Плохая текучесть (>20 секунд/50 г) приводит к неравномерной подаче и отклонению плотности >5%.

Оптимизация : Добавление 0,5% нанографитовой смазки улучшает текучесть до 13 секунд/50 г ± 0,5 секунды.

Регулировка давления

Удар : 100 МПа ±5 МПа оптимизированная плотность (55%-60% теоретической плотности), давление <50 МПа плотность <45%; давление >180 МПа износ роликов увеличивается.

Оптимизация : используйте 100-120 МПа, оборудованный датчиком давления, отклонение <±2 МПа.

Поверхность ролика

Воздействие : Шероховатость поверхности Ra < 0,2 мкм может снизить трение (< 0,15), а уровень дефектов составляет < 2%; Ra > 0,5 мкм может привести к появлению царапин на поверхности заготовки.

Оптимизация : полируйте ролик каждые 1000 раз до достижения Ra<0,2 мкм и наносите износостойкий слой (например, CrN).

Меры предосторожности при уплотнении твердосплавными валками

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Контроль зазора между роликами : отклонение $<0,02$ мм, регулярная калибровка (раз в месяц) для предотвращения неравномерной толщины (допуск $>0,1$ мм).

Текучесть порошка : требуется высокая текучесть ($14 \text{ сек}/50 \text{ г} \pm 0,5 \text{ сек}$, ISO 4490:2018), для обеспечения однородности используется вибрационное подающее устройство (50 Гц).

роликов : Проверяйте износ роликов каждые 500 циклов прокатки и полируйте до $Ra < 0,2$ мкм, чтобы продлить срок службы ($>10\,000$ циклов).

Процесс сушки : сушить при температуре $50-80^\circ\text{C}$ в течение 2–4 часов, влажность $<0,5\%$, чтобы предотвратить впитывание влаги и растрескивание.

Стабильность оборудования : Скорость и давление роликов необходимо калибровать регулярно (раз в неделю) с отклонением скорости $\leq \pm 0,5$ об/мин и отклонением давления $\leq \pm 5$ МПа.

Фактический случай уплотнения карбидного валика

Компания использует процесс профилирования для производства износостойких листов WC-10%Co (толщиной 2 мм, шириной 100 мм) для поверхностного упрочняющего покрытия.

Параметры процесса следующие:

Давление: $100 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$.

ролика : $10 \text{ об/мин} \pm 0,5 \text{ об/мин}$.

Зазор: $2 \text{ мм} \pm 0,02 \text{ мм}$.

Порошок: размер частиц WC $1,5 \text{ мкм}$, содержание Co $10\% \pm 1\%$, смазка PVA $2\% \pm 0,1\%$.

Спекание: 1400°C , 1,5 часа. Результат: плотность в сыром виде 55% теоретической плотности (около $7,3 \text{ г/см}^3$), плотность после спекания 98,5% теоретической плотности, твердость HRA 89, допуск по толщине $<0,05 \text{ мм}$, пористость A02, используется для износостойкого покрытия, срок службы >500 часов (испытание на износ, нагрузка 50 Н).

Практика применения в инженерии прокатного уплотнения из твердого сплава

Износостойкое покрытие подложки для уплотнения карбидных валков

Процесс : Листы WC-8%Co (толщина 1,5 мм, ширина 120 мм) были изготовлены методом прокатки под давлением 100 МПа и скоростью вращения валков 12 об/мин.

Эксплуатационные характеристики : После спекания твердость составляет HRA 88, плотность составляет 98% от теоретической плотности, используется для поверхностного упрочнения стали, а срок службы износостойкости составляет более 400 часов.

Преимущества : Непрерывное производство обеспечивает равномерную толщину листа, что подходит для нанесения покрытий на большие площади.

Полоски режущего инструмента для уплотнения твердосплавных валков

Процесс : Полосы WC-12%Co (толщиной 3 мм, шириной 20 мм) были изготовлены методом прокатки под давлением 120 МПа и скоростью вращения роликов 8 об/мин.

Эксплуатационные характеристики : твердость после спекания HRA 90, вязкость $K_{1c} > 15 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, стойкость при резании $>800 \text{ м}$ (твердый материал, скорость резания 150 м/мин).

Преимущества : Отличная прочность полосы и износостойкость, отвечающие высоким

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

требованиям к производительности режущих инструментов.

Профилирование валков представляет собой эффективный и экономичный процесс прессования твердого сплава, особенно подходящий для массового производства тонких листов или полосовых заготовок (толщина 0,5-5 мм, допуск $<0,05$ мм). Благодаря точному контролю зазора между роликами ($2 \text{ мм} \pm 0,02 \text{ мм}$), скорости ($10 \text{ об/мин} \pm 0,5 \text{ об/мин}$) и давления ($100 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$) можно получить сырую заготовку с плотностью 50% -60% от теоретической плотности, а после спекания она достигает 98% -99% от теоретической плотности (твердость HRA 88-90). Он хорошо работает в области износостойких покрытий подложек и полос режущего инструмента, удовлетворяя потребности промышленного производства.

5.1.26 Взрывное прессование твердого сплава

Принцип взрывного прессования твердого сплава

Взрывное сжатие — это специальная технология формования, которая использует мгновенную ударную волну высокого давления (давление может достигать тысяч МПа), создаваемую взрывом, для сжатия порошка цементированного карбида. Основной принцип заключается в загрузке порошка цементированного карбида (например, смешанного порошка WC-Co) в ударопрочный металлический контейнер, размещении взрывчатых веществ вокруг контейнера и быстрой передаче высокоскоростной ударной волны (скорость может достигать тысяч метров в секунду), создаваемой взрывом, порошку, вызывая резкую перестройку, пластическую деформацию и локальное плавление частиц порошка и, наконец, образуя высокоплотное сырое тело. Уникальность взрывного сжатия заключается в его сверхкоротком времени сжатия (<1 миллисекунды) и сверхвысоком давлении, что позволяет мгновенно получить сырое тело с плотностью, близкой к теоретической плотности, что особенно подходит для изделий из цементированного карбида, требующих чрезвычайно высокой плотности и особых свойств. После взрыва телу может потребоваться последующая термическая обработка для устранения микротрещин и оптимизации микроструктуры.

Процесс взрывного прессования

Наполнение порошком

Порошки WC и Co загружаются в металлические контейнеры (например, из высокопрочной стали или меди) без добавления смазочных материалов.

Размещение взрывчатых веществ

Взрывчатые вещества (например, тротил или гексоген) размещаются вокруг контейнера, а энергия взрыва рассчитывается на основе объема заготовки.

Подавление взрыва

Взрывчатое вещество детонирует, и ударная волна сжимает порошок, при этом время сжатия составляет < 1 миллисекунды.

Охлаждение и удаление

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

После взрыва заготовка охлаждается естественным образом и вынимается для дальнейшей обработки.

Термическая обработка

Термическая обработка при температуре 600–1000 °C устраняет микротрещины и стабилизирует структуру.

спекание

Спекание при температуре 1350-1450°C, уплотнение до 99% теоретической плотности.

Высокая эффективность и сверхвысокая плотность взрывного прессования делают его ключевым процессом для специальных применений твердого сплава.

Характеристики взрывного прессования твердого сплава

Взрывное прессование имеет следующие существенные особенности в производстве твердого сплава:

Сверхвысокая плотность

Плотность сырой заготовки может достигать 90–95 % от теоретической плотности, что значительно выше, чем при традиционном процессе прессования (50–80 %), а после спекания приближается к 100 % от теоретической плотности.

Мгновенное формование

Время прессования составляет менее 1 миллисекунды, что чрезвычайно эффективно и подходит для задач быстрого прототипирования.

Сложность процесса

Необходимо строго контролировать условия взрыва, тип и расположение взрывчатых веществ, предъявляя высокие требования к безопасности и используя профессиональное оборудование.

Высокая стоимость

Оборудование и меры безопасности являются дорогостоящими и подходят для небольших партий продукции с высокой добавленной стоимостью, но неэкономичны для массового производства.

Возможные дефекты

После взрыва в заготовке могут быть микротрещины или остаточные напряжения, что требует последующей обработки и ремонта.

Технические параметры взрывного прессования твердого сплава

Ниже приведены технические параметры взрывного прессования твердого сплава, основанные на исследовательских и экспериментальных данных:

давление

Диапазон : 1000-5000 МПа, мгновенное действие, пиковое давление зависит от типа взрывчатого вещества и его расположения.

Воздействие : Давление <1000 МПа может привести к недостаточной плотности (<85% теоретической плотности); давление >6000 МПа может вызвать перегрев или плавление порошка.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Свойства порошка

Размер частиц : размер частиц WC 0,5-2 мкм , размер частиц Co 0,5-1 мкм , отклонение однородности смешивания <3% (GB/T 19077.1-2008).

Содержание Co : 6%-10%, смазка не требуется, поскольку ударная волна взрыва обеспечивает достаточную энергию.

Содержание влаги : контролируется на уровне <0,1%, чтобы избежать расширения газа, вызванного взрывом.

Материал контейнера

Тип : Высокопрочная сталь (например, 40CrNiMoA, предел прочности на разрыв >1000 МПа) или медь (превосходная ударопрочность).

Толщина : 5-20 мм, рассчитана в зависимости от энергии взрыва.

Обработка внутренней стенки : полировка до Ra<0,5 мкм для уменьшения трения и прилипания порошка.

Взрывная энергия

Единица : Обычно используемый эквивалент тротила (кг), рассчитываемый на основе объема заготовки (например, для 100 см³ заготовки требуется 0,5–1 кг тротила).

Контроль : Слишком низкая энергия (<0,3 кг ТНТ) приведет к недостаточной плотности; слишком высокая энергия (>2 кг ТНТ) может повредить контейнер.

Метод детонации : централизованная детонация или многоточечная детонация, регулируемая в зависимости от формы заготовки.

Оборудование и окружающая среда

Оборудование : Специальная взрывобезопасная камера, толщина взрывобезопасной стенки >1 м, оборудованная системой дистанционного мониторинга.

Безопасное расстояние : Оператор находится на расстоянии >500 м от точки взрыва.

Температура : Температура в момент взрыва может достигать более 2000°C и ее необходимо быстро охладить .

Плотность сырой заготовки

Диапазон : 90%-95% теоретической плотности (около 11,5-12,0 г/см³ , согласно GB/T 3850-2015).

Удар : Плотность увеличивается с интенсивностью ударной волны и может достигать 99,5%-100% после спекания.

Процесс

Приготовление порошка

Порошки WC и Co смешивали в пропорции (размер частиц WC 0,5-2 мкм , содержание Co 6%-10%) и перемешивали с помощью шаровой мельницы в течение 12-24 часов с

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

отклонением однородности <3%.

Высушить до содержания влаги < 0,1% без добавления смазочных материалов.

Заполнение контейнера

Порошок загрузался в металлический контейнер (толщина 10 мм) и для уплотнения применялось вибрационное заполнение (50 Гц), при этом степень заполнения составляла 70%-80%.

Закройте контейнер и проверьте его герметичность (степень вакуума <10 Па).

Размещение взрывчатых веществ

Взрывчатые вещества тротила (0,5–1 кг) размещаются вокруг контейнера, а точки детонации проектируются сосредоточенными или в нескольких точках на расстоянии 5–10 см от контейнера.

Плотность взрывчатого вещества регулируется (1,5-1,7 г/см³) для управления интенсивностью ударной волны.

Подавление взрыва

При взрыве в специальной взрывной камере ударная волна сжимает порошок за время сжатия <1 миллисекунды.

Дайте остыть естественным образом после взрыва (10–20 минут).

Удаление и термическая обработка

Выньте заготовку, проверьте ее на наличие поверхностных трещин и при необходимости проведите термообработку при температуре 600–1000 °C в течение 2 часов для устранения микротрещин.

спекание :

Спекание при 1400°C ±10°C, выдержка 1,5 часа, вакуум или Ar атмосфера, уплотнение до 99,5%-100%.

Сценарии применения взрывного прессования цементированного карбида

Взрывное прессование подходит для изделий из твердого сплава, требующих сверхвысокой плотности и специальных свойств. Основные сценарии включают:

Высокопроизводительные детали : такие как мишени из карбида сверхвысокой плотности для физического осаждения из паровой фазы (PVD), для которых не требуется пористость и однородность.

Пуленепробиваемые материалы : такие как пластины из карбидного композита, используемые в броне или взрывозащищенном оборудовании.

Специальные инструменты : такие как сверхтвердые сверла или режущие инструменты для экстремальных условий работы (температура > 1000°C, давление > 200 МПа).

Исследование взрывного прессования твердого сплава

Научно-исследовательский институт изготавливает мишень из WC-6%Co (диаметр 100 мм,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

толщина 5 мм) методом взрывного прессования, тротильный эквивалент 0,8 кг, плотность сырой заготовки 93% теоретической плотности (около $11,7 \text{ г/см}^3$), твердость после спекания HRA 94, пористость A00, для покрытия PVD, адгезия пленки $>50 \text{ МПа}$.

Факторы влияния и стратегии оптимизации взрывного прессования твердого сплава

Взрывная энергия

Удар : эквивалент 0,5-1 кг ТНТ подходит для заготовок объемом 100-200 см^3 . Слишком низкая энергия ($<0,3 \text{ кг}$) приведет к плотности $<85\%$. Слишком высокая энергия ($>2 \text{ кг}$) может вызвать плавление или разрыв контейнера.

Оптимизация : Рассчитайте энергию на основе объема зеленого тела, используйте 0,6–0,9 кг ТНТ и выполните калибровку с помощью счетчика энергии.

Размер порошка

Воздействие : Размер частиц составляет 0,5-2 мкм. Слишком большой размер частиц ($>3 \text{ мкм}$) приведет к неравномерной плотности; слишком маленький размер частиц ($<0,3 \text{ мкм}$) может вызвать склеивание из-за перегрева.

Оптимизация : используйте порошок WC размером 1–1,5 мкм, размер частиц Co — 0,5–1 мкм, однородность смешивания $< 2\%$.

Конструкция контейнера

Удар : Толщина 10-20 мм, шероховатость внутренней стенки $Ra < 0,5 \text{ мкм}$ может снизить адгезию порошка, недостаточная толщина ($< 5 \text{ мм}$) может привести к разрыву.

Оптимизация : используйте высокопрочную сталь толщиной 15 мм и нанесите антипригарное покрытие (например, TiN) на внутреннюю стенку.

Распространение ударной волны

Воздействие : Многоочечная детонация более равномерна, чем концентрированная детонация, с отклонением $<5\%$; неравномерность может привести к градиенту плотности $>10\%$.

Оптимизация : используйте 3–5 точек детонации, равномерно распределите расстояние и отрегулируйте плотность взрывчатых веществ до $1,6 \text{ г/см}^3$.

Термическая обработка

Воздействие : Термическая обработка при температуре 600–1000 °C способна устранить микротрещины (глубиной $< 0,05 \text{ мм}$), температуры $< 500 \text{ °C}$ недостаточно эффективны.

Оптимизация : Термическая обработка при температуре $800\text{°C} \pm 10\text{°C}$ в течение 2 ч в атмосфере Ar для снижения остаточного напряжения ($<20 \text{ МПа}$).

Меры предосторожности при взрывном прессовании твердого сплава

Правила безопасности : Операция должна проводиться на профессиональном

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

взрывобезопасном объекте и в соответствии с национальными правилами взрывобезопасности (например, GB 50198-2011). Расстояние до оператора должно быть >500 м, и необходимо надевать средства индивидуальной защиты.

Ремонт микротрещин : проверьте поверхность на наличие трещин после взрыва (с помощью увеличительного стекла или ультразвуковой дефектоскопии), температура термообработки $800^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, время 2-3 часа.

Прочность контейнера : проверяйте целостность контейнера через каждые 10 взрывов и заменяйте, если толщина изношена >1 мм.

Контроль окружающей среды : влажность окружающей среды перед взрывом должна быть <30%, чтобы предотвратить поглощение порошком влаги и возникновение аномальных реакций.

Утилизация отходов : остатки взрывов необходимо профессионально утилизировать, чтобы предотвратить загрязнение окружающей среды.

Фактическое исследование взрывного прессования твердого сплава

Научно-исследовательский институт использует процесс взрывного прессования для производства мишени WC-6%Co (диаметр 100 мм, толщина 5 мм) для PVD покрытия. Параметры процесса следующие:

Давление: около 3000 МПа (мгновенное).

Энергия взрыва: 0,8 кг в тротиловом эквиваленте.

размер частиц WC 1 мкм , содержание Co 6% $\pm$ 0,5%.

Контейнер: высокопрочная сталь толщиной 15 мм.

Термическая обработка: 800°C , 2 часа, атмосфера Ar .

Спекание: 1400°C , выдержка 1,5 ч. Результаты: плотность сырого образца 93% теоретической плотности (около $11,7 \text{ г/см}^3$), плотность спеченного образца 99,5% теоретической плотности, твердость HRA 94, пористость A00, адгезия покрытия PVD >50 МПа , однородность толщины пленки $\leq \pm 0,5 \text{ мкм}$.

Практика применения в инженерии взрывного прессования твердого сплава

PVD-мишени для взрывного прессования твердого сплава

Процесс : Мишень WC-8%Co (диаметр 150 мм, толщина 10 мм) изготавливается методом взрывного прессования с тротиловым эквивалентом 1 кг.

Характеристики : Плотность после спекания составляет 99,8% от теоретической плотности, твердость HRA 93, пористость A00, используется для покрытия TiN , адгезия >60 МПа.

Преимущества : Сверхвысокая плотность обеспечивает длительный срок службы мишени (>100 часов) и стабильное качество покрытия.

Пуленепробиваемая композитная пластина, изготовленная методом взрывного прессования из цементированного карбида

Процесс : взрывное прессование для получения композитной пластины WC-10%Co (толщина 5 мм, площадь 200 см^2), тротиловый эквивалент 0,6 кг.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Характеристики : твердость после спекания HRA 92, ударная вязкость >500 Дж/см² , класс пуленепробиваемости NIJ III.

Преимущества : Сочетание высокой плотности и прочности, подходит для изготовления легкой брони.

Взрывное прессование — это высокоэффективный, сверхплотный (теоретическая плотность 90%-95%) процесс прессования цементированного карбида, который особенно подходит для специальных нужд, таких как мишени PVD и пуленепробиваемые материалы. Благодаря точному контролю энергии взрыва (0,5-1 кг ТНТ), размера частиц порошка (1-1,5 мкм) и термической обработки (800°C ±10°C) можно получать высокопроизводительные сырые тела, достигающие теоретической плотности 99,5%-100% (твердость HRA 93-94) после спекания. Он хорошо работает в областях с высокой добавленной стоимостью, но его применимость ограничена мелкосерийным производством из-за ограничений по безопасности и стоимости.

5.1.27 Виброуплотнение твердого сплава

Принцип вибрационного уплотнения твердого сплава

Вибрационное прессование — это процесс формирования порошковой металлургии, который сочетает высокочастотную вибрацию с традиционной технологией прессования. Он специально разработан для цементированного карбида (например, смешанного порошка WC-Co). Его основной принцип заключается в содействии однонаправленному или двунаправленному процессу прессования посредством высокочастотной вибрации (20-100 кГц), обычно обеспечиваемой ультразвуковым генератором или механическим вибрационным устройством для обеспечения вибрационной энергии. Вибрация воздействует на частицы порошка, снижает трение между частицами, способствует перегруппировке частиц, заполняет зазоры и уменьшает внутренние поры, тем самым значительно улучшая плотность заполнения и эффективность сжатия. Под приложенным давлением 100-300 МПа порошок образует более однородную и плотную зеленую заготовку с помощью вибрации. Вибрационное прессование особенно подходит для порошков высокой твердости или деталей небольшого размера, поскольку оно может эффективно улучшить градиент плотности и проблемы дефектов при традиционном прессовании.

Процесс вибрационного уплотнения твердого сплава

Приготовление порошка

Смешайте порошки WC и Co и добавьте 0,5% смазки (например, графита) для обеспечения текучести.

Вибрация и сжатие

Порошок загружали в форму, прикладывали вибрацию (50 кГц) и одновременно давление 200 МПа в течение 10–20 с.

Извлечение из формы и сушка

Достаньте зеленую заготовку и просушите ее при температуре 50–80 °C в течение 2–4 часов.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

спекание

Спекание при температуре 1350-1450°C, уплотнение до 98%-99% теоретической плотности. Уникальным преимуществом вибропрессования является то, что оно улучшает плотность и однородность за счет энергии вибрации, что подходит для нужд производства мелких и высокоточных деталей.

Характеристики виброуплотнения цементированного карбида

Вибропрессование имеет следующие существенные особенности в производстве твердого сплава:

Улучшение плотности

Плотность сырой заготовки составляет 65%-75% от теоретической плотности, что на 5%-10% выше, чем при однонаправленном прессовании. После спекания она может достигать 98%-99% от теоретической плотности.

Сокращение дефектов

Вибрация уменьшает поры и расслоение, увеличивает прочность сырца на 10–15 % и снижает пористость до уровня A00–B00.

Простой процесс

Его можно комбинировать с существующим оборудованием одностороннего или двухстороннего прессования, что обеспечивает низкие затраты на переоборудование (около 5–10 % от стоимости модернизации оборудования).

применимость

Он особенно подходит для деталей небольшого размера или порошков высокой твердости (например, размер частиц WC <1 мкм) и обладает определенной приспособляемостью к сложным формам.

ограничение

Не подходит для больших или очень сложных геометрических форм, где частота вибрации должна быть точно подобрана в соответствии с характеристиками порошка.

Технические параметры виброуплотнения твердосплавных материалов

Ниже приведены технические параметры вибропрессования твердого сплава, основанные на промышленной практике и экспериментальных данных:

давление

Диапазон : 100–300 МПа, обычно используется 200 МПа для балансировки плотности и срока службы формы.

Воздействие : Давление <100 МПа может привести к недостаточной плотности (<60% теоретической плотности); давление >350 МПа может вызвать растрескивание из-за избыточного давления.

Частота вибрации :

Диапазон : 20–100 кГц, 50 кГц обычно используется для оптимизации перестройки частиц.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Воздействие : Слишком низкие частоты (<20 кГц) имеют ограниченный эффект; слишком высокие частоты (>120 кГц) могут вызвать агломерацию частиц или перегрузку оборудования.

Характеристики порошка :

Размер частиц : размер частиц WC 0,5-2 мкм , размер частиц Co 0,5-1 мкм , отклонение однородности смешивания <3% (GB/T 19077.1-2008).

Содержание Co : 6%-12%, 8% обычно используется для обеспечения умеренной прочности.

Смазка : добавьте 0,5% графита или стеариновой кислоты, чтобы снизить коэффициент трения до <0,1 (экспериментальные данные).

Текучесть : 15-20 секунд/50 г (аналогично ISO 4490:2018), что обеспечивает равномерное наполнение.

Время прессования :

Диапазон : 10–20 секунд, включая вибрацию (5–10 секунд) и основное давление (5–10 секунд).

Воздействие : Если время слишком короткое (<8 секунд), плотность будет недостаточной; если время слишком длинное (>30 секунд), эффективность может снизиться.

Форма материал :

Тип : Сталь высокой твёрдости (например, Cr12MoV, HRC 58 и выше) или карбидная футеровка.

Обработка поверхности : Внутренняя стенка полируется до Ra<0,2 мкм (GB/T 1031-2009) для уменьшения адгезии порошка.

Параметры оборудования :

Вибрационное устройство : Ультразвуковой генератор или механический вибратор, мощность 2-5 кВт, точность частоты ± 2 кГц.

Пресс : гидравлический или механический, диапазон давления 100-400 МПа.

Система управления : управление ПЛК, точность давления ± 5 МПа, отклонение частоты вибрации <5%.

Плотность сырой заготовки :

Диапазон : 65%-75% теоретической плотности (около 8,5-9,5 г/см³ , согласно GB/T 3850-2015).

Удар : Плотность увеличивается с ростом частоты вибрации и давления и может достигать 98%-99% после спекания.

Процесс вибрационного уплотнения твердого сплава

Приготовление порошка :

Порошки WC и Co смешивали в пропорции (размер частиц WC 0,5-2 мкм , содержание Co

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6%-12%) и перемешивали с помощью шаровой мельницы в течение 12-24 часов с отклонением однородности <3%.

Добавьте 0,5% графитовой смазки, перемешайте и просейте через сито (200 меш), текучесть достигнет 15-20 секунд/50 г.

Вибрация и подавление :

Порошок загружался в форму и в течение 5–10 секунд прикладывалась вибрация с частотой 50 кГц и одновременно давление 200 МПа в течение 5–10 секунд.

Температура формы поддерживается на уровне 20–40 °C, чтобы избежать прилипания порошка.

Извлечение из формы и сушка :

Достаньте зеленую заготовку и обрежьте ее до нужного размера (точность $\pm 0,1$ мм).

Сушить при температуре 50–80 °C в течение 2–4 часов, чтобы снизить содержание влаги до <0,5%.

спекание :

Спекание при 1400°C $\pm 10^\circ\text{C}$, выдержка 1,5 часа, вакуум или Ar атмосфера, уплотняется до 98%-99% теоретической плотности.

Сценарий применения

Вибропрессование широко применяется при производстве заготовок из твердого сплава, требующих высокой однородности и малых размеров. Основные сценарии включают:

Заготовки для мелких инструментов

Например, заготовки твердосплавных сверл и заготовки микрофрез, требующие высокой плотности и однородности.

Прецизионные детали

Например, твердосплавные сердечники или износостойкие детали, используемые в формах или режущих инструментах.

Исследование вибрационного уплотнения твердого сплава

На предприятии изготавливаются заготовки буровых коронок из сплава WC-8%Co (диаметр 10 мм, высота 15 мм) методом вибропрессования с частотой вибрации 50 кГц и давлением 200 МПа. Плотность заготовки в сыром виде составляет 72% от теоретической плотности (около 9,2 г/см³), твердость после спекания HRA 91, пористость A00, она применяется для бурения твердых пород со сроком службы >1200 м.

Факторы влияния и стратегии оптимизации вибрационного уплотнения твердосплавных изделий

Частота вибрации :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Воздействие : 50 кГц $\pm$ 2 кГц оптимизирует перегруппировку частиц, частоты < 20 кГц имеют ограниченный эффект; частоты > 120 кГц могут вызвать агломерацию частиц (увеличение размера частиц > 10%).

Оптимизация : настройка в соответствии с размером частиц порошка, 40–60 кГц для порошка размером 1 мкм, оснащен калибратором частоты.

Контроль давления :

Удар : 200 МПа $\pm$ 5 МПа увеличивает плотность (теоретическая плотность составляет 65–75%), давление < 100 МПа увеличивает плотность < 60%; давление > 350 МПа может вызвать деформацию формы.

Оптимизация : используйте давление 200–250 МПа, динамически регулируйте его в соответствии с характеристиками порошка.

Размер порошка :

Удар : Размер частиц 0,5–2 мкм. Если размер частиц слишком большой (> 3 мкм), эффект вибрации будет ослаблен; если размер частиц слишком маленький (< 0,3 мкм), возможен перегрев и склеивание.

Оптимизация : используйте порошок WC размером 0,8–1,5 мкм, размер частиц Co 0,5–1 мкм и однородность смешивания < 2%.

Соотношение смазки :

Воздействие : 0,5% графита снижает трение (< 0,1), слишком высокое соотношение (> 1%) снижает плотность; слишком низкое соотношение (< 0,2%) увеличивает трение.

Оптимизация : Контролируйте концентрацию 0,4–0,6% и перемешивайте в течение 2 часов для обеспечения однородности.

Время прессования :

Воздействие : 10–20 секунд, время < 8 секунд означает недостаточную плотность; время > 30 секунд означает снижение эффективности.

Оптимизация : установите значение 15 секунд (8 секунд для вибрации, 7 секунд для основного давления) и отрегулируйте в соответствии с размером заготовки.

Меры предосторожности при виброуплотнении твердого сплава

частоту вибрации : отрегулируйте ее в соответствии с размером частиц порошка (40 кГц для 0,5 мкм и 60 кГц для 2 мкм), избегайте агломерации и регулярно проверяйте генератор вибрации (отклонение частоты < 5%).

Техническое обслуживание оборудования : ежемесячно проверяйте вибратор и матрицу, очищайте от остатков порошка, калибруйте частоту ($\pm$ 2 кГц) и давление ($\pm$ 5 МПа).

Форма конструкция : внутренняя стенка отполирована до Ra < 0,2 мкм, сопротивление давлению > 400 МПа, чтобы избежать износа, вызванного вибрацией.

Контроль высыхания : сушить при температуре 50–80 °C в течение 2–4 часов, влажность

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

<0,5%, чтобы предотвратить впитывание влаги и растрескивание.

Безопасная эксплуатация : Избегайте перегрузок при работе вибрационного оборудования и контролируйте мощность ниже 5 кВт.

Фактическое исследование вибрационного уплотнения твердого сплава

Компания использует процесс вибропрессования для производства заготовок сверл WC-8%Co (диаметр 10 мм, высота 15 мм) для бурения твердых пород. Параметры процесса следующие:

Давление: 200 МПа $\pm$ 5 МПа.

Частота вибрации: 50 кГц $\pm$ 2 кГц.

частиц WC 1 мкм , содержание Co 8% $\pm$ 0,5%, графитовая смазка 0,5% $\pm$ 0,1%.

Спекание: 1400°C, температура выдержки 1,5 часа. Результат: плотность в сыром виде 72% от теоретической плотности (около 9,2 г/см³) , плотность после спекания 98,5% от теоретической плотности, твердость HRA 91, пористость A00, срок службы буровой коронки >1200 м (твердая порода, прочность на сжатие 150 МПа).

Практика инженерного применения виброуплотнения цементированного карбида

Заготовка для твердосплавного сверла

Процесс : Заготовки сверл WC-10%Co (диаметром 8 мм, высотой 12 мм) изготавливались методом вибропрессования при давлении 200 МПа и частоте 50 кГц.

Эксплуатационные характеристики : После спекания твердость составляет HRA 90, плотность составляет 98% от теоретической плотности, пористость составляет A00, используется для бурения нефтяных скважин, срок службы составляет >1500 м.

Преимущества : Высокая однородность и плотность улучшают ударопрочность и износостойкость сверла.

Микроформа сердечника

Процесс : сердечники WC-6%Co (диаметром 5 мм, высотой 10 мм) были изготовлены методом вибропрессования при давлении 180 МПа и частоте 40 кГц.

Эксплуатационные характеристики : твердость после спекания HRA 92, плотность 98,5% теоретической плотности, сопротивление давлению >200 МПа, используется для изготовления штампов точной штамповки.

Преимущества : Уменьшение пористости и расслоения, более длительный срок службы штампа (>10 000 штампов).

Вибрационное прессование является эффективным и экономичным процессом прессования твердого сплава. Благодаря высокочастотной вибрации (50 кГц $\pm$ 2 кГц) с помощью давления 200 МПа $\pm$ 5 МПа плотность сырой заготовки может быть увеличена до 65% -75% от теоретической плотности, а после спекания она может достичь 98% -99% от теоретической плотности (твердость HRA 90-92). Он хорошо работает в областях небольших

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

инструментальных заготовок и микроформовочных стержней и особенно подходит для производства высокотвердых порошков и деталей небольшого размера. За счет оптимизации частоты вибрации, давления и размера частиц порошка можно значительно уменьшить дефекты и улучшить производительность.

5.1.28 Многоосное неизостатическое прессование твердого сплава (например, четырех- и шестистороннее прессование)

Принцип многонаправленного прессования твердого сплава

Многонаправленное неизостатическое прессование — это передовая технология прессования в порошковой металлургии, подходящая для формования твердого сплава (например, смешанного порошка WC-Co). Ее основной принцип заключается в приложении неизотропного давления под разными углами через несколько прессующих головок (обычно 4 или 6, включая вертикальные и несколько горизонтальных направлений), заменяя однонаправленное сжатие традиционного однонаправленного или двунаправленного прессования. Распределение давления оптимизируется и регулируется прецизионной системой управления. Каждая прессующая головка может независимо регулировать силу и применять адаптивное давление в соответствии с требованиями к форме и плотности заготовки, тем самым достигая равномерного сжатия и уплотнения в трехмерном пространстве. В отличие от изостатического прессования, давление многонаправленного неизостатического прессования не является полностью изотропным, а градуируется и контролируется в соответствии с требованиями конструкции. Оно особенно подходит для заготовок из твердого сплава со сложной формой или требующих локальной высокой плотности. После прессования заготовка дополнительно уплотняется до высокопроизводительного уровня путем спекания.

Процесс многонаправленного прессования твердого сплава

Подготовка порошка : смешайте порошки WC и Co, добавьте небольшое количество смазки и загрузите в форму.

Многонаправленное прессование : давление прикладывается 4 или 6 прессующими головками (400–500 МПа по вертикали, 300–400 МПа по горизонтали) в течение 10–20 секунд.

Извлечение из формы и сушка : выньте зеленую заготовку и высушите ее при температуре 50–80 °C в течение 2–4 часов.

Спекание : спекание при температуре 1350–1450 °C, уплотнение до 98–99 % теоретической плотности.

Уникальными преимуществами этого процесса являются его гибкое распределение давления и возможность контроля высокой плотности, что особенно подходит для изделий из твердого сплава, требующих высокой однородности и сложной геометрии.

Характеристики многонаправленного прессования твердого сплава

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Многонаправленное неизостатическое прессование имеет следующие существенные особенности при производстве твердого сплава:

Высокая плотность : плотность сырой заготовки составляет 85–90 % от теоретической плотности, что близко к плотности при холодном изостатическом прессовании, и может достигать 99–99,5 % от теоретической плотности после спекания.

Гибкость давления : благодаря независимому управлению несколькими напорными головками распределение давления можно оптимизировать в соответствии с потребностями сырого тела, снижая градиент плотности (<2%).

Сокращение дефектов : неизостатическая конструкция прессования снижает расслоение и микротрещины, а также увеличивает прочность сырого изделия на 15–20%.

Применимость : Подходит для средне-сложных форм (например, заготовок многолезвийных инструментов), с определенными ограничениями для больших размеров или сверхсложных форм.

Сложность оборудования : требуется многоосевой пресс и система точного управления. Стоимость выше, чем однонаправленное или двунаправленное прессование, но ниже, чем изостатическое прессование.

Технические параметры твердосплавного многонаправленного прессования

Ниже приведены технические параметры многонаправленного неизостатического прессования твердого сплава, основанные на промышленной практике и экспериментальных данных:

давление :

Диапазон : 400-500 МПа по вертикали, 300-400 МПа по горизонтали, соотношение давлений обычно составляет 1:0,7:0,6:0,6 (четырёхходовой) или 1:0,7:0,6:0,6:0,6:0,6 (шестиходовой).

Воздействие : Слишком низкое давление (<300 МПа) приведет к недостаточной плотности (<80% теоретической плотности); слишком высокое давление (>600 МПа) может повредить форму.

Характеристики порошка твердого сплава многонаправленного прессования :

Размер частиц : размер частиц WC 1-3 мкм , размер частиц Co 0,5-1 мкм , отклонение однородности смешивания <3% (GB/T 19077.1-2008).

Содержание Co : 6%-10%, обычно 8%-12% для обеспечения прочности.

Смазка : добавьте 0,5–1 % графита или стеариновой кислоты, чтобы снизить коэффициент трения до <0,15.

Текущность : 15-20 секунд/50 г (аналогично стандарту ISO 4490:2018).

Количество и направление инденторов для многонаправленного прессования твердого сплава :

Четырёхстороннее прессование : 1 вертикальная прессующая головка, 3 горизонтальные прессующие головки (распределение 120°).

Шестистороннее прессование : 1 вертикальная прессующая головка, 5 горизонтальных прессующих головок (распределение 72°).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Синхронность : отклонение движения нажимной головки составляет $<0,5$ мм, что обеспечивает равномерное сжатие.

Время прессования :

Диапазон : 10–20 секунд, включая предварительную компрессию (5 секунд) и основную компрессию (5–15 секунд).

Воздействие : Если время слишком короткое (<8 секунд), плотность будет неравномерной; если время слишком длинное (>30 секунд), эффективность снизится.

Форма материал :

Тип : твердосплавная вставка (HRA 88 и выше) или высокопрочная сталь (HRC 60 и выше).

Обработка поверхности : Внутренняя стенка полирована до $Ra < 0,2$ мкм (GB/T 1031-2009), сопротивление давлению >800 МПа.

Параметры оборудования :

Пресс : Многокоординатный гидравлический пресс, мощность 20-50 кВт, диапазон давления 400-600 МПа.

Система управления : замкнутый контур управления ПЛК, точность давления ± 5 МПа, точность перемещения $<0,01$ мм.

Вибропомощь (опционально): 20–50 кГц, улучшает перегруппировку частиц.

Плотность сырой заготовки :

Диапазон : 85%-90% теоретической плотности (приблизительно $10,8-11,4$ г/см³ , согласно GB/T 3850-2015).

Удар : Плотность увеличивается с количеством пресс-головок и давлением и может достигать 99%-99,5% после спекания.

Технологическая схема многонаправленного прессования твердого сплава

Приготовление порошка :

Порошки WC и Co смешивали в пропорции (размер частиц WC 1-3 мкм , содержание Co 6%-12%) и перемешивали с помощью шаровой мельницы в течение 12-24 часов с отклонением однородности $<3\%$.

Добавьте 0,5%-1% графитовой смазки, перемешайте и просейте через сито (200 меш), текучесть 15-20 секунд/50 г.

Заполнение формы :

Порошок загружается в пресс-форму многонаправленного действия, а для обеспечения плотности применяется вибрационное наполнение (50 Гц), при этом степень наполнения составляет 70–80%.

Разогрейте форму до 20–40 °C, чтобы избежать прилипания порошка.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Многонаправленное подавление :

Прикладывайте четырех- или шестистороннее давление (400 МПа по вертикали и 300 МПа по горизонтали) в течение 10–20 секунд.

Синхронность пресс-головки контролируется серводвигателем с отклонением <0,5 мм.

Извлечение из формы и сушка :

Достаньте зеленую заготовку и обрежьте ее до нужного размера (точность $\pm 0,1$ мм).

Сушить при температуре 50–80 °C в течение 2–4 часов, чтобы снизить содержание влаги до <0,5%.

спекание :

Спекание при 1400°C $\pm 10^\circ\text{C}$, выдержка 1,5 часа, вакуум или Ar атмосфера, уплотняется до 99%-99,5% теоретической плотности.

Сценарии применения многонаправленного прессования твердого сплава

Многонаправленное неизостатическое прессование подходит для заготовок из твердого сплава, требующих высокой плотности и среднесложных форм. Основные сценарии включают:

Многолезвийные режущие инструменты : такие как сложные заготовки фрез и сверл, требующие высокой однородности и плотности.

Прецизионные детали пресс-форм : такие как стержни штамповочных форм или вытяжные штампы, требующие локально высокой плотности.

Изнашиваемые детали : такие как твердосплавные вкладыши или сменные накладки, используемые в условиях высоких нагрузок.

Исследование случая многонаправленного прессования твердого сплава

На предприятии изготавливаются заготовки многолезвийного инструмента из сплава WC-12%Co (диаметр 40 мм, высота 20 мм) методом шестикратного прессования, вертикальное давление 500 МПа, боковое давление 400 МПа, плотность сырой заготовки 90% от теоретической плотности (около 11,4 г/см³), твердость после спекания HRA 92, пористость A00, для авиационной резки, срок службы >1000 м.

Факторы влияния и стратегии оптимизации многонаправленного прессования твердого сплава

Распределение давления :

Удар : 400-500 МПа по вертикали, 300-400 МПа по горизонтали, соотношение давлений 1:0,7:0,6, отклонение >10% приводит к градиенту плотности >5%.

Оптимизация : использовать соотношение давлений 1:0,75:0,65, оснастить датчиком давления, отклонение $\leq \pm 5$ МПа.

Синхронизация напорной головки :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Удар : Отклонение $<0,5$ мм обеспечивает равномерное сжатие; отклонение >1 мм может вызвать локальное избыточное давление (>600 МПа).

Оптимизация : использование управления серводвигателем и калибровки смещения в реальном времени (точность $< 0,01$ мм).

Размер порошка :

Воздействие : Размер частиц 1-3 мкм . Если размер частиц слишком большой (>4 мкм) , плотность неравномерная; если размер частиц слишком маленький ($<0,5$ мкм) , они могут слипаться.

Оптимизация : используйте порошок WC размером 1,5–2,5 мкм, размер частиц Co 0,5–1 мкм и однородность смешивания $< 2\%$.

Соотношение смазки :

Воздействие : 0,5–1 % графита снижает трение ($<0,15$), слишком высокое соотношение ($>2\%$) снижает плотность; слишком низкое соотношение ($<0,3\%$) увеличивает износ.

Оптимизация : контролируется на уровне 0,6%-0,8%, время смешивания 2 часа.

Прочность формы :

Удар : Сопротивление давлению >800 МПа, Ra $<0,2$ мкм может снизить адгезию порошка, износ $>0,1$ мм требует замены.

Оптимизация : проверяйте форму каждые 500 прессований и наносите износостойкий слой TiN для продления срока службы ($>10\,000$ раз).

Меры предосторожности при многонаправленном прессовании твердого сплава

Синхронизация индентора : отклонение $<0,5$ мм, регулярная калибровка (раз в месяц) для предотвращения трещин, вызванных локальным избыточным давлением.

Вибрационная поддержка : дополнительная вибрация 20–50 кГц для улучшенной перегруппировки частиц, отклонение частоты $<5\%$.

Форма технического обслуживания : проверка износа внутренней стенки каждые 500 раз, полировка до Ra $<0,2$ мкм , испытание под давлением >800 МПа.

Контроль высыхания : сушить при температуре 50–80 °C в течение 2–4 часов, влажность $<0,5\%$, не допускать впитывания влаги.

Безопасность оборудования : Избегайте перегрузки при работе многоосного станка, верхний предел давления должен быть установлен на уровне 600 МПа.

Реальный случай многонаправленного прессования твердого сплава

Компания использует шестиходовой процесс прессования для производства заготовок многолезвийных инструментов WC-12%Co (диаметр 40 мм, высота 20 мм) для авиационной резки. Параметры процесса следующие:

Давление: 500 МПа по вертикали, 400 МПа по горизонтали.

Время подавления: 15 секунд.

частиц WC 2 мкм , содержание Co $12\% \pm 0,5\%$, графитовая смазка $0,8\% \pm 0,1\%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Спекание: 1450°C, выдержка при температуре 1,5 часа. Результаты: плотность в сыром виде 90% теоретической плотности (около 11,4 г/см³), плотность после спекания 99,5% теоретической плотности, твердость HRA 92, пористость A00, стойкость при резании >1000 м (сплав Ti, скорость резки 300 м/мин).

Практика применения в машиностроении многонаправленного прессования твердого сплава

Заготовки сложных фрез :

Процесс : Заготовки фрез WC-10%Co (диаметром 30 мм, высотой 15 мм) были изготовлены методом шестистороннего прессования под давлением 450 МПа по вертикали и 350 МПа по горизонтали.

Эксплуатационные характеристики : После спекания твердость составляет HRA 91, плотность составляет 99% от теоретической плотности, пористость составляет A00, используется для авиационной обработки, срок службы составляет >800 м.

Преимущества : Многонаправленное давление оптимизирует плотность сложных лопастей и уменьшает образование трещин.

Износостойкая подкладка :

Процесс : футеровка WC-8%Co (толщина 10 мм, площадь 100 см²), изготовленная методом четырехстороннего прессования, 400 МПа по вертикали и 300 МПа по горизонтали.

Эксплуатационные характеристики : твердость после спекания HRA 90, износостойкость > 500 часов (нагрузка 50 Н), сопротивление давлению > 200 МПа.

Преимущества : Высокая однородность обеспечивает устойчивость футеровки при высоких нагрузках.

Многонаправленное неизостатическое прессование (например, четырех- и шестистороннее прессование) представляет собой высокоплотный (теоретическая плотность 85–90%) и очень гибкий процесс прессования твердого сплава. Он обеспечивает равномерное сжатие заготовок сложной формы с помощью нескольких пресс-головок (400–500 МПа по вертикали и 300–400 МПа по горизонтали) и достигает теоретической плотности 99–99,5% (твердость HRA 90–92) после спекания. Он хорошо работает в таких областях, как сложные заготовки фрез и износостойкие подкладки, и особенно подходит для применений, требующих локальной высокой плотности. За счет оптимизации распределения давления, синхронизации пресс-головки и размера частиц порошка качество и производительность заготовки могут быть значительно улучшены.

5.1.29 Сравнительная таблица процессов прессования твердого сплава

Процесс прессования	Функции	Процесс	Требования к оборудованию	Показатели эффективности	Применимые продукты	Преимущества и недостатки
Одностороннее	- Простота и	1. Заполнение	- Одноосный	- Плотность в	- Детали простой	Преимущества

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Процесс прессования	Функции	Процесс	Требования к оборудованию	Показатели эффективности	Применимые продукты	Преимущества и недостатки
подавление	эффективность	порошком	2. гидравлический	сыром виде:	геометрии (например,	а : простота
	- Низкая плотность (теоретическая плотность 50-65 %) Легкость создания градиента плотности - Подходит для простых форм	Однонаправленное давление (100-300 МПа) 3. Извлечение из формы и сушка 4. Спекание (1350-1450°C)	пресс Мощность 5-10 кВт - Штампы: Сталь высокой твердости (HRC 58)	- 50%-65% Твердость после спекания: HRA 88-90 Пористость: A02-B02	- режущие пластины - Пример: пластина WC-8%Co (10 ×10 × 5 мм)	
Двустороннее подавление	- Более равномерное, чем однонаправленное прессование Немного более высокая плотность (теоретическая плотность 60%-75%) Подходит для средних сложных форм	1. Заполнение порошком 2. Двухнаправленное давление (200-400 МПа) 3. Извлечение из формы и сушка 4. Спекание (1350-1450°C)	- Двухкоординатный гидравлический пресс Мощность 10-20 кВт - Штампы: карбид (HRA 88)	- Плотность в сыром виде: 60%-75% Твердость после спекания: HRA 89-91 Пористость: A02	- Детали средней сложности (например, заготовки фрез) - Пример: заготовка фрезы WC-10%Co (диаметр 20 мм)	Преимущества : а : улучшенная однородность плотности (градиент <5%). Недостатки : все еще не подходит для очень сложных форм, немного более сложное оборудование.
Изостатическое прессование (холодное изостатическое прессование)	- Высокая однородность - Высокая плотность (теоретическая плотность 75%-85%) Подходит для сложных форм - Более высокая	1. Упаковка порошка в мешки 2. Изостатическое прессование (200-400 МПа) 3. Извлечение мешков и сушка 4. Спекание (1350-1450°C)	- Изостатический пресс Сопротивление давлению > 500 МПа - Жидкая среда: масло или вода - Мощность 50-100 кВт	- Плотность в сыром виде: 75%-85% Твердость после спекания: HRA 90-92 Пористость: A00-B00	- Детали сложной формы (например, заготовки для авиационного инструмента) - Пример: заготовка для инструмента WC-12%Co (диаметр 50 мм)	Преимущества : а : высокая плотность, хорошая однородность, подходит для сложных форм. Недостатки : высокая стоимость

Процесс прессования	Функции	Процесс	Требования к оборудованию	Показатели эффективности	Применимые продукты	Преимущества и недостатки
	стоимость					оборудования, длительный цикл.
Изостатическое прессование (горячее изостатическое прессование)	- Сверхвысокая плотность Устранение микропор Высокая температура и высокое давление (1350-1450°C, 100-200 МПа) Чрезвычайно высокая стоимость	1. Загрузите спеченный продукт в оборудование HIP 2. Примените высокую температуру и высокое давление (1400°C, 150 МПа) 3. Охладите и сбросьте давление 4. Отделка	2. - Оборудование HIP - Внутренняя полость > 200 мм - Мощность > 150 кВт - Среда давления: Ag (чистота > 99,99%)	- Пористость: <0,03% - Плотность: >99, 8% - Твердость: HRA 92-94 - Срок службы: >20 часов	- Детали высокой надежности (например, авиационные инструменты, горнодобывающие буровые коронки) Пример: инструменты WC- 10%Co (твердость HV 2300)	Преимущества : Чрезвычайно высокая плотность и надежность. Недостатки : Высокая стоимость, подходит для постобработки, а не для прямого формования.
Компресссионное формование	- Эффективное массовое производство Средняя плотность (теоретическая плотность 60%-70%) Ограниченная форма	1. Заполнение порошком 2. Однонаправлен ное или двунаправленно е давление (200 МПа) 3. Извлечение из формы и сушка 4. Спекание (1350-1450°C)	-Пресс-машина Мощность 5-15 кВт -Форма: Сталь высокой твердости (HRC 58)	- Плотность в сыром виде: 60% -70% - Твердость после спекания: HRA 90 - Пористость: A02	- Стандартизованны е детали (например, режущие пластины) Пример: пластина WC-8%Co (10 ×10 × 5 мм)	Преимущества : высокая эффективность, низкая стоимость Недостатки : ограниченная форма, быстрый износ формы.
Экструзия	- Гибкая форма (удлиненная форма) Требуется обезжиривание - Средняя плотность (теоретическая	1. Порошок, смешанный со связующим (ПВА 20%) 2. Экструзия (300 МПа, 1 м/мин) 3. Резка и удаление	- Экструдер Давление 200- 500 МПа - Матрица: карбид Нагрев цилиндра: 50- 80°C	- Плотность в сыром виде: 55%-65% - Твердость после спекания: HRA 91 - Пористость: A02	- Длинные инструменты (например, прутки) Пример: пруток WC- 10%Co (диаметр 5 мм, длина 300 мм)	Преимущества : подходит для тонких форм, непрерывное производство. Недостатки : необходимо обезжиривать,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Процесс прессования	Функции	Процесс	Требования к оборудованию	Показатели эффективности	Применимые продукты	Преимущества и недостатки
	плотность 55%-65%) Непрерывное производство	связующего - Спекание	4.			сложный процесс.
Литье под давлением	- Высокая точность (допуск < 0,01 мм) - Сложная форма - Низкая плотность (теоретическая плотность 50%-60%) Множество процессов	1. Порошок, смешанный со связующим (РОМ 25%) Инжекция (80 МПа, 180°C) Удаление связующего Спекание	- Литьевая машина 2. Давление 50-120 МПа 3. Форма: сталь Н13 Нагрев цилиндра: 150-200°C	- Плотность в сыром виде: 50%-60% Твердость после спекания: HRA 92 Пористость: A00-B00	- Микродетали (например, шестерни) - Пример: шестерня WC-6%Co (диаметр 3 мм, толщина 1 мм)	Преимущества : высокая точность, подходит для сложных форм. Недостатки : много процессов, высокая стоимость.
Прессование сухих мешков	- Высокая однородность - Высокая плотность (теоретическая плотность 70%-75%) Более высокая эффективность, чем изостатическое прессование влажных мешков - Ограниченная форма	1. Засыпка порошка в сухие мешки 2. Прессование (300 МПа) 3. Извлечение из формы и сушка 4. Спекание (1350-1450°C)	- Изостатический пресс для сухих мешков Давление 200-400 МПа Форма : резина (твердость по Шору А 70)	- Плотность в сыром виде: 70%-75% Твердость после спекания: HRA 90 Пористость: A00-B00	- Детали среднего размера (например, втулки подшипников) - Пример: втулка WC-8%Co (диаметр 50 мм)	Преимущества : хорошая однородность, высокая эффективность. Недостатки : ограниченная форма, средняя стоимость оборудования.
Многонаправленное подавление	- Равномерная плотность (теоретическая плотность 75-80 %) - Мало дефектов Подходит для	1. Заполнение порошком 2. Разнонаправленное давление (вертикальное - боковое)	- Многокоординатный пресс Мощность 15-30 кВт - Матрица: с твердосплавной футеровкой	- Плотность в сыром виде: 75%-80% Твердость после спекания: HRA 91 Пористость:	- Заготовки сложных инструментов (например, многолезвийные фрезы) - Пример: заготовка инструмента WC-	Преимущества : высокая однородность, мало дефектов. Недостатки : сложное оборудование,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Процесс прессования	Функции	Процесс	Требования к оборудованию	Показатели эффективности	Применимые продукты	Преимущества и недостатки
	средних и сложных форм	МПа) 3. Извлечение из формы и сушка 4. Спекание		A00-B00	8%Co (диаметр 30 мм)	высокая стоимость
Многонаправленное неизостатическое прессование	- Высокая плотность (теоретическая плотность 85-90 %) - Гибкое давление - Подходит для локальных потребностей в высокой плотности	1. Заполнение порошком 2. Четырех-/шестистороннее давление (вертикальное) 500 МПа, боковое 400 МПа) 3. Извлечение из формы и сушка 4. Спекание	- Многоосевой гидравлический пресс Мощность 20-50 кВт - Система управления: 3. ПЛК, точность < 0,01 мм	- Плотность в сыром виде: 85%-90% - Твердость после спекания: HRA 92 - Пористость: A00	- Заготовки многолезвийных инструментов (например, заготовки фрез) - Пример: заготовка фрезы WC-12%Co (диаметр 40 мм)	Преимущества : высокая плотность, гибкое давление. Недостатки : сложное оборудование, высокая стоимость.
Профилирование рулонов	- Непрерывное производство - Регулируемая толщина (0,5-5 мм) - Низкая плотность (50%-60% теоретической плотности)	1. Подача порошка 2. Прокатка (100 МПа, 10 об/мин) 3. Резка и сушка 4. Спекание (1350-1450°C)	- Прокатный станок - Мощность 10-20 кВт - Ролики: Твердый сплав (HRC 60)	- Плотность в сыром виде: 50%-60% - Твердость после спекания: HRA 89 - Пористость: A02	- Тонкая листовая заготовка (например, износостойкое покрытие подложки) - Пример: тонкий лист WC-10%Co (толщина 2 мм, ширина 100 мм)	Преимущества : непрерывное производство, простота оборудования. Недостатки : низкая плотность, не подходит для сложных форм.
Подавление взрыва	- Сверхвысокая плотность (теоретическая плотность 90%-95%) - Мгновенная формовка (<1 миллисекунды) - Высокие требования безопасности	1. Контейнер для порошка 2. Взрыв (тротил 0,5-1 кг) 3. Термическая обработка 4. Спекание (1400°C)	- Взрывная камера - Контейнер: Высокопрочная сталь (толщина 15 мм) - Безопасное расстояние: >500 м	- Плотность в сыром виде: 90%-95% - Твердость после спекания: HRA 94 - Пористость: A00	- Высокопроизводительные детали (например, мишени PVD) - Пример: мишень WC-6%Co (диаметр 100 мм, толщина 5 мм)	Преимущества : сверхвысокая плотность, высокая эффективность. Недостатки : высокие требования к безопасности, высокая стоимость, для

Процесс прессования	Функции	Процесс	Требования к оборудованию	Показатели эффективности	Применимые продукты	Преимущества и недостатки
						ремонта микротрещин требуется термообработка
Подавление вибрации	- Улучшение плотности (теоретическая плотность 65%-75%) Меньше дефектов Низкая стоимость преобразования	1. Заполнение порошком Вибрация (50 кГц) + давление (200 МПа) Извлечение из формы и сушка 4. Спекание	- Вибропресс Вибратор: 2-5 кВт, частота 20- 100 кГц Матрица: Сталь высокой твердости	- Плотность в сыром виде: 65%-75% Твердость после спекания: HRA 91 Пористость: A00-B00	- Небольшие заготовки инструментов (например, заготовки сверл) - Пример: заготовка сверла WC- 8%Co (диаметр 10 мм, высота 15 мм)	Преимущества : повышенная плотность, меньше дефектов, низкая стоимость модификации. Недостатки : не подходит для крупногабарит ных деталей, требуется оптимизация частоты.

5.1.30 Комплексный анализ и обобщение процесса прессования твердого сплава

Процессы прессования твердого сплава (однонаправленное прессование, двунаправленное прессование, изостатическое прессование, компрессионное формование, экструзионное формование, литье под давлением, прессование в сухих мешках , многонаправленное прессование, многонаправленное неизостатическое прессование, профилирование, взрывное прессование, вибрационное прессование), охватывающие такие параметры, как характеристики, технологический процесс, требования к оборудованию, показатели производительности, применяемые продукты, преимущества и недостатки.

1. Плотность и однородность

Самая высокая плотность : взрывное прессование (теоретическая плотность 90–95%) и многонаправленное неизостатическое прессование (теоретическая плотность 85–90%) дают наилучшие результаты и подходят для задач с высокими эксплуатационными характеристиками.

Однородность : изостатическое прессование (холодное/горячее) и многонаправленное

неизостатическое прессование обеспечивают наилучшую однородность (градиент плотности <2%), подходят для сложных форм и высоких требований к качеству.

Низкая плотность : прокатка и литье под давлением (теоретическая плотность 50–60%), которую необходимо компенсировать последующим спеканием.

2. Применимость и сложность формы

Сложные формы : литье под давлением (допуск < 0,01 мм) и изостатическое прессование подходят для очень сложных форм, таких как микрошестерни и сложные заготовки инструментов.

Тонкие формы : экструзионное формование специально разработано для стержней и труб длиной до нескольких метров.

Тонкие листы/большие площади : Профилирование подходит для тонких листов с точным контролем толщины (0,5–5 мм).

Простые формы : одностороннее прессование и компрессионное формование подходят для стандартизированных деталей, обладают высокой эффективностью, но ограничены в формах.

3. Эффективность и себестоимость производства

Высокая эффективность : профилирование и экструзия поддерживают непрерывное производство и подходят для больших объемов.

Низкая стоимость : Оборудование для одностороннего прессования, компрессионного формования и профилирования отличается простотой и низкими затратами на техническое обслуживание.

Высокая стоимость : взрывное прессование и горячее изостатическое прессование имеют высокую стоимость из-за требований к оборудованию и безопасности и подходят для небольших партий продукции с высокой добавленной стоимостью.

4. Ошибки и производительность

Наименьшее количество дефектов : горячее изостатическое прессование (пористость <0,03%), многонаправленное неизостатическое прессование и вибрационное прессование (пористость A00-B00) имеют мало дефектов и подходят для случаев, когда требуются высокие требования к надежности.

Высокая производительность : взрывное прессование (твердость HRA 94) и горячее изостатическое прессование (твердость HRA 92-94) обеспечивают наилучшую производительность и подходят для экстремальных условий работы.

5. Сложность оборудования и процесса

Простое оборудование : Оборудование для одностороннего прессования, компрессионного формования и профилирования простое и легкое в использовании.

Сложное оборудование : многонаправленное неизостатическое прессование и взрывное прессование требуют многокоординатных машин или специальных взрывных установок и имеют высокие технические барьеры.

Сложный процесс : литье под давлением и экструзионное формование требуют

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

обезжиривания, поэтому этапов больше.

6. Сравнение областей применения

Авиация/Высокая надежность : горячее изостатическое прессование, многонаправленное неизостатическое прессование и взрывное прессование для удовлетворения потребностей авиационных инструментов, мишеней и т. д.

Промышленная партия : однонаправленное прессование, компрессионное формование, профилирование, подходит для режущих лезвий, износостойких покрытий подложек.

Микропрецизионность : литье под давлением и вибропрессование, подходит для микрошестерен и заготовок сверл .

Выбор процесса прессования твердого сплава должен основываться на форме изделия, требованиях к производительности, масштабах производства и смете затрат:

Требования к высокой плотности/высоким эксплуатационным характеристикам : взрывное прессование, горячее изостатическое прессование, многонаправленное неизостатическое прессование.

Сложные формы/высокая точность : литье под давлением, изостатическое прессование, многонаправленное прессование.

Большие объемы/простые формы : однонаправленное прессование, компрессионное формование, формование потоком.

Тонкая форма : экструдированная.

Малый размер/высокая однородность : вибрационное прессование, прессование в сухих мешках.

Эффект прессования и качество продукции можно дополнительно улучшить за счет оптимизации параметров процесса (таких как давление, частота вибрации, соотношение связующего) и оборудования (таких как конструкция пресс-формы, система управления).

5.2 Процесс спекания твердого сплава

Процесс спекания твердого сплава уплотняет заготовку (плотность $>99,5\% \pm 0,1\%$, ISO 3369-2006), оптимизирует микроструктуру (отклонение зерна WC $<5\% \pm 1\%$, распределение фазы Co $>95\% \pm 1\%$, ASTM B657-16) и достигает высокой твердости (HV 1500-2500 ± 30 , ISO 3369-2006) за счет высокой температуры (1350-1500°C $\pm 10^\circ\text{C}$, ISO 4489:2009, спекание - это процесс диффузии и объединения частиц порошка с образованием плотных материалов при высокой температуре) и определенной атмосферы (вакуум $<10^{-2}$ Па $\pm 10^{-3}$ Па, соответствующие требования процесса GB/T 1479.1-2011, вакуумная среда снижает окисление; чистота Ar $>99,99\% \pm 0,01\%$, GB/T 4325-2018) для оптимизации микроструктуры (отклонение зерна WC $<5\% \pm 1\%$, распределение фазы Co $>95\% \pm 1\%$, ASTM B657-16) и достигает высокой твердости (HV 1500-2500 ± 30 , ISO 3738-1:1982), вязкости (K_1 с 8-20 МПа·м^{1/2} $\pm 0,5$, ISO 28079:2009) и прочности (>4000 МПа ± 100 МПа, GB/T 3851-2015).

В этом разделе анализируется вакуумное спекание цементированного карбида, спекание цементированного карбида методом горячего изостатического прессования, микроволновое

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

спекание цементированного карбида и искровое плазменное спекание (SPS) цементированного карбида, а также обсуждается оптимизация и применение процесса в сочетании с термодинамикой и кинетикой.

5.2.0 Традиционный процесс спекания твердого сплава

5.2.0.0 История традиционного процесса спекания твердого сплава

Традиционный процесс спекания твердого сплава возник в начале 20 века с быстрым развитием технологии порошковой металлургии. В 1909 году немецкий ученый Шретер впервые подготовил прототип твердого сплава, смешав карбид вольфрама с металлами железа (такими как Co) для спекания. В 1923 году компания Kurr в Оснабрюке, Германия, достигла промышленного производства, что ознаменовало рождение твердого сплава. С тех пор этот процесс широко использовался в 1930-х и 1950-х годах, особенно во время Второй мировой войны, для изготовления режущих инструментов и броневых материалов. Ранний процесс основывался на простых печах сопротивления и ручном управлении. К 1960-м годам, с внедрением вакуумной технологии и водородной защиты, процесс был постепенно усовершенствован, но его базовая структура сохранила традиционные характеристики и до сих пор занимает важное место на некоторых малых и средних предприятиях.

5.2.0.1 Принцип традиционного процесса спекания твердого сплава

Традиционный процесс спекания твердого сплава основан на принципе жидкофазного спекания порошковой металлургии, который объединяет частицы порошка в плотные материалы посредством высокой температуры. Его основной механизм включает:

Твердофазная диффузия

На начальном этапе нагрева ($<1350^{\circ}\text{C}$) происходит атомная диффузия между частицами WC и формируется предварительная каркасная структура.

Жидкофазное спекание

При достижении температуры $1350-1400^{\circ}\text{C}$ кобальт плавится с образованием жидкой фазы, которая проникает в частицы WC, заполняет поры и способствует перегруппировке частиц. Доля жидкой фазы обычно составляет 10-20% (в зависимости от содержания Co), что усиливает связь через капиллярное действие и механизм растворения-осаждения.

Затвердевание и рост

В процессе охлаждения жидкая фаза затвердевает, а зерна WC немного увеличиваются ($1-3\text{ мкм}$), образуя стабильную микроструктуру.

Эффект атмосферы

Вакуумная или водородная атмосфера удаляет оксиды, предотвращает обезуглероживание или образование η -фазы ($\text{Co}_3\text{W}_2\text{C}$), а также обеспечивает сбалансированное содержание углерода (5-6% масс.).

5.2.0.2 Принцип и структура традиционного оборудования для спекания твердого сплава

Традиционный процесс спекания в основном использует следующее оборудование:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Традиционная печь сопротивления для спекания карбида

Принцип : Электрические нагревательные элементы (например, кремниевые углеродные стержни или молибденовая проволока) используются для создания высоких температур, а тепло передается заготовке посредством излучения и конвекции.

Структура : состоит из печи (из огнеупорного материала, такого как глинозем), нагревательных элементов, изоляции и вакуумного/газового впуска. Объем печи обычно составляет 0,5-2 м³, а диапазон температур составляет 600-1500°C.

Особенности : Простая конструкция, низкая тепловая эффективность (около 50-60%), нагревательные элементы необходимо регулярно заменять.

Обычная вакуумная система спекания твердого сплава

Принцип : Сочетание механического насоса и диффузионного насоса снижает давление в печи до 0,1-1 Па и удаляет кислород и влагу.

Структура : Включает вакуумный насос, клапаны и манометр, подключенные к печи.

Особенности : Высокая стоимость обслуживания и строгие требования к герметизации.

Традиционная система защиты от водорода при спекании цементированного карбида

Принцип: Уменьшить окисление можно путем замены воздуха потоком водорода (10-20 м³/ч).

Структура : Газовый баллон, расходомер и воздухозаборная труба, оснащенная простым выхлопным устройством.

Особенности : Обратите внимание на безопасность при работе с водородом, так как оборудование довольно грубое.

Поддон и форма : изготовлены из графита или керамики, устойчивы к высоким температурам и химически инертны, поддерживают заготовку и передают тепло.

5.2.0.3 Характеристики традиционного спекания твердого сплава

Характеристики процесса :

При ручном управлении параметры процесса (такие как температура и время) в основном регулируются на основе опыта.

Процесс нагрева, сохранения тепла и охлаждения занимает 6–10 часов, а производственный цикл длительный.

Управление атмосферой простое, обычно используется вакуум или водород, а некоторые процессы можно проводить на воздухе.

Функции :

Плотность обычно составляет 13,5–14,5 г/см³ (95–98 % теоретической плотности).

Размер зерна 1-3 мкм, пористость A04-B02, твердость HRA 85-90.

Микроструктура может содержать η-фазу или свободный углерод, а однородность качества низкая.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.2.0.4 Преимущества и недостатки традиционного процесса спекания твердого сплава

Преимущества :

Низкая стоимость : небольшие инвестиции в оборудование (около 50 000–100 000 юаней за единицу для печи сопротивления), низкие требования к сырью и простота обслуживания.

Широкая применимость : подходит для малых и средних предприятий или производства продукции низкого уровня сложности, такой как простые ножи и износостойкие детали.

Продвинутая технология : этот процесс практикуется уже сотни лет, и его легко использовать операторам без сложного обучения.

Недостатки :

Низкая эффективность : длительный производственный цикл (24–48 часов на партию), а производительность ограничена печью.

Нестабильное качество : контроль параметров осуществляется вручную, плотность и пористость сильно колеблются, и трудно соответствовать требованиям высокой точности.

Плохая защита окружающей среды : отработанные газы (например, CO) выбрасываются напрямую без очистки, а испарение растворителей приводит к загрязнению.

Риски безопасности : использование водорода может привести к утечке, а неравномерное рассеивание тепла в традиционных печах может легко привести к локальному перегреву.

Традиционный процесс спекания твердого сплава возник в начале 20 века. Он основан на принципе жидкофазного спекания и опирается на простую печь сопротивления и вакуумно-водородную систему. Оборудование имеет грубую конструкцию, но низкую стоимость. Оно характеризуется зрелой технологией, но ограниченной эффективностью и качеством. Его преимущества и недостатки ясно отражают его переходное положение в современной промышленности.

5.2.0.5 Введение в печь для спекания цементированного карбида в водороде

(1) Структура

Корпус печи :

Корпус: Сварка стального листа, толщина 6-10 мм, антикоррозионное покрытие.

Печь: графит или глинозем высокой чистоты, 0,5-2 м³, термостойкость >1600°C.

Теплоизоляционный слой: Огнеупорное волокно, толщина 50-150 мм.

Система отопления :

Нагревательные элементы: молибденовые или вольфрамовые проволоки, распределенные по внутренней стенке, мощность 10-100 кВт.

Метод нагрева: резистивно-лучистый перенос тепла, температура до 1500°C.

Система защиты от водорода :

Газоснабжение: баллон водорода высокой чистоты, расход 10-50 м³/ч.

Забор и выброс воздуха: нижний забор, верхний выброс, с предохранительным клапаном.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Уплотнительная конструкция: уплотнительное кольцо с водяным или воздушным охлаждением, давление 0,1-0,5 бар.

Поднос и подставка :

Материал: графитовая или алюмооксидная керамика, многослойная, шаг 5-10 см, нагрузка 50-300 кг.

Система управления :

Контроль температуры: термopара + ПИД-регулятор температуры, точность $\pm 10^{\circ}\text{C}$.

Мониторинг атмосферы: анализатор кислорода или расходомер.

Устройства безопасности: датчик водорода, газовый запорный клапан, интерфейс противопожарной защиты.

(2) Обычные характеристики

Размеры печи : длина 1-2 м, ширина 0,5-1 м, высота 0,5-1 м, объем 0,5-2 м³.

Номинальная мощность : 10-100 кВт, напряжение 380 В трехфазного переменного тока.

Диапазон температур : от комнатной температуры до 1500 $^{\circ}\text{C}$, обычно используется 1350-1450 $^{\circ}\text{C}$.

Расход водорода : 10-50 м³/ч, чистота >99,9%, давление 0,1-0,5 бар.

Размер поддона : длина одного слоя 0,8-1,5 м, ширина 0,4-0,8 м, грузоподъемность 50-100 кг/слой, 3-5 слоев.

Вес печи : 2-5 тонн.

Система охлаждения : Рубашка с водяным охлаждением, расход 5-10 м³/ч, температура воды <40 $^{\circ}\text{C}$.

Точность регулирования : температура $\pm 10^{\circ}\text{C}$, давление $\pm 0,05$ бар, расход ± 2 м³/ч.

(3) Характеристики

Характеристики процесса :

Температура: 600-1500 $^{\circ}\text{C}$, жидкофазное спекание 1350-1450 $^{\circ}\text{C}$.

Цикл: 7-12 часов (нагрев 2-4 часа, поддержание тепла 1-2 часа, остывание 4-6 часов).

Атмосфера: Водород восстанавливает оксиды и поддерживает содержание углерода на уровне 5-6% по весу.

Функции :

Плотность: 13,8-14,5 г/см³, пористость A02-B02.

Размер зерна: 1-2,5 мкм, твердость HRA 88-92.

Микроструктура: меньше η -фазы и свободного углерода.

Эксплуатационные характеристики :

Водород и температура регулируются вручную, а неравномерное распределение тепла требует калибровки.

(4) Меры предосторожности

Управление водородом :

Убедитесь, что чистота водорода составляет >99,9%, а давление в баллоне <15 МПа, чтобы избежать утечки.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Во время работы категорически запрещено пользоваться открытым огнем, а также курить и находиться вблизи источников огня на расстоянии менее 5 м.

Проверьте уплотнения и трубы, скорость утечки $< 0,01 \text{ Па} \cdot \text{м}^3/\text{с}$.

Мониторинг безопасности :

Датчик водорода (предел обнаружения 0,05%), подает сигнал тревоги и прекращает подачу газа при концентрации $> 0,4\%$.

Выхлопное отверстие соединено с наружной средой на высоте $> 10 \text{ м}$ для безопасного отвода отработавших газов.

Эксплуатационная защита :

Надевайте антистатическую рабочую одежду, перчатки, устойчивые к высоким температурам, и защитные очки.

Проверьте систему водяного охлаждения , расход воды $> 5 \text{ м}^3/\text{ч}$, чтобы предотвратить перегрев.

Экстренные меры :

Оснащен запорным клапаном и заменой азота, в случае утечки подача водорода прекращается и подается азот.

Располагаются огнетушители (порошковые или углекислотные) и пожарные гидранты , а ширина прохода составляет более 2 м.

Поддержание безопасности :

Во избежание ожогов дайте остыть до температуры $< 50^\circ\text{C}$, прежде чем открывать духовку.

Проверьте нагревательные элементы и термопары на предмет коротких замыканий.

(5) Преимущества и недостатки

Преимущества :

Эффект восстановления хороший, повышается чистота и качество.

Стоимость контролируемая (100 000–200 000 юаней/ед.), а тепловая эффективность составляет 60–70%.

Имеет широкий спектр применения и подходит для множества рецептов.

Недостатки :

Риск безопасности: водород является огнеопасным веществом и требует строгого контроля.

Точность регулирования ограничена, отклонение температуры составляет $\pm 10^\circ\text{C}$.

Низкие экологические показатели, требуется очистка от CO и H_2O .

Техническое обслуживание затруднено, а уплотнения и компоненты подвержены износу.

5.2.0.6 Подготовка и требования к водороду, используемому в печи для спекания цементированного карбида в водороде

1. Получение водорода

Приготовление электролизом:

Принцип: Электролиз воды (H_2O) с образованием H_2 и O_2 .

Процесс: используется деионизированная вода + 10-20% KOH, 4-6 В, электроды из

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

никеля/нержавеющей стали, промывка газом для удаления примесей.

Выход: 0,4-0,5 м³/кВтч.

Особенности: чистота 99,8-99,9%, низкая стоимость, ограниченная эффективность.

Подготовка путем риформинга природного газа:

Принцип: $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$ генерирует $\text{CO} + 3\text{H}_2$ в присутствии никелевого катализатора, а затем преобразует $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$.

Процесс: 500-1000°C, разделение методом ПСА, чистота 99,99%.

Производительность: сотни м³/ч.

Особенности: низкая стоимость, требуется очистка CO_2 .

Утилизация промышленных побочных продуктов:

H_2 из хлорщелочи или рафинирования.

Процесс: Компрессия + очистка, чистота 99,5-99,9%.

Особенности: Высокая загрузка ресурсов и нестабильные поставки.

Приготовление методом разложения аммиака:

Принцип: $2\text{NH}_3 \rightarrow \text{N}_2 + 3\text{H}_2$, разложение жидкого аммиака при высокой температуре.

Процесс: газификация жидкого аммиака, 750-900°C, разложение катализатора на основе железа/никеля, очистка молекулярным ситом до 99,9%.

Выход: 1800-2000 м³ водорода на тонну жидкого аммиака.

Особенности: Оборудование компактно, жидкий аммиак удобно хранить, азотсодержащий газ необходимо отделять.

Хранение и транспортировка:

Сжатый до 15-20 МПа, хранящийся в баллонах емкостью 40-50 л или в автоцистернах с соблюдением правил транспортировки.

2. Потребность в водороде

Требования к чистоте:

Чистота $\geq 99,9\%$ (предпочтительно 99,99%), примеси: $\text{O}_2 < 10 \text{ ppm}$, $\text{H}_2\text{O} < 20 \text{ ppm}$, $\text{CO} < 5 \text{ ppm}$, $\text{H}_2\text{S} < 1 \text{ ppm}$, $\text{NH}_3 < 5 \text{ ppm}$, $\text{N}_2 < 100 \text{ ppm}$.

Точка росы и контрольные данные:

Точка росы: $< -60^\circ\text{C}$ (предпочтительно $< -70^\circ\text{C}$), водяной пар $< 20 \text{ ppm}$ (предпочтительно $< 5 \text{ ppm}$).

Точка росы -60°C : водяной пар приблизительно 20 ppm.

Точка росы -70°C : водяной пар приблизительно 5 ppm.

Точка росы -80°C : водяной пар приблизительно 1 ppm.

Метод контроля:

Молекулярно-ситовая сушилка (молекулярное сито 4A, точка росы $< -70^\circ\text{C}$) или сублимационная сушилка (-80°C).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Онлайн-измеритель точки росы (типа холодного зеркала, точность $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$) для мониторинга в режиме реального времени.

Молекулярное сито регенерировали каждые 1000 ч (200°C , продувка азотом в течение 4 ч).

Воздействие: Точки росы $> -50^{\circ}\text{C}$ (водяной пар $> 50 \text{ ppm}$) могут привести к окислению (WO_3), увеличивая риск образования η -фазы.

Требования к потоку:

$\text{м}^3/\text{ч}$ при работе, $60\text{--}80 \text{ м}^3/\text{ч}$ при замене воздуха, кислород $< 0,1\%$.

Требования к давлению:

В печи $0,1\text{--}0,5 \text{ бар}$, в газовом баллоне $15\text{--}20 \text{ МПа}$, на выходе $< 0,6 \text{ бар}$.

Температурная приспособляемость:

Поставляемые при комнатной температуре $20\text{--}30^{\circ}\text{C}$, трубопроводы выдерживают температуру от -20°C до 150°C .

Требования безопасности и хранения:

Хранить в проветриваемом складе при температуре $< 40^{\circ}\text{C}$, в количестве < 100 бутылок, оборудованном сигнализацией.

3. Подготовка и управление во время использования

Подготовка на месте:

Малое электролизное или разлагающее аммиак устройство + очиститель, чистота $> 99,9\%$, точка росы $< -60^{\circ}\text{C}$.

Переключение источника газа:

Двойные газовые баллоны автоматически переключаются, поддерживая стабильный поток.

Регулярное тестирование:

Чистота (газовая хроматография) и точка росы (метод холодного зеркала) проверяются ежемесячно, а скорость утечки в трубопроводе составляет $< 0,01 \text{ Па} \cdot \text{м}^3/\text{с}$.

Если точка росы ненормальная ($> -60^{\circ}\text{C}$), замените осушитель или проверьте систему очистки.

4. Примечания

Безопасность приготовления:

Метод электролиза предотвращает короткие замыкания, метод риформинга контролирует температуру, а метод разложения аммиака контролирует температуру $750\text{--}900^{\circ}\text{C}$ для проверки активности катализатора.

Безопасность при использовании:

Замена азота > 30 минут, надевайте защитную одежду, не допускайте источников возгорания и следите за точкой росы $< -60^{\circ}\text{C}$.

Обработка для защиты окружающей среды:

Выхлопные газы промываются щелочью или сжигаются, $\text{CO} < 50 \text{ ppm}$, а выхлопные газы от разложения аммиака содержат N_2 , который необходимо разбавить.

5.2.1 Технические параметры и принципы вакуумного спекания твердых сплавов

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Вакуумное спекание твердого сплава осуществляется в вакуумной печи (давление $<10^{-2}$ Па $\pm 10^{-3}$ Па, мощность >100 кВт ± 10 кВт, «ISO 4489:2009»), при температуре $1350-1500^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, скорости нагрева $5-10^{\circ}\text{C}/\text{мин} \pm 0,5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ (скорость нагрева - это скорость изменения температуры во времени, которая влияет на равномерность спекания), и времени выдержки $1-3$ часа $\pm 0,1$ часа. Заготовка уплотняется методом жидкофазного спекания (жидкофазное спекание — это процесс плавления связующей фазы с образованием жидкой фазы и улучшением сцепления частиц) до плотности $14,0-14,8$ г/см³ $\pm 0,1$ г/см³ ($>99,5\% \pm 0,1\%$ теоретической плотности, ISO 3369-2006).

5.2.2 Этапы процесса вакуумного спекания твердого сплава

Удаление связующих веществ ($300-500^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$)

удаляет смазочные материалы и позволяет избежать образования углеродистых остатков ($<0,1\% \pm 0,01\%$, ASTM B657-16, удаление связующих веществ — это процесс удаления органических добавок перед спеканием, чтобы не ухудшить чистоту материала).

Твердофазное спекание ($800-1200^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$)

улучшает диффузионное соединение частиц на поверхности (прочность >50 МПа ± 5 МПа, твердофазное спекание представляет собой процесс твердофазного диффузионного соединения между частицами), а пористость снижается до $20\% \pm 2\%$ (ASTM B657-16).

Жидкофазное спекание ($1350-1500^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$)

Со плавится, смачивает WC, способствует перегруппировке частиц и растворению-переосаждению (растворение -переосаждение — это процесс, при котором мелкие частицы растворяются и переосаждаются на более крупных частицах, оптимизируя распределение зерен).

5.2.3 Фактический случай вакуумного спекания цементированного карбида

мкм $\pm 0,01$ мкм, $\text{Co } 10\% \pm 1\%$), спеченный при $1450^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ с пористостью $<0,1\% \pm 0,02\%$ (ASTM B657-16) для авиационных инструментов (скорость резания >300 м/мин ± 10 м/мин, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 50, 2010), износ $<0,08$ мм $\pm 0,02$ мм, срок службы >18 ч ± 1 ч.

5.2.4 Факторы, влияющие на вакуумное спекание твердого сплава и стратегии оптимизации

Температура спекания

$1450^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ уравнивает плотность и рост зерна (Журнал материаловедения, том 45, 2010 г.); $>1550^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ вызывает рост WC (>1 мкм $\pm 0,01$ мкм, ASTM B657-16) и снижение твердости на $5\% \pm 1\%$ (HV $<2100 \pm 30$, ISO 3738-1:1982).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Время выдержки

2 часа $\pm$ 0,1 часа гарантирует, что пористость составит $< 0,1\% \pm 0,02\%$ (ASTM B657-16); > 4 часов $\pm$ 0,1 часа увеличивает улетучивание Со ($> 0,5\% \pm 0,1\%$, экспериментальные данные), а ударная вязкость снижается на $3\% \pm 0,5\%$ ($K_{1c} < 15 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$, ISO 28079:2009).

Степень вакуума

$< 10^{-2} \text{ Па} \pm 10^{-3} \text{ Па}$ снижает окисление ($O < 0,03\% \pm 0,01\%$, GB/T 4325-2018); $> 10^{-1} \text{ Па} \pm 10^{-2} \text{ Па}$ снижает чистоту ($> 0,1\% \pm 0,02\%$, экспериментальные данные) и прочность уменьшается на $2\% \pm 0,5\%$ (GB/T 3851-2015).

сырой массы

$< 0,5\% \pm 0,1\%$ обеспечивает равномерное спекание (отклонение твердости $< \pm 30 \text{ HV}$, ISO 3738-1:1982); $> 1\% \pm 0,2\%$ вызывает локальную пористость ($> 0,3\% \pm 0,05\%$, ASTM B657-16).

Добавка

$0,5\% \pm 0,01\% \text{ VC/ Cr}_3\text{C}_2$ подавляет рост зерна ($< 0,3 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010) и увеличивает твердость на $5\% \pm 1\%$ (ISO 3738-1:1982); чрезмерное количество ($> 1\% \pm 0,01\%$) создает хрупкую фазу (такую как V_6C_5 , твердость $\text{HV} < 1500 \pm 50$, Acta Materialia, Vol. 58, 2010).

5.2.5 Стратегия оптимизации вакуумного спекания твердого сплава

Точный контроль температуры ($1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, ISO 4489:2009), высокий вакуум ($< 10^{-2} \text{ Па} \pm 10^{-3} \text{ Па}$, GB/T 1479.1-2011), добавление $0,3\% - 0,5\% \pm 0,01\% \text{ VC}$ (Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010) и однородная заготовка (отклонение плотности $< 0,3\% \pm 0,1\%$, GB/T 3850-2015).

5.2.6 Практика применения вакуумного спекания цементированного карбида в технике

Авиационный инструмент

$1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ вакуумное спекание, твердость $\text{HV} 2300 \pm 30$, "ISO 3738-1:1982"), обработка жаропрочных сплавов ($1000^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, "International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 50, 2010"), износ $< 0,08 \text{ мм} \pm 0,02 \text{ мм}$, срок службы > 18 часов ± 1 час.

Горное буровое долото,

спекенное при $1500^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, прочность $K_{1c} > 20 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$, "ISO 28079:2009", сверление гранита (частота ударов $> 10^3 \text{ Гц} \pm 100 \text{ Гц}$, "International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, Vol. 28, 2010"), срок службы $> 1500 \text{ м} \pm 100 \text{ м}$.

Износостойкий

штамп, спекенный при $1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, прочность $> 4200 \text{ МПа} \pm 100 \text{ МПа}$, "GB/T 3851-2015"), холодная высадка прессованием $> 10^6$ раз $\pm 10^5$ раз, "Wear, Vol. 267, 2009"), деформация $< 0,01 \text{ мм} \pm 0,002 \text{ мм}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.2.7 Технические параметры и принципы горячего изостатического прессования-спекания твердого сплава

Горячее изостатическое прессование спеканием твердого сплава проводят при температуре 1350-1450°C $\pm 10^\circ\text{C}$ и давлении 100-200 МПа ± 5 МПа, используя в качестве рабочей среды аргон (Ar, чистота >99,99% $\pm 0,01\%$, GB/T 4325-2018; расход 50 л/мин ± 5 л/мин, экспериментальные данные), а время выдержки составляет 1-2 часа $\pm 0,1$ часа. Оборудование HIP (внутренняя полость >200 мм ± 5 мм, мощность >150 кВт ± 10 кВт, ISO 13703:2000) устраняет пористость спекания за счет изотропного давления (отклонение <1% $\pm 0,2\%$, Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010), а плотность достигает 14,8-15,0 г/см³ $\pm 0,1$ г/см³ (>99,8% $\pm 0,1\%$ теоретической плотности, ISO 3369-2006).

5.2.8 Механизм спекания карбида вольфрама при горячем изостатическом прессовании

На основе пластического течения под высоким давлением (скорость деформации 10^{-4} с⁻¹ $\pm 10^{-5}$ с⁻¹, Acta Materialia, Vol. 58, 2010) и ускорения диффузии (коэффициент 10^{-8} см²/с $\pm 10^{-9}$ см²/с, Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009), пористость значительно снижается (снижается на >50% $\pm 5\%$, Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010), тем самым повышая надежность.

5.2.9 Фактическое исследование горячего изостатического прессования твердого сплава

Процесс HIP при 1400°C $\pm 10^\circ\text{C}$, 150 МПа ± 5 МПа, 1 час $\pm 0,1$ часа производит цементированный карбид (WC 0,3 мкм $\pm 0,01$ мкм, GB/T 19077.1-2008; Co 10% $\pm 1\%$, GB/T 5124-2017) с пористостью <0,03% $\pm 0,01\%$ (ASTM B657-16) для авиационных инструментов (скорость резания >300 м/мин ± 10 м/мин, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 50, 2010), твердостью HV 2300 ± 30 и сроком службы >20 часов ± 1 час.

5.2.10 Факторы, влияющие на горячее изостатическое прессование спекания твердого сплава и стратегии оптимизации

Давление

150 МПа ± 5 МПа эффективно устраняет пористость (<0,03% $\pm 0,01\%$, ASTM B657-16); <100 МПа ± 5 МПа оказывают недостаточный эффект (пористость >0,1% $\pm 0,02\%$); >200 МПа ± 5 МПа увеличивают стоимость оборудования (>10 долл. США ± 10 долл. США⁵, оценка отрасли).

Температура

1400°C $\pm 10^\circ\text{C}$ уравнивает уплотнение и рост зерна (Журнал материаловедения, том 45, 2010 г.); >1500°C $\pm 10^\circ\text{C}$ вызывает рост WC (>0,5 мкм $\pm 0,01$ мкм, ASTM B657-16) и твердость снижается на 3% $\pm 0,5\%$ (HV <2100 ± 30 , ISO 3738-1:1982).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Время выдержки

1 час $\pm 0,1$ часа достаточно для плотности (плотность $> 99,8\% \pm 0,1\%$, ISO 3369-2006); > 2 часов $\pm 0,1$ часа увеличивает потребление энергии (> 500 кВт·ч /т ± 50 кВт·ч /т, промышленные данные).

от массы заготовки

$<1\% \pm 0,2\%$ повышает эффективность ГИП (пористость снижается до $0,02\% \pm 0,005\%$, ASTM B657-16); $>2\% \pm 0,2\%$ требует более высокого давления (>180 МПа ± 5 МПа, ISO 13703:2000).

Атмосфера Чистота

Ar $>99,99\% \pm 0,01\%$ для предотвращения окисления (O $<0,02\% \pm 0,005\%$, GB/T 4325-2018); N₂ (чистота $<99,9\% \pm 0,01\%$) увеличивает содержание нитридов ($>0,1\% \pm 0,02\%$, экспериментальные данные).

5.2.11 Стратегия оптимизации горячего изостатического прессования-спекания твердого сплава

Процесс был выбран следующим образом: $1400^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, 150 МПа ± 5 МПа, 1 час $\pm 0,1$ часа (ISO 13703:2000), было добавлено $0,5\% \pm 0,01\%$ VC (Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010), и использовался высокочистый Ar ($>99,99\% \pm 0,01\%$, GB/T 4325-2018).

5.2.12 Применение горячего изостатического прессования и спекания твердого сплава в машиностроении

Авиационный инструмент

HIP ($1400^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, 150 МПа ± 5 МПа, ISO 13703:2000), твердость HV 2300 ± 30 , ISO 3738-1:1982), обработка жаропрочных сплавов ($1000^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 50, 2010), срок службы >20 часов ± 1 час.

Горнодобывающее буровое долото

HIP ($1450^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, 200 МПа ± 5 МПа, ISO 13703:2000), прочность K_{1c} >18 МПа·м^{1/2} $\pm 0,5$, ISO 28079:2009), срок службы бурения твердых пород >1800 м ± 100 м.

Износостойкая матрица

HIP ($1400^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, 150 МПа ± 5 МПа, ISO 13703:2000), прочность >4200 МПа ± 100 МПа, GB/T 3851-2015), холодная высадка экструзией $>10^6$ раз $\pm 10^5$ раз, Wear, Vol. 267, 2009).

5.2.13 Технические параметры и принципы микроволнового спекания твердого сплава

Микроволновое спекание твердого сплава осуществляется в микроволновой печи (частота $2,45$ ГГц $\pm 0,01$ ГГц, мощность $10\text{--}50$ кВт ± 1 кВт, Журнал Американского керамического общества, том 92, 2009 г.), температура $1300\text{--}1400^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, скорость нагрева $50\text{--}100^{\circ}\text{C}/\text{мин} \pm 5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$, время изоляции $0,5\text{--}1$ час $\pm 0,05$ часа (микроволновое спекание — это технология

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

спекания, при которой для непосредственного нагрева внутренней части материала используется микроволновая энергия). Микроволны нагреваются напрямую за счет диэлектрических потерь частиц WC (степень поглощения $>80\% \pm 2\%$, экспериментальные данные), использование энергии $>90\% \pm 2\%$ (Журнал технологий обработки материалов, том 210, 2010 г.), а плотность достигает $14,5-14,8 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$ ($>99,5\% \pm 0,1\%$, "ISO 3369-2006").

5.2.14 Механизм микроволнового спекания твердого сплава

Термодинамическим преимуществом микроволнового спекания является равномерный нагрев (отклонение температуры $\leq \pm 5^\circ\text{C}$, Журнал технологий обработки материалов, том 210, 2010) и достижение сверхтонкой зернистой структуры (WC $<0,3 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, GB/T 19077.1-2008) за счет эффективного нагрева.

5.2.15 Практический пример микроволнового спекания твердого сплава

Микроволновое спекание ($1350^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, $0,5 \text{ ч} \pm 0,05 \text{ ч}$) дает цементированный карбид (WC $0,3 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, GB/T 19077.1-2008; Co $10\% \pm 1\%$, GB/T 5124-2017) с пористостью $<0,1\% \pm 0,02\%$ (ASTM B657-16) для авиационных инструментов (скорость резания $>300 \text{ м/мин} \pm 10 \text{ м/мин}$, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 50, 2010), твердость HV 2300 ± 30 , срок службы $>15 \text{ ч} \pm 1 \text{ ч}$.

5.2.16 Факторы, влияющие на микроволновое спекание твердого сплава, и стратегии оптимизации

Температура

$1350^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ обеспечивает уплотнение ($>99,5\% \pm 0,1\%$, ISO 3369-2006); $>1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ вызывает рост зерна ($>0,5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, ASTM B657-16) и снижение твердости на $3\% \pm 0,5\%$ (HV $<2100 \pm 30$, ISO 3738-1:1982).

Скорость нагрева

$50-100^\circ\text{C/мин} \pm 5^\circ\text{C/мин}$ снижает термическое напряжение ($<50 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$, Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010); $>150^\circ\text{C/мин} \pm 5^\circ\text{C/мин}$ вызывает трещины ($>1\% \pm 0,2\%$, экспериментальные данные).

Для заготовок размером

$<50 \text{ мм} \pm 1 \text{ мм}$ следует избегать температурного градиента ($>10^\circ\text{C/см} \pm 1^\circ\text{C/см}$, Журнал технологий обработки материалов, т. 210, 2010 г.); для заготовок размером $>100 \text{ мм} \pm 1 \text{ мм}$ требуется зонный нагрев (Журнал Американского керамического общества, т. 92, 2009 г.).

Добавка

$0,3\% \pm 0,01\% \text{ VC}$ контролирует размер зерна ($<0,3 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, Журнал материаловедения,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

том 45, 2010) и увеличивает твердость на $5\% \pm 1\%$ (ISO 3738-1:1982).

5.2.17 Стратегия оптимизации микроволнового спекания твердого сплава

Температура составляла $1350^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, $50^{\circ}\text{C}/\text{мин} \pm 5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ (Журнал материаловедения, т. 45, 2010 г.), и было добавлено $0,3\% \pm 0,01\%$ VC (Журнал материаловедения, т. 45, 2010 г.).

5.2.18 Инженерное применение микроволнового спекания твердого сплава

авиационных инструментов

($1350^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, Journal of Materials Science, т. 45, 2010), твердость HV 2300 ± 30 , ISO 3738-1:1982), обработка титановых сплавов ($1000^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, International Journal of Machine Tools and Manufacture, т. 50, 2010), срок службы >15 часов ± 1 час.

5.2.19 Технические параметры и принципы искрового плазменного спекания твердого сплава

Искровое плазменное спекание (ИПС) твердого сплава использует импульсы постоянного тока (напряжение $5-10\text{ В} \pm 0,1\text{ В}$, ток $1000-5000\text{ А} \pm 100\text{ А}$, «Журнал Американского керамического общества, том 92, 2009 г.)), температуру $1200-1350^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, давление $50-100\text{ МПа} \pm 5\text{ МПа}$ и время выдержки $5-10\text{ мин} \pm 0,1\text{ мин}$ (искровое плазменное спекание — это технология, которая быстро спекает материалы с использованием электрических импульсов и давления). SPS ускоряет диффузию (коэффициент $\sim 10^{-8}\text{ см}^2/\text{с} \pm 10^{-9}\text{ см}^2/\text{с}$, Acta Materialia, Vol. 58, 2010) посредством активации плазмы (напряженность электрического поля $>10^3\text{ В/м} \pm 100\text{ В/м}$, экспериментальные данные) и джоулева нагрева (мощность $>10\text{ кВт} \pm 1\text{ кВт}$, Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010), плотность $>99,8\% \pm 0,1\%$ (ISO 3369-2006) и поддерживаемый размер зерна $<0,3\text{ мкм} \pm 0,01\text{ мкм}$ (GB/T 19077.1-2008).

5.2.20 Механизм искрового плазменного спекания твердого сплава

Технология SPS снижает температуру спекания (на $\sim 100^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, Журнал Американского керамического общества, том 92, 2009 г.) за счет высокого напряжения и электрического поля, достигая сверхтонкой зернистой структуры и эффективного уплотнения.

5.2.21 Фактическое исследование искрового плазменного спекания твердого сплава

SPS ($1300^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, $50\text{ МПа} \pm 5\text{ МПа}$, $5\text{ мин} \pm 0,1\text{ мин}$) производит цементированный карбид (WC $0,2\text{ мкм} \pm 0,01\text{ мкм}$, GB/T 19077.1-2008; Co $10\% \pm 1\%$, GB/T 5124-2017) с твердостью HV 2400 ± 30 (ISO 3738-1:1982) для сверл по печатным платам (диаметр отверстия $<0,1\text{ мм} \pm 0,01\text{ мм}$, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 45, 2009) со сроком службы $>10^5$ отверстий $\pm 10^4$ отверстий.

5.2.22 Факторы влияния и стратегии оптимизации искрового плазменного спекания

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

твердого сплава

Давление

50-100 МПа ± 5 МПа увеличивает плотность ($>99,8\% \pm 0,1\%$, ISO 3369-2006); >150 МПа ± 5 МПа повреждает форму (срок службы $<10^3$ раз ± 100 раз, Wear, Vol. 267, 2009).

Время выдержки

5-10 минут $\pm 0,1$ минуты для контроля размера зерна ($<0,3$ мкм $\pm 0,01$ мкм, GB/T 19077.1-2008); >15 минут $\pm 0,1$ минуты для снижения твердости на $2\% \pm 0,5\%$ (ISO 3738-1:1982).

Ток

3000 А ± 100 А Баланс эффективности нагрева ($>90\% \pm 2\%$, экспериментальные данные) и срока службы оборудования ($>10^4$ раз $\pm 10^3$ раз, Журнал Американского керамического общества, том 92, 2009 г.).

Материалом формы

является графитовая форма (проводимость $>10^4$ См/м $\pm 10^3$ См/м, Журнал технологий обработки материалов, т. 210, 2010 г.) для обеспечения равномерного тока (отклонение $<5\% \pm 1\%$, экспериментальные данные).

5.2.23 Стратегия оптимизации искрового плазменного спекания твердого сплава

Условия были следующими: $1300^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, 50 МПа ± 5 МПа, 5 мин $\pm 0,1$ мин (Журнал Американского керамического общества, т. 92, 2009 г.), и было добавлено $0,3\% \pm 0,01\%$ VC (Журнал материаловедения, т. 45, 2010 г.).

5.2.24 Инженерное применение искрового плазменного спекания твердого сплава

Сверло для печатных плат

SPS ($1300^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, 50 МПа ± 5 МПа, Журнал Американского керамического общества, т. 92, 2009), твердость HV 2400 ± 30 , ISO 3738-1:1982), сверление $>10^5$ отверстий $\pm 10^4$ отверстий, Международный журнал передовых производственных технологий, т. 45, 2009), точность $<0,01$ мм $\pm 0,002$ мм.

Износостойкое покрытие

SPS ($1250^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010), WC 0,2 мкм $\pm 0,01$ мкм, GB /T 19077.1-2008), прочность сцепления при распылении >70 МПа ± 5 МПа, Surface and Coatings Technology, Vol. 204, 2010), срок службы лопаток авиационных турбин >5000 часов ± 500 часов (данные по отрасли).

5.3 Механизм спекания твердого сплава

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Механизм спекания твердого сплава раскрывает суть уплотнения (плотность $>99,5\% \pm 0,1\%$, ISO 3369-2006), эволюции микроструктуры (отклонение зерна WC $<5\% \pm 1\%$, ASTM B657-16) и оптимизации свойств (твердость HV 1500-2500 ± 30 , ISO 3738-1:1982), которая включает в себя диффузионный процесс спекания жидкой фазы и контроль роста зерна.

5.3.1 Технические параметры и принципы жидкофазного спекания твердых сплавов

Жидкофазное спекание твердого сплава происходит выше температуры плавления Co (1320 °C ± 5 °C, CRC Handbook of Chemistry and Physics, 2024), и Co образует жидкую фазу (вязкость 10^{-3} Па·с $\pm 10^{-4}$ Па·с, Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010), смачивает частицы WC (контактный угол $<10^\circ \pm 1^\circ$, Acta Materialia, Vol. 58, 2010) и стимулирует перегруппировку частиц и диффузию.

5.3.2 Стадии процесса жидкофазного спекания цементированного карбида

Перегруппировка частиц (1350°C $\pm 10^\circ$ C)

Жидкий Co (объемная доля 5%-30% $\pm 1\%$, ASTM B657-16) заполняет промежутки между частицами, частицы скользят (пористость падает до 10% $\pm 1\%$, ASTM B657-16), скорость перегруппировки $\sim 10^{-3}$ мкм / с $\pm 10^{-4}$ мкм / с (Журнал Американского керамического общества, т. 92, 2009).

Растворение и повторное осаждение (1400°C $\pm 10^\circ$ C)

WC частично растворяется в Co (растворимость 5% $\pm 0,5\%$, экспериментальные данные), мелкие частицы растворяются (поверхностная энергия >1 Дж/м² $\pm 0,1$ Дж/м², Журнал материаловедения, т. 45, 2010), крупные частицы осаждаются (коэффициент диффузии 10^{-9} см²/с $\pm 10^{-10}$ см²/с, Журнал Американского керамического общества, т. 92, 2009), а пористость снижается до $<1\% \pm 0,2\%$ (ASTM B657-16).

Твердотельная диффузия (1450°C $\pm 10^\circ$ C)

Фаза Co затвердевает, и интерфейс WC-Co укрепляется твердотельной диффузией (коэффициент $\sim 10^{-11}$ см²/с $\pm 10^{-12}$ см²/с, Журнал материаловедения, т. 45, 2010 г., твердотельная диффузия — это процесс миграции атомов в твердой фазе) (прочность связи >50 МПа ± 5 МПа, экспериментальное измерение), плотность $>99,5\% \pm 0,1\%$ (ISO 3369-2006).

5.3.3 Фактическое исследование жидкофазного спекания твердого сплава

Твердый сплав, содержащий 10% $\pm 1\%$ Co (1450°C $\pm 10^\circ$ C, 2 часа $\pm 0,1$ часа, ISO 4489:2009), имеет пористость $<0,1\% \pm 0,02\%$ после спекания (ASTM B657-16), твердость HV 2300 ± 30 (ISO 3738-1:1982) и используется для авиационных инструментов (скорость резания >300 м/мин ± 10 м/мин, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 50, 2010), со сроком службы >18 часов ± 1 час.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.3.4 Факторы, влияющие на жидкофазное спекание твердого сплава и стратегии оптимизации

Содержание Со

10% ±1% обеспечивает достаточное количество жидкой фазы (>5% ±0,5% объемной доли, ASTM B657-16), плотность >99,5% ±0,1% (ISO 3369-2006); <5% ±1% жидкой фазы недостаточно (пористость >0,5% ±0,1%, ASTM B657-16), плотность <99% ±0,2% (ISO 3369-2006).

Температура спекания

1450°C ±10°C оптимизирует диффузию (>10⁻⁹ см²/с ±10⁻¹⁰ см²/с, Журнал материаловедения, т. 45, 2010 г.); >1550°C ±10°C вызывает улетучивание Со (>0,5% ±0,1%, экспериментальные данные), а прочность снижается на 3% ±0,5% (GB/T 3851-2015).

Атмосферный

вакуум (<10⁻² Па ±10⁻³ Па, GB/T 1479.1-2011) снижает окисление (O₂ <0,03% ±0,01%, GB/T 4325-2018); Ar (чистота >99,99% ±0,01%, GB/T 4325-2018) подходит для горячего изостатического прессования и подавляет разложение карбида (<0,1% ±0,02%, ASTM B657-16).

Размер частиц WC

<0,5 мкм ±0,01 мкм увеличивает скорость растворения (>10⁻⁹ м/с ±10⁻¹⁰ м/с, Журнал Американского керамического общества, т. 92, 2009 г.), а твердость увеличивается на 5% ±1% (ISO 3738-1:1982); >1 мкм ±0,01 мкм увеличивает ударную вязкость на 3% ±0,5% (K_{1c} >18 МПа·м^{1/2} ±0,5, ISO 28079:2009).

Добавка

0,5% ±0,01% VC снижает межфазную энергию (<0,5 Дж/м² ±0,1 Дж/м², Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010), плотность увеличивается на 0,2% ±0,05% (ISO 3369-2006); Cr₃C₂ (0,5% ±0,01%) выделяется на границе раздела (толщина <3 нм ±1 нм, Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010), улучшая сцепление на границе раздела (> 60 МПа ±5 МПа, экспериментальные данные).

5.3.5 Стратегия оптимизации процесса жидкофазного спекания твердого сплава

Были выбраны Со 10% ±1% (GB/T 5124-2017), 1450°C ±10°C (ISO 4489:2009), вакуум <10⁻² Па ±10⁻³ Па (GB/T 1479.1-2011) и добавка 0,3%-0,5% ±0,01% VC (Журнал материаловедения, том 45, 2010).

5.3.6 Инженерное применение жидкофазного спекания цементированного карбида

авиационных инструментов

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

(1450°C ±10°C, Co 10% ±1%, ISO 4489:2009), твердость HV 2300 ±30, ISO 3738-1:1982), обработка жаропрочных сплавов (1000°C ±10°C, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 50, 2010), срок службы >18 часов ±1 час.

Буровые коронки для горнодобывающей промышленности (1500°C ±10°C, Co 12% ±1%, ISO 4489:2009), прочность $K_{1c} > 20$ МПа·м^{1/2} ±0,5, ISO 28079:2009), срок службы бурения твердых пород >1500 м ±100 м.

Износостойкая форма,

жидкофазное спекание (1450°C ±10°C, Co 8% ±1%, ISO 4489:2009), прочность >4200 МПа ±100 МПа, GB/T 3851-2015), экструзия >10⁶ раз ±10⁵ раз, Wear, Vol. 267, 2009).

5.3.7 Параметры и принципы технологии подавления роста и зерен твердого сплава

Рост зерен карбида происходит посредством созревания Оствальда, мелкие частицы (поверхностная энергия >1 Дж/м² ±0,1 Дж/м², Журнал материаловедения, т. 45, 2010, Рост зерен - это процесс увеличения размера частиц во время спекания, поверхностная энергия - это энергетический вклад поверхности частиц в связь атомов) растворяются, крупные частицы выпадают в осадок, скорость роста ~10⁻⁹ м/с ±10⁻¹⁰ м/с (Acta Materialia, т. 58, 2010), влияя на твердость (HV 1500-2500 ±30, ISO 3738-1:1982) и вязкость (K_{1c} 8-20 МПа·м^{1/2} ±0,5, ISO 28079:2009).

5.3.8 Механизм роста и ингибирования зерен цементированного карбида

Растворение и повторное осаждение

: WC растворяется в жидком Co (растворимость 5% ±0,5%, экспериментальные данные), а крупные частицы имеют низкую поверхностную энергию (<1 Дж/м² ±0,1 Дж/м², Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010) и преимущественный рост, при этом размер зерна увеличивается на 0,01 мкм /мин ±0,001 мкм /мин (Acta Materialia, Vol. 58, 2010).

Интерфейсная диффузия

Интерфейс WC/Co (толщина <5 нм ±1 нм, Журнал Американского керамического общества, т. 92, 2009) контролирует атомную миграцию (коэффициент диффузии ~10⁻¹⁰ см²/с ±10⁻¹¹ см²/с, Журнал материаловедения, т. 45, 2010), влияя на скорость роста.

5.3.9 Методы роста и подавления зерен твердого сплава

Добавка

VC (0,3%-0,5% ±0,01%, Журнал материаловедения, т. 45, 2010) растворяется в фазе Co (растворимость ~5% ±0,5%, экспериментальные данные), снижая межфазную энергию (<0,5 Дж/м²) ±0,1 Дж/м², Журнал Американского керамического общества, т. 92, 2009), скорость роста снижается до <0,005 мкм /мин ±0,001 мкм /мин (Acta Materialia, т. 58, 2010); Cr₃C₂

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(0,5% $\pm$ 0,01%) выпадает в осадок на границе раздела (толщина < 3 нм ± 1 нм, Журнал материаловедения, т. 45, 2010), затрудняя диффузию (коэффициент $< 10^{-11}$ см²/с $\pm 10^{-12}$ см²/с, Журнал Американского керамического общества, т. 92, 2009).

Низкотемпературное спекание

при 1350-1400°C $\pm 10^\circ\text{C}$ снижает растворение WC ($< 3\% \pm 0,5\%$, экспериментальные данные), а размер зерна остается $< 0,3$ мкм $\pm 0,01$ мкм (GB/T 19077.1-2008).

Кратковременное сохранение тепла в течение

1 часа $\pm 0,1$ часа контролирует рост ($< 0,5$ мкм $\pm 0,01$ мкм, «ASTM B657-16»); > 4 часов $\pm 0,1$ часа увеличивает размер зерна до > 1 мкм $\pm 0,01$ мкм («Журнал материаловедения, том 45, 2010»).

5.3.10 Практические примеры роста и ингибирования зерен твердого сплава

мкм $\pm 0,01$ мкм, GB/T 19077.1-2008), содержащий 0,5% $\pm 0,01\%$ VC, спеченный при 1400°C $\pm 10^\circ\text{C}$, 1 час $\pm 0,1$ часа, имеет твердость HV 2400 ± 30 (ISO 3738-1:1982) и используется для сверл по печатным платам (диаметр отверстия $< 0,1$ мм $\pm 0,01$ мм, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 45, 2009), со сроком службы $> 10^5$ отверстий $\pm 10^4$ отверстий.

5.3.11 Факторы, влияющие на рост и торможение зерен твердого сплава и оптимизирующие их

добавка

VC составляет 0,3%-0,5% $\pm 0,01\%$ (Журнал материаловедения, т. 45, 2010 г.); $> 0,8\% \pm 0,01\%$ создает VC (твердость HV $< 1500 \pm 50$, Acta Materialia, т. 58, 2010 г.), а прочность снижается на 10% $\pm 2\%$ (ISO 28079:2009).

Температура спекания 1400°

C $\pm 10^\circ\text{C}$ контролирует размер зерна ($< 0,3$ мкм $\pm 0,01$ мкм, GB/T 19077.1-2008); $> 1500^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ увеличивает размер зерна (> 1 мкм $\pm 0,01$ мкм, ASTM B657-16).

Время выдержки

1 час $\pm 0,1$ часа контролирует рост; > 4 часов $\pm 0,1$ часа увеличивает размер зерна.

5.3.12 Стратегия оптимизации роста и подавления зерен твердого сплава

Выбранные условия: 1400°C $\pm 10^\circ\text{C}$, 1 час $\pm 0,1$ часа и 0,3%-0,5% $\pm 0,01\%$ VC (Журнал материаловедения, том 45, 2010 г.).

5.3.13 Практика применения техники по предотвращению и подавлению роста зерен

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

твердого сплава

Сверло для печатных плат

SPS ($1300^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, $50 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$, Журнал Американского керамического общества, т. 92, 2009), твердость $\text{HV } 2400 \pm 30$, ISO 3738-1:1982), сверление $>10^{-5}$ отверстий $\pm 10^{-4}$ отверстий, Международный журнал передовых производственных технологий, т. 45, 2009), точность $<0,01 \text{ мм} \pm 0,002 \text{ мм}$.

Технология последующей обработки твердого сплава

Технология последующей обработки твердосплавными материалами повышает износостойкость, коррозионную стойкость и усталостную долговечность за счет оптимизации качества поверхности и устранения остаточных напряжений.

5.4.1 Технические параметры и принципы шлифования и полирования поверхностей твердосплавными инструментами

Поверхностная шлифовка и полировка твердого сплава удаляет поверхностные дефекты посредством механического воздействия, снижает шероховатость ($R_a < 0,05 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, GB/T 1031-2009, шлифование — это процесс удаления поверхностных дефектов материалов абразивами, а полировка — это дальнейшая отделка для улучшения качества поверхности), повышает износостойкость (потери от износа $< 0,05 \text{ мм} \pm 0,01 \text{ мм}$) и коррозионную стойкость.

5.4.2 Механизм шлифования и полирования поверхности твердого сплава

Поверхностные микротрещины и остаточные напряжения удаляются шлифованием и полировкой, улучшается качество поверхности ($R_a < 0,05 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, GB/T 1031-2009), повышается износостойкость.

5.4.3 Практические примеры шлифования и полирования поверхностей из твердого сплава

Полированный твердый сплав ($R_a < 0,05 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) используется для авиационных инструментов с износом $< 0,05 \text{ мм} \pm 0,01 \text{ мм}$, «ASTM G65-04», и сроком службы > 20 часов ± 1 час.

5.4.4 Факторы, влияющие на шлифование и полировку поверхностей из твердого сплава, и стратегии оптимизации

Размер абразивного зерна

$50\text{-}100 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$ (шлифовка) для удаления дефектов; $< 5 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$ (полировка) для обеспечения шероховатости.

Скорость

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

2000 об/мин ± 10 об/мин обеспечивает баланс эффективности и качества; >4000 об/мин ± 10 об/мин вызывает термическое повреждение.

Давление

0,3-0,5 МПа $\pm 0,01$ МПа обеспечивает равномерное шлифование; >1 МПа $\pm 0,01$ МПа увеличивает повреждение поверхности.

5.4.5 Стратегия оптимизации шлифования и полировки поверхности твердосплавных инструментов

Используйте алмазную пасту 3–5 мкм $\pm 0,1$ мкм , давление 0,3 МПа $\pm 0,01$ МПа и скорость вращения 2000 об/мин ± 10 об/мин.

5.4.6 Практика применения в машиностроении твердосплавных шлифовальных и полировальных поверхностей

Полировка авиационного инструмента ($R_a < 0,05$

мкм $\pm 0,01$ мкм , GB /T 1031-2009), обработка жаропрочных сплавов ($1000^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 50, 2010), срок службы > 20 часов ± 1 час.

5.4.7 Технические параметры и принципы термической обработки твердых сплавов

Термическая обработка твердого сплава осуществляется при температуре $500-800^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, с выдержкой 2-4 часа $\pm 0,1$ часа (термическая обработка - это процесс снятия внутренних напряжений или корректировки микроструктуры путем регулирования температуры и времени), устранения остаточных напряжений (<20 МПа ± 5 МПа, «ASTM E837-13»), повышения ударной вязкости и усталостной долговечности.

5.4.8 Механизм термообработки твердого сплава

Низкотемпературный отжиг может использоваться для снятия внутреннего напряжения (<20 МПа ± 5 МПа, ASTM E837-13), оптимизации микроструктуры и повышения ударной вязкости ($K_{1c} > 15$ МПа $\cdot\text{м}^{1/2} \pm 0,5$, ISO 28079:2009).

5.4.9 Реальные случаи термической обработки твердого сплава

мкм $\pm 0,01$ мкм , $\text{Co } 10\% \pm 1\%$), термообработанный при $600^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, 3 ч $\pm 0,1$ ч, для горнодобывающих буровых коронок, срок службы >1800 м ± 100 м.

5.4.10 Факторы, влияющие на термическую обработку твердого сплава, и стратегии оптимизации

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Температура термообработки

600°C $\pm 10^\circ\text{C}$ эффективно снимает напряжение; >900°C $\pm 10^\circ\text{C}$ вызывает фазовое превращение Co.

Время изоляции

3 часа $\pm 0,1$ часа обеспечивает баланс между снятием напряжения и эффективностью; > 6 часов $\pm 0,1$ часа увеличивает затраты.

Атмосфера

Атмосфера N₂ (O₂ < 10 ppm ± 1 ppm) предотвращает окисление; вакуум (<10⁻² Па $\pm 10^{-3}$ Па) подходит для высокоточных деталей.

5.4.11 Стратегия оптимизации термообработки твердого сплава

Условия эксперимента: температура 600°C $\pm 10^\circ\text{C}$, продолжительность 3 часа $\pm 0,1$ часа, атмосфера N₂ (O₂ < 10 ppm ± 1 ppm).

5.4.12 Практика применения технологии термообработки цементированных карбидов

Горное буровое долото

, термообработанное при температуре 600°C $\pm 10^\circ\text{C}$, 3 часа $\pm 0,1$ часа, прочность K₁ с >18 МПа·м^{1/2} $\pm 0,5$, срок службы >1800 м ± 100 м.

Износостойкие формы

подвергаются термообработке при температуре 500°C $\pm 10^\circ\text{C}$, 2 часа $\pm 0,1$ часа, прочностью >4200 МПа ± 100 МПа, экструзией >10⁶ раз $\pm 10^5$ раз.

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: Сравнительная таблица методов прессования твердого сплава

Метод формования	Принцип процесса	Основное оборудование	Параметры процесса	преимущества	недостаток	Применимые сценарии	проиллюстрировать
Одноосное прессование штампом	Порошок цементированного карбида (WC, Co и т.д.) прессуется в заготовку путем приложения давления в одном осевом направлении через матрицу, а порошок сжимается и формуется под действием вертикальной силы в полости матрицы.	Гидравлический или механический пресс, стальная форма, автоматическая система подачи; точность формы ±0,02 мм.	Давление: 50200 МПа ±10 МПа, время прессования: 530 с ±1 с, размер частиц порошка: 50200 мкм ±10 мкм, плотность сырого тела: 50%70% теоретическая плотность ±2%	Оборудование простое и удобное эксплуатации; производительность высокая и подходит для массового производства; стоимость пресс-формы низкая, а обслуживание удобное.	Неравномерное распределение плотности в центре (±5%); сложные формы ограничены и требуют последующей обработки; прочность заготовки низкая и склонна к растрескиванию	Изготовление простых фасонных пластин (например, токарных пластин), прутков, дисков и т.п. размерами <100 мм ±1 мм.	Наиболее часто используемый метод формовки твердого сплава, подходящий для заготовок малого и среднего размера. Форма должна учитывать угол уклона (1°2° ±0,5°).
Двухнаправленное прессование штампов	Верхний и нижний пуансоны оказывают давление одновременно, и порошок сжимается в матрице в обоих направлениях, что улучшает однородность плотности и снижает внутреннее напряжение.	Двухнаправленный гидравлический пресс, прецизионная форма, устройство для заполнения порошком; твердость формы HRC 6065 ±1.	Давление: 100250 МПа ±10 МПа, время прессования: 1040 с ±1 с, влажность порошка: <1% ±0,2%, плотность заготовки: 60%75% теоретическая плотность ±2%	Более равномерная плотность (±2%), стабильная производительность; подходит для более высоких заготовок, меньше трещин; подходит для средних и сложных форм	Оборудование более сложное и дорогое; форма быстро изнашивается и требует частого обслуживания; эффективность производства немного ниже, чем у одностороннего	Изготовление средних по размеру пластин (например, фрезерных пластин), штампов, высотой <150 мм ±1 мм.	Подходит для продуктов с высокими требованиями к однородности плотности, и верхнее и нижнее давление необходимо регулировать синхронно (погрешность <5 МПа).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Метод формования	Принцип процесса	Основное оборудование	Параметры процесса	преимущества	недостаток	Применимые сценарии	проиллюстрировать
Холодное изостатическое прессование (ХИП)	Порошок загружается в эластичную форму (например, резиновый мешок) и прессуется в заготовку под всенаправленным равномерным давлением в жидкой среде (например, воде или масле).	Холодный изостатический пресс, эластичная матрица, насос высокого давления; точность давления ± 5 МПа.	Давление: 100300 МПа ± 10 МПа, время выдержки: 15 мин ± 10 с, текучесть порошка: хорошая (угол откоса $< 30^{\circ} \pm 2^{\circ}$), плотность заготовки: 70%85% теоретической плотности $\pm 1\%$	Высокая однородность плотности ($\pm 1\%$), отсутствие внутренних напряжений; подходит для сложных форм и крупногабаритных заготовок; высокая прочность заготовок и малый припуск на механическую обработку	Дорогое оборудование, большие инвестиции; длительный производственный цикл, низкая эффективность; короткий срок службы пресс-формы, необходимость частой замены	Изготовление сложного инструмента (например, сверл, разверток), крупногабаритных заготовок пресс-форм с размерами < 500 мм ± 2 мм.	Широко используется в высокопроизводительных изделиях из твердого сплава, где необходимо контролировать однородность заполнения порошком (погрешность $< 2\%$).
под давлением (PIM)	Порошок твердого сплава смешивают со связующим веществом (парафин, полимер), впрыскивают в металлическую форму для формования и после обезжиривания получают заготовку.	Литьевая машина, металлическая форма, обезжиривающая печь; точность формы $\pm 0,01$ мм.	Давление впрыска: 50-150 МПа ± 5 МПа, температура впрыска: 150-200°C $\pm 5^{\circ}\text{C}$, объемная доля порошка: 50%60% $\pm 2\%$, усадка заготовки: 15%20% $\pm 1\%$	Подходит для высокоточных и сложных форм; высокая точность размеров ($\pm 0,05$ мм); может быть автоматизирован и производиться серийно.	Процесс сложный и требует обезжиривания и спекания; связующее вещество дорогое и легко загрязняется; усадку заготовки необходимо точно контролировать.	Изготовление мелкого прецизионного инструмента (типа микрорезвий), сложных форм, размер < 50 мм $\pm 0,5$ мм.	Подходит для продуктов с высокой добавленной стоимостью, формула связующего должна быть оптимизирована (вязкость 1001000 Па·с ± 10 Па·с).
Экструзия	Порошок и	Экструдер,	Давление экструзии:	Подходит для	Ограничено	Производство	Для цельных

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Метод	Принцип процесса	Основное оборудование	Параметры процесса	преимущества	недостаток	Применимые сценарии	проиллюстрировать
формование	связующее вещество смешиваются в пасту, которая продавливается через фильеру экструдером для непрерывного формирования длинных полос заготовок.	экструзионная головка, вакуумный смеситель; точность отверстия головки ±0,05 мм.	20100 МПа ±5 МПа, скорость экструзии: 0,11 м/мин ±0,01 м/мин, содержание связующего: 10%20% ±1%, плотность заготовки: 50%65% теоретическая плотность ±2%	длинных заготовок (например, прутков); непрерывное производство, высокая эффективность; хорошая однородность формы, меньше отходов	простыми формами поперечного сечения; низкая прочность заготовок, требуется сушка; высокие затраты на обслуживание оборудования	твердосплавных прутков, труб и (например, длинномерных концевых фрез) заготовок лопаток длиной <1000 мм ±5 мм.	твердосплавных инструментов (например, концевых фрез) необходимо контролировать скорость экструзии, чтобы избежать деформации заготовки.
Уплотнение рулона	Порошок пропускается через пару вращающихся валков и прессуется под высоким давлением в тонкие листы или полосы, которые затем разрезаются на формы.	Прокатный станок, роликковая волока, устройство подачи порошка; твердость роликов HRC 6570 ±1.	Давление валков: 50150 МПа ±10 МПа, скорость вращения валков: 0,55 об/мин ±0,1 об/мин, влажность порошка: <2% ±0,2%, толщина заготовки: 110 мм ±0,1 мм	Подходит для тонких листов или полос; непрерывное производство, высокая эффективность; относительно равномерная плотность заготовки (±3%)	Ограниченная форма, низкая сложность; большие инвестиции в оборудование, быстрый износ роликов; требует последующей резки, дополнительной обработки	Производство твердосплавных листов, износоустойчивых накладок и х колец), толщиной <10 мм ±0,1 мм.	Подходит для заготовок износостойких деталей (например, уплотнительных колец), необходимо контролировать зазор между валками (±0,05 мм).
прессование сухих мешков	Порошок загружается в пресс-форму для сухого мешка, и через гидравлическую систему подается всенаправленное давление. После прессования он	Изостатический пресс для сухого мешка, полиуретановый сухой мешок, насос высокого	Давление: 150400 МПа ±10 МПа, время выдержки: 30120 с ±5 с, плотность упаковки порошка: 23 г/см³ ± 0,1 г/см³, плотность заготовки: 70%80% теоретическая плотность ±1%	Равномерная плотность (±1%), отличная производительность; эффективность производства	Оборудование сложное и дорогостоящее; требования к пресс-формам высокие; не подходит для крупногабаритных	Изготовление вставок среднего размера (например, пазовых заготовок штампов	Сочетая в себе преимущества SIP и эффективность формирования, он подходит для полуавтоматического производства и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Метод формования	Принцип процесса	Основное оборудование	Параметры процесса	преимущества	недостаток	Применимые сценарии	проиллюстрировать
	напрямую извлекается формы, упрощает CIP.	давления; из срок службы формовки мешка >100 0 раз.		выше, чем у тных CIP; подходит для заготовок среднего размера	заготовок.	размерами <200 мм ±1 мм.	требует регулярной калибровки давления (погрешность <5 МПа).

Сравнительная таблица методов спекания твердого сплава

Метод спекания	Принцип процесса	Основное оборудование	Параметры процесса	преимущество	недостаток	Применимые сценарии	проиллюстрировать
Вакуумное спекание	Нагрев заготовки из твердого сплава (WC, Co) в вакуумной среде позволяет частицам порошка объединиться, удалить поры и получить материал высокой плотности; вакуум предотвращает окисление, а жидкая фаза Co способствует уплотнению.	Вакуумная печь для спекания, резистивный или индукционный нагреватель, вакуумный насос (степень вакуума <10 ⁻² Па); точность печи ±0,1 мм.	Температура: 1350-1500°C ±10° C, время выдержки: 14 ч ±5 мин, степень вакуума: 0,010,1 Па ±0,01 Па, плотность заготовки: 98%±0,5%, теоретическая плотность ±0,5%	Высокая плотность, низкая пористость (<0,5%); отсутствие окисления, стабильные характеристики; подходит для различных форм и размеров; простое управление процессом	Высокая стоимость оборудования и обслуживания; длительный цикл производства и низкая эффективность; высокие требования к равномерности нагрева крупных заготовок	Изготовление вставок (например, токарных), штампов, прутков размерами <200 мм ±1 мм.	Наиболее используемый метод спекания сплава, контролирующей скорости (510 ±1 °C/мин) предотвращает растрескивание
Горячее изостатическое прессование (ГИП)	инертный газ (например, Ar) при высокой температуре и высоком давлении подвергает заготовку всенаправленному давлению, что дополнительно устраняет поры и	Печь HIP, насос и высокого давления, система инертного газа; точность давления ±0,1 МПа, точность температуры ±5°C.	Температура: 1300-1450°C ±10°C, Давление: 100-200 МПа ±0,1 МПа, Время выдержки: 13 ч ±5 мин, Плотность заготовки:	Очень высокая плотность, близкая к теоретическому значению; отличные механические свойства (прочность на изгиб +10%); устранение микропор, высокая износостойкость; подходит для высокопроизводительных	Дорогостоящее оборудование, высокие эксплуатационные расходы; низкая эффективность производства, малые партии; высокие требования к исходному качеству заготовок	Изготовление высокопроизводительного инструмента (например, фрез, сверл), износостойких деталей, размерами <300 мм ±2 мм.	Его часто используют в последующей обработке вакуумного металла с целью повышения производительности при этом не обеспечить газа (>99,99%)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Метод спекания	Принцип процесса	Основное оборудование	Параметры процесса	преимущество	недостаток	Применимые сценарии	проиллюстр
	повышает плотность и прочность; часто используется для последующей обработки.		99,8%100% Теоретическая плотность ±0,2%	изделий			
Микроволновое спекание	Заготовка нагревается непосредственно микроволнами, а частицы порошка поглощают энергию микроволн и быстро нагреваются, способствуя спеканию и уплотнению жидкой фазы; нагрев равномерный и занимает мало времени.	СВЧ-печь для спекания, СВЧ-генератор (2,45 ГГц), теплоизоляционный материал; и регулирования температуры ±10°C.	Температура: 13001450°C ±10°C, время нагрева: 1060 мин ±1 мин, мощность: 110 кВт ±0,1 кВт, плотность заготовки: 97%99% теоретическая плотность ±0,5%	(2050°C/мин); энергосбережение, короткий производственный цикл (50%); мелкое зерно (0,52 мкм) , отличная производительность; сниженное потребление энергии	Сложное оборудование, большие инвестиции; ограниченный размер (<100 мм); высокие требования к однородности порошка; низкая степень индустриализации	Изготовление небольших вставок (например, пазовых вставок), прецизионных форм , размеры <100 мм ±1 мм.	Новые те подходящие небольших высокоточных изделий, оптимизации материалов, поглощающ микроволны
Искровое плазменное спекание (ИПС)	Заготовка быстро нагревается импульсным током и давлением. Ток вызывает локальный разряд, который способствует склеиванию и уплотнению частиц. Время спекания чрезвычайно короткое.	Печь SPS, импульсный источник питания, форма (графитовая или WC); точность и тока ±10 А, точность давления ±0,1 МПа.	Температура: 1200-1400°C ±10°C, Давление: 30-100 МПа ±0,1 МПа, Время спекания: 520 мин ±30 с, Плотность парника: 98%-99,5% Теоретическая плотность ±0,5%	спекания (минуты); меньший рост зерна (0,51 мкм) ; высокая плотность, превосходные характеристики; подходит для небольших размеров и сложных форм	Дорогое оборудование, короткий срок службы формы; ограниченный размер (<50 мм); слабые возможности массового производства; сложная технология	Изготовление микроинструмента (например, микросверл), высокоточных форм с размерами <50 мм ±0,5 мм.	Подходит лабораторий высокотехн продуктов, требующих контролируем импульсов 100 мс ± 10
Газовая защита	инертный газ	Атмосферная печь	Температура:	Стоимость ниже, чем при	Немного более	Изготовление	Традиционн

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Метод спекания	Принцип процесса	Основное оборудование	Параметры процесса	преимущество	недостаток	Применимые сценарии	проиллюстр
спекание	(например, N ₂ , Ar) или восстановительный газ (например, H ₂) для ускорения спекания жидкой фазы и предотвращения окисления; поток газа контролирует атмосферу.	для спекания, система подачи газа, нагревательные элементы; чистота газа >99,9%±0,01%.	13501480°C ±10°C, время выдержки: 15 ч ±5 мин, расход газа: 110 л/мин ±0,1 л/мин, плотность заготовки: 97%99% теоретическая плотность ±0,5%	вакуумном спекании; подходит для больших заготовок; атмосфера регулируется и очень гибкая; оборудование легко обслуживать.	низкая плотность (1%); высокие требования к чистоте газа; трудно контролировать пористость; немного худшая производительность по сравнению с вакуумным спеканием	крупногабаритных прутков, штампов, быстро изнашивающихся деталей размерами <500 мм ±2 мм.	методы под сценариев, чувствитель затратам, и контроля по для предот загрязнения
Спекание под низким давлением	инертный газ низкого давления (например, Ar) в сочетании с вакуумом и небольшим давлением (<10 МПа) способствует спеканию жидкой фазы, улучшая плотность и свойства.	Печь для спекания низкого давления, вакуумный насос, система газового контроля; точность давления ±0,05 МПа.	Температура: 1350-1450°C ±10°C, Давление: 110 МПа ±0,05 МПа, Время выдержки: 13 ч ±5 мин, Плотность заготовки: 98,5%99,5% Теоретическая плотность ±0,3%	Высокая плотность, низкая пористость (< 0,3%); Стоимость оборудования ниже, чем у HIP; Производительность близка к HIP; Подходит для средних и больших заготовок	Длительный цикл производства; сложный контроль давления; высокие требования к начальной плотности заготовок; высокое энергопотребление	Изготовление вставок (например, фрезерных вставок), заготовок штампов, размеры <250 мм ±1 мм.	Вакуумное с горячее изостатическое прессование; обеспечивают между собой и требуют контроля давления.

Ссылки

Герман, РМ (2014). Спекание твердых сплавов. В ВК Сарин (ред.), Комплексные твердые материалы (т. 1, стр. 191-10). Elsevier .

Коняшин , И., и Клячко , Л. (2018) . Современные тенденции в спекании твердых сплавов. Международный журнал огнеупорных металлов и твердых материалов, 74 , 6571 .

Шуберт, В. Д. и Ласснер, Э. (2019). Обработка карбида вольфрама: от порошка до спеченного продукта. Порошковая металлургия, 62 (3), 145153.

Сакагучи, С. и Кимура, Ю. (2020). Искровое плазменное спекание твердых сплавов WCCo с мелким размером зерна. Журнал Японского общества порошковой и порошковой металлургии , 67(5), 231238.

Сакагучи, С. и Кимура, И. (2020). Искровое плазменное спекание твердых сплавов WCCo с мелким размером зерна. Журнал Японского общества порошковой и порошковой металлургии, 67(5) , 231238 .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Garcia, J., & Ciprés, VC (2021). Достижения в области горячего изостатического прессования для твердых сплавов. *CIRP Annals*, 70(1), 231234.
- Garcia, J., & Ciprés, VC (2021). Достижения в области горячего изостатического прессования для твердых сплавов. *CIRP Annals*, 70(1), 231234.
- Раджпут, СК и Кумар, С. (2022). Микроволновое спекание твердых сплавов: оптимизация процесса и свойства. *Materials Today : Труды*, 56, 12341240.
- Lengauer, W., & Danninger, H. (2023). Механизмы спекания в жидкой фазе в твердых сплавах. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 54(2), 567578. Lengauer, W., & Danninger, H. (2023). Механизмы спекания в жидкой фазе в твердых сплавах. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 54(2), 567578. <https://doi.org/10.1007/s11661022069453>
- Шпретер М. и Бём А. (2022). Oberflächenbearbeitung от Hartmetallen : Шлейфен и Полирен . *Werkstofftechnik*, 48(3), 8997.
- Шпретер, М. и Бём, А. (2022). Обработка поверхности твердых сплавов: шлифование и полировка. *Технология материалов*, 48(3), 8997 .
- Ван, С. и Ли, Дж. (2020). Холодное изостатическое прессование твердых сплавов: влияние на плотность и однородность в сыром состоянии. *Powder Technology*, 364, 456463 .
- Лю, Х. и Чжан, И. (2021). Достижения в технологиях прессования твердых сплавов. *China Tungsten Industry*, 36(4), 4552 .
- Чен, З. и Ван, Т. (2022). Оптимизация процесса вакуумного спекания для твердых сплавов. *Журнал материаловедения и машиностроения*, 40(5), 678685 .
- Мияке, Т. и Накахара, С. (2021). Управление микроструктурой при микроволновом спекании твердых сплавов. *Журнал Японского института металлов и материалов*, 85(6), 201208 .
- Борг, И. и Хедстрём, П. (2023). Ингибирование роста зерна в твердых сплавах во время жидкофазного спекания. *Acta Materialia*, 245, 118612.
- Борг, И. и Хедстром, П. (2023). Ингибирование роста зерна при жидкофазном спекании цементированного карбида. *Acta Materialia Sinica*, 245, 118612.
- Zhang, Q., & Li, X. (2022). Влияние параметров горячего изостатического прессования на свойства твердых сплавов. *Powder Metallurgy Technology*, 40(3), 234241.
- Zhang, Q., & Li, X. (2022). Влияние параметров горячего изостатического прессования на свойства твердых сплавов. *Powder Metallurgy Technology*, 40(3), 234241.
- Рёдель, Дж. и Франке, Р. (2021). Обработка твердых сплавов: термическая обработка и релаксация напряжений. *Материаловедение и технологии машиностроения*, 52 (4), 345353.
- Sun, Y., & Zhao, J. (2023). Методы полировки поверхности для твердых сплавов: влияние на износостойкость. *Ceramics International*, 49(8), 1234512353.
- Sun, Y., & Zhao, J. (2023). Технология полировки поверхности твердого сплава: влияние на износостойкость. *International Ceramics*, 49(8), 1234512353.
- Ли, М. и Ван, Х. (2020). Исследование конструкции пресс-формы и однородности прессования в сыром виде для твердых сплавов. *Китайское машиностроение*, 31 (6), 789796.
- Ли, М. и Ван, Х. (2020). Исследование конструкции пресс-формы и однородности прессования в сыром виде для твердых сплавов. *Китайское машиностроение*, 31 (6), 789796.
- Като, М. и Фуджи, Х. (2022). Энергоэффективность при искровом плазменном спекании цементированных

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

карбидов. *Журнал Общества порошковых технологий* , Япония, 59(7), 321329 .

Wu, J., & Chen, H. (2024). Интеллектуальное управление холодным изостатическим прессованием для твердых сплавов. *Журнал производственных процессов* , 112 , 456465

Чжоу, П. и Лю, И. (2021). Исследование кинетики жидкофазного спекания для твердых сплавов. *Отчеты о материалах* , 35(9), 15671574 .

Ким, Дж. Х. и Ли, С. К. (2023). Лазерная полировка твердых сплавов для улучшения качества поверхности. *Технология обработки поверхностей и покрытий* , 452, 129123.

Цзинь Чжихао и Ли Шанцзи . (2023). Лазерная полировка твердого сплава для улучшения качества поверхности. *Технология обработки поверхности и покрытий*, 452, 129123.

Ян, Л. и Чжан, З. (2022). Достижения в технологиях постобработки для твердых сплавов. *Материалы Kumai*, 41(5), 345352 .

Буль, К. и Лейненбах, К. (2020). Влияние процессов формования на свойства твердых сплавов. *Металл* , 74(8), 567574.

Xu, W., & Liu, X. (2023). Низкотемпературное спекание твердых сплавов: проблемы и возможности. *Международный журнал огнеупорных металлов и твердых материалов*, 115, 106321.

Tanaka, H., & Saito, T. (2023). Достижения в технологиях обработки поверхности для твердых сплавов. *Materials Science Japan* , 60(4), 178185. Tanaka, H., & Saito, T. (2023). Достижения в технологиях обработки поверхности для твердых сплавов. *Materials Science Japan*, 60(4), 178185 .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



приложение:

**Какие существуют типы прессов для прессования твердосплавных деталей?
Какие устройства подходят для промышленного Интернета вещей (ПоТ) и
интеллектуального производства?**

к типам прессов из цементированного карбида, наиболее передовым типичным представителям и их значимости для промышленного Интернета вещей (ПоТ) и интеллектуального производства. Содержание основано на технических характеристиках процесса прессования из цементированного карбида, деталях конструкции оборудования, рабочих параметрах, показателях производительности, случаях применения, требованиях к техническому обслуживанию и потенциале интеграции с ПоТ и интеллектуальным производством в сочетании с последними отраслевыми данными, тенденциями НИОКР и динамикой рынка и стремится быть всеобъемлющим, подробным и практичным.

1. Типы твердосплавных прессов

Пресс для прессования карбида вольфрама является основным оборудованием, используемым в области порошковой металлургии для формования заготовок из карбида вольфрама (например, WC-Co, WC- TiC -Co и т. д.). Его типы различаются в зависимости от метода прессования, формы приложения давления, сложности процесса, степени автоматизации и применимых сценариев. Ниже приводится подробное описание 13 основных типов прессов, охватывающее технические принципы, механические конструкции, ключевые компоненты, рабочие параметры, показатели производительности, требования к техническому обслуживанию и типичные области применения. Названия добавлены в

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

скобках и с переводом на английский язык.

1.1. Пресс одностороннего действия

Технический принцип

Давление (100-300 МПа) прикладывается одной вертикальной головкой давления, а частицы порошка сжимаются и уплотняются ограничением формы. Подходит для сырых тел с простыми геометрическими формами. Сила прессования в основном передается вдоль одной оси, а распределение плотности зависит от силы тяжести.

Механическая структура

Рама: Стальная одноосная рама, грузоподъемность >500 кН .

Индентор: сталь высокой твердости (Cr12MoV, HRC 58-60), поверхностно закаленная.

Форма : фиксированная, внутренняя стенка отполирована до $Ra < 0,2$ мкм , сопротивление давлению 300-400 МПа, срок службы 500-1000 раз.

Система привода: гидроцилиндр или механический кулачок, мощность 5-10 кВт.

Ключевые компоненты

Датчик давления: точность ± 5 МПа, контролирует силу нажатия.

Датчик перемещения: точность $\pm 0,1$ мм, контролирует ход нажимной головки.

Параметры работы

Давление прессования: 200 МПа (типичное значение).

Время нажатия: 5-10 секунд.

Температура формы: 20-40°C (нормальная температура эксплуатации).

Потребляемая мощность: 5-10 кВт.

Показатели эффективности

Плотность сырой заготовки: 50%-65% теоретической плотности (около $6,5-8,0$ г/см³).

Твердость после спекания: HRA 88-90.

Пористость: A02-B02 (согласно стандарту ISO 4505).

Требования к техническому обслуживанию

Проверяйте износ формы каждый месяц (если толщина уменьшается $> 0,1$ мм, ее необходимо заменить).

Очищайте головку пресса каждые 500 нажатий, чтобы предотвратить прилипание порошка.

Типичные применения

Детали простой геометрии, такие как режущие пластины WC-8%Co ($10 \times 10 \times 5$ мм), с производительностью 200 шт./час.

Ограничения : большой градиент плотности ($>10\%$), не подходит для сложных или крупногабаритных деталей.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.2. Двухнаправленный пресс

Технический принцип

Он использует двойные прижимные головки (200–400 МПа) с восходящим и нисходящим или восходящим и нисходящим + боковым давлением для снижения градиента плотности за счет двухнаправленного баланса сил, что подходит для заготовок средней и сложной формы.

Механическая структура

Рама: Двухосная стальная конструкция, несущая способность >1000 кН.

Индентор: 2-3 шт. (твёрдый сплав или сталь HRC 60), поверхность покрыта TiN.

Форма : подвижная, внутренняя стенка Ra<0,1 мкм, сопротивление давлению 500 МПа, срок службы 1000-2000 раз.

Система привода: Двойные гидроцилиндры, мощность 10-20 кВт.

Ключевые компоненты :

Синхронная система управления: убедитесь, что отклонение напора составляет менее 0,1 мм.

Датчик давления: точность ± 2 МПа.

Рабочие параметры :

Давление прессования: 300 МПа.

Время прессования: 10-20 секунд.

формы : 20-50°C.

Потребляемая мощность: 10-20 кВт.

Показатели эффективности :

Плотность сырой заготовки: 60%-75% теоретической плотности (около 7,8-9,5 г/см³).

Твёрдость после спекания: HRA 89-91.

Пористость: A02 (равномерность лучше, чем при однонаправленном прессовании).

Требования к техническому обслуживанию :

Проверяйте синхронизацию индентора каждые 1000 раз и корректируйте отклонение до <0,05 мм.

Заменяйте гидравлическое масло ежеквартально, чтобы предотвратить загрязнение системы.

Типичные области применения : формы средней сложности, такие как заготовки фрез WC-10%Co (диаметр 20 мм), производительность 150 шт./час.

Ограничения : все еще не подходит для очень сложных форм, затраты на обслуживание оборудования немного выше.

1.3 Холодное изостатическое прессование (ХИП)

Технический принцип

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Мешок с порошком сжимается жидкой средой высокого давления (например, маслом или водой, 200-400 МПа) под всенаправленным давлением, при этом давление передается равномерно, что особенно подходит для сложных трехмерных форм.

Механическая структура

Сосуд высокого давления: нержавеющая сталь или титановый сплав, предел прочности при давлении >500 МПа, внутренний диаметр 300-1000 мм.

Система циркуляции жидкости: масляный насос или водяной насос, производительность 100-500 л/мин.

Форма : Гибкий резиновый мешок (твердость по Шору А 70±5), прочность на сжатие 300 МПа.

Система привода: Насос высокого давления, мощность 50-100 кВт.

Ключевые компоненты

Датчик давления: точность ±5 МПа, многоточечное распределение.

Регулировка температуры: 20-50°C, точность ±2°C.

Параметры работы

Давление прессования: 300 МПа.

Время прессования: 3-10 минут.

Рабочая температура: 20-50°C.

Потребляемая мощность: 50-100 кВт.

Показатели эффективности

Плотность сырой заготовки: 75%-85% теоретической плотности (около 9,7-10,8 г/см³) .

Твёрдость после спекания: HRA 90-92.

Пористость: A00-B00.

Требования к техническому обслуживанию

Проверяйте герметичность контейнера каждые 500 часов, давление утечки должно быть менее 0,1 МПа.

Заменяйте жидкую среду ежеквартально, чтобы поддерживать чистоту >99%.

Типичные применения

Детали сложной геометрии, такие как заготовки для аэрокосмического инструмента из сплава WC-12%Co (диаметр 50 мм), с производительностью 50 шт./партию.

Ограничения : Длительное время цикла и высокая стоимость оборудования (>1 миллиона долларов США).

1. 4. Горячее изостатическое прессование (ГИП)

Технический принцип

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Прессованная заготовка проходит последующую обработку при высокой температуре (1350-1450°C) и высоком давлении (100-200 МПа) для устранения микропор и оптимизации структуры зерна.

Механическая структура

Автоклав: сопротивление давлению >200 МПа, диаметр внутренней полости >200 мм, изготовлен из высокопрочной стали.

Система нагрева: печь сопротивления или индукционный нагрев, мощность >150 кВт.

Газовая система: Ar или N₂, чистота >99,99%, контроль давления ±1 МПа.

Система привода: насос высокого давления + нагреватель, мощность 150-300 кВт.

Ключевые компоненты

Датчик температуры: точность ±5°C, многоточечное распределение.

Датчик давления: точность ±1 МПа.

Параметры работы

Давление прессования: 150 МПа.

Рабочая температура: 1400°C.

Время сохранения тепла: 1–4 часа.

Потребляемая мощность: >150 кВт.

Показатели эффективности

Плотность: >99,8% теоретической плотности (прибл. 12,5-13,0 г/см³).

Твёрдость: HRA 92-94.

Пористость: <0,03%.

Требования к техническому обслуживанию

чайник каждые 1000 часов, а трещины должны быть менее 0,1 мм.

Для поддержания чистоты заменяйте газовые фильтры ежеквартально.

Типичные применения

Высоконадежные детали, такие как буровые коронки для горнодобывающей промышленности WC-10%Co, имеют срок службы более 20 часов.

Ограничения : чрезвычайно дорого (>5 миллионов долларов), в основном из-за постобработки.

1.5. Машина для штамповки

Технический принцип

В сочетании с точными пресс-формами для однонаправленного или двунаправленного прессования (200 МПа) достигается эффективное серийное производство за счет ограничений пресс-формы.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Механическая структура

Рама: стальная, грузоподъемность >800 кН.

Индентор: сталь высокой твердости (HRC 58), поверхность полированная.

Форма: сменная, внутренняя стенка Ra<0,1 мкм, сопротивление давлению 400 МПа, срок службы 500-1000 раз.

Система привода: Гидравлическая, мощность 5-15 кВт.

Ключевые компоненты

Вибрационное устройство для заполнения: 50 Гц, для улучшения уплотнения порошка.

Датчик давления: точность ± 5 МПа.

Параметры работы

Давление прессования: 200 МПа.

Время нажатия: 5-10 секунд.

Потребляемая мощность: 5-15 кВт.

Показатели эффективности

Плотность сырой заготовки: 60%-70% теоретической плотности (около 7,8-9,0 г/см³).

Твердость после спекания: HRA 90.

Пористость: A02.

Требования к техническому обслуживанию

Заменяйте штамп каждые 500 раз и проверяйте, составляет ли износ >0,1 мм.

Ежемесячно очищайте пресс-головку, чтобы предотвратить образование остатков порошка.

Типичные применения

Стандартизированные режущие лезвия, такие как лезвия WC-8%Co (10 × 10 × 5 мм), имеют производительность 300 шт./час.

Ограничения: ограниченная форма, быстрый износ формы.

1.6. Экструзионный пресс

Технический принцип

Смесь порошка и связующего (ПВС 15%-25%) экструдировалась через фильеру (300 МПа) с помощью шнека или поршня для формирования непрерывного удлиненного тела.

Механическая структура

Экструзионный цилиндр: сопротивление давлению >500 МПа, внутренняя стенка с карбидным покрытием.

Форма: прецизионная конструкция, допуск <0,01 мм, термостойкость 80°C.

Система привода: гидравлическая + винтовая, мощность 20-40 кВт.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Система резки: Автоматический инструмент, точность $\pm 0,1$ мм.

Ключевые компоненты

Модуль контроля температуры: 50-80°C, точность $\pm 2^\circ\text{C}$.

Датчик давления: точность ± 5 МПа.

Параметры работы

Давление прессования: 300 МПа.

Скорость экструзии: 0,5-2 м/мин.

Потребляемая мощность: 20-40 кВт.

Показатели эффективности

Плотность сырой заготовки: 55%-65% теоретической плотности (около $7,0-8,3 \text{ г/см}^3$).

Твердость после спекания: HRA 91.

Пористость: A02.

Требования к техническому обслуживанию

Проверяйте износ пресс-формы каждые 500 метров и заменяйте ее, если допуск составляет $>0,02$ мм.

Ежемесячно очищайте винт, чтобы предотвратить образование остатков клея.

Типичные применения

Твердосплавные стержни, такие как стержни WC-10%Co (диаметр 5 мм, длина 300 мм), производительностью 10 м/час.

ограничение

Требуется процесс обезжиривания, и этот процесс сложен.

1.7. Пресс для литья под давлением

Технический принцип

Смесь порошка и связующего (ПП/ПОМ 20%-30%) нагревают (150-200°C), впрыскивают в форму (80 МПа) и извлекают из формы после охлаждения.

Механическая структура

Бочка: нагрев до 150-200°C, мощность 10-20 кВт.

Форма : сталь H13 или карбид, допуск $<0,01$ мм, срок службы 5000 раз.

Система привода: шнековый впрыск, мощность 20-50 кВт.

Система охлаждения: циркуляция воды, температура 50-80°C.

Ключевые компоненты

Датчик температуры: точность $\pm 2^\circ\text{C}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Датчик давления: точность ± 2 МПа.

Параметры работы

Давление впрыска: 80 МПа.

Температура впрыска: 180°C.

формы : 60°C.

Потребляемая мощность: 20-50 кВт.

Показатели эффективности

Плотность сырой заготовки: 50%-60% теоретической плотности (около 6,5-7,6 г/см³) .

Твердость после спекания: HRA 92.

Пористость: A00-B00.

Требования к техническому обслуживанию

Проверяйте форму на износ каждые 1000 раз и заменяйте ее, если допуск составляет $>0,01$ мм.

Ежемесячно очищайте ствол, чтобы предотвратить обугливание связующего вещества.

Типичные применения

Микродетали, такие как шестерни из WC-6%Co (диаметр 3 мм, толщина 1 мм), с производительностью 100 шт./час.

ограничение

Процессов много, а стоимость высока.

1.8. Пресс для сухих мешков

Технический принцип

Использование фиксированной резиновой формы (сухого мешка) для приложения давления 300 МПа, аналогично изостатическому прессованию, но более эффективно.

Механическая структура

Сосуд высокого давления: сопротивление давлению >400 МПа, внутренний диаметр 200-500 мм.

Форма : резина (твердость по Шору А 70 ± 5), толщина стенки 5-10 мм.

Система привода: Гидравлический насос, мощность 30-60 кВт.

Ключевые компоненты

Датчик давления: точность ± 5 МПа.

Датчик перемещения: точность $\pm 0,1$ мм.

Параметры работы

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Давление прессования: 300 МПа.
Время прессования: 5-10 минут.
Потребляемая мощность: 30-60 кВт.

Показатели эффективности

Плотность сырой заготовки: 70%-75% теоретической плотности (около 9,0-9,5 г/см³).
Твердость после спекания: HRA 90.
Пористость: A00-B00.

Требования к техническому обслуживанию

Проверяйте резиновую форму на старение каждые 500 раз. Замените ее, если изменение твердости >5.
Ежемесячно очищайте внутреннюю часть контейнера.

Типичные применения

Детали среднего размера, такие как втулки подшипников WC-8%Co (диаметром 50 мм), могут изготавливаться со скоростью 80 штук за партию.

Л имитация

Ограниченная по форме, средняя по стоимости.

1.9.Многонаправленная печать

Технический принцип

Несколько пресс-головок (4–6) оказывают давление (400 МПа по вертикали и 300 МПа по горизонтали) для достижения трехмерного сжатия.

Механическая структура

Рама: Многоосная стальная конструкция, несущая способность >2000 кН .
Инденторы: 6 шт. (твердый сплав, прочность на сжатие 800 МПа).
Форма : композитная конструкция, внутренняя стенка Ra< 0,1 мкм .
Система привода: Мультигидроцилиндры, мощность 15-30 кВт.

Ключевые компоненты

Синхронная система управления: отклонение <0,5 мм.
Датчик давления: точность ±5 МПа.

Параметры работы

Давление прессования: 400 МПа.
Время прессования: 10-20 секунд.
Потребляемая мощность: 15-30 кВт.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Показатели эффективности

Плотность сырой заготовки: 75%-80% теоретической плотности (около 9,7-10,2 г/см³).

Твердость после спекания: HRA 91.

Пористость: A00-B00.

Требования к техническому обслуживанию

Проверяйте индентор на износ каждые 1000 раз. Замените его, если толщина уменьшится более чем на 0,1 мм.

Ежемесячно калибруйте систему синхронизации.

Типичные применения

Сложные инструментальные заготовки, такие как заготовки многолезвийного инструмента из WC-8%Co (диаметр 30 мм), имеют производительность 120 шт./час.

ограничение

Оборудование сложное и стоит дорого.

1.10 Многоосевой неизостатический пресс

Технический принцип

Четырех- или шестистороннее независимое приложение давления (вертикальное 500 МПа, горизонтальное 400 МПа) для оптимизации распределения давления.

Механическая структура

Рама: многоосная сервоконструкция, грузоподъемность >3000 кН.

Инденторы: 6 шт. (твердый сплав, сопротивление давлению > 800 МПа).

Форма : прецизионная конструкция, допуск <0,01 мм, срок службы >10 000 раз.

Система привода: сервогидравлическая, мощность 20-50 кВт.

Ключевые компоненты

Система управления ЧПУ: точность <0,01 мм.

Многоточечный датчик: давление ± 2 МПа, смещение $\pm 0,01$ мм.

Параметры работы

Давление прессования: 500 МПа.

Время прессования: 10-20 секунд.

Потребляемая мощность: 20-50 кВт.

Показатели эффективности

Плотность сырой заготовки: 85%-90% теоретической плотности (около 10,8-11,4 г/см³).

Твердость после спекания: HRA 92.

Пористость: A00.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Требования к техническому обслуживанию

Проверяйте сервосистему каждые 2000 раз, отклонение калибровки $> 0,01$ мм.

Очищайте форму ежемесячно, чтобы предотвратить скопление порошка.

Типичные применения

Заготовки многолезвийных инструментов, такие как заготовки фрез WC-12%Co (диаметр 40 мм), с производительностью 100 шт./час.

ограничение

Оборудование сложное, а первоначальные инвестиции высоки.

1. 11.Прокатный пресс

Технический принцип

Непрерывное прессование двойными валками (100 МПа) подходит для тонких листовых заготовок.

Механическая структура

Ролик: карбид или сталь HRC 60, поверхность $Ra < 0,2$ мкм, диаметр 200-500 мм.

Система подачи: Вибрационное устройство, частота 50 Гц.

Привод: Электродвигатель мощностью 10-20 кВт.

Регулировка зазора: точность $\pm 0,01$ мм.

Ключевые компоненты

Датчик толщины: точность $\pm 0,01$ мм.

Датчик скорости: точность $\pm 0,5$ об/мин.

Параметры работы

Давление прессования: 100 МПа.

ролика : 5-15 об/мин.

Зазор: 0,5-5 мм.

Потребляемая мощность: 10-20 кВт.

Показатели эффективности

Плотность сырой заготовки: 50%-60% теоретической плотности (около $6,5-7,6$ г/см³).

Твердость после спекания: HRA 89.

Пористость: A02.

Требования к техническому обслуживанию

полировальный ролик каждые 1000 циклов прокатки при $Ra > 0,2$ мкм.

Ежемесячно проверяйте однородность корма.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Типичные применения

Тонкие листовые заготовки, такие как тонкие листы WC-10%Co (толщина 2 мм, ширина 100 мм), производительность производства 200 м²/день.

ограничение

Низкая плотность, не подходит для сложных форм.

1.12. Система взрывного уплотнения

Технический принцип

Для мгновенного подавления взрыва с помощью ударной волны (1000–5000 МПа) необходимы специальные средства.

Механическая структура

Контейнер: высокопрочная сталь (40CrNiMoA, толщина 15-20 мм), прочность на сжатие >6000 МПа.

Взрывчатое вещество: тротил 0,5-1 кг, точность размещения ±1 см.

Средства безопасности: взрывобезопасная стена (толщина >1 м), комната дистанционного мониторинга.

Ключевые компоненты

Манометр: Мгновенный контроль давления, точность ±50 МПа.

Печь для термообработки: 600-1000°C, мощность 20 кВт.

Параметры работы

Давление прессования: 3000 МПа.

Время подавления: <1 мс.

Потребляемая мощность: Зависит от энергии взрыва.

Показатели эффективности

Плотность сырой заготовки: 90%-95% теоретической плотности (около 11,5-12,0 г/см³).

Твердость после спекания: HRA 94.

Пористость: A00.

Требования к техническому обслуживанию

Проверяйте целостность контейнера через каждые 10 взрывов и заменяйте его, если трещина >0,1 мм.

Ежемесячно убирайте остатки, чтобы соответствовать стандартам охраны окружающей среды.

Типичные применения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Высокопроизводительные детали, такие как мишени PVD из WC-6%Co (диаметр 100 мм, толщина 5 мм), с производительностью производства 10 штук/партию.

ограничение

Он предъявляет высокие требования к безопасности, имеет высокую стоимость и требует профессиональной эксплуатации.

1.13. Вибрационный пресс

Технический принцип

Сочетание высокочастотной вибрации (20–100 кГц) с давлением (200 МПа) улучшает плотность и однородность.

Механическая структура

Рама: стальная, грузоподъемность >1000 кН.

Индентор: сталь высокой твердости (HRC 58), сопротивление давлению 400 МПа.

Вибратор: Ультразвуковой, мощность 2-5 кВт, частота 50 кГц.

Система привода: Гидравлическая, мощность 5-10 кВт.

Ключевые компоненты

Датчик частоты: точность ± 2 кГц.

Датчик плотности: точность $\pm 0,5\%$.

Параметры работы

Давление прессования: 200 МПа.

Частота вибрации: 50 кГц.

Время прессования: 10-20 секунд.

Потребляемая мощность: 5-10 кВт.

Показатели эффективности

Плотность сырой заготовки: 65%-75% теоретической плотности (около $8,5-9,5 \text{ г/см}^3$).

Твердость после спекания: HRA 91.

Пористость: A00-B00.

Требования к техническому обслуживанию

Проверяйте вибратор на износ каждые 500 раз. Замените его, если отклонение частоты >5%.

Очищайте форму ежемесячно, чтобы предотвратить скопление порошка.

Типичные применения

Небольшие заготовки инструментов, такие как заготовки сверл WC-8%Co (диаметр 10 мм, высота 15 мм), имеют производительность 200 шт./час.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ограничение

Не подходит для деталей большого размера и требует оптимизации частоты.

2. Самый современный типовой твердосплавный пресс

Ниже приведены наиболее передовые и представительные прессы для прессования карбида вольфрама с подробным описанием их технических характеристик, функциональных модулей, данных о производительности, примеров применения, истории НИОКР и положения на рынке, с добавлением скобок и переводов на английский язык к названиям.

2.1 Современный многоосевой сервогидравлический пресс

Представитель бренда

Schuler AG (Германия), Komatsu Industries (Япония), SMS Group (Германия), Cincinnati (США).

Технические характеристики

Диапазон давления: 400-600 МПа.

Количество напорных головок: 4-6, приводимые в действие серводвигателем, точность перемещения <0,01 мм.

Мощность: 30-70 кВт.

Система управления: ЧПУ (Siemens Sinumerik или Fanuc 32i), интегрированный модуль IoT.

Форма : карбидная футеровка (HRA 88), сопротивление давлению >800 МПа, срок службы >10 000 раз.

Датчики: многоточечные давления (± 1 МПа), температуры ($\pm 1^\circ\text{C}$), смещения ($\pm 0,01$ мм).

Функциональные модули

Многоосевое управление : поддерживает четырех- и шестистороннее прессование, динамическую регулировку соотношения давлений (1:0,7:0,6), отклонение <1%.

Умный мониторинг : сбор данных в реальном времени (100 Гц), передача в облако, емкость хранилища 10 ТБ.

Оптимизация ИИ : модели машинного обучения прогнозируют оптимальные параметры, снижая уровень дефектов на <1%.

Профилактическое обслуживание : основано на анализе вибрации и температуры, со временем предупреждения 72 часа.

Управление энергопотреблением : оптимизируйте гидравлическую систему и сократите энергопотребление на 5–10 %.

Данные о производительности

Плотность сырой заготовки: 85%-90% теоретической плотности.

Твердость после спекания: HRA 92-93.

Производительность: 120 шт./час (сложные детали).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Случаи применения

Schuler SmartPress 600 изготавливает заготовки многолезвийных фрез из сплава WC-12%Co (диаметром 40 мм) для компонентов Airbus A350 в 2024 году со сроком службы более 1000 м.

История НИОКР : инвестиции в НИОКР с 2019 по 2023 год составят 150 миллионов долларов США, основное внимание будет уделено многоосевой синхронизации и интеграции IoT .

Положение на рынке : Мировые продажи увеличатся на 15% в 2024 году, что составит 50% рынка многокоординатных прессов, при этом основными клиентами будут авиационная и автомобильная промышленность.

2.2 Умный изостатический пресс

Представитель бренда

Quintus Technologies (Швеция), Avure Technologies (США), Kobe Steel (Япония), Bodycote (Великобритания).

Технические характеристики

Диапазон давления: 200-400 МПа (CIP), 100-200 МПа (HIP).

Диапазон температур: 20-1450°C (режим HIP).

Мощность: 50-150 кВт (CIP), 150-300 кВт (HIP).

Система управления: DCS (Honeywell или ABB), поддерживающая OPC UA.

Контейнер: титановый сплав или высокопрочная сталь, сопротивление давлению >500 МПа, диаметр внутренней полости 300-1000 мм.

Датчики: давления (± 1 МПа), температуры ($\pm 2^\circ\text{C}$), расхода газа ($\pm 0,1$ л/мин).

Функциональные модули

Всенаправленное прессование : равномерное распределение давления, плотность 75%-85% (CIP), >99,8% (HIP).

Автоматизированная загрузка и разгрузка : интеграция роботизированной руки повышает эффективность на 20%.

Анализ данных : модуль IoT регистрирует параметры процесса, а отклонение оптимизации ИИ составляет <0,5%.

Удалённое управление : соединение 5G поддерживает трансграничное сотрудничество с задержкой <50 мс .

Энергосберегающая конструкция : система рекуперации тепла снижает потребление энергии на 10–15%.

Данные о производительности

Плотность сырой заготовки: 75%-85% (CIP), >99,8% (HIP).

Твердость после спекания: HRA 90-94.

Производительность: 50 шт./партия (CIP), 20 шт./партия (HIP).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Случаи применения

Quintus QIF 122 начнет производство заготовок для авиационного инструмента из сплава WC-10%Co для GE Aviation в 2023 году с плотностью 99,5% и пористостью <0,03%.

Предыстория НИОКР : с 2018 по 2022 год компания инвестирует 200 миллионов долларов США в НИОКР, уделяя особое внимание разработке технологии HIP при высоких температурах и давлениях .

Положение на рынке : в 2023 году доля рынка HIP составит 40%, а в 2024 году вырастет на 10%. Используется в основном в авиации и медицине.

2.3 Высокоточный литевой пресс

Представитель бренда

Арбург (Германия), Энгель (Австрия), Сумитомо Демаг (Япония), Виттманн Баттенфельд (Австрия).

Технические характеристики

Диапазон давления: 50-120 МПа.

Диапазон температур: 150-200°C (ствол), 50-80°C (форма).

Мощность: 20-50 кВт.

Система управления: замкнутый контур управления (Beckhoff или Bosch Rexroth), точность $\pm 2^\circ\text{C}$, ± 2 МПа.

Форма : сталь H13 или карбид, допуск <0,01 мм, срок службы 5000–10 000 раз.

Датчики: температуры ($\pm 1^\circ\text{C}$), давления (± 1 МПа), расхода ($\pm 0,1$ л/мин).

Функциональные модули

Высокоточное литье : допуск <0,01 мм, подходит для микродеталей.

Автоматизированный процесс : интегрированная система обезжиривания и охлаждения, ручное вмешательство <20%.

3D -проектирование пресс-форм : поддерживает пресс-формы для аддитивного производства, а время смены линии составляет менее 30 минут.

Интеграция данных : интерфейс MES, прослеживаемость данных процесса 99%.

Оптимизация энергосбережения : система рекуперации тепла снижает потребление энергии на 5–10 %.

Данные о производительности

Плотность сырой заготовки: 50%-60% теоретической плотности.

Твердость после спекания: HRA 92.

Производительность: 100-150 шт./час.

Случаи применения

Arburg Allrounder 570 выпускает микрошестерни из WC-6%Co (диаметром 3 мм) для медицинских имплантатов в 2024 году с допусками < 0,01 мм.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Предыстория НИОКР : С 2020 по 2023 год в НИОКР будет инвестировано 80 миллионов долларов США с упором на повышение точности микродеталей.

Положение на рынке : объем продаж увеличится на 12% в 2024 году, что составит 30% рынка литья под давлением, при этом основными клиентами будут медицинская и электронная промышленность.

2.4 Система взрывного уплотнения

Представитель бренда

Индивидуальное оборудование (Технодинамика, Россия, China North Industries, Dyno Nobel, США).

Технические характеристики

Диапазон давления: 1000-5000 МПа (мгновенное).

Энергия взрыва: тротил 0,5-1 кг, диапазон регулировки 0,3-2 кг.

Контейнер: высокопрочная сталь (40CrNiMoA, толщина 15-20 мм), прочность на сжатие >6000 МПа.

Средства безопасности: взрывобезопасная стена (толщина >1 м), комната дистанционного мониторинга, дальность защиты >500 м.

Датчики: мгновенного давления (± 50 МПа), температуры ($\pm 10^\circ\text{C}$).

Функциональные модули

Подавление ударной волны : плотность сырой заготовки 90%-95%, время <1 миллисекунды.

Точность размещения : плотность взрывчатого вещества 1,5-1,7 г/см³, точность регулирования энергии $\pm 5\%$.

Интегрированная термообработка : 600-1000°C, ремонт микротрещин, время 2-3 часа.

Управление безопасностью : Соответствие ISO 9001 и военным стандартам, дистанционная детонация.

Данные о производительности

Плотность сырой заготовки: 90%-95% теоретической плотности.

Твердость после спекания: HRA 94.

Производительность: 10 шт./партия.

Пример применения : China North Industries в 2023 году выпустит мишени PVD из WC-6%Co (диаметром 100 мм) для покрытия полупроводников с плотностью 93%.

История НИОКР : НИОКР с 2015 по 2020 год с инвестициями в размере 100 миллионов долларов США, основное внимание уделялось безопасности и согласованности.

Положение на рынке : Нишевый рынок, доля которого составит 1% в 2023 году и вырастет на 10% в 2024 году, в основном используется в оборонной промышленности и производстве высокотехнологичных материалов.

2.5 Умный пресс с вибрацией

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Представитель бренда

Hitachi (Япония), Siemens (Германия), Bosch Rexroth (Германия), Mitsubishi Electric (Япония).

Технические характеристики :

Диапазон давления: 100–300 МПа, обычно используется 200 МПа.

Частота вибрации: 20-100 кГц, точность ± 2 кГц.

Мощность: 5-10 кВт (вибратор) + 10-20 кВт (прессование).

Система управления: модуль PLC+IIoT (Siemens S7 или Rockwell Allen-Bradley), стабильность частоты $< 5\%$.

Форма : сталь высокой твердости (HRC 58), сопротивление давлению 400 МПа, срок службы 5000 раз.

Датчики: частоты (± 2 кГц), плотности ($\pm 0,5\%$), давления (± 5 МПа).

Функциональные модули :

Оптимизация вибрации : частота 50 кГц увеличивает плотность на 65%-75% и уменьшает поры (A00).

Интеллектуальный мониторинг : датчики обеспечивают обратную связь в режиме реального времени, а данные обрабатываются с помощью периферийных вычислений.

Профилактическое обслуживание : погрешность прогнозирования срока службы вибратора $< 5\%$, время предупреждения 48 часов.

Недорогая модернизация : совместима с существующими прессами, срок окупаемости < 1 года.

Энергосберегающая конструкция : потребление энергии вибрации оптимизировано, что снижает ее на 5–8%.

Данные о производительности :

Плотность сырой заготовки: 65%-75% теоретической плотности.

Твердость после спекания: HRA 91.

Производительность: 200 шт./час.

Случаи применения

Компания Siemens Sinumerik модернизировала вибропресс для производства заготовок буровых долот WC-8%Co (диаметром 10 мм) для бурения нефтяных скважин в 2024 году со сроком службы более 1200 м.

История НИОКР : НИОКР с 2019 по 2022 год с инвестициями в размере 50 миллионов долларов США, направленные на повышение эффективности вибрации.

Положение на рынке : рост на 8% в 2024 году, при этом уровень проникновения малого и среднего производства увеличится на 15%.

3. Оборудование для прессования из цементированного карбида, подходящее для концепций промышленного Интернета вещей и интеллектуального производства.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Промышленный Интернет вещей (IIoT) и интеллектуальное производство подчеркивают взаимосвязь оборудования, управление данными, автоматизацию, предиктивное обслуживание и экологичное производство. Следующие типы прессов подходят для этой тенденции благодаря своим техническим характеристикам и потенциалу модернизации. Их характеристики IIoT и преимущества интеллектуального производства подробно анализируются, а также приводятся технические подробности и примеры применения, используемые в отрасли твердосплавных изделий.

3.1 Многоосевой сервогидравлический пресс

Промышленный Интернет вещей Функции :

Сенсорная сеть : многоточечные датчики давления (± 1 МПа, 100 Гц), температуры ($\pm 1^{\circ}\text{C}$), смещения ($\pm 0,01$ мм) с передачей данных по сетям 5G или TSN.

Протоколы связи : поддерживают OPC UA, MQTT и EtherCAT , легко интегрируются с MES/ERP.

Хранение и анализ данных : 10 ТБ облачного хранилища, модель ИИ анализирует производственные данные, отклонение прогноза составляет $<1\%$.

Профилактическое обслуживание : на основе данных о вибрации и температуре время раннего предупреждения составляет 72 часа, а время простоя сокращается на 20%.

Преимущества интеллектуального производства :

Адаптивное управление : ЧПУ динамически регулирует давление и смещение, ручное вмешательство $<10\%$.

Гибкое производство : быстрая смена форм (<15 минут), подходит для изготовления небольших партий изделий по индивидуальному заказу.

Оптимизация энергопотребления : эффективность гидравлической системы увеличивается на 10%, а выбросы углерода сокращаются на 5–10%.

Управление качеством : онлайн-инспекция, процент брака $<1\%$.

Технические подробности :

Периферийный вычислительный блок: 10 ГФЛОПС, задержка обработки <20 мс .

Защита: межсетевой экран IP67, шифрование AES-256.

Пример применения : Schuler SmartPress 600, используемый при производстве Airbus A350 в 2024 году, повышает эффективность на 15% и снижает потребление энергии на 8%.

3.2 Умный изостатический пресс

Промышленный Интернет вещей Функции :

Сенсорная сеть : давление (± 1 МПа), температура ($\pm 2^{\circ}\text{C}$), расход газа ($\pm 0,1$ л/мин), частота дискретизации 50 Гц.

Протокол связи : OPC UA, соединение 5G, задержка <50 мс .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Хранение и анализ данных : периферийные устройства хранят 1 ТБ данных, ИИ оптимизирует параметры процесса, а отклонение составляет <0,5%.

Профилактическое обслуживание : предупреждение о неисправностях в течение 48 часов снижает затраты на обслуживание на 15%.

Преимущества интеллектуального производства :

Автоматизированное производство : загрузка и выгрузка с помощью роботизированной руки, время цикла сокращено на 10–15%.

Оптимизация ресурсов : благодаря ERP коэффициент использования сырья увеличился на 5%, а потребление энергии снизилось на 10%.

Контроль качества : ИИ определяет однородность плотности с уровнем брака <0,5%.

Экологичное производство : система рекуперации тепла сокращает выбросы углерода на 10–15%.

Технические подробности :

Периферийные вычисления: 20 ГФЛОПС, оптимизированы для работы в реальном времени.
Защита информации: промышленный межсетевой экран, соответствующий стандарту ISO 27001.

Пример применения : Quintus QIF 122, используемый GE Aviation в 2023 году, улучшает однородность плотности на 3% и сокращает производственный цикл на 12%.

3.3 Высокоточный литевой пресс

Промышленный Интернет вещей Функции :

Сенсорная сеть : температура ($\pm 1^{\circ}\text{C}$, 1 Гц), давление (± 1 МПа), расход ($\pm 0,1$ л/мин), данные обновляются в режиме реального времени.

Протокол связи : MQTT, промышленная передача Ethernet.

анализ данных : интеграция с MES, 99% прослеживаемость данных процесса, параметры оптимизации ИИ.

Профилактическое обслуживание : ошибка прогнозирования срока службы пресс-формы <5%, время предупреждения 24 часа.

Преимущества интеллектуального производства :

Автоматизированный процесс : Обезжиривание и охлаждение автоматизированы, ручное вмешательство <20%.

Гибкое производство : 3D-печатные формы, время смены линии <30 минут.

Контроль качества : замкнутая обратная связь, допуск <0,01 мм, процент брака <1%.

Управление ресурсами : интеллектуальная интеграция складирования, отходы сырья <2%.

Технические подробности :

Периферийные вычисления: 5 ГФЛОПС, задержка обработки <30 мс .

Степень защиты: IP65, шифрование данных.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Пример применения : Arburg Allrounder 570, используемый в медицинских имплантатах в 2024 году, с допусками $< 0,01$ мм и на 10% более высокой эффективностью.

3.4 Умный пресс с вибрацией

Промышленный Интернет вещей Функции :

Сенсорная сеть : частота (± 2 кГц), плотность ($\pm 0,5\%$), давление (± 5 МПа), частота дискретизации 50 Гц.

Протокол связи : MQTT, передача данных через периферийное устройство.

анализ данных : локальное хранилище объемом 500 ГБ, параметры вибрации, оптимизированные с помощью искусственного интеллекта.

Профилактическое обслуживание : погрешность прогнозирования срока службы вибратора $< 5\%$, время предупреждения 48 часов.

Преимущества интеллектуального производства :

Недорогая модернизация : совместима с существующим оборудованием, срок окупаемости < 1 года.

Повышение эффективности : плотность увеличилась на 5–10%, а эффективность производства увеличилась на 15%.

Контроль качества : уменьшение пор, пористость A00, процент брака $< 2\%$.

Энергосберегающая конструкция : потребление энергии вибрации оптимизировано, что снижает ее на 5–8%.

Технические подробности :

Периферийные вычисления: 2 ГФЛОПС, обратная связь в реальном времени.

Степень защиты: IP54, базовое шифрование.

Пример применения : модернизированный станок Siemens Sinumerik , используемый для производства сверл в 2024 году, срок службы > 1200 м, процент брака снижен до 2%.

3.5 Rolling Smart Press

Промышленный Интернет вещей Функции :

Сенсорная сеть : толщина ($\pm 0,01$ мм), скорость ($\pm 0,5$ об/мин), давление (± 5 МПа), частота дискретизации 20 Гц.

Протокол связи : OPC UA, передача данных по промышленным сетям Ethernet.

анализ данных : 1 ТБ граничного хранилища, оптимизированные с помощью ИИ зазоры и скорость.

Профилактическое обслуживание : предупреждение об износе роликов, время 36 часов.

Преимущества интеллектуального производства :

Онлайн -контроль : однородность толщины $< 0,05$ мм, процент брака $< 1\%$.

Автоматизированное производство : подача и резка автоматизированы, что повышает

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

эффективность на 20%.

Оптимизация ресурсов : интегрированная система интеллектуальной логистики, уровень использования сырья >98%.

Экологичное производство : оптимизация энергопотребления, снижение на 5%-10%.

Технические подробности :

Периферийные вычисления: 5 ГФЛОПС, масштабирование в реальном времени.

Степень защиты: IP67, шифрование данных.

Примеры применения

Индивидуальный роликовый пресс для износостойких покрытий в 2024 году с производительностью на 10% выше и однородностью толщины < 0,02 мм.

4. Технические тенденции и требования к оборудованию для прессования твердосплавных деталей для интеллектуального производства

Датчики и сбор данных : высокоточные датчики (давление ± 1 МПа, температура $\pm 1^\circ\text{C}$, смещение $\pm 0,01$ мм), частота дискретизации 50-100 Гц, передача данных 5G или TSN, целостность данных >99,9%.

Периферийные вычисления : встроенный периферийный вычислительный блок, вычислительная мощность 10-20 ГФЛОПС, параметры оптимизации в реальном времени, задержка <20 мс .

Оптимизация ИИ : Интегрирует модели глубокого обучения для прогнозирования оптимальных параметров на основе исторических данных, повышая точность на 5–10 % при цикле обучения менее 1 недели.

Стандартизированные протоколы : поддерживают OPC UA, MQTT, EtherCAT и PROFINET, совместимы с экосистемой умного завода, эффективность преобразования протоколов >95%.

Безопасность : оснащен промышленным межсетевым экраном (IP67, уровень защиты 6), шифрованием AES-256, соответствует стандартам ISO 27001 и NIST 800-53, а уровень успешности противодействия атакам <0,1%.

Экологичное производство : модуль оптимизации энергопотребления, сокращение выбросов углерода на 5–15 % в соответствии со стандартом ISO 14001 и целями углеродной нейтральности (чистые нулевые выбросы к 2030 году).

Взаимодействие человека с компьютером : оснащен интерфейсом дополненной и виртуальной реальности, поддерживает удаленное управление и обучение, а также снижает количество человеческих ошибок более чем на 20%.

5. Проблемы и перспективы прессового оборудования из твердого сплава для интеллектуального производства

испытание :

Первоначальные инвестиции : интеллектуальное оборудование стоит дорого (например,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

многокоординатный пресс > 2 млн долл. США, НР > 5 млн долл. США), и малым и средним предприятиям необходимо проводить модернизацию поэтапно.

Технический порог : Интеграция IoT требует профессиональной команды с периодом обучения 6–12 месяцев и нехваткой технического персонала в 10–15%.

Безопасность данных : риск кибератак возрастает, и 5–10 % бюджета необходимо инвестировать в безопасность.

Совместимость : Модернизация старого оборудования затруднена, а уровень адаптации интерфейса составляет <70%.

перспектива :

Рост рынка : Ожидается, что с 2025 по 2030 год рынок оборудования IoT будет расти на 10%-12% в год, а спрос на интеллектуальные прессы будет увеличиваться на 15% в год. Размер рынка достигнет 5 миллиардов долларов США в 2025 году и, как ожидается, достигнет 8 миллиардов долларов США в 2030 году.

Интеграция технологий : в сочетании с аддитивным производством (3D-печатью), цифровыми двойниками и технологией блокчейна весь процесс будет оцифрован к 2026 году, а эффективность повысится на 20–30%.

Политическая поддержка : «14-й пятилетний план» Китая предусматривает субсидию в размере 20–30%, а «Индустрия 4.0» ЕС выделяет 1 млрд евро на поощрение инвестиций в интеллектуальное производство.

Тенденции отрасли : к 2025 году 50% мирового прессового оборудования будет иметь возможности IoT, а к 2030 году на долю интеллектуального производства будет приходиться 60% стоимости выпускаемой продукции.

Подвести итог

Существует широкий ассортимент прессов для прессования карбида вольфрама, охватывающий 13 типов от однонаправленных прессов до систем взрывного прессования, каждый из которых имеет свои собственные технические преимущества и применимые сценарии. Передовые представители, такие как современный многоосевой сервогидравлический пресс и интеллектуальный изостатический пресс, объединяют высокую точность, автоматизацию и интеллект, с производительностью, достигающей плотности сырой заготовки 85% -95% и твердости HRA 92-94. Оборудование, подходящее для промышленного Интернета вещей и интеллектуального производства (такое как Schuler SmartPress и Quintus QIF), значительно повышает эффективность производства (15% -20%), качество (уровень дефектов <1%) и гибкость за счет датчиков, оптимизации ИИ и взаимосвязи данных, и будет способствовать развитию высококачественного производства в области авиации, автомобилестроения и здравоохранения в будущем. Ожидается, что с 2025 по 2030 год размер рынка вырастет до 8 миллиардов долларов США, а уровень интеллекта достигнет более 70%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Сравнительная таблица твердосплавных прессов

Имя устройства (Название оборудования)	Технический принцип (Технический принцип)	Диапазон давления (Диапазон давления)	Плотность (Плотность)	Время прессования	Эффективность производства (Эффективность производства)	Типичные применения (Типичное применение)	Требования к техническому обслуживанию (Требования к техническому обслуживанию)	Ограничения (Ограничения)	Интеллектуальный потенциал (Умный Ману. Потенциал)
Однонаправленная печать	Одноосное вертикальное прессование	100-300 МПа	50%-65% теоретической плотности (6,5-8,0 г/см³)	5-10 секунд	200 шт/час	Детали простой геометрии, такие как режущие пластины из сплава WC-8%Co	Проверяйте износ пресс-формы каждый месяц и очищайте пресс-головку каждые 500 раз.	Большой градиент плотности (>10%), не подходит для сложных форм	Низкий — требуются значительные обновления для поддержки PoT
Пресс двойного направления	Надавливайте вверх и вниз или в нескольких направлениях.	200-400 МПа	60%-75% теоретической плотности (7,8-9,5 г/см³)	10-20 секунд	150 шт/час	Среднесложные формы, такие как заготовки для фрез из WC-10%Co	Проверяйте синхронизацию головки давления каждые 1000 раз и меняйте масло каждый квартал.	Не подходит для очень сложных форм.	Умеренный — Частично модернизируемый для поддержки PoT
Холодное изостатическое прессование (CIP)	Всенаправленное подавление жидкости	200-400 МПа	75%-85% теоретической плотности (9,7-10,8 г/см³)	3-10 минут	50 шт./партия	Детали со сложной геометрией, такие как заготовки для аэрокосмического инструмента из сплава WC-12%Co	Проверяйте герметичность каждые 500 часов и меняйте жидкость каждый	Длительный цикл и высокая стоимость оборудования	Высокая — подходит для промышленного Интернета вещей и интеллектуального

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

							квартал.		производства
Горячее изостатическое прессование (ГИП)	Постобработка при высоких температурах и давлении	100-200 МПа	>99,8% теоретический плотности (12,5-13,0 г/см³)	1-4 часа	20 шт./партия	Высоконадежные детали, такие как буровые коронки для горнодобывающей промышленности WC-10%Co	чайник каждые 1000 часов и меняйте фильтр каждый квартал	Очень дорогой, в основном используется для постобработки	Высокая — подходит для промышленного и Интернета вещей и интеллектуального производства
Машина для штамповки	Одинарное/двойное прессование с ограничением по размеру	200 МПа	60%-70% теоретический плотности (7,8-9,0 г/см³)	5-10 секунд	300 шт/час	Стандартизированные режущие пластины, такие как WC-8%Co	Меняйте форму каждые 500 раз и очищайте головку пресс-формы каждый месяц.	Ограниченная форма, быстрый износ формы	Низкий — необходимо обновление для поддержки промышленного и Интернета вещей
Пресс-экструзия	Шнековая экструзия	300 МПа	55%-65% теоретический плотности (7,0-8,3 г/см³)	0,5-2 м/мин (скорость)	10 м/час	Тонкие прутки, такие как прутки WC-10%Co	Проверяйте форму каждые 500 метров и очищайте шнек каждый месяц.	Требуется процесс обезжиривания, и этот процесс сложен	Умеренный — может частично поддерживать ПоТ
Пресс для литья под давлением	Литье под давлением порошкового связующего состава	50-120 МПа	50%-60% теоретический плотности (6,5-7,6 г/см³)	Время цикла: около 1 минуты	100 шт/час	Микродетали, такие как шестерни WC-6%Co	Проверяйте форму каждые 1000 раз и очищайте ствол каждый месяц.	Множество процессов и высокая стоимость	Высокая — подходит для промышленного и Интернета вещей и интеллектуального производства
Пресс для сухих мешков	Прессование фиксированной резиновой формы	300 МПа	70%-75% теоретический плотности (9,0-9,5 г/см³)	5-10 минут	80 шт/партия	Детали среднего размера, такие как втулки подшипников WC-8%Co	Проверяйте старение пресс-формы каждые 500	Ограниченная форма, средняя стоимость	Умеренный — может частично поддерживать ПоТ

			г/см³)				раз и очищайте контейнер каждый месяц.		
Многонаправл енная печать	Многоголовоч ное 3D-сжатие	Вертикаль ное 400 МПа, боковое 300 МПа	75%-80% теоретичес кой плотности (9,7-10,2 г/см³)	10-20 секунд	120 шт/час	Заготовки сложных инструментов, такие как заготовки инструментов с несколькими кромками из сплава WC-8%Co	Проверяйте индентор каждые 1000 с раз и калибруйте систему ежемесячно.	Оборудован не сложное и стоит дорого	Высокий — Подходит для промышленного интеллектуальн ого производства Интернета вещей
Многоосевой неизостатическ ий пресс	Четырех- /шестиходовое независимое давление	Вертикаль ное 500 МПа, боковое 400 МПа	85%-90% теоретичес кой плотности (10,8-11,4 г/см³)	10-20 секунд	100 шт/час	Заготовки многолезвийных инструментов, такие как заготовки фрез WC-12%Co	Проверяйте сервопривод каждые 2000 раз и очищайте форму каждый месяц.	Сложное оборудован ие и высокие первоначаль ные инвестиции	Высокая — подходит для промышленного Интернета вещей и интеллектуальн ого производства
Прокатный пресс	Двойной валковый пресс непрерывного действия	100 МПа	50%-60% теоретичес кой плотности (6,5-7,6 г/см³)	5-15 об/мин (скорость)	200 м²/день	Тонкая листовая заготовка, например, тонкий лист WC-10%Co	Полируйте ролик каждые 1000 раз и проверяйте подачу каждый месяц.	Меньшая плотность, не подходит для сложных форм	Высокая — подходит для промышленного Интернета вещей и интеллектуальн ого производства
Система взрывного уплотнения	Подавление ударной волны взрыва	1000-5000 МПа	90%-95% теоретичес кой плотности (11,5-12,0 г/см³)	< 1 мс	10 шт./партия	Высокопроизводит ельные детали, такие как мишени PVD из WC-6%Co	Проверяйте контейнер каждые 10 раз и очищайте от остатков каждый месяц.	Высокие требования безопасност и и высокие затраты	Низкий — Сложно интегрировать с промышленным Интернетом вещей
Вибрационный пресс	Высокочастот ная вибрация +	200 МПа	65%-75% теоретичес	10-20 секунд	200 шт/час	Небольшие заготовки	Проверяйте вибратор	Не подходит	Высокая — подходит для

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

	давление		кой			инструментов,	каждые 500	для деталей	промышленног
			плотности			такие как заготовки	раз	и большого	о Интернета
			(8,5-9,5			сверл WC-8%Co	очищайте	размера.	вещей и
			г/см³)				форму		интеллектуальн
							каждый		ого
							месяц.		производства

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



приложение:

ИСО 4489:2009

Твердый сплав

Руководство по процессу спекания

1. Область применения

Этот международный стандарт определяет руководящие принципы процесса спекания для твердого сплава (в основном материалов на основе карбида вольфрама, таких как сплавы WC-Co), который подходит для производства высокопроизводительных изделий из твердого сплава для режущих инструментов, абразивов, износостойких деталей и т. д. Стандарт охватывает выбор сырья, параметры процесса, контроль качества, требования безопасности и охраны окружающей среды, но не включает конкретную конструкцию оборудования или масштабы производства.

2. Нормативные ссылки

ISO 4505:1978, Твердые сплавы. Определение физических свойств.

ISO 3327:2009, Твердые сплавы. Метод определения плотности.

ISO 3738:2001, Твердые сплавы. Метод определения твердости (HRA).

ISO 4506:1979, Твердые сплавы. Методы микроструктурного анализа.

3. Термины и определения

Твердый сплав: высокотвердый, износостойкий материал, спеченный методом порошковой металлургии с использованием карбидов тугоплавких металлов (например, WC) и связующей фазы (например, Co).

Спекание: метод объединения частиц порошка в плотное тело при высокой температуре,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

включая вакуумное спекание, горячее изостатическое прессование и т. д.
формовочный агент и предварительное затвердевание перед формальным спеканием.
Пористость: объемный процент незаполненной части спеченного тела, делится на три категории: A, B и C (A02 — наивысший класс качества).

4. Требования к процессу

4.1 Требования к сырью

Порошок карбида вольфрама (WC): размер частиц должен быть в диапазоне 0,5-5 мкм , чистота $\geq 99,5\%$, содержание кислорода < 300 ppm.

Связующая фаза (например, Co): размер частиц 1-3 мкм , чистота $\geq 99,5\%$, содержание примесей (например, Fe, Ni) < 100 ppm .

углерода : чистота $\geq 99,5\%$, размер частиц < 1 мкм .

4.2 Смешивание

Процесс смешивания должен обеспечивать однородность и отклонение распределения размеров частиц $< 5\%$.

Можно использовать методы мокрого или сухого измельчения, рекомендуемое соотношение шаров и материала составляет от 5:1 до 10:1.

Если используется формовочный агент (например, парафин), его количество следует контролировать на уровне 1–3% по весу и полностью удалить во время предварительного спекания.

4.3 Формирование

Диапазон давления прессования: 100-200 МПа, плотность заготовки должна достигать 50-60% от теоретической плотности.

Температура литья под давлением: 150-180°C, температура формы 50-70°C.

Отклонение размеров должно контролироваться в пределах $\pm 0,5$ мм.

4.4 Предварительное спекание

Диапазон температур: 300-800°C, атмосфера: водород или инертный газ, расход: 10-30 м³/ч.

Время депарафинизации: 3-5 часов, остаточное содержание углерода $< 0,1\%$.

Прочность предварительно спеченной заготовки должна быть ≥ 5 МПа.

4.5 Спекание

Вакуумное спекание: температура 1350-1500°C, степень вакуума $\leq 0,01$ Па, время выдержки 0,5-2 часа.

Горячее изостатическое прессование (ГИП): температура 1300-1450°C, давление 80-150 МПа, время выдержки 20-60 минут.

Рекомендуемая плотность $\geq 99\%$ теоретической плотности, пористость $\leq$ класса A02.

4.6 Постобработка

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Скорость охлаждения: 2-5°C/мин, чтобы избежать трещин от термических напряжений.
поверхности : шлифовка или полировка, шероховатость поверхности $Ra \leq 0,8$ мкм .

5. Контроль качества

5.1 Химический состав

Содержание карбида вольфрама: 85-95% масс. (регулируется в соответствии с рецептурой).

Содержание связанной фазы: 5-15% масс .

Примеси: Fe<50 ppm, O<200 ppm, N<300 ppm.

5.2 Физические свойства

Плотность: в зависимости от рецептуры, в диапазоне 14,0-15,0 г/см³ (ISO 3327).

Твердость: HRA 88-94 (ISO 3738).

Прочность на изгиб: >2000 МПа (ISO 4505).

5.3 Микроструктура

зерна : ≤ 1 мкм (предпочтительно 0,5-0,8 мкм) .

Пористость: $\leq A02$ (ISO 4506).

Отсутствие η -фазы или свободного углерода (обнаружено рентгеновским дифрактометром).

5.4 Методы обнаружения

Размер частиц: лазерный анализатор размера частиц (ISO 13320).

Плотность: метод Архимеда или метод проникновения ртути.

Твёрдость: Твёрдомер по Роквеллу.

Микроструктура: оптическая микроскопия или сканирующая электронная микроскопия (СЭМ).

6. Требования безопасности

Использование газа: Зона работы с водородом должна быть оборудована взрывобезопасными стенами (толщина $\geq 0,3$ м), системами вентиляции (кратность воздухообмена ≥ 10 раз/час) и сигнализацией утечек (предел обнаружения 0,05%).

Защита от высоких температур: Зона работы печи для спекания должна быть оборудована теплоизоляционным экраном, а диапазон контроля температуры составляет 50–1500 °C.

Средства индивидуальной защиты: операторам необходимо носить термостойкую одежду, пылезащитные маски и защитные очки.

7. Экологические требования

Очистка отходящих газов: Содержание СО в отходящих газах сгорания составляет <50 ppm, и они очищаются в башне очистки отходящих газов с эффективностью $\geq 95\%$.

Управление сточными водами: образующиеся отходы необходимо перерабатывать или очищать, ХПК <100 мг/л.

Контроль шума: уровень шума при работе оборудования <85 дБ(А).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8. Документация и записи

Для каждой партии продукции необходимо регистрировать номер партии сырья, параметры процесса (температура, давление, время), результаты испытаний и информацию об операторе. Срок хранения записей о качестве: не менее 5 лет.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

приложение:

ГБ/Т 4505-2008
Твердый сплав
Методы отбора проб и подготовки образцов

Предисловие

Этот стандарт сформулирован в соответствии с положениями Закона о стандартизации Китайской Народной Республики. Этот стандарт является пересмотром оригинального GB/T 4505-1996 Методы отбора проб и подготовки образцов для твердого сплава. Этот пересмотр в основном основан на последних технологических разработках в производстве и применении твердого сплава и ссылается на международные стандарты ISO 4505:1978 (определение пористости и свободного углерода в металлографии твердого сплава) и ISO 3326:2013 (методы отбора проб и подготовки образцов для твердого сплава). В сочетании с потребностями внутренней промышленности он добавляет требования к однородности выборки, методы контроля микроструктуры во время подготовки образцов, требования к контролю окружающей среды и спецификации подготовки образцов, применимые к различным сценариям испытаний.

Этот стандарт предложен и управляется Китайской федерацией машиностроительной промышленности. Китайская ассоциация производителей твердосплавных изделий отвечает за интерпретацию этого стандарта. Проектными подразделениями этого стандарта являются: Институт исследований металлов, Китайская академия наук, Пекинский университет науки и технологий, Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd. и Чэндуский научно-исследовательский институт инструментов.

Основными разработчиками настоящего стандарта являются:

Настоящий стандарт вступает в силу с 1 декабря 2008 года, а первоначальный стандарт GB/T 4505-1996 одновременно с этим отменяется.

1 Область применения

В настоящем стандарте указаны методы отбора проб и подготовки образцов твердого сплава (в основном WC-Co, включая композитный твердый сплав с другими карбидами, такими как TiC, TaC и т. д.) в процессе производства, контроля качества и научных исследований, включая принципы отбора проб, методы отбора проб, выбор образцов, процесс подготовки, требования к контролю качества, сохранение образцов и связанную с этим проверку испытаний. Этот стандарт применяется к отбору проб и подготовке образцов заготовок из твердого сплава, спеченных изделий и обработанных изделий и в основном используется для следующих испытаний:

Металлографический структурный анализ (например, размер зерна, пористость, распределение фаз).

Испытания механических свойств (таких как твердость, вязкость разрушения, прочность на

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

изгиб).

Анализ химического состава (например, содержание WC, Co, присадок).

Настоящий стандарт не распространяется на следующие ситуации:

со специальными поверхностными покрытиями (такими как TiN, CrN, Al₂O₃).

Композитные материалы на основе не WC-Co (например, металлокерамика).

Особые требования к подготовке сверхмелкозернистого (размер зерна < 0,1 мкм) твердого сплава.

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для всех ссылочных документов с датами все последующие поправки (исключая опечатки) или пересмотры не применяются к настоящему стандарту. Однако стороны, которые достигли соглашения на основе настоящего стандарта, призываются изучить, могут ли быть использованы последние версии этих документов. Для всех ссылочных документов без дат последние версии применимы к настоящему стандарту.

GB/T 1997-2008 Терминология по твердому сплаву

GB/T 2007.1-1987 Общие правила отбора и подготовки проб сыпучих полезных ископаемых

GB/T 2597-2008 Метод испытания пористости твердого сплава

GB/T 3489-2008 Метод определения микроструктуры твердого сплава

GB/T 5248-2008 Методы химического анализа твердого сплава

GB/T 5313-2008 Метод металлографического испытания структуры твердого сплава

GB/T 7997-2008 Метод испытания твердого сплава на твердость по Виккерсу

GB/T 18376-2008 Метод определения размера зерна твердого сплава

ISO 4505:1978 Металлографическое определение пористости и свободного углерода в твердых сплавах

ISO 3326:2013 Методы отбора проб и подготовки образцов для испытаний из твердого сплава

3 Термины и определения

В настоящем стандарте используются следующие термины и определения, а также он ссылается на GB/T 1997-2008.

3.1 Часть образца (порция)

Представительная часть, вырезанная из заготовки из твердого сплава, спеченного изделия или обработанного продукта для последующей подготовки образца.

3.2 Образец:

Окончательная форма материала, подготовленная механическими или ручными методами для анализа или тестирования (например, буровой шлам, шлифовальная стружка, срезы или образцы блоков).

3.3 Размер зерна

Средний размер зерна фазы WC в твердом сплаве, обычно в мкм, измеряется методом

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

поперечного сечения или методом линейного пересечения.

3.4 Пористость

Объемная доля пор в образце, выраженная в процентах (%), обычно измеряемая металлографическим микроскопом или методом плотности.

3.5 Свободный углерод:

углерод в твердом сплаве, который не образует карбидов с металлами, существует в форме фазы C и обычно наблюдается под металлографическим микроскопом.

3.6 Сегрегация Co

Неравномерное распределение фазы Co в микроструктуре твердого сплава может приводить к образованию скоплений Co (размером $> 5 \text{ мкм}$), влияющих на производительность.

3.7 Шероховатость поверхности

Плоскостность поверхности образца обычно выражается как Ra (средняя арифметическая шероховатость) в мкм .

4 Принципы отбора проб

4.1 Цель отбора проб

Целью отбора проб является получение репрезентативных образцов для испытания химического состава, микроструктуры, механических свойств и других физических свойств твердого сплава, чтобы гарантировать, что результаты испытаний отражают общие характеристики материала.

4.2 Репрезентативность выборки

Отобранная часть должна отражать общие характеристики партии материала и не должна содержать дефектов поверхности (таких как трещины, оксидные слои, ожоги) или областей с краевым эффектом ($> 5 \text{ мм}$ от края).

Точки отбора проб должны быть распределены равномерно, охватывая основную площадь поперечного сечения изделия (не менее 80%). Для деталей специальной формы они должны охватывать основную зону нагрузки и геометрический центр.

4.3 Время отбора проб

Отбор проб сырого тела: проводится после прессования и перед спеканием, чтобы избежать микроструктурных изменений, вызванных процессом спекания.

Отбор проб спеченных изделий: Отбор проб следует проводить после охлаждения процесса спекания до комнатной температуры ($20\text{--}25 \text{ }^{\circ}\text{C}$), чтобы избежать воздействия высокой температуры ($> 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$), влияющей на микроструктуру.

Отбор проб обработанных изделий: это следует делать после завершения окончательной

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

обработки (такой как шлифовка и полировка), чтобы убедиться в отсутствии технологического напряжения (<50 МПа) на отобранной детали.

4.4 Количество образцов

Партия ≤ 100 кг: пробуют 2-3 порции.

Партия 100-500 кг: выборка 4-6 порций.

Партия 500-1000 кг: выборка 6-8 порций.

Партия > 1000 кг: выборка из 8–12 деталей в зависимости от сложности и геометрии изделия. Для деталей специальной формы или сложных конструкций (например, инструментов и сверл) необходимо отобрать по крайней мере одну деталь для каждой области геометрического элемента.

4.5 Среда отбора проб

Температура среды отбора проб: $15-25$ °C, влажность $<60\%$, избегать попадания воды или масла.

Зона отбора проб должна представлять собой среду, свободную от пыли, с концентрацией частиц пыли в воздухе $<10^3$ частиц/м³.

5 Методы отбора проб

5.1 Инструменты и оборудование для отбора проб

Режущий инструмент: алмазные пильные диски (диаметр 100-150 мм, толщина 0,5-1 мм) или твердосплавный инструмент (твердость $HV>1800$).

Сверлильный инструмент: твердосплавное сверло (диаметр 2-5 мм, твердость $HV 1800$), скорость сверления 50-100 об/мин.

Оборудование для очистки: Ультразвуковая очистная машина (мощность 100-150 Вт, частота 40 кГц).

Меры предосторожности: Используйте охлаждающую жидкость (5% водорастворимую смазочно-охлаждающую жидкость) во время отбора проб, чтобы избежать высоких температур ($>200^\circ\text{C}$), которые могут вызвать рост зерен (> 2 мкм).

5.2 Процедуры отбора проб

Подготовка поверхности:

Для удаления поверхностного оксидного слоя (толщиной $<0,1$ мм) используйте наждачную бумагу (зернистость 800–1200#) или алмазный шлифовальный круг (зернистость 1000#).

Для удаления поверхностного масла и частиц (размер частиц $> 0,01$ мм) использовалась ультразвуковая очистка (частота 40 кГц, время 10 мин, деионизированная вода).

Отметьте место отбора проб:

Отметьте точки отбора проб в соответствии с геометрией изделия и зоной напряжения и запишите положение отбора проб (при этом центр изделия будет началом координат, а отклонение координат составит $<0,5$ мм).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Точки отбора проб должны избегать дефектных участков (длина трещин $> 0,05$ мм, пористость $> 1\%$).

Часть для резки образцов:

Используйте алмазную пилу для разрезания вдоль продольного или поперечного направления изделия. Размеры образца составляют $10\text{ мм} \times 10\text{ мм} \times 5\text{ мм}$ (металлографический анализ) или $20\text{ мм} \times 10\text{ мм} \times 5\text{ мм}$ (механическое испытание).

Скорость резания: 2000-3000 об/мин, скорость подачи: 0,5-1 мм/мин.

Гладкость разреза: отклонение $< 0,02$ мм, явных ожогов и разрывов нет (глубина ожога $< 0,05$ мм).

Отбор проб из скважин (химический анализ):

Для сверления образца на пробоотборной части используйте твердосплавное сверло с длиной стружки сверла 5–10 мм и массой > 5 г.

Глубина сверления: 5-10 мм, отклонение диаметра отверстия $< 0,1$ мм.

Запись и упаковка:

Запишите место отбора проб, дату, условия окружающей среды (температура $15\text{--}25\text{ }^{\circ}\text{C}$, влажность $< 60\%$) и оператора.

Положите отобранную деталь в герметичный пакет (влаго- и пыленепроницаемый) и отметьте номер.

5.3 Требования безопасности

Операторам необходимо носить защитные очки, пылезащитные маски и перчатки.

Используйте охлаждающую жидкость во время резки и сверления, чтобы избежать высоких температур ($> 200^{\circ}\text{C}$), которые могут вызвать микроструктурные изменения.

Избегать вдыхания пыли и оборудовать рабочую зону вентиляционным оборудованием (скорость ветра $> 0,5$ м/с).

5.4 Контроль качества отбора проб

Отобранная деталь не имела явных дефектов (длина трещины $< 0,05$ мм, пористость $< 1\%$).

Шероховатость поверхности образца: $R_a < 0,5$ мкм.

Отклонение веса отобранной пробы: $< 0,2$ г (проба для химического анализа).

6. Подготовка образца

6.1 Тип и назначение образца

Образец для металлографического анализа: используется для изучения микроструктуры (размер зерна, пористость, распределение Co), размер $10\text{ мм} \times 10\text{ мм} \times 5\text{ мм}$.

Образцы механических свойств: используются для испытаний на твердость, вязкость и прочность на изгиб, размером $20\text{ мм} \times 10\text{ мм} \times 5\text{ мм}$ (твердость, вязкость) или $40\text{ мм} \times 5\text{ мм} \times 5\text{ мм}$ (прочность на изгиб).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Образец химического анализа: используется для компонентного анализа, масса > 5 г, размер частиц < 0,5 мм.

6.2 Процесс подготовки образца

6.2.1 Черновая обработка

Для шлифования и удаления поверхностного слоя обработки (толщина 0,2–0,5 мм) используйте алмазный шлифовальный круг (зернистость 150–200#).

Скорость шлифования: 500–1000 об/мин, давление: 20–30 Н.

Шероховатость поверхности: $R_a < 1$ мкм.

6.2.2 Отделка

Для полировки используйте алмазный полировальный диск (зернистость 800–1200#), время полировки составляет 5–10 минут.

Полировальная жидкость: алмазная суспензия (размер частиц 1–3 мкм), концентрация 5%.

Шероховатость поверхности: $R_a < 0,1$ мкм, отклонение плоскостности < 0,01 мм.

6.2.3 Термическая обработка (по желанию)

Если образец планируется использовать для металлографического анализа, необходимо снять внутренние напряжения: нагреть до 600°C в вакуумной печи (степень вакуума $< 10^{-2}$ Па), выдержать при этой температуре в течение 1 часа и охладить со скоростью 3–5°C/мин.

Внутреннее напряжение: < 50 МПа (измерено методом рентгеновской дифракции, отклонение ширины пика < 0,2°).

6.2.4 Коррозия (металлографические образцы)

с реагентом Мураками (10 г $K_2[Fe(CN)_6]$ + 10 г КОН + 100 мл H_2O) в течение 5–10 секунд выявили фазу WC и фазу Co.

Температура коррозии: 20–25°C, глубина коррозии: 0,5–1 мкм.

Промойте деионизированной водой (pH 6–8) и высушите (50°C, 10 мин).

6.2.5 Дробление образца химического анализа

Образец измельчался до размера частиц < 0,5 мм с использованием твердосплавной ступки (твёрдость HV 1800) или вибрационной мельницы (частота 30 Гц, время 10 мин).

Избегать загрязнения: очистка раствора (ультразвук, 40 кГц, 10 мин), просеивание порошка (сито 200 меш, размер пор < 0,074 мм).

6.3 Контроль качества

Металлографический образец:

Пористость: $\leq 1\%$, измеренная с помощью металлографического микроскопа (увеличение 500×).

Размер зерна: Отклонение < 0,02 мкм, рассчитано методом поперечного сечения (> 100 зерен).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

на поле зрения) .

Плоскостность поверхности: Отклонение $<0,01$ мм, определяется с помощью профилометра поверхности.

Равномерность распределения Co: отклонение $<0,5\%$, обнаружено методом энергодисперсионной спектроскопии (EDS).

Механические образцы:

Отклонение размеров: $<0,05$ мм, измерено штангенциркулем.

поверхности : $Ra < 0,1$ мкм .

Микротрещины отсутствуют: длина $<0,05$ мм, обнаружены под микроскопом (увеличение $200\times$).

Образцы химического анализа:

Размер частиц: $<0,5$ мм, измеренный с помощью лазерного анализатора размера частиц (отклонение $< 0,02$ мкм) .

Отсутствие загрязнений: содержание Fe, Al и других примесей $<0,01\%$, обнаружено спектральным анализом.

7 Тестирование и проверка

7.1 Проверка микроструктуры

Методы: Изучите структуру образца с помощью оптического микроскопа (увеличение $100-1000\times$) или сканирующего электронного микроскопа (СЭМ, разрешение <1 нм).

Содержание теста:

Размер зерна: диапазон $0,2-2$ мкм , отклонение $<0,02$ мкм (согласно GB/T 18376-2008).

Пористость: $\leq 1\%$, поры типа A $<0,02$ мм (согласно GB/T 2597-2008).

Свободный углерод: дефекты типа C $<0,5\%$ (согласно ISO 4505:1978).

Распределение Co: Отклонение $<0,5\%$, обнаружено методом энергодисперсионной спектроскопии (EDS).

7.2 Испытание механических свойств

Твердость: в соответствии с GB/T 7997-2008 используйте твердомер по Виккерсу (нагрузка $10-30$ кг, время вдавливания $10-15$ секунд), отклонение значения испытания составляет $<2\%$.

Вязкость разрушения (K_{Ic}) : В соответствии с GB/ T 5248-2008, с использованием метода одностороннего надреза (SENB), размер образца 40 мм $\times$ 5 мм $\times$ 5 мм, отклонение $<0,3$ МПа $\cdot$ м $^{1/2}$.

Прочность на изгиб: Согласно GB/T 5248-2008, методом трехточечного изгиба, размер образца 40 мм $\times$ 5 мм $\times$ 5 мм, скорость нагружения $0,5$ мм/мин, отклонение $<5\%$.

7.3 Анализ химического состава

Метод: В соответствии с GB/T 5248-2008 используйте оптическую эмиссионную спектроскопию с индуктивно связанной плазмой (ICP-OES) или химическое титрование.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Содержание теста:

Содержание WC: отклонение <0,1%.

Содержание Co: отклонение <0,05%.

Добавки (такие как VC, TaC) : отклонение <0,02%.

Примеси (Fe, Al и т.д.): содержание <0,01%.

7.4 Записи проверки

Запишите номер образца, дату испытания, модель испытательного оборудования и оператора. Результаты испытаний сравниваются со стандартными значениями, а образцы с отклонениями за пределами диапазона необходимо повторно отобрать и подготовить.

8 Хранение образцов

8.1 Условия хранения

Образцы помещали в герметичные пластиковые пакеты или вакуумные контейнеры и хранили в защищенном от света месте.

Температура окружающей среды: 15–25 °C, влажность <50%, избегать окисления (содержание O₂ <0,5 ppm).

Избегайте контакта с кислотными или щелочными веществами (pH 6-8).

8.2 Срок годности

Тестовые образцы: хранятся в течение 6 месяцев.

Арбитражные образцы: хранятся в течение 12 месяцев.

Образцы для долгосрочных исследований: хранятся в течение 24 месяцев, состояние поверхности необходимо проверять регулярно (каждые 6 месяцев).

8.3 Ведение учета

Запишите номер образца, дату консервации, условия хранения и ответственное лицо.

Если условия хранения нестандартные (например, влажность > 60%), образец необходимо подготовить повторно.

9 Приложение А (Информационное приложение)

A.1 Рекомендуемые параметры для оборудования для отбора проб

Алмазный пильный диск: диаметр 150 мм, толщина 1 мм, скорость вращения 3000 об/мин, расход охлаждающей жидкости 5 л/мин.

Твердосплавное сверло: диаметр 3 мм, твердость HV 1800, скорость сверления 80 об/мин.

Ультразвуковой очиститель: мощность 120 Вт, частота 40 кГц, время очистки 10 минут.

A.2 Распространенные проблемы и решения при подготовке образцов

Проблема 1: Аномальный рост зерна (>2 мкм) .

Решение: Уменьшить температуру термообработки (<600°C) или сократить время выдержки

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(<1 小时); 增大抑制剂颗粒 (例如, VC 0,2%-0,5%) .

问题 2: 孔隙率超过标准 (>1%).

解决方案: 增大成型压力 (>200 MPa); 优化真空烧结 (<10⁻² Pa); 增大烧结时间 (2-3 小时).

问题 3: 偏析 Co (颗粒尺寸 Co > 5 μm) . 解决方案

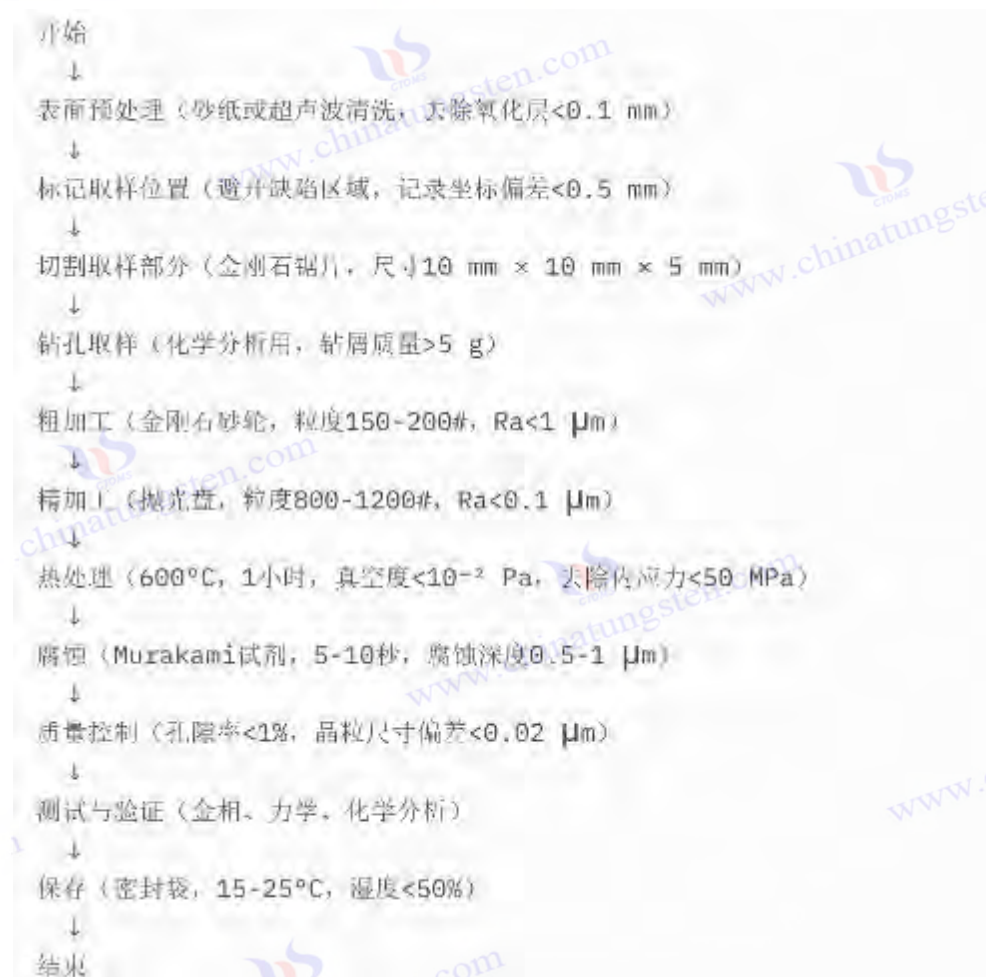
: 控制温度梯度烧结 (偏差 < ±5°C/cm); 减小冷却速度 (3-5°C/min).

表面不符合标准 (Ra>0,1 μm) . 解决方案: 增大时间

抛光 (10-15 分钟); 使用更细颗粒抛光液 (颗粒尺寸 <1 μm) .

10 附录 B (规范性附录)

B.1 取样和制备方案



B.2 取样点分布示例

圆柱形工件: 3-5 个取样点均匀分布在轴向方向, 覆盖顶部、中心和底部。

工具类工件: 取样点位于切削刃 (高硬度区域)、夹持部分 (高强度区域) 和几何中心。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Детали специальной формы: Точки отбора проб охватывают основные области нагрузки (коэффициент концентрации напряжений $K_t > 1,5$) и области геометрических особенностей.

11 Приложение С (Информационное приложение)

С.1 Рекомендации по контролю среды подготовки проб

Контроль температуры: 15-25°C, отклонение $< \pm 2^\circ\text{C}$, с использованием оборудования для поддержания постоянной температуры.

Контроль влажности: $< 50\%$, используйте осушитель воздуха (отклонение влажности $< 5\%$).

Чистота: концентрация пыли в воздухе $< 10^3$ частиц/ м^3 , используйте очиститель воздуха.

С.2 Рекомендации по обслуживанию оборудования для подготовки проб

Алмазный пыльный диск: проверяйте на износ после каждых 100 резов (уменьшение толщины $< 0,1$ мм) и при необходимости заменяйте.

Полировальная губка: очищайте после каждых 50 использований (деионизированная вода, 40 кГц, 5 минут), чтобы избежать накопления частиц.

Вакуумная печь: ежемесячно проверяйте степень вакуума ($< 10^{-2}$ Па) и обеспечивайте герметичность (скорость утечки $< 10^{-3}$ Па·л/с).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

GB/T 1997-2008 Твердый сплав термин

Предисловие

Этот стандарт сформулирован в соответствии с положениями Закона о стандартизации Китайской Народной Республики. Этот стандарт является пересмотром оригинальной терминологии GB/T 1997-1998 по твердосплавным сплавам. Эта редакция ссылается на международный стандарт ISO 3252:2019 «Порошковая металлургия — Словарь», в сочетании с потребностями развития отрасли твердосплавных сплавов, добавлены новые термины, такие как твердый сплав с градиентной структурой и твердый сплав с ультрамелким зерном, улучшены определения, связанные с микроструктурой и эксплуатационными характеристиками, и сохранены в соответствии с международной системой терминологии.

Этот стандарт предложен и управляется Китайской федерацией машиностроительной промышленности. Китайская ассоциация производителей твердосплавных изделий отвечает за интерпретацию этого стандарта. В число разработчиков этого стандарта входят: Институт исследований металлов, Китайская академия наук, Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd., Пекинский университет науки и технологий и Чэндуский научно-исследовательский институт инструментов.

Основными разработчиками настоящего стандарта являются:

Настоящий стандарт вступает в силу с 1 декабря 2008 года, и в это же время первоначальный стандарт GB/T 1997-1998 отменяется.

1 Область применения

В этом стандарте указаны общепринятые термины и определения в области твердого сплава (в основном карбида вольфрама и его композитных материалов), охватывающие состав, микроструктуру, процесс подготовки, эксплуатационные характеристики, методы испытаний и применение твердого сплава. Этот стандарт применим к производству, проверке, исследованию, обучению и техническому обмену карбида вольфрама.

Настоящий стандарт не распространяется на терминологию композиционных материалов, не содержащих WC-Co (например, керметы), или покрытий из цементированного карбида (например, TiN, KpH).

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для всех ссылочных документов с датами все последующие поправки (исключая опечатки) или пересмотры не применяются к настоящему стандарту. Однако стороны, которые достигли соглашения на основе настоящего стандарта,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

призываются изучить, могут ли быть использованы последние версии этих документов. Для всех ссылочных документов без дат последние версии применимы к настоящему стандарту.

GB/T 2007.1-1987 Общие правила отбора и подготовки проб сыпучих полезных ископаемых

GB/T 2597-2008 Метод испытания пористости твердого сплава

GB/T 3489-2008 Метод определения микроструктуры твердого сплава

GB/T 5248-2008 Методы химического анализа твердого сплава

GB/T 5313-2008 Метод металлографического испытания структуры твердого сплава

ISO 3252:2019 Порошковая металлургия — Словарь

3 Термины и определения

Следующие термины и определения расположены в соответствии с логической классификацией области твердых сплавов, которые делятся на основные термины, состав и структуру, процесс изготовления, эксплуатационные характеристики и испытания, области применения и другие категории.

3.1 Основная терминология

3.1.1 Твердый сплав — композиционный материал, изготовленный

из карбидов тугоплавких металлов (таких как WC, TiC, TaC) в качестве твердой фазы и металлы (такие как Co, Ni, Fe) в качестве связующей фазы посредством порошковой металлургии. Он обладает высокой твердостью, высокой износостойкостью и определенной прочностью.

3.1.2 Порошковая металлургия

— это метод производства металлических или композиционных материалов посредством таких процессов, как подготовка порошка, смешивание, формование, спекание и последующая обработка.

3.1.3 Твердый сплав WC-Co — это твердый

сплав с карбидом вольфрама (WC) в качестве основной твердой фазы и кобальтом (Co) в качестве связующей фазы. Он обычно используется в режущих инструментах, горнодобывающих инструментах и износостойких деталях.

3.2 Состав и структура

3.2.1 Твердая фаза

Компонентом, который обеспечивает высокую твердость и износостойкость в твердом сплаве, обычно является карбид (например, WC, TiC, TaC), а объемная доля обычно составляет >70%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.2.2 Связующая фаза:

металлический компонент, который обеспечивает прочность и связывает твердую фазу в твердом сплаве, обычно Co, Ni или Fe, с объемной долей 5%-30%.

3.2.3 Размер зерна

Средний размер зерна твердой фазы (обычно WC) в твердом сплаве, в мкм, обычно измеряемый методом поперечного сечения или методом линейного пересечения. Типичный диапазон составляет 0,2-5 мкм.

3.2.4 Сверхмелкозернистый твердый сплав: Твердый сплав

с размером зерна менее 0,5 мкм, имеет более высокую твердость ($HV > 1800$) и прочность (прочность на изгиб > 4000 МПа).

3.2.5 Твердый сплав с градиентной структурой:

материал, в котором состав (например, содержание Co) или микроструктура (например, размер зерна) твердого сплава представляет собой градиентное изменение вдоль определенного направления (например, от поверхности внутрь), что используется для оптимизации комплексных показателей твердости и вязкости.

3.2.6 Пористость

Объемная доля пор в твердом сплаве, выраженная в процентах (%), обычно измеряемая металлографической микроскопией или методом плотности. Она подразделяется на тип А (диаметр пор < 10 мкм), тип В (10-25 мкм) и тип С (свободный углерод).

3.2.7 Свободный углерод:

Углерод в твердом сплаве, который не образует карбидов с металлами и существует в виде фазы С. Обычно его можно наблюдать под металлографическим микроскопом, его содержание составляет $< 0,5\%$.

3.2.8 Сегрегация Co

Неравномерное распределение фазы Co в микроструктуре твердого сплава может привести к образованию скоплений Co (размером > 5 мкм), влияющих на производительность.

3.2.9 Добавка:

небольшое количество вещества (например, ВК, Cr_3C_2 , TaC) добавляется к цементированному карбиду для подавления роста зерна или улучшения характеристик. Содержание обычно $< 1\%$.

3.3 Процесс подготовки

3.3.1 Смешанный порошок

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

При производстве твердого сплава порошок готовят путем смешивания порошка твердой фазы (например, WC), порошка связующей фазы (например, Co) и добавок в определенной пропорции.

3.3.2 Шаровая мельница

Процесс смешивания, измельчения и активации порошка твердосплавного сырья путем шаровой мельницы, обычно с использованием шаров из твердого сплава (соотношение шаров и порошка 5:1–10:1) и скоростью вращения 200–500 об/мин.

3.3.3 Прессование — это

процесс прессования смешанного порошка в сырое тело через форму, обычно методом холодного изостатического прессования (ХИП, давление 200-300 МПа) или одноосного прессования (давление 50-100 МПа).

3.3.4 Спекание —

процесс нагрева твердосплавной заготовки при высокой температуре (обычно 1350–1500°C) с целью ее уплотнения. Его подразделяют на твердофазное спекание и жидкофазное спекание.

3.3.5 Жидкофазное спекание:

процесс спекания, осуществляемый при температуре выше точки плавления связующей фазы (например, Co) (около 1320°C). После расплавления Co смачивает частицы WC и способствует уплотнению.

3.3.6 Термическая обработка

Последующая термическая обработка твердого сплава, такая как отжиг (550–650 °C) или закалка, используется для корректировки микроструктуры или снятия внутренних напряжений (<50 МПа).

3.3.7 Модификация поверхности:

процесс улучшения поверхностных свойств твердого сплава путем цементации, ионной имплантации или нанесения покрытия (например, TiN , KpH) .

3.4 Производительность и тестирование

3.4.1 Твердость

Способность твердого сплава противостоять пластической деформации обычно выражается в твердости по Виккерсу (HV), типичное значение которой составляет 1200–2000 HV.

3.4.2 Вязкость разрушения Способность

твердого сплава противостоять распространению трещин выражается параметром K_{Ic} , единицей измерения которого является $\text{МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$, а типичное значение составляет 8–16 $\text{МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.4.3 Поперечная прочность на разрыв (TRS)

Максимальное сопротивление твердого сплава при испытании на трехточечный изгиб, выраженное в МПа, с типичным значением 2000–4000 МПа.

3.4.4 Износостойкость Способность твердого сплава противостоять износу, обычно

измеряемая скоростью износа ($\text{мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}$), с типичным значением $<0,1 \text{ мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}$.

3.4.5 Стойкость к термическому удару

Способность твердого сплава противостоять растрескиванию после быстрого охлаждения (например, водяного охлаждения) при высокой температуре ($>800^\circ\text{C}$), обычно оцениваемая по количеству термических ударов ($>10^3$ раз).

3.4.6 Металлографический анализ:

Рассмотрите микроструктуру твердого сплава под микроскопом, чтобы проанализировать размер зерна, пористость, распределение фаз и т. д.

3.4.7 Соотношение Холла-Петча

描述硬质合金强度或硬度与晶粒尺寸关系的理论: $\sigma_y = \sigma_0 + kd^{-1/2}$, 其中 σ_y 为屈服强度, σ_0 为单晶强度, k 为常数, d 为晶粒尺寸。

3.5 Связанные с приложением

3.5.1 Режущий инструмент:

инструмент из твердого сплава, используемый для резки металла, такой как токарные резцы, фрезы и сверла, с твердостью, как правило, $>1500 \text{ HV}$.

3.5.2 Горнодобывающие инструменты:

Инструменты из твердого сплава для горнодобывающей промышленности или бурения, такие как буровые коронки и угольные кирки. Вязкость разрушения обычно $>12 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$.

3.5.3 Износостойкие детали

Детали из твердого сплава для износостойких применений, такие как формы, сопла и уплотнения, с износостойкостью $<0,1 \text{ мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}$.

3.5.4 Аэрокосмический инструмент

Твердосплавные режущие инструменты, используемые в аэрокосмической отрасли, должны обладать высокой твердостью ($\text{HV}>1700$) и стойкостью к термическим ударам ($>800^\circ\text{C}$).

3.5.5 Буровые долота для глубоководного бурения

Твердосплавные буровые долота, используемые в глубоководных условиях (давление $> 80 \text{ МПа}$, удар $> 500 \text{ Гц}$), требуют высокой прочности ($K_{1c} > 14 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. Указатель терминов

Для удобства поиска основные термины расположены ниже в алфавитном порядке:

Совместная сегрегация: 3.2.8

Соотношение Холла-Петча: 3.4.7

Твёрдость: 3.4.1

Твердый сплав: 3.1.1

Размер зерна: 3.2.3

Поперечная прочность на разрыв (TRS): 3.4.3

Пористость: 3.2.6

Градиентная структура твердого сплава: 3.2.5

Износостойкость: 3.4.4

Спекание: 3.3.4

Добавка: 3.2.9

Жидкофазное спекание: 3.3.5

Свободный углерод: 3.2.7

5 Приложение А (Информационное приложение)

A.1 Примечания по использованию терминологии

Размер зерна

При измерении размера зерна необходимо четко определить метод измерения (например, метод поперечного сечения или метод линейного пересечения), а также зафиксировать количество зерен в поле зрения (>100) для обеспечения статистической точности.

Пористость

Классификация пор типа А, типа В и типа С должна соответствовать стандарту GB/T 2597-2008, при этом следует обращать внимание на различие между свободным углеродом и порами.

Твердый сплав с градиентной структурой

При описании градиентной структуры следует четко указывать направление градиента (например, от поверхности к внутренней части) и изменения параметров (например, содержание Со от 4% до 12%).

A.2 Распространенные заблуждения и разъяснения

Чем выше твердость, тем лучше эксплуатационные характеристики твердого сплава.

Пояснение: Высокая твердость (например, $HV > 1800$) может привести к снижению прочности ($K_{IC} < 8 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$), а твердость и прочность должны быть сбалансированы в соответствии со сценарием применения (например, резка или добыча).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Заблуждение 2: Чем выше содержание Со, тем выше прочность.

Пояснение: Слишком высокое содержание Со (>15%) приведет к снижению твердости (HV<1200) и плохой износостойкости, что необходимо рассматривать комплексно.

6 Приложение В (Информационное приложение)

В.1 Таблица соответствия терминологии (китайский и английский)

Китайская терминология	Английские термины	Номер статьи
Твердый сплав	Твердый сплав	3.1.1
Размер зерна	Размер зерна	3.2.3
Пористость	Пористость	3.2.6
Твердый сплав с градиентной структурой	Твердый сплав с градиентной структурой	3.2.5
Жидкофазное спекание	Жидкофазное спекание	3.3.5
твердость	Твёрдость	3.4.1
Вязкость разрушения	Вязкость разрушения	3.4.2
Износостойкость	Износостойкость	3.4.4

Выше приведено содержание терминологии GB/T 1997-2008 Cemented Carbide, которая составлена на основе отраслевых практик и соответствующих стандартов в области твердосплавных материалов. Этот документ охватывает основную терминологию в области твердосплавных материалов, которая разделена на пять категорий: базовая терминология, состав и структура, процесс подготовки, эксплуатационные характеристики и испытания, а также связанные с применением.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

приложение:

ИСО 3252:2019
Порошковая металлургия
Словарный запас
(Порошковая металлургия - Словарь)

Предисловие

Настоящий международный стандарт ISO 3252:2019 был подготовлен Техническим комитетом ISO/TC 119, Порошковая металлургия, Подкомитетом SC 1, Терминология и классификация. Это четвертое издание отменяет и заменяет третье издание (ISO 3252:1999), которое было технически пересмотрено с учетом достижений в технологии порошковой металлургии, включая внедрение новых процессов (например, аддитивное производство в порошковой металлургии) и обновленных определений существующих терминов. Пересмотр также соответствует новейшим отраслевым практикам и включает отзывы заинтересованных сторон по всему миру.

Настоящий международный стандарт ISO 3252:2019 был подготовлен Техническим комитетом ISO/TC 119 (Порошковая металлургия), Подкомитетом SC 1 (Терминология и классификация). Это четвертое издание отменяет и заменяет третье издание (ISO 3252:1999) и было технически пересмотрено с учетом развития технологии порошковой металлургии, включая внедрение новых процессов (таких как аддитивное производство в порошковой металлургии) и обновленных определений существующих терминов. Пересмотр также соответствует новейшим отраслевым практикам и включает отзывы заинтересованных сторон по всему миру.

ISO 3252:2019 содержит полный словарь терминов для порошковой металлургии, применимый к производству металлических порошков и изделий из них, с неметаллическими добавками или без них, посредством процессов формования и спекания. Этот стандарт предназначен для использования производителями, исследователями, инженерами и преподавателями в области порошковой металлургии.

ISO 3252:2019 содержит полный словарь терминов для порошковой металлургии, применимый к производству металлических порошков с помощью процессов прессования и спекания, а также изделий из этих порошков (с неметаллическими добавками или без них). Этот стандарт предназначен для использования производителями, исследователями, инженерами и преподавателями в области порошковой металлургии.

Оглавление

- 1 Область применения**
- 2 нормативные ссылки (2 нормативные ссылки)**
- 3 Термины и определения**
- 4 Алфавитный указатель**

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 А (информационное)

Приложение В (Информационное)

1 Область применения

В настоящем международном стандарте определяются термины, относящиеся к порошковой металлургии. Порошковая металлургия — это отрасль металлургии, которая охватывает производство металлических порошков, а также изготовление изделий из этих порошков — как отдельно, так и с добавлением неметаллических порошков — посредством таких процессов, как формование, спекание и, где применимо, методы последующей обработки (например, термическая обработка, механическая обработка).

Настоящий стандарт охватывает термины, связанные с:

Производство и характеристика порошка.

Процессы уплотнения и формования.

Спекание и уплотнение.

Свойства и испытания изделий порошковой металлургии.

Приложения и связанные с ними технологии.

Этот стандарт охватывает термины, связанные с:

Производство и характеристика порошка.

Процессы уплотнения и формования.

Спекание и уплотнение.

Свойства и испытания изделий порошковой металлургии.

Области применения и связанные с ними технологии (например, керамика) или технологии нанесения покрытий, если они напрямую не связаны с процессами порошковой металлургии.

2 нормативные ссылки (2 нормативные ссылки)

Следующие документы упоминаются в тексте таким образом, что часть или все их содержание составляют требования этого документа. Для датированных ссылок применяется только указанное издание. Для недатированных ссылок применяется последнее издание ссылочного документа (включая любые поправки).

ISO 3923-1:2018, Металлические порошки. Определение кажущейся плотности. Часть 1. Метод воронки

ISO 3927:2017, Металлические порошки. Определение сжимаемости при одноосном сжатии

ISO 4490:2018, Металлические порошки. Определение распределения размеров частиц

ISO 5755:2012, Спеченные металлические материалы. Технические характеристики

ISO 3923-1:2018, «Металлические порошки. Определение кажущейся плотности. Часть 1. Метод воронки»

ISO 3927:2017, Металлические порошки. Определение сжимаемости при одноосном сжатии

ISO 4490:2018, Металлические порошки. Определение распределения размеров частиц

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

ISO 5755:2012, Спеченные металлические материалы. Технические характеристики

3 Термины и определения

Термины и определения сгруппированы в логические категории для облегчения понимания и применения в области порошковой металлургии.

3.1 Общие положения

3.1.1 Порошковая металлургия (ПМ)

Порошковая металлургия (ПМ) — отрасль металлургии, занимающаяся получением металлических порошков и изготовлением изделий из них с неметаллическими добавками или без них с помощью таких процессов, как формовка и спекание.

3.1.2 Металлический порошок Совокупность дискретных металлических частиц, обычно размером от 1 мкм до 500 мкм, полученных распылением, восстановлением или другими методами, используемых в качестве сырья в порошковой металлургии.

3.1.3 Спекание

Процесс

термической обработки, проводимый при температуре ниже точки плавления основного компонента, используемый для связывания частиц порошка в сплошную твердую массу, часто включающий диффузию и уплотнение.

3.2 Производство и характеристика порошка

3.2.1 Распыление

Процесс производства металлических порошков путем дробления струи расплавленного металла на мелкие капли с помощью газа или жидкости под высоким давлением, которые затвердевают в частицы.

3.2.2 Кажущаяся плотность

Масса порошка, деленная на объем, который он занимает в рыхлом, неуплотненном состоянии, обычно измеряется в г/см³ и отражает эффективность упаковки порошка.

3.2.3 Распределение размеров частиц

Диапазон

и частота размеров частиц в образце порошка, обычно выражаемые в виде процента частиц в определенных интервалах размеров (например, D10, D50, D90).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.2.4 Скорость потока Время, необходимое для прохождения определенной массы порошка

через стандартную воронку, измеряемое в секундах на 50 г, указывающее на сыпучесть порошка.

3.3 Уплотнение и формование

3.3.1 Уплотнение

Процесс

приложения давления к порошковой массе для образования однородной сырой прессовки, обычно с использованием одноосного прессования или холодного изостатического прессования (ХИП).

3.3.2 Зеленый прессованный материал

Формованное, но не спеченное тело, полученное путем прессования металлического порошка.

обладающий достаточной прочностью для обработки, но требующий спекания для получения конечных свойств.

3.3.3 Холодное изостатическое прессование (ХИП)

Метод уплотнения

с использованием текучей среды для приложения равномерного давления со всех направлений к заполненной порошком гибкой форме, обычно при давлении 100–300 МПа.

3.4 Спекание и уплотнение

3.4.1 Жидкофазное спекание

Процесс спекания, при котором образуется жидкая фаза (например, из связующего вещества (например, кобальта) при температуре спекания, что улучшает уплотнение и сцепление твердых частиц.

3.4.2 Уплотнение

Уменьшение пористости и увеличение плотности порошковой заготовки во время спекания, обычно измеряемое в процентах от теоретической плотности (например, 90–99%).

3.4.3 Плотность после спекания

Плотность

материала после спекания, выраженная в процентах от теоретической плотности полностью плотного материала, обычно 85–99%.

3.5 Свойства и испытания

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.5.1

Твердость Сопротивление спеченного материала пластической деформации, обычно измеряемое с использованием шкал твердости Виккерса (HV) или Роквелла (HR).

3.5.2 Поперечная прочность на разрыв (TRS)

Максимальное напряжение, которое может выдержать спеченный образец при испытании на трехточечный изгиб, выраженное в МПа, указывающее на механическую прочность материала.

3.5.3 Пористость

Объемная доля пустот в спеченном теле, выраженная в процентах, которая влияет на механические свойства и классифицируется по типам (например, А, В, С для твердых сплавов).

3.6 Приложения и сопутствующие технологии

3.6.1 Твердый сплав

Продукт порошковой металлургии, обычно состоящий из карбида вольфрама (WC) и металлического связующего (например, кобальта), используемый для режущих инструментов и износостойких деталей.

3.6.2 Литье металлов под давлением (ММ) Процесс порошковой металлургии

, при котором металлические порошки объединяются со связующим веществом для формирования исходного сырья, которое формуется под давлением и затем спекается для получения сложных форм.

3.6.3 Аддитивное производство (АП) в ПМ

Процесс аддитивного производства на основе порошков, такой как селективное лазерное спекание (СЛС) или струйная обработка связующим, при котором металлические порошки наносятся слоями и сплавляются для создания трехмерных объектов.

4 Алфавитный указатель

Аддитивное производство (АП) в ПМ: 3.6.3

Кажущаяся плотность: 3.2.2

Распыление: 3.2.1

Холодное изостатическое прессование (ХИП): 3.3.3

Уплотнение: 3.3.1

Уплотнение: 3.4.2

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

Скорость потока: 3.2.4
Зеленый компакт: 3.3.2
Твердый сплав : 3.6.1
Твёрдость: 3.5.1
Жидкофазное спекание: 3.4.1
Литье металлов под давлением (MIM): 3.6.2
Распределение размеров частиц: 3.2.3
Пористость: 3.5.3
Порошковая металлургия (ПМ): 3.1.1
Металлический порошок: 3.1.2
Плотность после спекания: 3.4.3
Спекание: 3.1.3
Поперечная прочность на разрыв (TRS): 3,5,2
Аддитивное производство (АП) в порошковой металлургии: 3.6.3
Кажущаяся плотность: 3.2.2
Распыление: 3.2.1
Холодное изостатическое прессование (ХИП): 3.3.3
Уплотнение: 3.3.1
Уплотнение: 3.4.2
Коэффициент обрачиваемости: 3.2.4
Зеленый: 3.3.2
Твердый сплав: 3.6.1
Твёрдость: 3.5.1
Жидкофазное спекание: 3.4.1
Литье металлов под давлением (MIM): 3.6.2
Распределение размеров частиц: 3.2.3
Пористость: 3.5.3
Порошковая металлургия (ПМ): 3.1.1
Металлический порошок: 3.1.2
Плотность после спекания: 3.4.3
Спекание: 3.1.3
Поперечная прочность на разрыв (TRS): 3,5,2

Приложение А (информационное)

А.1 Примечания по обновлениям терминологии

В редакцию 2019 года вводятся термины, связанные с аддитивным производством (например, 3.6.3), чтобы отразить растущую интеграцию технологий АМ в порошковую металлургию.

В редакцию 2019 года была введена терминология, связанная с аддитивным производством (например, 3.6.3), чтобы отразить растущую интеграцию технологий аддитивного производства в порошковую металлургию.

Определения спекания (3.1.3) и жидкофазного спекания (3.4.1) были уточнены с целью

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

включения современных вариаций процесса, таких как микроволновое спекание.

Определения спекания (3.1.3) и жидкофазного спекания (3.4.1) были уточнены с целью включения современных вариантов процесса, таких как микроволновое спекание.

Термин « твердый сплав » (3.6.1) теперь явно включает в себя композитные твердые сплавы с несколькими карбидными фазами (например , WC -TiC- TaC) .

Термин «твердый сплав» (3.6.1) теперь явно включает в себя композитные твердые сплавы, содержащие более одной карбидной фазы (например, WC- TiC- TaC) .

A.2 Руководство по подаче заявления

Распределение размеров частиц (3.2.3): следует измерять с использованием стандартизированных методов (например , ISO 4490) для обеспечения единообразия в разных лабораториях.

Распределение размеров частиц (3.2.3): следует измерять с использованием стандартизированного метода (например, ISO 4490) для обеспечения согласованности между лабораториями.

Пористость (3.5.3): Классификация по типам A, B и C специфична для твердых сплавов и должна быть сопоставлена с ISO 4505 для детального анализа.

Пористость (3.5.3): Классификации типов A, B и C характерны для твердых сплавов и должны быть подробно проанализированы со ссылкой на ISO 4505.

Приложение B (Информационное)

B.1 Перекрестная ссылка на предыдущее издание

Термины ISO 3252:1999 сохранены с небольшими изменениями: «Спекание» (3.1.3), «Твердость» (3.5.1).

Термины ISO 3252:1999 сохранены и немного обновлены: «спекание» (3.1.3), «твердость» (3.5.1).

Добавлены новые термины: «Аддитивное производство в ПМ» (3.6.3), «Литье металлов под давлением (MIM)» (3.6.2).

Добавлены новые термины: «Аддитивное производство в порошковой металлургии» (3.6.3), «Литье металлов под давлением (MIM)» (3.6.2).

Удалённые термины: Устаревшие термины, относящиеся к ручным методам производства порошка (например , «молотковая мельница»), ввиду их неактуальности в настоящее время.

Удалённые термины: Устаревшие термины, относящиеся к ручным методам производства порошка (например, «молотковая мельница»), были удалены из-за отсутствия актуальности в настоящее время.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

ГБ/Т 2597-2008
Твердый сплав
Метод испытания пористости

Предисловие

Этот стандарт определяет метод испытания пористости твердого сплава, стремясь предоставить единую техническую спецификацию для испытания пористости твердого сплава (в основном WC-Co твердого сплава). Этот стандарт применим к определению пористости при производстве твердого сплава, контроле качества, исследовании и применении.

Этот стандарт ссылается на международные стандарты ISO 4505:1978 «Металлографическое исследование твердого сплава» и ASTM B276 «Метод испытания на кажущуюся пористость твердого сплава» и пересматривается в соответствии с реальными потребностями отечественной промышленности твердого сплава. Этот стандарт заменяет предыдущие соответствующие стандарты.

Этот стандарт был предложен Китайской федерацией машиностроения и управляется Китайской ассоциацией производителей цементированного карбида. Проектные подразделения этого стандарта включают: Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd., Институт исследований металлов, Китайская академия наук и Чэндуский научно-исследовательский институт инструментов.

Основными разработчиками настоящего стандарта являются:

Настоящий стандарт вступает в силу с 1 декабря 2008 года.

Оглавление

1 Область применения

2 Нормативные ссылки

3 Термины и определения

4 Метода испытаний

5 Отчет об испытаниях

Приложение А (Информационное приложение) Таблица степеней пористости

1 Область применения

Этот стандарт определяет метод испытания пористости твердого сплава. Пористость твердого сплава определяется путем наблюдения под металлографическим микроскопом. Он применим к твердому сплаву с карбидом вольфрама (WC) в качестве основного компонента и содержащему металлическое связующее (например, кобальт).

Этот метод в основном определяет кажущуюся пористость в твердом сплаве, включая поры, свободный углерод и неметаллические включения. Этот стандарт применим к контролю качества, оценке производительности и исследованию изделий из твердого сплава.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Настоящий стандарт не применим к определению пористости покрытий из твердых сплавов или твердых сплавов на основе не WC (например, металлокерамики).

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для любого ссылочного документа с датой применима только ссылочная версия. Для любого ссылочного документа без даты применима последняя версия (включая все поправки) настоящего стандарта.

GB/T 3489-2008 Метод определения микроструктуры твердого сплава

GB/T 3849-2008 Определение пористости твердого сплава

GB/T 5313-2008 Метод металлографического испытания структуры твердого сплава

GB/T 1997-2008 Терминология по твердому сплаву

3 Термины и определения

К настоящему стандарту применяются следующие термины и определения.

3.1 Пористость

Объемная доля пор в твердом сплаве, выраженная в процентах (%), обычно определяется путем наблюдения за полированной поверхностью под металлографическим микроскопом.

3.2 Кажущаяся пористость

Сумма пор, свободного углерода и неметаллических включений, наблюдаемых с помощью металлографического микроскопа на полированной, но нетравленной поверхности твердого сплава.

3.3 Поры

, делятся на тип А (диаметр <10 мкм) и диаметр 10-25 мкм).

3.4 Свободный углерод

Углерод в твердом сплаве, не образующий карбидов с металлом, существует в виде фазы С, которая обычно наблюдается под металлографическим микроскопом и обозначается как тип С.

3.5 Неметаллические включения

Неметаллические вещества в твердом сплаве, такие как оксиды или сульфиды, которые поступают из сырья или в ходе технологических процессов, обычно существуют в форме точек или полос.

3.6 Степень пористости

Пористость подразделяется на различные марки (например, A00, A02, C04 и т. д.) в

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

зависимости от количества и распределения пор, свободного углерода и неметаллических включений.

4 Метода испытаний

4.1 Принцип

Поры, свободный углерод и неметаллические включения на полированной поверхности твердого сплава исследовали под металлографическим микроскопом, а степень пористости оценивали по стандартному атласу на основе их количества и распределения.

4.2 Приборы и оборудование

Металлографический микроскоп: увеличение от 100х до 500х, оснащен окулярами и объективами, с хорошим разрешением ($< 1 \text{ мкм}$).

Полировальное оборудование: используется для полировки поверхности образца, скорость вращения полировального диска составляет 200-300 об/мин, а полирующим агентом является алмазная паста (размер частиц 1-3 мкм).

Оборудование для очистки: Ультразвуковая очистительная машина, использующая в качестве чистящего средства этанол или ацетон.

Стандартная таблица степеней пористости: Таблица, представленная в Приложении А, используется для сравнительной оценки.

4.3 Подготовка образца

4.3.1 Образцы должны быть взяты из изделий из твердого сплава, чтобы обеспечить репрезентативность образцов. Размер обычно составляет $10 \text{ мм} \times 10 \text{ мм} \times 5 \text{ мм}$.

4.3.2 Используйте алмазный режущий диск для резки образца со скоростью резки $< 100 \text{ мм/мин}$, чтобы избежать появления трещин или термических повреждений.

4.3.3 Поверхность образца последовательно шлифуют наждачной бумагой (зернистостью 400, 800, 1200), а затем полируют алмазной пастой до тех пор, пока на поверхности не останется видимых царапин (шероховатость $R_a < 0,1 \text{ мкм}$).

4.3.4 Очистите образец с помощью ультразвуковой мойки (время очистки 5 мин) для удаления с поверхности грязи и остатков полирующего средства, затем протрите насухо чистой тканью.

4.4 Этапы тестирования

4.4.1 Поместите образец под металлографический микроскоп, отрегулируйте источник света для равномерного освещения и выберите увеличение в 200 раз (или отрегулируйте до 100–500 раз по мере необходимости).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.4.2 Случайным образом выберите пять полей зрения (каждое поле зрения имеет площадь приблизительно $0,1 \text{ мм}^2$) на поверхности образца и наблюдайте распределение пор, свободного углерода и неметаллических включений.

4.4.3 Сравните со стандартной таблицей степени пористости в Приложении А и оцените степень пористости (тип А, тип В, тип С) каждого поля зрения.

4.4.4 Запишите степень пористости каждого поля зрения и рассчитайте среднее значение пяти полей зрения в качестве окончательной степени пористости.

4.4.5 Если содержание свободного углерода (типа С) значительно (например, выше CO_4), следует зафиксировать характеристики его распределения (например, концентрированный или рассеянный).

4.5 Примечания

Поверхность образца не следует подвергать травлению, чтобы не скрыть истинную морфологию пор или свободного углерода.

Избегайте наблюдения за краевыми участками образца, так как они могут быть затронуты резкой или полировкой.

Источник света микроскопа должен быть однородным, чтобы избежать ошибок из-за неравномерного освещения.

Если степень пористости значительно различается между различными полями зрения (например, А00 и А06), количество полей наблюдения следует увеличить (до 10) для повышения точности.

5 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

Номер образца и источник (например, марка материала, партия продукции).

Дата проведения испытания и персонал, проводивший испытание.

Условия эксперимента: кратность микроскопа, количество полей зрения.

Результаты испытаний: степень пористости (тип А, тип В, тип С), включая результаты оценки и средние значения для каждого поля зрения.

Характеристики распределения свободного углерода (если имеются).

Описание аномальных состояний (таких как дефекты поверхности образца, трудности в оценке и т. д.).

Подпись испытательного подразделения и ответственного лица.

Приложение А (Информационное приложение)

А.1 Диаграмма степени пористости

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ниже приведена справочная таблица степеней пористости для оценки пористости типа А, типа В и типа С.

(диаметр < 10 мкм) :

A00: Видимых пор нет.

A02: Количество пор составляет менее 5 на поле зрения, а площадь пор составляет менее 0,02%.

A04: Количество пор составляет 5–10/поле зрения, а площадь пор составляет 0,02–0,05%.

A06: Количество пор составляет 10–20 на поле зрения, а площадь пор составляет 0,05–0,1%.

A08: Количество пор >20/поле зрения, соотношение площади пор >0,1%.

(диаметр 10-25 мкм) :

B00: Видимых пор нет.

B02: Количество пор менее 3 на поле зрения, а площадь пор составляет менее 0,01%.

B04: Количество пор составляет 3–5 на поле зрения, а площадь пор составляет 0,01–0,03%.

B06: Количество пор составляет 5–10/поле зрения, а площадь пор составляет 0,03–0,05%.

B08: Количество пор >10/поле зрения, соотношение площади пор >0,05%.

Свободный углерод типа С:

C00: Видимый свободный углерод отсутствует.

C02: Площадь свободного углерода составляет <0,02% и распределена равномерно.

C04: Площадь свободного углерода составляет 0,02% -0,05%, он сконцентрирован локально.

C06: Площадь свободного углерода составляет 0,05% -0,1% и распределена концентрированно.

C08: Площадь свободного углерода составляет >0,1%, распределенного по большой площади.

A.2 Инструкция по применению

Степень пористости следует оценивать на основе ближайшего стандартного атласа.

Если образец имеет поры как типа А, так и типа В, их следует оценить и зарегистрировать отдельно.

При оценке свободного углерода (тип С) следует обращать внимание на характеристики его распределения, которые могут влиять на свойства материала (например, на снижение износостойкости).

Выше приведено полное содержание GB/T 2597-2008 Метод испытания пористости твердого сплава на китайском языке, охватывающее все необходимые части стандарта, включая область применения, терминологию, методы испытаний и приложения, чтобы обеспечить полноту и практичность содержания. Если требуются дополнительные корректировки или дополнения, пожалуйста, предоставьте более конкретную информацию.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

ГБ/Т 3489-2008

Твердый сплав

Метод определения микроструктуры

Предисловие

Этот стандарт определяет метод определения микроструктуры твердого сплава, стремясь предоставить единую техническую спецификацию для анализа микроструктуры твердого сплава (в основном карбида вольфрама и кобальта). Этот стандарт применим к определению микроструктуры при производстве твердого сплава, контроле качества, исследовании и применении.

Этот стандарт ссылается на международный стандарт ISO 4497:1983 «Металлографическое исследование твердого сплава» и пересматривается в соответствии с реальными потребностями отечественной промышленности твердого сплава. Этот стандарт заменяет предыдущие соответствующие стандарты.

Этот стандарт был предложен Китайской федерацией машиностроения и управляется Китайской ассоциацией производителей цементированного карбида. Проектные подразделения этого стандарта включают: Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd., Институт исследований металлов, Китайская академия наук и Чэндуский научно-исследовательский институт инструментов.

Основными разработчиками настоящего стандарта являются:

Настоящий стандарт вступает в силу с 1 декабря 2008 года.

Оглавление

1 Область применения

2 Нормативные ссылки

3 Термины и определения

4 Метода испытаний

5 Отчет об испытаниях

Приложение А (Информационное приложение) Диаграмма характеристик микроструктуры

1 Область применения

Этот стандарт определяет метод определения микроструктуры твердого сплава, используя наблюдение с помощью металлографического микроскопа для анализа размера зерна, распределения фаз, пористости и других микроструктурных характеристик в твердом сплаве. Он применим к твердому сплаву с карбидом вольфрама (WC) в качестве основного компонента и содержащему металлическое связующее (такое как кобальт).

Этот метод в основном определяет следующие микроструктурные характеристики твердого сплава: размер зерна WC, распределение фазы кобальта, пористость, свободный углерод,

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

неметаллические включения и аномальные структуры (такие как η -фаза). Этот стандарт применим к контролю качества, оценке производительности и исследованию изделий из твердого сплава.

Настоящий стандарт не применим к определению микроструктуры покрытий из твердых сплавов или твердых сплавов на основе не WC (например, керметов).

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для любого ссылочного документа с датой применима только ссылочная версия. Для любого ссылочного документа без даты применима последняя версия (включая все поправки) настоящего стандарта.

GB/T 2597-2008 Метод испытания пористости твердого сплава

GB/T 3849-2008 Определение пористости твердого сплава

GB/T 5313-2008 Метод металлографического испытания структуры твердого сплава

GB/T 1997-2008 Терминология по твердому сплаву

3 Термины и определения

К настоящему стандарту применяются следующие термины и определения.

3.1 Микроструктура

Микроструктура твердого сплава, наблюдаемая под металлографическим микроскопом, включает распределение и морфологию твердой фазы (WC), связующей фазы (Co), пор, свободного углерода и неметаллических включений.

3.2 Размер зерна

Средний размер частиц зерен WC в твердом сплаве измеряется в микрометрах (мкм) , обычно методом поперечного сечения или методом линейного пересечения.

3.3 Фаза связующего

Металлическим компонентом, обеспечивающим прочность и связывающим твердую фазу в твердом сплаве, обычно является кобальт (Co), а характеристики его распределения влияют на свойства материала.

3.4 Пористость

Объемная доля пор в твердом сплаве, выраженная в процентах (%), подразделяется на тип А (диаметр <10 мкм) , тип В (диаметр 10-25 мкм) и тип С (свободный углерод).

3.5 Свободный углерод

Углерод в твердом сплаве, не образующий карбидов с металлом, существует в виде фазы С и обычно наблюдается с помощью металлографического микроскопа.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.6 Неметаллические включения

Неметаллические вещества в твердом сплаве, такие как оксиды или сульфиды, которые поступают из сырья или в ходе технологических процессов, обычно существуют в форме точек или полос.

3.7 Эта-фаза

$\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$), образующиеся из-за недостаточного содержания углерода в твердом сплаве, обычно выглядят как темные треугольники или неправильные формы, влияющие на свойства материала.

4 Метода испытаний

4.1 Принцип

Полированная и протравленная поверхность твердого сплава исследуется под металлографическим микроскопом для анализа размера зерна WC, распределения фазы кобальта, пористости, свободного углерода, неметаллических включений и аномальных структур (таких как η -фаза), а микроструктурные характеристики оцениваются в соответствии со стандартными картами или методами расчета.

4.2 Приборы и оборудование

Металлографический микроскоп: увеличение от 100x до 1000x, оснащен окулярами и объективами, с хорошим разрешением ($< 0,5 \mu\text{m}$).

Полировальное оборудование: используется для полировки поверхности образца, скорость вращения полировального диска составляет 200-300 об/мин, а полирующим агентом является алмазная паста (размер частиц 1-3 μm).

Оборудование для травления: используйте реагент Мураками (10% KOH + 10% $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ водный раствор) или 5% смесь соляной и азотной кислот.

Оборудование для очистки: Ультразвуковая очистительная машина, использующая в качестве чистящего средства этанол или ацетон.

Стандартная диаграмма характеристик микроструктуры: в соответствии со схемой, приведенной в Приложении А, используется для сравнительной оценки.

4.3 Подготовка образца

4.3.1 Образцы должны быть взяты из изделий из твердого сплава для обеспечения репрезентативности образцов. Размер обычно составляет $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$.

4.3.2 Используйте алмазный режущий диск для резки образца со скоростью резки $< 100 \text{ mm/min}$, чтобы избежать появления трещин или термических повреждений.

4.3.3 Поверхность образца последовательно шлифуют наждачной бумагой (зернистостью 400,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

800, 1200), а затем полируют алмазной пастой до тех пор, пока на поверхности не останется видимых царапин (шероховатость $Ra < 0,1 \mu\text{м}$).

4.3.4 Очистите образец с помощью ультразвуковой мойки (время очистки 5 мин) для удаления с поверхности грязи и остатков полировочного средства, затем протрите насухо чистой тканью.

4.3.5 Протравите поверхность образца с помощью реагента Мураками (время травления 10-20 с) для визуализации границ зерен WC и фаз кобальта, затем промойте дистиллированной водой и высушите.

4.4 Этапы тестирования

4.4.1 Определение пористости

4.4.1.1 На нетравленной полированной поверхности с помощью металлографического микроскопа (увеличение в 200 раз) осмотреть поры, свободный углерод и неметаллические включения.

4.4.1.2 Случайным образом выберите 5 полей зрения (каждое поле зрения имеет площадь приблизительно $0,1 \text{ мм}^2$) и оцените степень пористости (тип А, тип В, тип С) в соответствии с GB/T 2597-2008.

4.4.1.3 Запишите степень пористости и характеристики распределения свободного углерода в каждом поле зрения.

4.4.2 Определение размера зерна

4.4.2.1 Рассмотрите зерна WC на протравленной поверхности образца с помощью металлографического микроскопа (увеличение в 500 раз).

4.4.2.2 Случайным образом выберите три поля зрения и используйте метод линейного пересечения для определения размера зерна:

мкм в длину) в поле зрения.

Регистрировалось количество пересечений (N) каждой прямой линии с границей зерна WC.

计算平均截距长度 L $\frac{\text{总直线长度}}{\text{相交次数}}$

4.4.2.3 Рассчитайте средний размер зерна трех полей зрения в мкм .

4.4.3 Определение распределения фаз кобальта

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Наблюдайте распределение фазы кобальта на протравленной поверхности образца с помощью металлографического микроскопа (увеличение в 200 раз).

4.4.3.2 Случайным образом выберите 5 полей зрения, чтобы проверить, равномерно ли распределена фаза кобальта и имеются ли скопления кобальта (размером > 5 мкм).

4.4.3.3 Запишите характеристики распределения фаз кобальта (равномерное, локальное расслоение, скопления кобальта).

4.4.4 Исследование аномальных тканей

4.4.4.1 Проверка η -фазы: η -фаза обычно выглядит как темные треугольники или неправильные формы и часто встречается в образцах с недостаточным содержанием углерода.

4.4.4.2 Проверить наличие неметаллических включений: зафиксировать их форму (точки, полосы) и распределение.

4.4.4.3 При обнаружении аномальной ткани следует сделать микроскопические фотографии и записать процент ее площади (%).

4.5 Примечания

Время травления должно строго контролироваться. Слишком долгое может привести к размытию границ зерен, а слишком короткое может не выявить структуру.

При наблюдении за размером зерна убедитесь, что количество зерен в поле зрения >100 , чтобы повысить статистическую точность.

распределения фаз кобальта следует проявлять осторожность и различать скопления кобальта и поры, чтобы избежать ошибочной оценки.

Если образец имеет аномальную структуру (например, соотношение η -фазы $> 1\%$), следует проанализировать причину этого (например, недостаточное содержание углерода, чрезмерная температура спекания).

5 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

Номер образца и источник (например, марка материала, партия продукции).

Дата проведения испытания и персонал, проводивший испытание.

Условия испытания: увеличение микроскопа, количество полей зрения, травитель и время травления.

Результаты теста:

Степень пористости (тип А, тип В, тип С).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

WC (среднее значение и диапазон, в мкм) .

Характеристики распределения фаз кобальта.

Описание и доля аномальных структур (таких как η -фаза и неметаллические включения).

Микрофотографии (если имеются).

Описание аномальных состояний (таких как дефекты поверхности образца, трудности в оценке и т. д.).

Подпись испытательного подразделения и ответственного лица.

Приложение А (Информационное приложение)

A.1 Характеристики микроструктуры

Ниже представлен справочный атлас микроструктурных характеристик, используемых для оценки микроструктуры твердого сплава.

Размер зерна WC:

Ультрамелкое зерно: средний размер зерна $< 0,5$ мкм .

размер зерна $0,5-1,0$ мкм .

Мезокристаллический : средний размер зерна $1,0-2,0$ мкм .

размер зерна $>2,0$ мкм .

Распределение фаз кобальта :

Равномерное распределение: нет очевидной сегрегации фазы кобальта, а пул кобальта <1 на поле зрения.

Локальная сегрегация: 1-3 лужицы кобальта/поле зрения, размер $5-10$ мкм .

Сильная сегрегация: пулы кобальта >3 /поле зрения, размер > 10 мкм .

η фаза:

Отсутствие η -фазы: в поле зрения нет темных треугольников или нерегулярных структур.

Небольшое количество η -фазы: отношение площади $<1\%$, рассеянное распределение.

Большое количество η -фазы: доля площади $>1\%$, концентрированное распределение.

A.2 Инструкция по применению

Оценка размера зерна должна основываться на методе линейного пересечения. Если используются другие методы (например, анализ изображений), они должны быть объяснены. Распределение фаз кобальта требует комплексного анализа в сочетании со свойствами материала (такими как прочность и износостойкость).

Наличие η -фазы обычно указывает на недостаточное содержание углерода, поэтому рекомендуется провести дополнительный анализ химического состава и параметров процесса.

Выше приведено полное содержание на китайском языке GB/T 3489-2008 Метод определения микроструктуры твердого сплава, которое охватывает все необходимые части стандарта,

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

включая область применения, терминологию, методы испытаний и приложения, чтобы обеспечить полноту и практичность содержания. Если требуются дополнительные корректировки или дополнения, пожалуйста, предоставьте более конкретную информацию.

приложение:

ГБ/Т 5248-2008
Твердый сплав
Методы химического анализа

Предисловие

Этот стандарт определяет методы химического анализа основных элементов и примесных элементов в твердом сплаве, стремясь предоставить единую техническую спецификацию для анализа химического состава твердого сплава (в основном карбида вольфрама и кобальта). Этот стандарт применим к определению химического состава при производстве твердого сплава, контроле качества, исследовании и применении.

Этот стандарт ссылается на международный стандарт ASTM E352 "Методы химического анализа инструментальной стали и других средне- и высоколегированных сталей" и пересматривается в соответствии с реальными потребностями отечественной промышленности по производству твердого сплава. Этот стандарт заменяет предыдущие соответствующие стандарты.

Этот стандарт был предложен Китайской федерацией машиностроения и управляется Китайской ассоциацией производителей цементированного карбида. Проектные подразделения этого стандарта включают: Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd., Институт исследований металлов, Китайская академия наук и Чэндуский научно-исследовательский институт инструментов.

Основными разработчиками настоящего стандарта являются:

Настоящий стандарт вступает в силу с 1 декабря 2008 года.

Оглавление

1 Область применения

2 Нормативные ссылки

3 Термины и определения

4 Общие требования

5 методов анализа

6 Отчет об испытаниях

Приложение А (Информационное приложение) Область применения метода анализа

1 Область применения

Этот стандарт определяет методы химического анализа для вольфрама (W), кобальта (Co), углерода (C), титана (Ti), тантала (Ta), ниобия (Nb) и общих примесных элементов (таких как Fe, Ni, Cr, Mo, Si, Al, S, P) в твердом сплаве. Этот стандарт применим к определению химического состава твердого сплава с карбидом вольфрама (WC) в качестве основного компонента и содержащего металлическое связующее (такое как кобальт).

Данный метод включает определение следующих элементов:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Основные элементы: вольфрам, кобальт, общий углерод, свободный углерод.

Второстепенные элементы: титан, тантал, ниобий.

Примесные элементы: железо, никель, хром, молибден, кремний, алюминий, сера, фосфор.

Настоящий стандарт применяется к контролю качества, оценке эксплуатационных характеристик и исследованию изделий из твердого сплава.

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для любого ссылочного документа с датой применима только ссылочная версия. Для любого ссылочного документа без даты применима последняя версия (включая все поправки) настоящего стандарта.

GB/T 1997-2008 Терминология по твердому сплаву

GB/T 223.5-2008 Методы химического анализа стали и сплавов. Восстановительная дистилляция. Фотометрический метод определения содержания серы с использованием метиленового синего

GB/T 223.9-2008 Методы химического анализа железа, стали и сплавов. Фотометрический метод определения содержания алюминия с использованием хромазуrola S

GB/T 223.11-2008 Методы химического анализа железа, стали и сплавов. Метод определения содержания хрома с использованием сульфата аммония и сульфата аммония железа (объемный)

GB/T 223.23-2008 Методы химического анализа железа, стали и сплавов. Спектрофотометрический метод определения содержания никеля с использованием диметилглиоксима

GB/T 223.59-2008 Методы химического анализа железа, стали и сплавов - Метод титрования арсенита натрия и нитрита натрия для определения содержания фосфора

GB/T 4698.1-2008 Методы химического анализа титановой губки, титана и титановых сплавов Часть 1: Общие положения

3 Термины и определения

К настоящему стандарту применяются следующие термины и определения.

3.1 Твердый сплав

Изделия порошковой металлургии, основным компонентом которых является карбид вольфрама (WC), содержащие металлическую связку (например, кобальт), обычно используются для изготовления режущих инструментов, износостойких деталей и т. д.

3.2 Общий углерод

Содержание углерода во всех формах в твердом сплаве, включая связанный углерод (углерод в WC) и свободный углерод.

3.3 Свободный углерод

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Углерод в твердом сплаве, не образующий карбидов с металлом, существует в виде С-фазы.

3.4 Химический анализ

Процесс определения содержания каждого элемента в твердом сплаве химическими или инструментальными методами.

3.5 Элемент примеси

Микроэлементы в твердом сплаве, полученные из сырья или в результате технологических процессов, такие как Fe, Ni, Cr, Mo, Si, Al, S, P и т. д.

4 Общие требования

4.1 Требования к образцам

4.1.1 Образцы должны быть взяты из изделий из твердого сплава для обеспечения репрезентативности. Масса образцов обычно составляет от 0,5 г до 2,0 г.

4.1.2 Поверхность образца должна быть очищена от окалины, масла и других загрязнений. При необходимости ее следует отполировать наждачной бумагой и очистить этанолом.

4.1.3 Образец следует измельчить до размера частиц менее 0,15 мм (100 меш), чтобы избежать попадания примесей.

4.2 Требования к реагентам

4.2.1 Все реагенты должны быть аналитической или более высокой степени чистоты, а используемая вода должна быть дистиллированной или деионизированной.

4.2.2 Кислотные растворы (такие как HCl, HNO₃, HF) следует готовить в определенных концентрациях, чтобы гарантировать отсутствие помех от примесей.

4.3 Требования к приборам

4.3.1 Аналитические весы: чувствительность 0,0001 г.

4.3.2 Высокочастотная индукционная печь: используется для анализа сжигания углерода и серы.

4.3.3 Спектрофотометр: используется для фотометрического определения содержания элементов.

4.3.4 Атомно-эмиссионный спектрометр с индуктивно связанной плазмой (ИСП-АЭС):

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

используется для одновременного анализа нескольких элементов.

4.4 Требования безопасности

4.4.1 Во время работы надевайте защитные очки и перчатки, чтобы избежать разбрызгивания кислоты или вдыхания вредных газов.

4.4.2 При эксплуатации высокочастотной индукционной печи обратите внимание на защиту от высоких температур, чтобы избежать ожогов.

5 методов анализа

5.1 Определение вольфрама (W)

5.1.1 Принцип метода

Образец разлагали смешанной кислотой HCl-HNO_3 , вольфрам осаждали в виде вольфрамовой кислоты, а содержание вольфрама определяли титрованием сульфатом аммония и железа.

5.1.2 Реагенты

HCl (1+1).

HNO_3 (1 +1).

Стандартный раствор сульфата аммония и железа (0,1 моль/л).

Раствор винной кислоты (10%).

5.1.3 Шаги

5.1.3.1 Взвесьте 0,5 г образца (с точностью до 0,0001 г) и поместите в стакан объемом 250 мл.

5.1.3.2 Добавьте 20 мл HCl (1+1) и 5 мл HNO_3 (1 +1) и нагревайте до полного разложения образца.

5.1.3.3 Добавьте 5 мл раствора винной кислоты (10%), равномерно перемешайте и охладите до комнатной температуры.

5.1.3.4 Титровать стандартным

раствором сульфата аммония и железа до конечной точки (раствор из желтого становится бесцветным).

5.1.3.5 Расчет содержания вольфрама:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$$W(\%) = \frac{(V \times c \times M_W) \times 100}{m \times 1000}$$

式中:

- V : 硫酸亚铁铵标准溶液消耗体积 (mL) ;
- c : 硫酸亚铁铵标准溶液浓度 (mol/L) ;
- M_W : 钨的摩尔质量 (183.84 g/mol) ;
- m : 试样质量 (g) .

5.2 Определение кобальта (Co)

5.2.1 Принцип метода

разлагали с помощью HCl-HNO₃, а кобальт определяли методом спектрофотометрии диметилглиоксима.

5.2.2 Реагенты

HCl (1+1).

HNO₃ (1+1).

Раствор диметилглиоксима (1%).

Аммиачная вода (1+1).

5.2.3 Шаги

5.2.3.1 Взвесьте 0,5 г образца (с точностью до 0,0001 г) и поместите в стакан объемом 250 мл.

5.2.3.2 Добавьте 20 мл HCl (1+1) и 5 мл HNO₃ (1+1) и нагрейте до разложения.

5.2.3.3 После охлаждения добавьте 5 мл раствора диметилглиоксима (1%) и доведите pH до 8-9 с помощью водного раствора аммиака.

5.2.3.4 Измерьте поглощение при длине волны 510 нм на спектрофотометре.

5.2.3.5 Рассчитайте содержание кобальта по стандартной кривой.

5.3 Определение общего углерода (C) и свободного углерода (C)

5.3.1 Принцип метода

Общее содержание углерода определяется методом сжигания в высокочастотной индукционной печи, свободный углерод определяется после разделения методом кислотного гидролиза, а связанный углерод рассчитывается путем вычитания свободного углерода из общего содержания углерода.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.3.2 Инструменты

Высокочастотная индукционная печь.

Инфракрасный абсорбционный анализатор углерода и серы.

5.3.3 Шаги

Определение общего углерода :

Взвесьте 0,2 г образца (с точностью до 0,0001 г) и поместите его в высокочастотную индукционную печь.

Содержание углерода в образующемся CO₂ определяется методом инфракрасной абсорбции.

5.3.3.2 Определение свободного углерода:

Взвесьте 1,0 г образца, поместите его в стакан объемом 250 мл, добавьте 50 мл HCl (1+1) и нагревайте до полного отделения свободного углерода.

Остаток фильтруют, промывают и сушат, а содержание свободного углерода определяют с помощью высокочастотной индукционной печи.

5.3.3.3 Расчет комбинированного углерода:

$$C_{\text{化合}} = C_{\text{总}} - C_{\text{游离}}$$

5.4 Определение титана (Ti), тантала (Ta) и ниобия (Nb)

5.4.1 Принцип метода

Образцы разлагались с помощью HCl-HF, а элементы определялись методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ICP-AES).

5.4.2 Шаги

5.4.2.1 Взвесьте 0,5 г образца, поместите в стакан из политетрафторэтилена, добавьте 10 мл HCl (1+1) и 5 мл HF (40%) и нагрейте до разложения.

5.4.2.2 После охлаждения доведите объем до 100 мл.

5.4.2.3 Интенсивность спектра излучения Ti, Ta и Nb измерялась методом ICP-AES. Длины волн были следующими:

Ti: 334,941 нм;

Ta: 240,063 нм;

Nb: 316,340 нм.

5.4.2.4 Рассчитайте содержание каждого элемента по стандартной кривой.

5.5 Определение элементов-примесей (Fe, Ni, Cr, Mo, Si, Al, S, P)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.5.1 Принцип метода

Примесные элементы определялись методом ИСП-АЭС, сера определялась методом сжигания в высокочастотной индукционной печи, фосфор определялся методом титрования арсенита натрия и нитрита натрия.

5.5.2 Шаги

5.5.2.1 Определение Fe, Ni, Cr, Mo, Si и Al:

То же, что и в шаге 5.4.2, длины волн:

Fe: 238,204 нм;

Ni: 231,604 нм;

Cr: 267,716 нм;

Mo: 202,030 нм;

Si: 251,611 нм;

Al: 396,152 нм.

5.5.2.2 Определение серы:

То же, что и в шаге 5.3.3.1, определение содержания серы методом инфракрасного поглощения.

5.5.2.3 Определение фосфора:

Определяют методом титрования арсенита натрия и нитрита натрия в соответствии с GB/T 223.59-2008.

6 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

Номер образца и источник (например, марка материала, партия продукции).

Дата проведения испытания и персонал, проводивший испытание.

Условия испытаний: модель прибора, метод анализа.

Результаты испытаний: содержание каждого элемента (%), включая вольфрам, кобальт, общий углерод, свободный углерод, титан, тантал, ниобий и примесные элементы.

Описание аномальных условий (таких как неравномерность образцов, аналитические помехи и т. д.).

Подпись испытательного подразделения и ответственного лица.

Приложение А (Информационное приложение)

А.1 Область применения аналитического метода

Вольфрам (W): 50%-95%, метод титрования сульфатом аммония и железа.

Кобальт (Co): 1%-30%, спектрофотометрия с диметилглиоксимом.

Общий углерод (C): 4%-7%, метод сжигания в высокочастотной индукционной печи.

Свободный углерод (C): 0,01%-0,5%, метод кислотного гидролиза.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Титан (Ti), тантал (Ta), ниобий (Nb): 0,1%-10%, метод ICP-AES.

Примесные элементы (Fe, Ni, Cr, Mo, Si, Al): 0,001%-1%, метод ICP-AES.

Сера (S): 0,001%-0,05%, метод сжигания в высокочастотной индукционной печи.

Фосфор (P): 0,001%-0,05%, метод титрования арсенитом натрия-нитритом натрия.

A.2 Примечания

содержания вольфрама следует избегать неполного осаждения вольфрамовой кислоты и при необходимости проводить повторное осаждение.

содержание кобальта, методу диметилглиоксима может мешать Ni, поэтому перед определением его необходимо отделить.

При измерении с помощью ИСП-АЭС прибор следует откалибровать для обеспечения соответствия матрице.

Выше представлено полное содержание на китайском языке GB/T 5248-2008 Методы химического анализа для твердого сплава, которое охватывает все необходимые части стандарта, включая область применения, терминологию, методы анализа и приложения, чтобы обеспечить полноту и практичность содержания. Если требуются дополнительные корректировки или дополнения, пожалуйста, предоставьте более конкретную информацию.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

приложение:

ГБ/Т 5313-2008
Твердый сплав
Метод контроля металлографической структуры

Предисловие

В настоящем стандарте описывается метод контроля металлографической структуры твердого сплава с целью обеспечения

Настоящий стандарт применим к производству твердого сплава, контролю качества, Металлографический анализ в исследованиях и приложениях.

Настоящий стандарт ссылается на международный стандарт ISO 4499-1:2008 «Методы металлографического исследования твердых сплавов. Часть 1. Общие принципы».

Настоящий стандарт пересмотрен в соответствии с реальными потребностями отечественной промышленности по производству твердосплавных изделий. Настоящий стандарт заменяет предыдущие соответствующие стандарты.

Этот стандарт был предложен Федерацией машиностроительной промышленности Китая и контролируется Ассоциацией производителей твердосплавных изделий Китая.

В состав конструкторских подразделений входят: Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd., Институт исследований металлов, Китайская академия наук, Чэндуский научно-исследовательский институт инструментов.

Основными разработчиками настоящего стандарта являются:

Настоящий стандарт вступает в силу с 1 декабря 2008 года.

Содержание

1	Диапазон 3	
2	Нормативные ссылки 3	
3	Термины и определения 3	
3.1	Металлографическая структура	
	зерна WC	
3.3	Распределение фаз кобальта	
3.4	Пористость	
3.5	Свободный углерод	
3.6	Неметаллические включения	4
3.7	Эта-фаза.	4
4	Методы испытаний 4	
4.1	Принцип	
4.2	Приборы и оборудование	
4.3	Подготовка образцов для испытаний	
	Процедуры испытаний	
	Испытание пористости	

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

Проверка размера зерна WC	
Тест распределения фаз кобальта	
4.4.4 Исследование аномальных тканей	
4.5 Примечания	5
5. Оценка результатов теста б	
5.1 Оценка пористости	
5.2 Оценка размера зерна	
5.3 Оценка распределения фаз кобальта	
1	
5.4 Оценка аномальной ткани	
6 Отчет об испытаниях	

1 Область применения

Настоящий стандарт определяет метод контроля металлографической структуры твердого сплава.

распределение фазы кобальта, пористость, свободный углерод, неметаллические включения и аномалии

Настоящий стандарт распространяется на карбид вольфрама (WC) в качестве основного компонента, содержащий металлическое связующее (например, кобальт).

Твердый сплав.

Данный метод подходит для контроля качества, оценки эксплуатационных характеристик и металлографического исследования структуры при исследовании изделий из твердого сплава. Настоящий стандарт не применим к металлографическому исследованию покрытий из твердых сплавов или твердых сплавов на основе не WC (например, металлокерамики).

2 Нормативные ссылки

Пункты следующих документов становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки на них в настоящем стандарте.

Для любого недатированного ссылочного документа применяется последняя редакция (включая все поправки).

Этот стандарт.

- GB/T 1997-2008 Терминология по твердому сплаву
- GB/T 2597-2008 Метод испытания пористости твердого сплава
- GB/T 3489-2008 Метод определения микроструктуры твердого сплава
- GB/T 5248-2008 Методы химического анализа твердого сплава

3 Термины и определения

К настоящему стандарту применяются следующие термины и определения.

3.1 Металлографическая структура

Микроструктура твердого сплава, наблюдаемая под металлографическим микроскопом, включает твердую фазу (WC), связующую фазу (Co), поры,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Распределение и морфология свободного углерода и неметаллических включений.

3.2 Размер зерна WC

Средний размер частиц карбида вольфрама (WC) в твердом сплаве измеряется в микрометрах (мкм), обычно методом линейного пересечения или

Определение методом анализа изображений.

3.3 Распределение фаз кобальта

Состояния распределения связующей фазы кобальта (Co) в твердом сплаве делятся на равномерное распределение, локальную сегрегацию и пул кобальта.

3.4 Пористость

Объемная доля пор в твердом сплаве, выраженная в процентах (%), подразделяется на тип А (диаметр <10 мкм), тип В (диаметром 10–25 мкм) и тип С (свободный углерод).

3.5 Свободный углерод

Углерод в твердом сплаве, не образующий карбидов с металлом, существует в виде фазы С, обычно в виде черных частиц.

3.6 Неметаллические включения

Неметаллические вещества в твердом сплаве, такие как оксиды или сульфиды, полученные из сырья или в результате технологических процессов, обычно в форме точек или полос. Существование.

3.7 Эта-фаза

CoWC), образующиеся из-за недостаточного содержания углерода в твердом сплаве, обычно представляют собой темные треугольники или правильную форму.

4 Метода испытаний

4.1 Принцип

Поверхность твердого сплава после полировки и травления исследовалась с помощью металлографического микроскопа для анализа размера зерна WC, распределения фазы кобальта, пор.

пористость, свободный углерод, неметаллические включения и аномальные структуры (например, фазы), и сравнить их со стандартными атласами для оценки.

4.2 Приборы и оборудование

- Металлургический микроскоп: увеличение от 100х до 1000х, оснащен окуляром и объективом, с хорошим разрешением (<0,5 мкм).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Полировальное оборудование: используется для полировки поверхности образца, скорость полировального диска составляет 200-300 об/мин, полирующий агент - алмазная паста (зернистость диаметр 1-3 мкм).
- Оборудование для травления: используйте реагент Мураками (10% KOH + 10% K[Fe(CN)] водный раствор) или 5% Смесь соляной и азотной кислот.
- Оборудование для очистки: Ультразвуковая чистящая машина, использующая этанол или ацетон в качестве чистящего средства.
- Стандартная диаграмма металлографической структуры: Согласно диаграмме, представленной в Приложении А, она используется для сравнительной оценки.

4.3 Подготовка образца

4.3.1 Образцы должны быть взяты из изделий из твердого сплава для обеспечения репрезентативности. Размер обычно составляет 10 мм × 10 мм × 5 мм.

4.3.2 Используйте алмазный режущий диск для резки образца со скоростью резки <100 мм/мин, чтобы избежать появления трещин или термических повреждений.

4.3.3 Поверхность образца последовательно шлифовали наждачной бумагой (зернистость 400, 800, 1200), а затем полировали алмазной пастой до тех пор, пока поверхность не станет гладкой.

Явных царапин нет (шероховатость Ra < 0,1 мкм).

4.3.4 Очистите образец с помощью ультразвуковой мойки (время очистки 5 мин) для удаления поверхностных загрязнений и остатков полирующего средства.

Протирать сухой тряпкой для пыли.

4.3.5 Протравить поверхность образца с помощью реагента Мураками (время травления 10-20 с) для выявления зерен WC и фаз кобальта.

Затем края промывали дистиллированной водой и высушивали.

4.4 Этапы тестирования

4.4.1 Испытание на пористость

4.4.1.1 На нетравленной полированной поверхности с помощью металлографического микроскопа (увеличение в 200 раз) осмотрите поры, свободный углерод и неметаллические включения.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.4.1.2 Случайным образом выберите 5 полей зрения (каждое поле зрения имеет площадь приблизительно $0,1 \text{ мм}^2$) и оцените пористость в соответствии с GB/T 2597-2008. класс ставки (тип А, тип В, тип С).

4.4.1.3 Запишите степень пористости и характеристики распределения свободного углерода в каждом поле зрения.

4.4.2 Проверка размера зерна WC

Рассмотрите зерна WC на протравленной поверхности образца с помощью металлографического микроскопа (увеличение в 500 раз).

4.4.2.2 Случайным образом выберите три поля зрения и используйте метод линейного пересечения для определения размера зерна:

- Нарисуйте 10 случайных прямых линий (длиной примерно 100 мкм каждая) в поле зрения.
- Запишите количество пересечений (N) каждой линии с границей зерна WC.
- Рассчитайте среднюю длину отрезка L = общая длина прямой линии / Общее количество точек пересечения.
- Размер зерна $d = 1,56 \times L$.

4.4.2.3 Рассчитайте средний размер зерна трех полей зрения в мкм.

4.4.3 Тест распределения фаз кобальта

Наблюдайте распределение фазы кобальта на протравленной поверхности образца с помощью металлографического микроскопа (увеличение в 200 раз).

4.4.3.2 Случайным образом выберите 5 полей зрения, чтобы проверить, равномерно ли распределена фаза кобальта и имеются ли скопления кобальта (размером $> 5 \text{ мкм}$).

4.4.3.3 Запишите характеристики распределения фаз кобальта (равномерное, локальное расслоение, скопления кобальта).

4.4.4 Исследование аномальных тканей

4.4.4.1 Фаза проверки: Фаза обычно выглядит как темные треугольники или неправильные формы и часто встречается в образцах с недостаточным содержанием углерода.

4.4.4.2 Проверить наличие неметаллических включений: зафиксировать их форму (точки, полосы) и распределение.

4.4.4.3 При обнаружении аномальной ткани следует сделать микроскопические фотографии

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

и записать процент ее площади (%).

4.5 Примечания

- Время травления должно строго контролироваться. Слишком долгое время может привести к размытию границ зерен, а слишком короткое время может не выявить структуру.
 - При наблюдении за размером зерна убедитесь, что количество зерен в поле зрения >100 , чтобы улучшить статистическую точность.
- распределения фазы кобальта следует проявлять осторожность и различать скопления кобальта и поры, чтобы избежать неправильной оценки.
- Если образец имеет аномальную структуру (например, соотношение фаз $>1\%$), следует проанализировать причину (например, недостаточное содержание углерода, спекание температура слишком высокая).

5. Оценка результатов испытаний

5.1 Оценка пористости

Согласно GB/T 2597-2008 пористость подразделяется на тип А, тип В и тип С. Результаты оценки основаны на 5 полях зрения.

Указана средняя оценка.

5.2 Оценка размера зерна

Размер зерна WC классифицируется на следующие марки:

- Сверхмелкое зерно: $<0,5$ мкм ;
- Мелкое зерно: $0,5-1,0$ мкм ;
- Мезозерно : $1,0-2,0$ мкм ;
- Крупное зерно: $>2,0$ мкм .

5.3 Оценка распределения фазы кобальта

Распределение фаз кобальта делится на:

- Равномерное распределение: нет очевидной сегрегации, пул кобальта <1 /поле зрения;
- Локальная сегрегация: 1-3 кобальтовых лужицы/поле зрения, размер $5-10$ мкм ;
- Сильная сегрегация: скопления кобальта >3 /поле, размер >10 мкм .

5.4 Оценка аномальных тканей

Соотношение площадей фаз и неметаллических включений должно быть менее 1% . Если оно превышает 1% , его необходимо пометить как неквалифицированное и проанализировать причину.

6 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

- Номер образца и источник (например, марка материала, партия продукции).
- Дата проведения теста и кто его проводил.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Условия эксперимента: увеличение микроскопа, количество полей зрения, травитель и время травления.
- Результаты теста:
 - Класс пористости (тип А, тип В, тип С).
 - Размер зерна WC (среднее значение и диапазон, мкм).
 - Характеристики распределения фаз кобальта.
 - Описание и доля аномальных структур (например, фаз, неметаллических включений).
- Микрофотографии (если имеются).
- Описание аномальных состояний (таких как дефекты поверхности образца, трудности в оценке и т. д.).
- Подпись испытательного подразделения и ответственного лица.

Приложение А (Информационное приложение)

А.1 Характеристики металлографической структуры

Ниже представлен справочный атлас металлографических структурных характеристик, который используется для оценки микроструктуры твердого сплава.

• Размер зерна WC:

- Ультрамелкое зерно: средний размер зерна $<0,5$ мкм .
- Мелкое зерно: средний размер зерна $0,5-1,0$ мкм .
- Мезокристаллический : средний размер зерна $1,0-2,0$ мкм .
- Крупное зерно: средний размер зерна $>2,0$ мкм .

Распределение фаз кобальта :

- Равномерное распределение: нет очевидной сегрегации фазы кобальта, а пул кобальта <1 на поле зрения.
- Локальная сегрегация: 1-3 кобальтовых лужицы/поле зрения, размер $5-10$ мкм .
- Сильная сегрегация: пулы кобальта >3 /поле зрения, размер >10 мкм .

• Взаимно:

- Отсутствие фазы: в поле зрения не видны темные треугольники или нерегулярные структуры.
- Малая фаза: доля площади $<1\%$, рассеянное распределение.
- Основная фаза: занимает $>1\%$ площади и распределена концентрированно.

А.2 Инструкция по применению

- Оценка размера зерна должна основываться в первую очередь на методе линейного пересечения. Если используется анализ изображения, это должно быть указано.
- Оценка распределения фазы кобальта требует комплексного анализа в сочетании со свойствами материала (такими как прочность и износостойкость).
- Наличие фаз обычно указывает на недостаточное содержание углерода, поэтому

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

рекомендуется провести дополнительный анализ химического состава и параметров процесса.


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

en.com www.ch


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:

GB/T 7997-2008
Твердый сплав
Метод определения твердости по Виккерсу

Предисловие

В настоящем стандарте указан метод испытания твердости по Виккерсу для твердого сплава, предназначенный для твердого сплава (в основном твердого сплава WC-Co).

Настоящий стандарт применим к производству, контролю качества и исследованию твердого сплава.

Определение твердости по Виккерсу в приложениях.

Этот стандарт ссылается на международный стандарт ISO 3878:1987 «Твердость по Виккерсу и Роквеллу для твердого сплава» и объединяет

Отечественная промышленность цементированного карбида. Этот стандарт заменяет предыдущие соответствующие стандарты.

Этот стандарт был предложен Федерацией машиностроительной промышленности Китая и контролируется Ассоциацией производителей твердосплавных изделий Китая.

В состав конструкторских подразделений входят: Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd., Институт исследований металлов, Китайская академия наук, Чэндуский научно-исследовательский институт инструментов.

Место.

Основными разработчиками настоящего стандарта являются:

Настоящий стандарт вступает в силу с 1 декабря 2008 года.

Содержание

1	Диапазон 2
2	Нормативные ссылки2
3	Термины и определения2
3.1	Твердость по Виккерсу 2
3.2	Отступы . . .
3.3	Нагрузка . . .
	Время выдержки . . .
4	Метод испытания 2
4.1	Принцип . . .
4.2	Приборы и оборудование . . .
4.3	Подготовка образцов для испытаний . . .
	Условия испытаний . . .
4.5	Процедуры испытаний . . .
4.6	Примечания . . .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

5 Расчет и представление результатов 4

5.1 Расчет твердости

5.2 Выражение результатов

6 Отчет об испытаниях 4

1 Область применения

В настоящем стандарте указан метод испытания твердости по Виккерсу для твердого сплава, который применим к твердому сплаву с карбидом вольфрама (WC) в качестве основного компонента и содержащему

Твердый сплав с металлическим связующим (например, кобальтом). Метод испытания включает подготовку образца, выбор условий испытания, измерение индентирования и

Расчет значения твердости.

Настоящий стандарт применяется к испытаниям на твердость по Виккерсу при контроле качества, оценке эксплуатационных характеристик и исследовании изделий из твердого сплава.

Настоящий стандарт не применим к определению твердости покрытий из твердых сплавов или твердых сплавов на основе не WC (например, керметов).

2 Нормативные ссылки

Пункты следующих документов становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки на них в настоящем стандарте.

Для любого недатированного ссылочного документа применяется последняя редакция (включая все поправки).

Этот стандарт.

- GB/T 1997-2008 Терминология по твердому сплаву
- GB/T 4340.1-2009 Испытание твердости по Виккерсу для металлических материалов. Часть 1: Метод испытания

3 Термины и определения

К настоящему стандарту применяются следующие термины и определения.

3.1 Твердость по Виккерсу

Алмазный тетраэдрический пирамидальный индентор вдавлируется в поверхность образца, и измеряется диагональная длина отпечатка под заданной нагрузкой для расчета

Значение твердости выражается в HV.

3.2 Отступ

При испытании на твердость по Виккерсу алмазный четырехугольный пирамидальный индентор оставляет квадратное углубление на поверхности образца.

3.3 Нагрузка

Сила, прикладываемая к индентору, в ньютонах (N), выбирается в зависимости от твердости

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

и толщины образца.

3.4 Время выдержки

Время, в течение которого индентор удерживает нагрузку после ее приложения, измеряется в секундах (с), обычно 10–15 секунд.

4 Метода испытаний

4.1 Принцип

При использовании твердомера Виккерса алмазный четырехгранный пирамидальный индентор (угол при вершине 136°) вдавливается в поверхность образца под определенной нагрузкой для измерения твердости.

Длина диагонали отпечатка используется для расчета значения твердости по формуле.

4.2 Приборы и оборудование

- Твердомер по Виккерсу: в соответствии с GB/T 4340.1-2009, диапазон нагрузки от 1 кгс до 120 кгс (9,807 Н до 1177 Н) с точностью измерения 0,5 мкм.
- Полировальное оборудование: используется для полировки поверхности образца, полирующим агентом является алмазная паста (размер частиц 1-3 мкм).
- Оборудование для очистки: Ультразвуковая чистящая машина, использующая этанол или ацетон в качестве чистящего средства.

4.3 Подготовка образца

4.3.1 Образцы должны быть взяты из изделий из твердого сплава для обеспечения репрезентативности. Размер обычно составляет 10 мм × 10 мм × 5 мм, умноженное на глубину отступа.

4.3.2 Используйте алмазный режущий диск для резки образца со скоростью резки <100 мм/мин, чтобы избежать появления трещин или термических повреждений.

4.3.3 Поверхность образца последовательно шлифовали наждачной бумагой (зернистость 400, 800, 1200), а затем полировали алмазной пастой до тех пор, пока поверхность не станет гладкой.

Явных царапин нет (шероховатость $R_a < 0,1$ мкм).

4.3.4 Очистите образец с помощью ультразвуковой мойки (время очистки 5 мин) для удаления поверхностных загрязнений и остатков полирующего средства.

Протирать сухой тряпкой для пыли.

4.4 Условия испытаний

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.4.1 Выбор нагрузки: выберите нагрузку в соответствии с твердостью и толщиной образца, см. Приложение А.

- Мелкозернистый твердый сплав (размер зерна <1 мкм): 5 кгс-10 кгс .
- Мезокристаллический карбид (размер зерна 1-2 мкм): 10 кгс-30 кгс .
- Крупнозернистый твердый сплав (размер зерна > 2 мкм): 30 кгс-120 кгс .

4.4.2 Время выдержки: 10-15 секунд.

4.4.3 Условия проведения испытаний: температура (23(5) ° C), относительная влажность <65%, избегать вибрации и сильных световых помех.

4.5 Этапы тестирования

4.5.1 Закрепите подготовленный образец на рабочем столе твердомера по Виккерсу.

4.5.2 Выберите соответствующую нагрузку и время выдержки, а затем приложите нагрузку к поверхности образца.

4.5.3 После снятия нагрузки с помощью микроскопа измерьте длины двух диагоналей отпечатка (d1 и d2) и возьмите среднее значение d.

4.5.4 Повторите испытание и сделайте не менее 5 измерений на образце, при этом расстояние между точками измерения должно быть не менее 3 диагоналей отпечатка .

Избегайте взаимного влияния.

4.6 Примечания

- Поверхность образца должна быть ровной, без трещин, царапин и загрязнений, в противном случае это может привести к неточным измерениям.
- Слишком большая нагрузка может привести к слишком глубокому вдавливанию, что повлияет на структуру образца; слишком маленькая нагрузка может вызвать ошибки измерения.

Отрегулируйте в соответствии с характеристиками образца.

- При измерении длины диагонали убедитесь, что углубление чистое, и избегайте помех от отражений света.

5. Расчет и представление результатов

5.1 Расчет твердости

Значение твердости по Виккерсу рассчитывается по следующей формуле:

$$HV = 1,8544 \times P$$

d 2 , где:

- HV: значение твердости по Виккерсу (единица измерения: кгс /мм²) ;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- P: приложенная нагрузка (единица измерения: кгс) ;
- d: средняя диагональная длина углубления (единица: мм);
- 1,8544: постоянная твердомера по Виккерсу (при угле пирамиды 136°).

5.2 Результаты

Значение твердости выражается как HV с двумя десятичными знаками. Например: HV 1600,25. При сообщении значения твердости возьмите значение пяти измерений.

Среднее арифметическое значение, допустимое отклонение определяется в зависимости от величины нагрузки:

- Нагрузка <10 кгс : отклонение 5%;
- Нагрузка 10-30 кгс : Отклонение 3%;
- Нагрузка >30 кгс : отклонение 2%.

6 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

- Номер образца и источник (например, марка материала, партия продукции).
- Дата проведения теста и кто его проводил.
- Условия испытаний: нагрузка (кгс), время выдержки (с), температура и влажность окружающей среды.
- Результаты теста:
 - Длина диагонали углубления для каждого измерения (мм).
 - Среднее значение твердости (HV).
 - Диапазон отклонения (%).
- Описание аномальных условий (таких как дефекты поверхности образца, трудности измерения и т. д.).
- Подпись испытательного подразделения и ответственного лица.

Тип твердого сплава Диапазон размеров зерна (мкм) Рекомендуемая нагрузка (кгс) Время выдержки (с) Примечания

Сверхмелкозернистый твердый сплав <0,5 5-10 10-15 Подходит для материалов высокой твердости

Мелкозернистый твердый сплав 0,5-1,0 10-20 10-15 Сбалансированная твердость и прочность

Среднекристаллический карбид 1,0-2,0 20-50 10-15 Карбид общего назначения

Крупнозернистый карбид >2,0 50-120 10-15 Подходит для износостойких деталей

Таблица 1: Справочная таблица условий испытаний

Приложение А (Информационное приложение)

A.1 Справочная таблица условий испытаний

A.2 Инструкция по применению

- Выбор нагрузки должен быть скорректирован в соответствии с толщиной образца. При толщине менее 1 мм нагрузка не должна превышать 5 кгс .
- Если твердость образцов сильно различается, рекомендуется измерить их в разных областях

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

и сообщить результаты отдельно.

- Если в ходе испытания обнаружены неравномерные вмятины, необходимо проверить качество поверхности образца или отрегулировать нагрузку.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

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

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

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

Serving Customers

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

Service Commitment

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

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

приложение:

GB/T 18376-2008
Твердый сплав
Метод определения размера зерна

Предисловие

Настоящий стандарт устанавливает метод определения размера зерна твердого сплава и предназначен для твердого сплава (в основном карбида вольфрама и кобальта).

Настоящий стандарт применим к производству твердого сплава, контролю качества,

Определение размера зерна в исследованиях и приложениях.

Настоящий стандарт ссылается на международный стандарт ISO 4499-2:2008 «Методы металлографического исследования твердого сплава. Часть 2. Размер зерна».

стандарт заменяет предыдущие соответствующие стандарты.

позволять.

Этот стандарт был предложен Федерацией машиностроительной промышленности Китая и находится под единым руководством Ассоциации производителей твердосплавных изделий Китая.

В число организаций-разработчиков настоящего стандарта входят: Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd., Institute of Metal Research, China Academy of Sciences, Chengdu Tool Research Institute.

Место.

Основные разработчики этого стандарта

Настоящий стандарт вступает в силу с 1 декабря 2008 года.

Содержание

- 1 Диапазон 2
- 2 Нормативные ссылки
- 3 Термины и определения
 - 3.1 Размер зерна
 - 3.2 Метод линейного перехвата
 - 3.3 Метод анализа изображения
 - 3.4 Средний размер зерна
- 4 Метода испытаний
 - 4.1 Принцип
 - 4.2 Приборы и оборудование
 - 4.3 Подготовка образца
 - 4.4 Этапы тестирования
 - 4.4.1 Метод линейного перехвата
 - 4.4.2 Анализ изображения
 - 4.5 Примечания
- 5. Расчет и представление результатов
 - 5.1 Расчет размера зерна

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

5.2 Результаты

6 Отчет об испытаниях

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает метод определения размера зерна карбида вольфрама (WC) в твердом сплаве с использованием метода наблюдения под металлографическим микроскопом.

и метод линейного пересечения или метод анализа изображений, который применим к карбиду вольфрама (WC) как основному компоненту и содержащему металлическое связующее (такое как Кобальт) цементированный карбид.

Данный метод подходит для контроля качества, оценки эксплуатационных характеристик и определения размера зерна изделий из твердого сплава.

Настоящий стандарт не применим к определению размера зерна покрытий из твердых сплавов или твердых сплавов на основе не WC (например, металлокерамики).

2 Нормативные ссылки

Пункты следующих документов становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки на них в настоящем стандарте.

Для любого недатированного ссылочного документа применяется последняя редакция (включая все поправки).

Этот стандарт.

- GB/T 1997-2008 Терминология по твердому сплаву
- GB/T 3489-2008 Метод определения микроструктуры твердого сплава
- GB/T 5313-2008 Метод испытания металлографической структуры твердого сплава

3 Термины и определения

К настоящему стандарту применяются следующие термины и определения.

3.1 Размер зерна

Средний размер частиц зерен карбида вольфрама (WC) в твердом сплаве в микрометрах (мкм) обычно измеряется методом поперечного сечения или

Определяется методом линейного пересечения.

3.2 Метод линейного перехвата

Под металлографическим микроскопом на поперечном сечении образца случайным образом проводили прямые линии и подсчитывали количество пересечений прямых линий с границами зерен.

Метод расчета среднего размера зерна.

3.3 Метод анализа изображения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Метод автоматического определения и измерения размера зерна путем анализа изображения поперечного сечения образца под металлографическим микроскопом с использованием программного обеспечения для обработки изображений.

3.4 Средний размер зерна

Среднее арифметическое всех размеров зерен WC в образце представляет собой типичные характеристики микроструктуры материала.

4 Метода испытаний

4.1 Принцип

Поперечное сечение полированного и протравленного твердого сплава наблюдалось с помощью металлографического микроскопа, а для измерения использовался метод линейного пересечения или метод анализа изображений.

Определите размер зерна WC.

4.2 Приборы и оборудование

- Металлургический микроскоп: увеличение от 100x до 1000x, оснащен окуляром и объективом, с хорошим разрешением ($<0,5$ мкм).
- Полировальное оборудование: используется для полировки поверхности образца, скорость полировального диска составляет 200-300 об/мин, полирующий агент - алмазная паста (зернистость 1-3 мкм).
- Оборудование для травления: используйте реагент Мураками (10% KOH + 10% водный раствор $K[Fe(CN)_6]$).
- Оборудование для очистки: Ультразвуковая чистящая машина, использующая этанол или ацетон в качестве чистящего средства.
- Система анализа изображений (опционально): оснащена программным обеспечением для получения и обработки изображений.

4.3 Подготовка образца

4.3.1 Образцы должны быть взяты из изделий из твердого сплава для обеспечения репрезентативности. Размер обычно составляет 10 мм × 10 мм × 5 мм.

4.3.2 Используйте алмазный режущий диск для резки образца со скоростью резки <100 мм/мин, чтобы избежать появления трещин или термических повреждений.

4.3.3 Поверхность образца последовательно шлифовали наждачной бумагой (зернистость 400, 800, 1200), а затем полировали алмазной пастой до тех пор, пока поверхность не станет

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

гладкой.

Отсутствие явных царапин (шероховатость $Ra < 0,1$ мкм).

4.3.4 Очистите образец с помощью ультразвуковой мойки (время очистки 5 мин) для удаления поверхностных загрязнений и остатков полирующего средства.
Протирать сухой тряпкой для пыли.

4.3.5 Используйте реактив Мураками для травления поверхности образца (время травления 10-20 с) для выявления границ зерен WC.

Затем промойте дистиллированной водой и высушите.

4.4 Этапы тестирования

4.4.1 Метод линейного перехвата

4.4.1.1 Поместите образец под металлографический микроскоп и отрегулируйте увеличение (обычно 500 -кратное) так, чтобы границы зерен были четкими и видимыми.
Видеть.

4.4.1.2 Случайным образом выберите 3 поля зрения (каждое поле зрения имеет площадь приблизительно $0,1 \text{ мм}^2$).

4.4.1.3 Нарисуйте 10 случайных прямых линий (длиной около 100 мкм каждая) в каждом поле зрения и запишите расстояние между каждой прямой линией и центром обоняния.
Число пересечений границ зерен (N).

4.4.1.4 Рассчитаем среднюю длину отрезка:

L = общая длина прямой Общее количество точек пересечения

4.4.1.5 Размер зерна: $d = 1,56 \times L$

4.4.1.6 Рассчитайте средний размер зерна трех полей зрения в качестве конечного результата .

4.4.2 Анализ изображения

4.4.2.1 Поместите образец под металлографический микроскоп, отрегулируйте увеличение (обычно 500- кратное) и сделайте снимки трех полей зрения.
Микрофото.

4.4.2.2 Используйте программное обеспечение для анализа изображений, чтобы автоматически определить границы зерен WC и измерить размер не менее 100 зерен в каждом поле зрения .

дуюм.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.4.2.3 Рассчитайте средний размер зерна каждого поля зрения и возьмите среднее арифметическое трех полей зрения в качестве окончательного результата .

4.5 Примечания

- Время травления должно строго контролироваться. Слишком долгое время может привести к размыванию границ зерен, а слишком короткое время может не выявить границы зерен.
- Во время наблюдения убедитесь, что в поле зрения находится достаточное количество зерен (>100) для повышения статистической точности.
- В линейном методе перехвата линии должны быть распределены случайным образом, чтобы избежать смещения выбора.
- В методе анализа изображений параметры программного обеспечения необходимо калибровать для обеспечения точности измерений.

5. Расчет и представление результатов

5.1 Расчет размера зерна

- Метод линейного пересечения: размер зерна $d = 1,56 \times L$, где 1,56 — поправочный коэффициент.
- Метод анализа изображения: непосредственно взять средний размер зерна, рассчитанный программным обеспечением.

5.2 Результаты

Размер зерна выражается в микрометрах (мкм) с двумя знаками после запятой. Например: 0,85 мкм . При составлении отчета

Допускается отклонение метода (метод линейного пересечения или метод анализа изображений) и количества измерений в пределах $\pm 0,1$ мкм или $\pm 10\%$ (в зависимости от того, что больше).

в зависимости от того, что применимо).

6 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

- Номер образца и источник (например, марка материала, партия продукции).
- Дата проведения теста и кто его проводил.
- Условия эксперимента: увеличение микроскопа, количество полей зрения, травитель и время травления.
- Результаты теста:
 - Размер зерна (мкм) для каждого измерения.
 - Средний размер зерна (мкм).
 - Метод измерения (метод линейного перехвата или анализ изображений).
- Описание аномальных условий (таких как дефекты поверхности образца, трудности

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

измерения и т. д.).

- Подпись испытательного подразделения и ответственного лица.

Приложение А (Информационное приложение)

А.1 Таблица размеров зерен

Диапазон размеров зерна (мкм) Сорт Типичные области применения

<0,5 Сверхмелкозернистый режущий инструмент высокой твердости

0,5-1,0 Мелкозернистые универсальные режущие и износостойкие детали

1,0-2,0 Среднезернистая, балансирует твердость и прочность

>2.0 Крупнозернистые износостойкие детали, выдерживающие большие нагрузки

Таблица 1: Таблица размеров зерна

А.2 Инструкция по применению

- Размер зерна можно использовать в качестве ориентира для классификации характеристик материала, но его необходимо сочетать с реальными требованиями к применению.
- Для образцов с неравномерным распределением размеров зерен рекомендуется увеличить количество полей (до 5-10) для повышения репрезентативности.
- Если результаты двух методов существенно различаются, в качестве стандартного значения следует использовать метод линейного пересечения.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

приложение:

ИСО 4505:1978

Твердый сплав

Металлографическое определение пористости и свободного углерода

Предисловие

Настоящий стандарт устанавливает металлографический метод определения пористости и свободного углерода в твердом сплаве и предназначен для обеспечения

В настоящем стандарте приведены единые технические условия для контроля качества и оценки эксплуатационных характеристик твердого сплава WC-Co.

Анализ пористости и свободного углерода при производстве, исследовании и применении сплавов.

Этот стандарт был разработан Международной организацией по стандартизации (ISO) и впервые опубликован в 1978 году. Он применяется к карбиду вольфрама (WC).

Твердый сплав, основным компонентом которого является никель и который содержит металлическое связующее (например, кобальт).

Содержание

- 1 Область применения
- 2 Нормативные ссылки
- 3 Термины и определения
 - 3.1 Пористость
 - 3.2 Свободный углерод
 - 3.3 Металлографическое исследование
- 4 Метода испытаний
 - 4.1 Принцип
 - 4.2 Приборы и оборудование
 - 4.3 Подготовка образца
 - 4.4 Этапы тестирования
 - 4.5 Примечания
- 5 Оценка результатов
 - 5.1 Оценка пористости
 - 5.2 Бесплатная оценка выбросов углерода
- 6 Отчет об испытаниях

1 Область применения

В настоящем стандарте описывается металлографический метод определения пористости и свободного углерода в твердом сплаве с использованием метода наблюдения с помощью металлографического микроскопа, подходящий для

Для твердого сплава с карбидом вольфрама (WC) в качестве основного компонента и содержащего металлическую связку (например, кобальт). Метод включает образец

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Подготовка, микроскопическое наблюдение и оценка результатов.

Настоящий стандарт применяется для определения пористости и свободного углерода при контроле качества и оценке эксплуатационных характеристик изделий из твердого сплава.

Настоящий стандарт не применим к анализу покрытий из цементированного карбида или цементированных карбидов на основе не WC (например, керметов).

2 Нормативные ссылки

Данный стандарт не ссылается напрямую на другие международные стандарты, но связан с серией стандартов ISO 4499 «Металлографическое исследование твердого сплава».

Последнюю версию можно использовать в качестве справочного материала.

3 Термины и определения

К настоящему стандарту применяются следующие термины и определения.

3.1 Пористость

Объемная доля пор в твердом сплаве, выраженная в процентах (%), подразделяется на тип А (диаметр <10 мкм), тип В (диаметром 10–25 мкм) и тип С (поры, связанные со свободным углеродом).

3.2 Свободный углерод

Углерод в твердом сплаве, не образующий карбидов с металлом, существует в виде фазы С, обычно в виде черных частиц.

3.3 Металлографическое исследование

Наблюдайте микроструктуру полированной поверхности или после травления твердого сплава с помощью металлографического микроскопа, чтобы определить поры и свободный углерод.

4 Метода испытаний

4.1 Принцип

Исследовать полированную поверхность твердого сплава с помощью металлографического микроскопа, выявить и классифицировать поры и свободный углерод, а также

Количественную или качественную оценку можно провести с использованием численных методов.

4.2 Приборы и оборудование

- Металлургический микроскоп: увеличение от 100х до 500х, оснащен окуляром и объективом, с хорошим разрешением (<0,5 мкм).
- Полировальное оборудование: используется для полировки поверхности образца, полирующим агентом является алмазная паста (размер частиц 1-3 мкм).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Оборудование для очистки: используйте этанол или ацетон, оснащенный ультразвуковой очистительной машиной.

4.3 Подготовка образца

4.3.1 Образцы должны быть взяты из изделий из твердого сплава для обеспечения репрезентативности. Размер обычно составляет 10 мм × 10 мм × 5 мм.

4.3.2 Используйте алмазный режущий диск для резки образца со скоростью резки <100 мм/мин, чтобы избежать появления трещин или термических повреждений.

4.3.3 Поверхность образца последовательно шлифуют наждачной бумагой (зернистостью 400, 800, 1200), а затем полируют алмазной пастой до тех пор, пока поверхность не станет гладкой. Отсутствие явных царапин (шероховатость $R_a < 0,1$ мкм).

4.3.4 Очистите образец с помощью ультразвуковой мойки (время очистки 5 мин) для удаления поверхностных загрязнений и остатков полирующего средства. Протирать сухой тряпкой для пыли.

4.3.5 Поверхность образца не требует травления и может быть непосредственно использована для наблюдения за пористостью и свободным углеродом.

4.4 Этапы тестирования

4.4.1 Поместите образец под металлографический микроскоп и отрегулируйте увеличение (обычно 200-кратное), чтобы убедиться, что поры и свободный углерод прозрачны. Хорошо видно.

4.4.2 Случайным образом выберите 5 полей зрения (каждое поле зрения имеет площадь приблизительно $0,1 \text{ мм}^2$), наблюдайте и регистрируйте распределение пор и свободного углерода.

4.4.3 Определить по следующим категориям:

- Поры типа А: диаметр <10 мкм, круглая или неправильная форма.
- Поры типа В: диаметром 10–25 мкм, выглядят как более крупные отверстия.
- Поры типа С: связаны со свободным углеродом и распределены в виде черных частиц.

4.4.4 Подсчитайте количество пор и свободного углерода в каждом поле зрения или сравните и оцените со стандартным спектром.

4.5 Примечания

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Поверхность образца должна быть ровной и не иметь царапин и загрязнений, в противном случае пористость может быть оценена неверно.
- Избегайте помех от отражения света во время наблюдения и обеспечьте четкие границы между порами и свободным углеродом.
- Если распределение пор на поверхности образца неравномерное, увеличьте количество полей до 10 для улучшения репрезентативности.

5 Оценка результатов

5.1 Оценка пористости

Согласно ISO 4505:1978 пористость классифицируется по следующим уровням:

- A00: поры типа А отсутствуют;
- A02: поры типа А <2 / поле зрения;
- A04: 2-4 поры типа А/поле;
- B00: поры типа В отсутствуют;
- B02: поры типа В <2 / поле зрения;
- C00: поры типа С отсутствуют;
- C02: поры типа С <2 / поле зрения.

5.2 Бесплатная оценка выбросов углерода

Свободный углерод существует в форме пор С-типа, и его рейтинг соответствует рейтингу пор С-типа:

- C00: нет свободного углерода;
- C02: Свободный углерод <2 / поле зрения.

6 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

- Номер образца и источник (например, марка материала, партия продукции).
- Дата проведения теста и кто его проводил.
- Условия эксперимента: кратность микроскопа, количество полей зрения.
- Результаты теста:
 - Класс пористости (тип А, тип В, тип С).
 - Описание распределения свободного углерода.
- Описание аномальных состояний (таких как дефекты поверхности образца, трудности наблюдения и т. д.).
- Подпись испытательного подразделения и ответственного лица.

Приложение А (Информационное приложение)

А.1 Диаграмма характеристик пористости и свободного углерода

Ниже приведен справочный график пористости и свободного углерода:

- Поры типа А: диаметр <10 мкм, рассеянные, округлые или неправильной формы.
- Поры типа В: диаметром 10–25 мкм, выглядят как крупные изолированные отверстия.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Поры типа С (свободный углерод): черные зернистые, связанные с порами типа А или типа В.

A.2 Инструкция по применению

- Оценки пористости и свободного углерода должны основываться на среднем значении 5 полей зрения.
- Если обнаружено больше пор типа С, рекомендуется провести дополнительный анализ химического состава, чтобы проверить, является ли содержание углерода недостаточным.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

ИСО 3326:2013

Методы отбора проб и подготовки образцов из цементированного карбида

Предисловие

В настоящем стандарте указаны методы отбора проб и подготовки образцов для твердого сплава. Он предназначен для обеспечения

Предоставить единые технические спецификации для последующих испытаний эксплуатационных характеристик (таких как металлографические исследования, измерение твердости и анализ размера зерна) высококачественных сплавов.

стандарт распространяется на отбор проб и подготовку образцов при производстве, контроле качества, исследованиях и применении твердого сплава.

Этот стандарт был разработан Международной организацией по стандартизации (ИСО) и впервые опубликован в 2013 году, заменив ISO 3326:1975.

Это объединяет потребности современной отрасли по производству твердосплавных изделий с развитием технологий испытаний.

Содержание

1 Область применения

2 Нормативные ссылки

3 Термины и определения

3.1 Отбор проб

3.2 Образец для испытаний

3.3 Полированная поверхность

3.4 Репрезентативность

4 Методы отбора проб

4.1 Принципы отбора проб

4.2 Процедуры отбора проб

4.3 Примечания

5. Метод подготовки образца

5.1 Принципы подготовки

5.2 Подготовительные этапы

5.3 Применимость

5.4 Примечания

6 Требования к качеству

7 Отчет об испытаниях

1 Область применения

В настоящем стандарте указаны методы отбора и подготовки проб для твердого сплава, которые применимы к твердому сплаву, основным компонентом которого является карбид вольфрама (WC).

Твердый сплав, содержащий металлическую связку, такую как кобальт. Метод включает взятие образца из твердосплавного продукта или сырья и подготовку

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Образцы для металлографического определения твердости, плотности и размера зерна.

Настоящий стандарт распространяется на контроль качества, эксплуатационные испытания и исследования в процессе производства твердого сплава.

Настоящий стандарт не распространяется на отбор проб и подготовку покрытий из твердых сплавов или твердых сплавов на основе не WC (например, металлокерамики).

2 Нормативные ссылки

Пункты следующих документов становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки на них в настоящем стандарте.

Для любого недатированного ссылочного документа применяется последняя редакция (включая все поправки).

Этот стандарт.

- ISO 4499-1:2008 Методы металлографического исследования твердых сплавов. Часть 1. Общие положения
- ISO 4505:2017 Металлографическое определение пористости и свободного углерода в твердых сплавах
- ISO 3327:2009 Определение плотности твердого сплава

3 Термины и определения

К настоящему стандарту применяются следующие термины и определения.

3.1 Отбор проб

Выберите репрезентативные детали из изделий из твердого сплава или сырья для последующего испытания производительности.

3.2 Образец для испытаний

После отбора проб и подготовки образцы твердого сплава соответствуют определенным требованиям испытаний.

3.3 Полированная поверхность

После механической или химической обработки поверхность образца гладкая, без явных царапин и дефектов, что пригодно для металлографического исследования.

Наблюдать.

3.4 Репрезентативность

Степень, в которой образец отражает общие характеристики исходного материала с точки зрения размера, структуры и состава.

4 Методы отбора проб

4.1 Принципы отбора проб

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.1.1 Отбор проб должен обеспечивать репрезентативность образцов и охватывать однородность и потенциальные дефекты продукции или сырья.

4.1.2 Место отбора проб должно избегать краевых эффектов или зон, подверженных воздействию обработки.

4.2 Процедуры отбора проб

4.2.1 Отбор проб из готовой продукции:

1-2 образца в продольном и поперечном направлениях. Длина образца равна диаметру изделия.

умножить на диаметр или толщину, а ширина не менее 5 мм.

— Для изделий сложной формы выберите репрезентативный участок и вырежьте деталь размером 10 мм × 10 мм × 5 мм.

Образец.

4.2.2 Отбор проб из сырья:

— Случайным образом выберите из порошка или предварительно спеченного сырого тела массу не менее 50 г, тщательно перемешайте и приготовьте небольшие образцы для испытаний.

Образец .

4.2.3 Режущий инструмент: используйте алмазный режущий диск со скоростью резки <100 мм/мин, чтобы избежать термических повреждений или трещин.

4.3 Примечания

- Избегайте загрязнения (например, маслом или пылью) во время отбора проб.
- Если твердость изделий сильно различается, увеличьте количество точек отбора проб до 5-10 .

5. Метод подготовки образца

5.1 Принципы подготовки

5.1.1 Образцы должны быть подготовлены с ровной, бездефектной поверхностью, пригодной для последующих испытаний.

5.1.2 Процесс подготовки должен сводить к минимуму повреждение материала, такое как трещины или структурная деформация.

5.2 Подготовительные этапы

5.2.1 Первоначальная резка:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

– Обработайте образец алмазным отрезным кругом до необходимого размера толщиной не менее 5 мм.

5.2.2 Грубый помол:

– Отшлифуйте поверхность образца наждачной бумагой (зернистость 400, 800), чтобы удалить следы резки.

5.2.3 Тонкая шлифовка и полировка:

– Дальнейшая шлифовка наждачной бумагой зернистостью 1200 с последующей полировкой алмазной пастой (зернистостью 1-3 мкм) на полировальной машинке
Полировать до шероховатости $Ra < 0,1$ мкм.

5.2.4 Очистка:

– Очистите образец в ультразвуковой ванне (этанол или ацетон, 5 мин), чтобы удалить остатки полирующего средства и
Вытрите насухо тканью.

5.2.5 Травление (опционально):

– Если требуется металлографическое наблюдение, используйте реагент Мураками (10% KOH + 10% $K[Fe(CN)]$ водный раствор)
Протравите поверхность (10–20 с), затем промойте дистиллированной водой и высушите.

5.3 Применимость

- Металлографический контроль: необходимо отполировать до зеркального блеска и при необходимости протравить.
- Испытание на твердость: толщина должна быть не менее 1,5 глубины вдавливания, а поверхность должна быть плоской.
- Определение плотности: Образец имеет правильную форму (например, куб или цилиндр) и не имеет пор.

5.4 Примечания

- Избегайте перегрева во время полировки, чтобы предотвратить структурные изменения.
- Края образца должны быть скошены, чтобы предотвратить распространение трещин.
- Если на поверхности образца появились царапины, его необходимо отполировать повторно.

6 Требования к качеству

- 6.1 Поверхность образца не должна иметь видимых царапин, трещин или загрязнений.
- 6.2 Допуск на размер образца составляет $\pm 0,1$ мм, а на плоскостность — $< 0,05$ мм.
- 6.3 Шероховатость поверхности после полировки составляет $Ra < 0,1$ мкм, что пригодно для высокоточного контроля.

7 Отчет об испытаниях

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

- Номер образца и источник (например, марка материала, партия продукции).
- Дата взятия образца и кто его подготовил.
- Методы отбора проб: место, количество, инструменты.
- Процесс подготовки: резка, шлифовка, полировка, условия очистки.
- Качество образца: размер, состояние поверхности.
- Описание ненормальной ситуации (например, повреждение, загрязнение и т. д.).
- Подпись испытательного подразделения и ответственного лица.

Приложение А (Информационное приложение)

A.1 Примеры отбора и подготовки проб

- Отбор проб: два образца толщиной 10 мм были вырезаны продольно из прутка диаметром 20 мм и подготовлены как 10 мм × 10 мм × 5 мм.
- Отбор образцов из пластины: случайным образом отберите 4 образца размером 10 мм × 10 мм из пластины толщиной 5 мм.
- Процесс полировки: наждачная бумага зернистостью 400 2 мин, наждачная бумага зернистостью 800 2 мин, наждачная бумага зернистостью 1200 3 мин, полировка алмазной пастой 5 мин.

A.2 Инструкция по применению

- Точки отбора проб должны регистрироваться для удобства отслеживания.
- Для многофазного твердого сплава обратите внимание на равномерность распределения каждой фазы во время подготовки.
- Если требования к последующим испытаниям будут другими, степень полировки можно скорректировать.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

ASTM B657-16

Анализ микроструктуры твердого сплава

Предисловие

В настоящем стандарте описывается метод анализа микроструктуры твердого сплава с целью обеспечения

Настоящий стандарт применим к производству твердого сплава, контролю качества, Микроструктурный анализ в исследованиях и приложениях.

Этот стандарт был разработан Американским обществом по испытаниям и материалам (ASTM) и опубликован в 2016 году, заменив ASTM B657-11.

версия, сочетающая потребности современной промышленности по производству твердосплавных материалов с развитием микроаналитических методов.

Содержание

1 Область применения

2 Нормативные ссылки

3 Термины и определения

3.1 Твердый сплав

3.2 Микроструктура

3.3 Фаза связующего

3.4 Пористость

3.5 Свободный углерод

4 Метода испытаний

4.1 Принцип

4.2 Приборы и оборудование

4.3 Подготовка образца

4.4 Этапы тестирования

4.5 Примечания

5 Оценка результатов

5.1 Микроструктурные характеристики

5.2 Факторы влияния

6 Отчет об испытаниях

1 Область применения

В настоящем стандарте указан метод анализа микроструктуры твердого сплава с использованием метода наблюдения с помощью металлографического микроскопа, применимый к карбиду вольфрама.

(WC) в качестве основного компонента и содержащего металлическое связующее (например, кобальт). Метод включает подготовку образца, микроскопическое наблюдение

Наблюдение и идентификация микроструктурных особенностей.

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

Настоящий стандарт применим к контролю качества, оценке эксплуатационных характеристик и анализу микроструктуры при исследовании изделий из твердого сплава.

Настоящий стандарт не применим к микроструктурному анализу покрытий из твердых сплавов или твердых сплавов на основе не WC (например, керметов).

Примечание: Этот стандарт не затрагивает вопросы безопасности. Пользователи должны принять необходимые меры безопасности в соответствии с экспериментальными условиями.

2 Нормативные ссылки

Пункты следующих документов становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки на них в настоящем стандарте.

Для любого недатированного ссылочного документа применяется последняя редакция (включая все поправки).

Этот стандарт.

- ASTM E3 Методы подготовки металлографических образцов металлических материалов
- ASTM E7 Стандартная терминология для металлографии
- ASTM E112 Метод определения среднего размера зерна

3 Термины и определения

К настоящему стандарту применяются следующие термины и определения.

3.1 Твердый сплав

Композитный материал, изготовленный из частиц карбида вольфрама (WC) и металлического связующего (например, кобальта) методом порошковой металлургии.

3.2 Микроструктура

Структурные характеристики твердого сплава, наблюдаемые под металлографическим микроскопом, включают зерна WC, связующие фазы и дефекты (такие как поры, свободный углерод).

3.3 Фаза связующего

Металлической фазой, связывающей частицы WC в твердом сплаве, обычно является кобальт (Co), распределенный непрерывно или полунепрерывно.

3.4 Пористость

Крошечные отверстия в твердом сплаве подразделяются на тип А (<10 мкм), тип В (10–25 мкм) и тип С в зависимости от их размера.
(относится к свободному углероду).

3.5 Свободный углерод

Углерод в твердом сплаве, не образующий карбидов с металлом, распределен в виде черных частиц.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4 Метода испытаний

4.1 Принцип

Полированное и протравленное поперечное сечение твердого сплава исследовалось с помощью металлографического микроскопа для определения зерен WC, связующей фазы, пор и

Микроструктурные характеристики, такие как свободный углерод.

4.2 Приборы и оборудование

- Металлургический микроскоп: увеличение от 100х до 1000х, разрешение $<0,5$ мкм.
- Полировальное оборудование: Полировальным агентом является алмазная паста (размер частиц 1-3 мкм).
- Травитель: реагент Мураками (10% KOH + 10% K[Fe(CN)] в воде).
- Оборудование для очистки: ультразвуковая чистящая машина с использованием этанола или ацетона.

4.3 Подготовка образца

4.3.1 Образцы должны быть взяты из изделий из твердого сплава для обеспечения репрезентативности. Размер обычно составляет 10 мм × 10 мм × 5 мм.

4.3.2 Используйте алмазный режущий диск для резки образца со скоростью резки <100 мм/мин, чтобы избежать появления трещин или термических повреждений.

4.3.3 Поверхность образца последовательно шлифовали наждачной бумагой (зернистость 400, 800, 1200), а затем полировали алмазной пастой до тех пор, пока поверхность не станет однородной.

Шероховатость $Ra < 0,1$ мкм.

4.3.4 Очистите образец с помощью ультразвуковой мойки (время очистки 5 мин) для удаления поверхностных загрязнений и остатков полирующего средства.

Протирать сухой тряпкой для пыли.

4.3.5 Протравить поверхность образца с помощью реагента Мураками (время травления 10-20 с) для выявления границ зерен WC и

Затем микроструктурные элементы промывали дистиллированной водой и высушивали.

4.4 Этапы тестирования

4.4.1 Поместите образец под металлографический микроскоп, отрегулируйте увеличение (обычно 500-кратное) и рассмотрите микроструктуру.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.4.2 Случайным образом выберите 5 полей зрения (каждое поле зрения имеет площадь приблизительно 0,1 мм²) и запишите следующие характеристики:

- Размер и распределение зерен WC.
- Распределение и морфология связующей фазы.
- Тип и количество пор (тип А, тип В, тип С).
- Наличие и распределение свободного углерода.

4.4.3 Сравните со стандартным атласом микроструктуры и оцените микроструктурные характеристики.

4.5 Примечания

- Время травления должно строго контролироваться. Слишком долгое может привести к размытию границ зерен, а слишком короткое может не выявить структурные особенности.
- Убедитесь, что в поле зрения достаточно зерен (>100) для повышения статистической точности.
- Если микроструктура распределена неравномерно, увеличьте количество полей до 10.

5 Оценка результатов

5.1 Микроструктурные характеристики

- Зерна WC: оценить размер зерен (ультрамелкие зерна <0,5 мкм, мелкие зерна 0,5-1,0 мкм, средние зерна 1,0-2,0 мкм, крупные зерна (>2,0 мкм) и равномерность распределения.
- Фаза связующего: описывает непрерывность фазы кобальта (гомогенная, прерывистая или агломерированная).
- Пористость: классифицируется по типу А, типу В и типу С и оценивается (А00: поры типа А отсутствуют; А02: <2 поле; В00: поры типа В отсутствуют; С00: поры типа С отсутствуют).
- Свободный углерод: оцените наличие и распределение (С00: свободного углерода нет; С02: <2 на поле зрения).

5.2 Факторы влияния

Микроструктура влияет на механические и физические свойства твердого сплава:

- Меньший размер зерна обычно увеличивает твердость и износостойкость, но может снизить прочность.
- Повышенная пористость может снизить прочность и долговечность.
- Избыток свободного углерода может привести к охрупчиванию материала.

6 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

- Номер образца и источник (например, марка материала, партия продукции).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Дата проведения теста и кто его проводил.
- Условия эксперимента: увеличение микроскопа, количество полей зрения, условия травления.
- Результаты теста:
 - Описание размера и распределения зерен WC.
 - Морфология связующей фазы.
 - Оценка пористости и свободного углерода.
- Описание аномальных состояний (таких как дефекты поверхности образца, трудности наблюдения и т. д.).
- Подпись испытательного подразделения и ответственного лица.

Приложение А (Информационное приложение)

А.1 Характеристики микроструктуры

- Сверхтонкая зернистая структура: размер зерна $<0,5$ мкм, равномерное распределение и непрерывная фаза связывания.
- Типы пор: Тип А (<10 мкм), Тип В (10-25 мкм), Тип С (черные зернистые).
- Свободный углерод: черный гранулированный, часто с порами типа С.

А.2 Инструкция по применению

- Этот стандарт используется только для микроструктурной идентификации и не предназначен для использования в качестве приемочной спецификации для марок твердого сплава.
- Производители и пользователи могут разрабатывать собственные спецификации на основе микроструктурной информации.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

ИСО 4489:2009

Руководство по процессу спекания твердого сплава

Предисловие

В настоящем стандарте даются рекомендации по процессу спекания твердого сплава, направленные на твердый сплав (в основном карбид вольфрама и кобальта).

Настоящий стандарт применим к оптимизации процесса спекания и контролю качества при производстве твердого сплава.

Улучшения управления и производительности.

Этот стандарт был разработан Международной организацией по стандартизации (ИСО) и опубликован в 2009 году, заменив версию ISO 4489:1978.

Он сочетает в себе развитие современных технологий агломерации и потребности промышленности.

Содержание

1 Область применения

2 Нормативные ссылки

3 Термины и определения

3.1 Спекание

3.2 Жидкофазное спекание

3.3 Зеленый Компакт

3.4 Плотность после спекания

4 Обзор процесса спекания

4.1 Принцип процесса

4.2 Поток процесса

5 Параметры процесса спекания

5.1 Температура

5.2 Атмосфера

5.3 Время

5.4 Давление (необязательно)

5.5 Примечания

6. Контроль процесса и обеспечение качества

6.1 Онлайн-мониторинг

6.2 Проверка качества

6.3 Обработка исключений

7 Отчет об испытаниях

1 Область применения

Настоящий стандарт определяет метод спекания твердого сплава и применим к твердому сплаву с карбидом вольфрама (WC) в качестве основного компонента и содержащему

Твердый сплав с металлическим связующим (например, кобальтом). Метод включает подготовку перед спеканием, контроль процесса спекания и свойства после спекания.

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

Оценивать.

Настоящий стандарт применим к оптимизации процесса спекания, контролю качества и исследованиям в процессе производства твердого сплава.

Настоящий стандарт не распространяется на процесс спекания покрытий из твердых сплавов или твердых сплавов на основе не WC (например, металлокерамики).

2 Нормативные ссылки

Пункты следующих документов становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки на них в настоящем стандарте.

Для любого недатированного ссылочного документа применяется последняя редакция (включая все поправки).

Этот стандарт.

- ISO 3326:2013 Методы отбора проб и подготовки образцов для испытаний твердых сплавов
- ISO 4505:2017 Металлографическое определение пористости и свободного углерода в твердых сплавах
- ISO 4499-1:2008 Методы металлографического исследования твердых сплавов. Часть 1. Общие положения

3 Термины и определения

К настоящему стандарту применяются следующие термины и определения.

3.1 Спекание

Процесс нагрева и прессования твердосплавного порошкового тела для образования металлургической связи между частицами. Температура обычно ниже Температура плавления основного компонента.

3.2 Жидкофазное спекание

В процессе спекания часть связующего (например, кобальта) переходит в жидкую фазу, способствуя перегруппировке частиц и уплотнению.

3.3 Зеленый Компакт

Неспеченное сырое тело , полученное путем прессования порошка, имеет определенную начальную прочность.

3.4 Плотность после спекания

Фактическая плотность твердого сплава после спекания обычно выражается в процентах от теоретической плотности.

4 Обзор процесса спекания

4.1 Принцип процесса

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Спекание осуществляется путем нагревания сырой заготовки до температуры ниже точки плавления WC (около 2870°C) для расплавления кобальтового связующего и образования Жидкая фаза способствует диффузии и связыванию частиц WC и в конечном итоге образует плотную структуру цементированного карбида.

4.2 Поток процесса

4.2.1 Приготовление порошка: Смешайте порошок WC и порошок кобальта, размер частиц должен составлять 0,5–5 мкм, а содержание кобальта обычно составляет 6–15%.

4.2.2 Прессование: Порошок прессуется в сырую заготовку под давлением в диапазоне 100–400 МПа.

4.2.3 Депарафинизация: удаление прессовочной смазки при низкой температуре (300–600°C).

Нагреть до 1350–1500 °C в вакууме или защитной атмосфере (например, H₂ или Ar) и поддерживать в тепле в течение 30–60 минут.

4.2.5 Охлаждение: Контролируйте скорость охлаждения (5–20 °C/мин), чтобы избежать растрескивания под действием термических напряжений.

5 Параметры процесса спекания

5.1 Температура

- Диапазон температур спекания: 1350–1500°C, в зависимости от содержания кобальта и размера зерна WC.
- Температура образования жидкой фазы: около 1300°C (температура плавления кобальта), необходимо обеспечить соотношение жидкой фазы 20%–40%.

5.2 Атмосфера

- Вакуумное спекание: давление <10sup -2P аH₂ или Ar , точка росы <-40°C, для предотвращения окисления.

5.3 Время

- Время горячей выдержки: 30–60 минут. Слишком долгое время может привести к росту зерна.
- Полный цикл: 4–6 часов, включая нагрев и охлаждение.

5.4 Давление (необязательно)

- Горячее изостатическое прессование (ГИП): после спекания применяется давление 100–200 МПа для дальнейшего увеличения плотности до 98–99%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.5 Примечания

- Избегайте высоких температур, которые могут вызвать разложение WC или чрезмерное карбонизацию.
- Контролируйте влажность воздуха, чтобы предотвратить окисление или обезуглероживание.

6. Контроль процесса и обеспечение качества

6.1 Онлайн-мониторинг

- Точность контроля температуры $\pm 5^{\circ}\text{C}$, контроль атмосферного давления.
- Измерение плотности: плотность сырой заготовки $> 50\%$ теоретической плотности, плотность спеченной заготовки $> 90\%$.

6.2 Проверка качества

- Металлографический анализ: проверка пористости (A00-B00) и свободного углерода (C00).
- Испытание на твердость: HRA88 (в зависимости от марки).

6.3 Обработка исключений

- Если плотность недостаточна, отрегулируйте содержание кобальта или проведите обработку HIP.
- Если зерна слишком крупные, снизьте температуру спекания или сократите время выдержки.

7 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

- Номер образца и источник (например, марка материала, партия продукции).
- Дата спекания и оператор.
- Параметры процесса: температура, атмосфера, время, давление.
- Результаты спекания: плотность, твердость, металлографическая структура.
- Описание аномальных состояний (таких как трещины, поры и т. д.).
- Подпись испытательного подразделения и ответственного лица.

Приложение А (Информационное приложение)

A.1 Пример процесса спекания

- Марка: YG6 (содержит 6% кобальта)
 - Давление прессования: 200 МПа
 - Температура спекания: 1420°C
 - Атмосфера: вакуум (10^{-3}Pa а40min)
 - Плотность: $14,8\text{ г/см}^3$ (98% теоретической плотности)
- Марка: YG15 (содержит 15% кобальта)
 - Давление прессования: 300 МПа
 - Температура спекания: 1450°C

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Атмосфера: H₂ (точка росы -50°C)
- Время выдержки: 50 мин.
- Плотность: 13,9 г/см³ (97% теоретической плотности)

A.2 Инструкция по применению

- Параметры спекания необходимо корректировать в соответствии с конкретными марками и оборудованием.
- Рекомендуется сочетать с обработкой HIP для улучшения плотности и производительности.

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 B657-16

Анализ микроструктуры твердого сплава

Предисловие

В настоящем стандарте описывается метод анализа микроструктуры твердого сплава с целью обеспечения

Настоящий стандарт применим к производству твердого сплава, контролю качества, Микроструктурный анализ в исследованиях и приложениях.

Этот стандарт был разработан Американским обществом по испытаниям и материалам (ASTM) и опубликован в 2016 году, заменив ASTM B657-11.

версия, сочетающая потребности современной промышленности по производству твердосплавных материалов с развитием микроаналитических методов.

Содержание

1 Область применения

2 Нормативные ссылки

3 Термины и определения

3.1 Твердый сплав

3.2 Микроструктура

3.3 Фаза связующего

3.4 Пористость

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

3.5 Свободный углерод

4 Методы испытаний

4.1 Принцип

4.2 Приборы и оборудование

4.3 Подготовка образца

4.4 Этапы тестирования

4.5 Примечания

5 Оценка результатов

5.1 Микроструктурные характеристики

5.2 Факторы влияния

6 Отчет об испытаниях

1 Область применения

В настоящем стандарте указан метод анализа микроструктуры твердого сплава с использованием метода наблюдения с помощью металлографического микроскопа, применимый к карбиду вольфрама.

(WC) в качестве основного компонента и содержащего металлическое связующее (например, кобальт). Метод включает подготовку образца, микроскопическое наблюдение

Наблюдение и идентификация микроструктурных особенностей.

Настоящий стандарт применим к контролю качества, оценке эксплуатационных характеристик и анализу микроструктуры при исследовании изделий из твердого сплава.

Настоящий стандарт не применим к микроструктурному анализу покрытий из твердых сплавов или твердых сплавов на основе не WC (например, керметов).

Примечание: Этот стандарт не затрагивает вопросы безопасности. Пользователи должны принять необходимые меры безопасности в соответствии с экспериментальными условиями.

2 Нормативные ссылки

Пункты следующих документов становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки на них в настоящем стандарте.

Для любого недатированного ссылочного документа применяется последняя редакция (включая все поправки).

Этот стандарт.

- ASTM E3 Методы подготовки металлографических образцов металлических материалов
- ASTM E7 Стандартная терминология для металлографии
- ASTM E112 Метод определения среднего размера зерна

3 Термины и определения

К настоящему стандарту применяются следующие термины и определения.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.1 Твердый сплав

Композитный материал, изготовленный из частиц карбида вольфрама (WC) и металлического связующего (например, кобальта) методом порошковой металлургии.

3.2 Микроструктура

Структурные характеристики твердого сплава, наблюдаемые под металлографическим микроскопом, включают зерна WC, связующие фазы и дефекты (такие как поры, свободный углерод).

3.3 Фаза связующего

Металлической фазой, связывающей частицы WC в твердом сплаве, обычно является кобальт (Co), распределенный непрерывно или полунепрерывно.

3.4 Пористость

Крошечные отверстия в твердом сплаве подразделяются на тип А (<10 мкм), тип В (10–25 мкм) и тип С в зависимости от их размера.
(относится к свободному углероду).

3.5 Свободный углерод

Углерод в твердом сплаве, не образующий карбидов с металлом, распределен в виде черных частиц.

4 Метода испытаний

4.1 Принцип

Полированное и протравленное поперечное сечение твердого сплава исследовалось с помощью металлографического микроскопа для определения зерен WC, связующей фазы, пор и

Микроструктурные характеристики, такие как свободный углерод.

4.2 Приборы и оборудование

- Металлургический микроскоп: увеличение от 100х до 1000х, разрешение <0,5 мкм.
- Полировальное оборудование: Полировальным агентом является алмазная паста (размер частиц 1-3 мкм).
- Травитель: реагент Мураками (10% KOH + 10% K[Fe(CN)] в воде).
- Оборудование для очистки: ультразвуковая чистящая машина с использованием этанола или ацетона.

4.3 Подготовка образца

4.3.1 Образцы должны быть взяты из изделий из твердого сплава для обеспечения репрезентативности. Размер обычно составляет 10 мм × 10 мм × 5

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

мм.

4.3.2 Используйте алмазный режущий диск для резки образца со скоростью резки <100 мм/мин, чтобы избежать появления трещин или термических повреждений.

4.3.3 Поверхность образца последовательно шлифовали наждачной бумагой (зернистость 400, 800, 1200), а затем полировали алмазной пастой до тех пор, пока поверхность не станет однородной.

Шероховатость $Ra < 0,1$ мкм.

4.3.4 Очистите образец с помощью ультразвуковой мойки (время очистки 5 мин) для удаления поверхностных загрязнений и остатков полирующего средства.

Протирать сухой тряпкой для пыли.

4.3.5 Протравить поверхность образца с помощью реактива Мураками (время травления 10-20 с) для выявления границ зерен WC и

Затем микроструктурные элементы промывали дистиллированной водой и высушивали.

4.4 Этапы тестирования

4.4.1 Поместите образец под металлографический микроскоп, отрегулируйте увеличение (обычно 500- кратное) и рассмотрите микроструктуру.

4.4.2 Случайным образом выберите 5 полей зрения (каждое поле зрения имеет площадь приблизительно 0,1 мм²) и запишите следующие характеристики:

- Размер и распределение зерен WC.
- Распределение и морфология связующей фазы.
- Тип и количество пор (тип А, тип В, тип С).
- Наличие и распределение свободного углерода.

4.4.3 Сравните со стандартным атласом микроструктуры и оцените микроструктурные характеристики.

4.5 Примечания

- Время травления должно строго контролироваться. Слишком большое время может привести к размытию границ зерен, а слишком короткое время может не выявить структурные особенности.
- Убедитесь, что в поле зрения достаточно зерен (>100) для повышения статистической точности.
- Если микроструктура распределена неравномерно, увеличьте количество полей до 10.

5 Оценка результатов

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

5.1 Микроструктурные характеристики

- Зерна WC: оценить размер зерен (ультрамелкие зерна <0,5 мкм, мелкие зерна 0,5-1,0 мкм, средние зерна 1,0-2,0 мкм, крупные зерна (>2,0 мкм) и равномерность распределения.
- Фаза связующего: описывает непрерывность фазы кобальта (гомогенная, прерывистая или агломерированная).
- Пористость: классифицируется по типу А, типу В и типу С и оценивается (А00: поры типа А отсутствуют; А02: <2 поле; В00: поры типа В отсутствуют; С00: поры типа С отсутствуют).
- Свободный углерод: оцените наличие и распределение (С00: свободного углерода нет; С02: <2 на поле зрения).

5.2 Факторы влияния

Микроструктура влияет на механические и физические свойства твердого сплава:

- Меньший размер зерна обычно увеличивает твердость и износостойкость, но может снизить прочность.
- Повышенная пористость может снизить прочность и долговечность.
- Избыток свободного углерода может привести к охрупчиванию материала.

6 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

- Номер образца и источник (например, марка материала, партия продукции).
- Дата проведения теста и кто его проводил.
- Условия эксперимента: увеличение микроскопа, количество полей зрения, условия травления.
- Результаты теста:
 - Описание размера и распределения зерен WC.
 - Морфология связующей фазы.
 - Оценка пористости и свободного углерода.
- Описание аномальных состояний (таких как дефекты поверхности образца, трудности наблюдения и т. д.).
- Подпись испытательного подразделения и ответственного лица.

Приложение А (Информационное приложение)

А.1 Характеристики микроструктуры

- Сверхтонкая зернистая структура: размер зерна <0,5 мкм, равномерное распределение и непрерывная фаза связывания.
- Типы пор: Тип А (<10 мкм), Тип В (10-25 мкм), Тип С (черные зернистые).
- Свободный углерод: черный гранулированный, часто с порами типа С.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

A.2 Инструкция по применению

- Этот стандарт используется только для микроструктурной идентификации и не предназначен для использования в качестве приемочной спецификации для марок твердого сплава.
- Производители и пользователи могут разрабатывать собственные спецификации на основе микроструктурной информации.

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 3850-2015

Определение теоретической плотности твердого сплава

Предисловие

В настоящем стандарте описывается метод определения теоретической плотности твердого сплава с целью обеспечения

Настоящий стандарт применим к производству твердого сплава, контролю качества, Теоретическое определение плотности в исследованиях и приложениях.

Этот стандарт был разработан Управлением по стандартизации Китая и выпущен в 2015 году, заменив GB/T 3850-1983.

версия, сочетающая потребности современной промышленности по производству твердосплавных изделий с развитием технологии теоретического расчета плотности.

Содержание

1 Область применения

2 Нормативные ссылки

3 Термины и определения

3.1 Теоретическая плотность

3.2 Твердый сплав

3.3 Кристаллическая структура

3.4 Массовая доля

4 Метода испытаний

4.1 Принцип

4.2 Приборы и оборудование

4.3 Подготовка образца

4.4 Этапы тестирования

4.5 Примечания

5 Метод расчета

5.1 Формула расчета

5.2 Теоретическая плотность каждой фазы

5.3 Этапы расчета

6 Оценка результатов

7 Отчет об испытаниях

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает метод определения теоретической плотности твердого сплава и применим к твердому сплаву с карбидом вольфрама (WC) в качестве основного компонента и содержащему

Твердый сплав с металлическим связующим, таким как кобальт. Метод включает расчет теоретической плотности с использованием анализа состава и данных кристаллической структуры.

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

степень и вспомогательные методы, проверенные экспериментами.

Настоящий стандарт применим к контролю качества, оценке производительности и определению теоретической плотности в ходе исследований при производстве твердого сплава.

Настоящий стандарт не применим к определению теоретической плотности покрытий из твердых сплавов или твердых сплавов на основе не WC (например, керметов).

2 Нормативные ссылки

Пункты следующих документов становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки на них в настоящем стандарте.

Для любого недатированного ссылочного документа применяется последняя редакция (включая все поправки).

Этот стандарт.

- GB/T 3848-2015 Определение химического состава твердого сплава
- GB/T 4499-2008 Метод металлографического контроля твердого сплава
- GB/T 3327-2009 Определение плотности твердого сплава

3 Термины и определения

К настоящему стандарту применяются следующие термины и определения.

3.1 Теоретическая плотность

Идеальная плотность рассчитывается на основе химического состава и кристаллической структуры твердого сплава в г/см³.

3.2 Твердый сплав

Композитный материал, изготовленный из частиц карбида вольфрама (WC) и металлического связующего (например, кобальта) методом порошковой металлургии.

3.3 Кристаллическая структура

Атомное расположение каждой фазы (например, WC и Co) в твердом сплаве обычно определяется методом рентгеновской дифракции (XRD).

3.4 Массовая доля

Процентное содержание массы определенного компонента в твердом сплаве по отношению к общей массе, в %.

4 Метода испытаний

4.1 Принцип

Теоретическая плотность рассчитывается на основе химического состава твердого сплава и данных о кристаллической структуре каждой фазы.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Плотность каждой фазы определяется на основе известных параметров кристаллической структуры.

4.2 Приборы и оборудование

- Рентгеновский дифрактометр (XRD): используется для определения параметров кристаллической структуры.
- Оборудование для химического анализа: используется для определения состава твердого сплава (например, массовой доли WC и Co).
- Вычислительное оборудование: используется для расчета теоретической плотности.

4.3 Подготовка образца

4.3.1 Образцы должны быть взяты из изделий из твердого сплава для обеспечения репрезентативности. Размер обычно составляет 10 мм × 10 мм × 5 мм.

4.3.2 Поверхность образца должна быть чистой и не содержать масла или других загрязнений.

4.3.3 Если требуется проведение рентгеноструктурного анализа, поверхность образца должна быть отполирована до шероховатости $Ra < 0,1$ мкм.

4.4 Этапы тестирования

4.4.1 Анализ компонентов:

- Определите массовую долю каждого компонента в твердом сплаве (например, WC, Co и его другие микроэлементы).
- Запишите массовую долю каждого компонента с точностью до 0,01%.

4.4.2 Определение кристаллической структуры:

- Рентгеновская дифракция использовалась для определения параметров кристаллической структуры (таких как объем элементарной ячейки) WC и Co в твердом сплаве.
- Подтвердите гексагональную структуру WC ($a=2,906 \text{ \AA}$, $c=2,837 \text{ \AA}$) и гранецентрированную кубическую структуру Co ($a=3,544 \text{ \AA}$).
- Если существуют другие фазы (например, фазы), необходимо также определить их кристаллические структуры.

4.4.3 Расчет теоретической плотности:

- Рассчитайте теоретическую плотность на основе данных о составе и кристаллической структуре (подробности см. в разделе 5).

4.5 Примечания

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Анализ состава следует повторить не менее 3 раз и взять среднее значение для повышения точности.
- Измерения рентгеновской дифракции следует проводить в условиях отсутствия напряжений, чтобы избежать искажения решетки, вызванного обработкой образца.
- Если в твердом сплаве присутствуют следы примесей, необходимо оценить их влияние на теоретическую плотность.

5 Метод расчета

5.1 Формула расчета

Теоретическая плотность (ρ) твердого сплава рассчитывается по следующей формуле:

$$\rho = \frac{\sum (w_i \cdot \rho_i)}{\sum w_i}$$

В:

- ρ : теоретическая плотность твердого сплава, в г/см³;
- w_i : массовая доля i -го компонент, единица измерения: %
- ρ_i : теоретическая плотность i -го компонент, в г/см³.

5.2 Теоретическая плотность каждой фазы

- Теоретическая плотность WC: 15,63 г/см³ (на основе параметров гексагональной элементарной ячейки).
- Теоретическая плотность Co: 8,90 г/см³ (на основе параметров гранецентрированной кубической элементарной ячейки).
- Если существуют другие фазы (например, фазы, обычно CoWC), их теоретическую плотность необходимо рассчитать на основе кристаллической структуры.

5.3 Этапы расчета

w_i) каждого компонента.

i) каждого компонента.

5.3.3 Подставим в формулу и рассчитаем теоретическую плотность твердого сплава.

6 Оценка результатов

6.1 Расчетная теоретическая плотность должна иметь точность до 0,01 г/см³.

6.2 Если фактическая плотность (измеренная в соответствии с GB/T 3327-2009) значительно

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

отличается от теоретической плотности (>2%), изделие необходимо проверить.
аналитические или кристаллографические данные.

6.3 Теоретическая плотность может быть использована для оценки компактности и стабильности качества материала.

7 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

- Номер образца и источник (например, марка материала, партия продукции).
- Дата проведения теста и кто его проводил.
- Условия эксперимента: метод анализа состава, параметры рентгеновской дифракции.
- Результаты теста:
 - Массовая доля каждого компонента.
 - Параметры кристаллической структуры каждой фазы.
 - Результаты расчета теоретической плотности.
- Объяснение ненормальных ситуаций (таких как воздействие примесей, отклонение данных и т. д.).
- Подпись испытательного подразделения и ответственного лица.

Приложение А (Информационное приложение)

A.1 Пример расчета теоретической плотности

- Марка: YG8 (содержит 8% кобальта)
- Состав: WC 92%, Co 8% (массовая доля).
- Теоретическая плотность WC: 15,63 г/см³.
- Теоретическая плотность Co: 8,90 г/см³.
- рассчитать:

$$\rho = \frac{(92 \times 15.63) + (8 \times 8.90)}{92 + 8} = \frac{1437.96 + 71.20}{100} = 15.09 \text{ g/cm}^3$$

结果: 理论密度为15.09 g/cm³.

- Результат: Теоретическая плотность составляет 15,09 г/см³.

- Марка: YG15 (содержит 15% кобальта)
- Состав: WC 85%, Co 15% (массовая доля).
- Теоретическая плотность WC: 15,63 г/см³.
- Теоретическая плотность Co: 8,90 г/см³.
- рассчитать:

计算:

$$\rho = \frac{(85 \times 15.63) + (15 \times 8.90)}{85 + 15} = \frac{1328.55 + 133.50}{100} = 14.62 \text{ g/cm}^3$$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

– Результат: Теоретическая плотность составляет $14,62 \text{ г/см}^3$.

A.2 Инструкция по применению

- Для обеспечения точности компонентного анализа необходим расчет теоретической плотности.
- Если в твердом сплаве присутствуют следовые фазы (например, фаза α), расчет следует дополнить на основе его кристаллической структуры.

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 1031-2009

Измерение шероховатости поверхности

Предисловие

Настоящий стандарт устанавливает метод измерения шероховатости поверхности и предназначен для оценки шероховатости поверхности металлов, неметаллов и композиционных материалов.

применимо для измерения шероховатости поверхности в производстве, контроле качества, исследованиях и применении.

количество.

Этот стандарт был разработан Управлением по стандартизации Китая и выпущен в 2009 году, заменив GB/T 1031-1995.

версия, сочетающая в себе требования современных технологий измерения поверхности и международные стандарты, такие как ISO 4287:1997.

Содержание

1 Область применения

2 Нормативные ссылки

3 Термины и определения

3.1 Шероховатость поверхности

3.2 Среднее арифметическое отклонение (Ra)

3.3 Максимальная высота (Rz)

3.4 Длина выборки

4 Методы измерения

4.1 Принцип измерения

4.2 Приборы и оборудование

4.3 Этапы измерения

4.4 Примечания

5 Условия измерения

5.1 Условия окружающей среды.

5.2 Параметры измерения

5.3 Настройка прибора

6 Оценка результатов

7 Отчет об испытаниях

1 Область применения

Настоящий стандарт определяет метод измерения шероховатости поверхности и применим к металлам (таким как твердые сплавы, сталь), неметаллическим материалам и покрытиям.

Измеряются параметры шероховатости поверхности слоя. Методы включают контактные профилометры и бесконтактные методы измерения, охватывающие Ra, Rz,

Такие параметры, как Rp.

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

Настоящий стандарт применим к контролю качества в процессе производства, оценке характеристик поверхности и измерению шероховатости в исследовательских целях.

Настоящий стандарт не распространяется на поверхности со значительными волнами или макроскопическими геометрическими отклонениями, если не указано иное.

2 Нормативные ссылки

Пункты следующих документов становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки на них в настоящем стандарте.

Для любого недатированного ссылочного документа применяется последняя редакция (включая все поправки).

Этот стандарт.

- GB/T 6060.1-1996 Термины, определения и параметры шероховатости поверхности
- GB/T 6062-2006 Образцы для сравнения шероховатости поверхности
- ISO 4287:1997 Геометрические характеристики изделий (GPS) — Текстура поверхности: Метод профиля — Термины, определения и параметры

3 Термины и определения

К настоящему стандарту применяются следующие термины и определения, подробную информацию см. в GB/T 6060.1-1996.

3.1 Шероховатость поверхности

Отклонения микрогеометрии поверхности, вызванные методом обработки, проявляющиеся в небольших изменениях шага и высоты.

3.2 Среднее арифметическое отклонение (R_a)

Среднее арифметическое отклонение профиля является основным параметром шероховатости поверхности и его единицей измерения является мкм.

3.3 Максимальная высота (R_z)

Максимальная высота профиля является дополнительным параметром шероховатости поверхности и ее единицей измерения является мкм.

3.4 Длина выборки

Эталонная длина, используемая для измерения шероховатости, обычно 0,25 мм, 0,8 мм или 2,5 мм.

4 Методы измерения

4.1 Принцип измерения

Измерьте профиль поверхности и проанализируйте параметры шероховатости (такие как R_a , R_z) с помощью контактного профилометра или бесконтактного оптического прибора.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.2 Приборы и оборудование

- Контактный профилометр: радиус кончика зонда < 2 мкм, разрешение 0,01 мкм.
- Бесконтактные измерительные приборы: такие как лазерные сканеры или интерферометры белого света с разрешением $< 0,1$ мкм.
- Стандартные образцы: предоставляются в соответствии с GB/T 6062-2006, используются для калибровки приборов.

4.3 Этапы измерения

4.3.1 Подготовка образца:

- Поверхность образца должна быть чистой и свободной от масла и пыли.
- Если есть остатки обработки, их необходимо удалить наждачной бумагой или растворителем.

4.3.2 Калибровка прибора:

- Используйте стандартные образцы для калибровки прибора, чтобы гарантировать погрешность измерения $< 5\%$.

4.3.3 Выполнение измерений:

- Определите длину выборки (0,25 мм, 0,8 мм или 2,5 мм) в зависимости от характеристик поверхности.
- 5 или более точек измерения на образце и измерение вдоль направления обработки или перпендикулярно направлению.
- Запишите такие параметры, как Ra и Rz, измерьте каждую точку 3 раза и возьмите среднее значение.

4.4 Примечания

- Избегайте чрезмерного давления на зонд, чтобы не повредить поверхность.
- Точка измерения должна избегать краев или областей с явными дефектами.
- Если поверхность имеет покрытие, подтвердите глубину измерения.

5 Условия измерения

5.1 Условия окружающей среды

- Температура: $20 \pm 2^\circ\text{C}$.
- Влажность: 30%-70%.
- Избегайте вибрации или нарушения воздушного потока.

5.2 Параметры измерения

- Длина выборки: выберите в соответствии с диапазоном значений Ra ($Ra < 0,1$ мкм : 0,25 мм ; 0,1 мкм $Ra < 10$ мкм : 0,8

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

мм; Ra10 мкм : 2,5 мм) .

- Длина оценки: в 5 раз больше длины выборки.
- Длина волны отсечки: 0,25 мм, 0,8 мм или 2,5 мм, в соответствии с длиной выборки.

5.3 Настройка прибора

- Скорость зонда: 0,1-1 мм/с.
- Измерительная сила: <0,75 мН (контакт).

6 Оценка результатов

6.1 Параметр шероховатости должен иметь точность до 0,01 мкм.

6.2 Допустимое отклонение значений Ra и Rz составляет $\pm 10\%$ или $\pm 0,1$ мкм (в зависимости от того, что больше).

6.3 Если разница между результатами нескольких измерений превышает допустимое отклонение, необходимо проверить состояние поверхности образца или калибровку прибора.

7 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

- Номер образца и источник (например, марка материала, партия продукции).
- Дата проведения теста и кто его проводил.
- Условия измерения: тип прибора, длина выборки, условия окружающей среды.
- Результаты измерений:
 - Значения Ra и Rz в каждой точке измерения.
 - Среднее значение и отклонение.
- Описание ненормальных условий (таких как дефекты поверхности, отказ прибора и т. д.).
- Подпись испытательного подразделения и ответственного лица.

Приложение А (Информационное приложение)

A.1 Примеры параметров измерения

- Образец: твердый сплав YG6
 - Метод измерения: контактный профилометр.
 - Длина выборки: 0,8 мм.
 - Точки измерения: 5.
 - Результат: Ra = 0,32 мкм, Rz = 2,15 мкм (среднее значение).
- Образец: Поверхность из нержавеющей стали
 - Метод измерения: бесконтактный лазерный сканер.
 - Длина выборки: 2,5 мм.
 - Точки измерения: 6.
 - Результат: Ra = 1,25 мкм, Rz = 8,90 мкм (среднее значение).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

A.2 Инструкция по применению

- Выберите подходящую длину выборки и длину волны отсечки в соответствии с характеристиками поверхности.
- При необходимости высокой точности количество точек измерения может быть увеличено до 10.

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

Каковы технологии прессования твердосплавных деталей?

Технология прессования твердого сплава является одним из основных звеньев в процессе порошковой металлургии. Формованием порошкового сырья, такого как карбид вольфрама (WC) и кобальт (Co) под определенным давлением, подготавливается сырая заготовка с начальной прочностью и формой, закладывающая основу для последующего спекания и обработки готового продукта. Процесс прессования напрямую влияет на плотность, однородность и уровень дефектов сырой заготовки, что в свою очередь определяет свойства спеченного материала (такие как твердость, износостойкость и вязкость). Ниже приводится подробная классификация технологии прессования твердого сплава и ее технические детали, охватывающие традиционные методы и современные инновационные технологии, а также всесторонне излагающие практические приложения и новейшие тенденции.

1. Одноосное прессование

принцип

Однонаправленное прессование использует однонаправленный гидравлический пресс или механический пресс для приложения давления вертикально вниз с помощью верхней головки давления для сжатия порошка, загруженного в жесткую форму, в сырое тело. Давление в основном передается вдоль одной оси, а формование достигается за счет трения между частицами порошка и ограничением стенки формы.

оборудование:

Гидравлический пресс: диапазон давления 100-400 МПа, оснащен прецизионным датчиком давления и системой контроля перемещения.

Форма : обычно изготавливается из стали высокой твердости (например, Cr12MoV) или твердого сплава, внутренняя стенка должна быть отполирована до $Ra < 0,2$ мкм для уменьшения трения.

Функции:

Подходит для изготовления простых геометрических форм, таких как цилиндрические заготовки инструментов и прямоугольные блоки.

Распределение плотности неравномерное, с более высокой плотностью вблизи напорной части (до 60%-70% от теоретической плотности) и более низкой плотностью внизу (возможно, менее 50%), что может привести к неравномерной усадке после спекания.

Время прессования обычно составляет 5–15 секунд в зависимости от размера частиц порошка и давления.

приложение:

Мелкие твердосплавные детали, такие как заготовки сверл, заготовки режущих пластин.

Недорогое массовое производство, особенно подходящее для малых и средних предприятий.

Технические подробности:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Приготовление порошка: размер частиц WC обычно составляет 0,5–2 мкм, содержание Со составляет 6–15%, а для улучшения текучести в качестве смазки необходимо добавить 1–3% парафина или стеариновой кислоты.

Контроль давления: Начальное предварительное давление 10-50 МПа для удаления воздуха, затем основное давление 100-400 МПа. Избегайте слишком быстрой загрузки, чтобы предотвратить расслоение порошка.

Примечание:

Трение стенок формы может привести к недостаточной боковой плотности. Рекомендуется оптимизировать распределение размера частиц порошка или увеличить боковую вибрационную поддержку.

При извлечении сырой заготовки из формы давление необходимо сбрасывать медленно, чтобы избежать образования трещин.

2. Прессование двойного действия

принцип:

Двунаправленное прессование использует две верхние и нижние головки давления для приложения давления одновременно, и порошок сжимается посредством движения вверх и вниз в форме. Верхняя и нижняя головки давления работают согласованно, чтобы уменьшить градиент плотности при однонаправленном прессовании.

оборудование:

Гидравлический пресс двойного действия: диапазон давления 150-500 МПа, оснащен синхронной системой управления.

Форма : конструкция с возможностью двустороннего перемещения, зазор между верхней и нижней головками пресс-формы и внутренней стенкой формы должен быть менее 0,01 мм.

Функции:

Распределение плотности сырого тела более равномерное, а плотность вблизи средней части может достигать 65%-75% от теоретической плотности. Общая консистенция лучше, чем при однонаправленном прессовании.

Подходит для деталей больших и средних сложных форм, таких как пластины и прутки.

Цикл прессования составляет 10-20 секунд в зависимости от высоты заготовки.

приложение:

Производим твердосплавные прутки и листы для изготовления режущих инструментов и износостойких деталей.

Среднесерийное производство, учитывающее как эффективность, так и качество.

Технические подробности:

Распределение давления: соотношение давлений между верхней и нижней головками давления обычно составляет 1:1 с максимальным отклонением <5% для обеспечения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

равномерности.

Смазка формы: внутренняя стенка покрыта слоем графита или смазки MoS₂ для снижения трения до 0,1–0,2.

Примечание:

Синхронизация напорной головки должна контролироваться высокоточной сервосистемой, чтобы избежать неравномерной нагрузки.

Для порошков с высоким содержанием Со (>12%) время предварительного прессования необходимо увеличить, чтобы устранить поры.

3. Холодное изостатическое прессование (ХИП)

принцип:

Холодное изостатическое прессование использует жидкую среду (например, воду или масло) для приложения одинакового давления во всех направлениях к гибкой форме, заполненной порошком в контейнере высокого давления. Давление равномерно передается через жидкость, гарантируя, что все части заготовки подвергаются равномерному усилию.

оборудование:

Холодное изостатическое прессование: диапазон давления 200-600 МПа, рабочая температура от комнатной до 50°C.

Форма : Изготовлена из резины или полимерного материала, сопротивление давлению должно превышать рабочее давление в 1,5 раза.

Функции:

Плотность зеленого тела очень однородна, достигая 70–80 % от теоретической плотности, что подходит для сложных геометрических форм.

Время прессования составляет 5-15 минут в зависимости от размера заготовки и давления.

Сырая заготовка имеет более высокую прочность и равномерную усадку при спекании.

приложение:

Изделия из твердого сплава сложной формы, такие как инструменты специальной формы и прецизионные формы.

Производство высокопроизводительных деталей, особенно в аэрокосмической отрасли.

Технические подробности:

Заполнение порошком: Плотность заполнения порошком контролируется на уровне 40%-50%, избегайте образования пузырьков, требуется вакуумная дегазация.

Кривая давления: используйте постепенное увеличение давления (например, предварительное давление 50 МПа с последующим увеличением до 400 МПа) для снижения внутреннего напряжения.

Примечание:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Герметичность формы имеет решающее значение, утечка может привести к недостаточному давлению.

После прессования излишки резинового материала необходимо обрезать, что увеличивает последующие этапы обработки.

4. Горячее изостатическое прессование (ГИП)

принцип

Горячее изостатическое прессование — это процесс, в котором используется инертный газ (например, аргон) для создания изотропного давления при высокой температуре (1350–1450 °C) и высоком давлении (100–200 МПа) для устранения микропор в сыром изделии после спекания.

оборудование:

Горячий изостатический пресс: оснащен нагревательной печью и газовой системой высокого давления, точность контролируется в пределах $\pm 5^{\circ}\text{C}$ и ± 5 МПа.

Функции:

Плотность может достигать 99% от теоретической плотности, что значительно повышает твердость и износостойкость.

Подходит для обработки после спекания с целью устранения пористости до уровня A00-B00.

Цикл более продолжительный, 4–8 часов, и включает нагрев, повышение давления и охлаждение.

приложение:

Высокопроизводительные детали из цементированного карбида для аэрокосмической промышленности, такие как лопатки турбин.

Прецизионные режущие инструменты требуют чрезвычайно высокой плотности.

Технические подробности:

Контроль температуры: скорость нагрева $5\text{--}10^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ во избежание образования трещин от термических напряжений.

Чистота газа: чистота аргона $>99,99\%$, избегать окисления.

Примечание:

Высокая стоимость, подходит для высококачественной продукции.

Скорость охлаждения должна точно контролироваться ($5\text{--}15^{\circ}\text{C}/\text{мин}$) для предотвращения деформации.

5. Штамповка

принцип

Порошок загружается в неподвижную жесткую форму и формируется путем однонаправленного или двунаправленного прессования в зависимости от геометрии формы.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

оборудование:

Формовочная машина: диапазон давления 100-300 МПа, оснащена автоматической системой подачи.

Форма : Индивидуальная конструкция, твердость выше HRC 58.

Функции:

Массовое производство заготовок простой формы, высокая производительность, время цикла 5-10 секунд.

Равномерность плотности зависит от конструкции формы, типичная плотность составляет 60%-70% от теоретической плотности.

приложение:

Стандартизированные твердосплавные детали, такие как режущие пластины и заготовки фрез.

Низкая себестоимость производства.

Технические подробности:

Техническое обслуживание штампа: проверяйте его на износ каждые 500 прессований и при необходимости перетачивайте или заменяйте.

Заполнение порошком: применяется вибрационное заполнение, отклонение плотности составляет <2%.

Примечание:

Сложная форма пресс-формы сложна в обработке, и распределение напряжений необходимо моделировать заранее.

6. Экструзионное прессование

принцип:

Порошок смешивают со связующим веществом до состояния пасты и экструдуют в длинные полосы или формованные изделия с помощью экструдера и специальной матрицы.

оборудование:

Экструдер: давление 200-400 МПа, оснащен системой подогрева (50-80°C).

Функции:

Подходит для длинных и тонких форм, таких как стержни (диаметром 2–20 мм), трубы.

Плотность составляет около 55%-65% от теоретической и требует последующего обезжиривания.

Продолжительность цикла составляет 10–30 минут в зависимости от длины экструзии.

приложение:

Твердосплавные длинные фрезы и буровые штанги.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Длинные детали по индивидуальному заказу.

Технические подробности:

Соотношение связующего: ПВА или ПММА составляет 15–25 % и должно быть равномерно распределено.

Скорость экструзии: 0,5-2 м/мин. Слишком высокая скорость может привести к образованию трещин на поверхности.

Примечание: Температура обезжиривания должна контролироваться на уровне 300–500 °C, а скорость нагрева должна быть <5 °C/мин.

7. Литье под давлением

принцип:

Порошок смешивают с термопластичным связующим, нагревают до 150–200 °C, впрыскивают в высокоточную форму, а затем охлаждают до получения нужной формы.

оборудование:

Машина для литья металла под давлением: давление 50-100 МПа, оснащена системой впрыска.

Функции:

Подходит для сложных малогабаритных деталей с начальной плотностью 50%-60% и до 98% после спекания.

Цикл длиннее, 10-20 минут на изделие.

приложение:

Детали из микрокарбида, такие как прецизионные шестерни и микроинструменты.

Технические подробности:

Удаление связующего вещества: два этапа: термическое удаление связующего вещества при температуре 200–400 °C и химическое удаление связующего вещества при температуре 400–600 °C.

формы : допуск <0,01 мм.

Примечание:

Остатки связующего могут стать причиной дефектов спекания и требуют строгого контроля.

8. Сухое прессование мешков

принцип:

Порошок загружается в неподвижную резиновую форму, и через жидкую среду оказывается давление, аналогично методу CIP, но форма неподвижна.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

оборудование:

Изостатический пресс для сухих мешков: давление 200-400 МПа.

Функции:

Хорошая однородность плотности, теоретическая плотность 70%-75%.

Цикл составляет 5-10 минут.

приложение:

Твердосплавные детали среднего размера, такие как втулки подшипников.

Технические подробности: Форму необходимо регулярно проверять на устойчивость к давлению.

Примечание:

Избегайте неравномерного давления, вызванного старением пресс-формы.

9. Многонаправленное нажатие (боковое нажатие)

принцип:

На основе вертикальной головки давления добавляются 2-4 боковые головки давления для приложения давления с горизонтального направления, чтобы сформировать многонаправленное сжатие. Давление координируется посредством прецизионной системы управления, чтобы гарантировать, что все части эмбриона сбалансированы.

оборудование:

Пресс многонаправленный: диапазон давления 200-500 МПа, оснащен 4-6 регулируемыми пресс-головками.

Форма : многонаправленная подвижная конструкция с твердосплавной футеровкой, износостойкость HRA 88 или выше.

Функции:

Распределение плотности значительно лучше, чем при двунаправленном прессовании, а средняя плотность может достигать 75–80 % от теоретической плотности.

Подходит для средних и сложных форм, снижает внутреннюю пористость и концентрацию напряжений.

Время прессования составляет 10-20 секунд в зависимости от количества пресс-головок и размера эмбриона.

приложение:

Сложные заготовки инструментов, заготовки пресс-форм и детали, требующие высокой однородности.

Технические подробности:

Распределение давления: вертикальное давление составляет 50–60%, боковое давление

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

составляет 40–50%, а отклонение составляет <3%.
размер частиц 1-2 мкм , добавление 0,5%-1% графитовой смазки.

Примечание:

Синхронизация боковой напорной головки должна контролироваться серводвигателем с погрешностью <0,5 мм.

Внутреннюю стенку формы необходимо покрыть, чтобы снизить трение до 0,15.

10. Многоосное неизостатическое прессование (например, четырехстороннее и шестистороннее прессование)

принцип:

Изотропное давление прикладывается 4 или 6 головками давления (включая вертикальные и множественные горизонтальные направления), а распределение давления оптимизируется системой управления вместо того, чтобы быть полностью изотропным. Каждая головка давления может регулировать силу независимо для применения адаптивного давления к различным областям эмбриона.

оборудование:

Многоосевой пресс: диапазон давления 300-600 МПа, оснащен 6-осевой гидравлической системой и датчиком давления в реальном времени.

Форма : многонаправленная композитная структура, внутренний слой из карбида, наружный слой из высокопрочной стали, сопротивление давлению до 800 МПа.

Функции:

Он обеспечивает больше направлений давления, чем двунаправленное прессование, а его однородность плотности лучше, чем при многонаправленном прессовании, которое может достигать 85–90 % от теоретической плотности.

Поскольку он неизостатичен, он подходит для оптимизации определенной формы, а его плотность близка к СР, но стоимость ниже.

Цикл прессования составляет 15-30 секунд в зависимости от сложности координации напора.

приложение:

Многлезвийные режущие инструменты и прецизионные формы требуют высокой плотности и сложной геометрии.

Среднесерийное производство, балансирующее производительность и экономичность.

Технические подробности:

Конфигурация давления: четырехстороннее сжатие (вертикальное + 3 боковых), соотношение давлений 1:0,8:0,7:0,7; шестистороннее сжатие (вертикальное + 5 боковых), соотношение давлений 1:0,7:0,6:0,6:0,6:0,6.

Размер частиц порошка: 1–3 мкм , добавлены следовые количества наноразмерных добавок (например, композитный порошок WC-Co) для улучшения плотности .

Система управления: используются ПЛК и замкнутая обратная связь, отклонение давления <1%, точность смещения <0,01 мм.

Примечание:

Координация инденторов требует высокоточной калибровки, чтобы избежать микротрещин,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

вызванных локальным избыточным давлением.

При проектировании пресс-формы требуется проведение конечно-элементного анализа (FEA) для моделирования многонаправленных напряжений и оптимизации долговечности.

Для обеспечения изотропной консистенции смешивания порошков требуется перемешивание с высоким сдвигом.

Связанные стандартные ссылки

ISO 4489:2009 Руководство по процессу спекания твердого сплава: подчеркивает влияние технологии прессования на плотность сырого тела и свойства спекания, а также рекомендует многонаправленное прессование для оптимизации сложной формы.

GB/T 3850-2015 Определение теоретической плотности твердого сплава: Многонаправленное и многоосное прессование может значительно увеличить плотность сырой заготовки и уменьшить отклонение плотности после спекания ($<1\%$).

шероховатости поверхности: Шероховатость поверхности сырой заготовки после прессования ($Ra < 1,0 \text{ мкм}$) напрямую влияет на качество спекания. Многонаправленное прессование может улучшить плоскостность поверхности.

Технические моменты и оптимизация

Характеристики порошка:

Размер частиц WC составляет $0,5\text{--}5 \text{ мкм}$, содержание Co составляет $6\%\text{--}15\%$, а мелкий порошок ($<1 \text{ мкм}$) подходит для многонаправленного прессования.

Для обеспечения однородности процесс смешивания осуществляется с помощью шаровой или планетарной мельницы в течение $12\text{--}24$ часов.

Смазки и клеи:

Смазочные материалы (например, парафин $1\%\text{--}3\%$) снижают трение, а для дальнейшей оптимизации многонаправленного прессования можно добавить нанографит ($0,5\%$).

Связующие (например, ПВА) используются для экструзии или литья под давлением и требуют контроля термического удаления связующих .
пресс-формы :

Пресс-форма многонаправленного прессования должна иметь сегментированную структуру с толщиной износостойкого слоя $2\text{--}3 \text{ мм}$.

Конечно-элементный анализ моделирует многонаправленное распределение напряжений и оптимизирует угол наклона индентора (обычно $45^\circ\text{--}60^\circ$).

Обработка после прессования:

Зелёную заготовку необходимо сушить при температуре $50\text{--}80^\circ\text{C}$, чтобы избежать впитывания влаги.

Предварительное спекание ($600\text{--}800^\circ\text{C}$) позволяет удалить связующее вещество и уменьшить дефекты спекания.

Практические примеры применения

Случай 1: Четырёхстороннее прессование для производства многолезвийных инструментов

Материал: WC-10%Co, размер частиц $1,5 \text{ мкм}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Давление: 400 МПа по вертикали, 300 МПа по горизонтали.

Результаты: Плотность сырой заготовки составляет 88% от теоретической плотности, пористость после спекания — A00, твердость — HRA 92.

Случай 2: Шестистороннее прессование для изготовления прецизионных форм

Материал: WC-12%Co, размер частиц 2 мкм .

Давление: 500 МПа по вертикали, 350-400 МПа по горизонтали.

Результаты: Плотность сырой заготовки составляет 90% от теоретической плотности, плотность после спекания — 99%, износостойкость улучшается на 15%.

Современные тенденции и инновации

Автоматизация и интеллект: многоосевой прессовый станок использует алгоритм искусственного интеллекта для регулировки распределения давления в реальном времени с отклонением <0,5%.

Гибридный процесс: сочетание многонаправленного прессования и CIP, сначала формование, а затем уплотнение, плотность может достигать более 95%.

Экологичное прессование: разработка смазочных материалов на водной основе для сокращения использования органических растворителей и соответствия требованиям по охране окружающей среды.

Нанотехнология: использование нанопорошка WC (<100 нм) с шестикратным прессованием для получения сверхмелкозернистого цементированного карбида с твердостью HRA 94 или выше.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

Изделия из цементированного карбида, рассматриваемые в этой главе
Типы, характеристики и применение твердосплавных авиационных инструментов

Твердосплавные авиационные инструменты — это высокопроизводительные режущие инструменты, изготовленные из сверхмелкозернистого твердого сплава (WC +Ni /Co, размер зерна <0,5 мкм) в качестве основного материала в сочетании с передовой технологией покрытия (например , TiAlN , AlCrN , DLC) и технология прецизионной обработки. Эти инструменты предназначены для аэрокосмической отрасли и используются для обработки высокопрочных, жаропрочных сплавов (таких как Inconel 718, Ti6Al4V), нержавеющей стали и композитных материалов (таких как армированные углеродным волокном композитные материалы CFRP). Авиационные инструменты должны иметь чрезвычайно высокую твердость (1800-2200 HV), прочность (2,2-2,5 ГПа) , износостойкость (коэффициент трения <0,3), высокую термостойкость (>1000 °C) и сверхвысокую геометрическую точность ($\pm 0,01-0,05$ мм, в соответствии с GB/T 345052017) для соответствия строгим требованиям высокоскоростной резки (500-2000 м/мин), высокой скорости подачи (0,1-0,5 мм/об) и длительного срока службы (>60 минут). В данной статье объединены национальные стандарты (такие как GB/T 183762014, GB/T 79972017) и отраслевые практики (такие как Sandvik, 2023; ScienceDirect, 2021) для подробного анализа типов, характеристик и областей применения твердосплавных авиационных инструментов.

1. Типы твердосплавных авиационных инструментов

Твердосплавные авиационные инструменты делятся на следующие пять категорий в соответствии с функциями обработки, материалами заготовки и геометрическими формами. Каждый тип инструмента предназначен для конкретных потребностей обработки авиационных деталей (таких как лопатки двигателей, соединительные отверстия фюзеляжа и конструкции из композитных материалов). Названия усовершенствованы, чтобы начинаться с «Carbide Aviation», чтобы подчеркнуть их профессионализм:

Типы твердосплавных авиационных фрез

Твердосплавные авиационные цельные концевые фрезы : используются для обработки плоскостей, боковых поверхностей и пазов , подходят для общих фрезерных работ.

Твердосплавная авиационная сферическая фреза : используется для обработки сложных поверхностей и трехмерных контуров, например, формы лезвия.

Твердосплавная авиационная фреза с круглым концом : учитывает обработку как плоских, так и криволинейных поверхностей, подходит для получистовой обработки.

Фреза авиационная волнообразная из твердого сплава : волнообразная режущая кромка, снижает вибрацию, подходит для обработки композитных материалов.

Форма твердосплавной авиационной фрезы

Многолезвийный (48 кромок), диаметр $\varnothing$ 550 мм, длина 50–150 мм, длина кромки 1050 мм,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

хвостовик имеет стандартный интерфейс HSK или BT для обеспечения высокой жесткости.

Твердосплавные авиационные фрезы

YN8N (Ni 8 мас. %, зерно <0,5 мкм, коррозионностойкий, подходит для высокотемпературных сплавов), YG6X (Co 6 мас. %, зерно <0,5 мкм, высокая прочность, подходит для композитных материалов).

Типы авиационных сверл из карбида

Твердосплавное авиационное спиральное сверло : стандартный сверлильный инструмент, подходящий для титановых сплавов и нержавеющей стали.

Твердосплавное авиационное ступенчатое сверло : выполняет многоуровневую обработку отверстий за один раз, подходит для соединительных отверстий фюзеляжа.

Твердосплавное авиационное сверло для глубоких отверстий : соотношение сторон >5:1, подходит для обработки глубоких отверстий в деталях двигателей.

Специальное твердосплавное сверло для авиационных композитных материалов : низкая сила резания, предотвращение расслоения углепластика.

Форма сверла авиационного твердосплавного

Спиральная канавка (угол наклона спирали 30–40°, оптимизированный отвод стружки), Ø 320 мм, длина 50–200 мм, угол при вершине 118–140° (регулируется в зависимости от материала).

Марки : YG6X (высокая твердость, износостойкость), YN10 (Co/Ni 610 мас. %, коррозионная стойкость, подходит для мокрой обработки).

Твердосплавная авиационная развертка :

Твердосплавные авиационные сверла :

Твердосплавная авиационная развертка с прямой канавкой : высокоточная обработка отверстий, подходит для металлических материалов, таких как титановый сплав.

Твердосплавная авиационная спиральная развертка : улучшенный отвод стружки, подходит для глубоких отверстий и вязких материалов.

Композитная развертка из карбида вольфрама для аэрокосмической промышленности : низкая сила резания, предотвращает расслоение углепластика и образование заусенцев.

Форма : Многолезвийный (46 лезвий), диаметр Ø 530 мм, длина 50100 мм, длина лезвия 2040 мм.

Марка : YN6 (Ni 6 мас. %, размер зерна 0,51,5 мкм, отличная износостойкость), YG8 (Co 8 мас. %, размер зерна 0,51,5 мкм, хорошая прочность).

Типы твердосплавных авиационных токарных инструментов

Твердосплавный авиационный наружный цилиндрический токарный инструмент : обработка наружной поверхности деталей вала, например, вала турбины.

Фреза авиационная твердосплавная для обработки канавок : для обработки узких канавок и резки, подходит для сложных деталей.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Твердосплавный авиационный резбонарезной станок : обработка высокоточной резьбы на авиационных деталях.

Тип и форма твердосплавного авиационного токарного инструмента

Сменные пластины (квадратные, треугольные, ромбовидные), размеры от 10×10×5 мм до 20×20×6 мм, радиус вершины 0,2-0,8 мм.

Тип и марка твердосплавных авиационных токарных инструментов

YN8N (высокая термостойкость, подходит для жаропрочных сплавов), YG6X (высокая прочность, устойчив к сколам) .

Типы твердосплавных авиационных формовочных инструментов

Твердосплавный авиационный контурный резак специального назначения : обработка сложных поверхностей, таких как кромки крыльев.

Твердосплавный авиационный композитный инструмент для обработки : совмещает функции сверления и фрезерования, подходит для эффективной обработки.

Форма : сложная геометрия (множество криволинейных поверхностей, пазы специальной формы), размер Ø 1050 мм, по индивидуальному заказу.

Марки : YN8N (коррозионностойкий, подходит для композитных материалов), YG6X (высокая прочность, подходит для многофункциональной обработки).

2. Характеристики твердосплавного авиационного инструмента

2.1 Свойства материалов твердосплавных авиационных инструментов

Твердосплавная основа для авиационного инструмента

WC (карбид вольфрама) : 8594 мас. %, твердость >2000 HV, обеспечивает отличную износостойкость и режущую способность.

Ni/Co (связующая фаза) : 615 мас. %, Ni (YN8N, 610 мас. %) повышает коррозионную стойкость и подходит для обработки высокотемпературных сплавов и влажных сред; Co (YG6X, 615 мас. %) повышает ударную вязкость и подходит для композитных материалов и ударных условий.

Размер зерна : ультрамелкое зерно (<0,5 мкм) , значительно повышает твердость (1800-2200 HV) и прочность на изгиб (2,2-2,5 ГПа) , а также уменьшает растрескивание кромок.

Добавки : Cr3C2/VC (0,10,5 мас. %), подавляют рост зерна, уменьшают количество η-фазы (вредный карбид, содержание <0,5%) и улучшают стабильность материала.

Покрытие карбидного авиационного инструмента

TiAlN (нитрид титана и алюминия) : устойчив к высоким температурам (>1000°C), толщина 24 мкм , подходит для высокоскоростной резки жаропрочных сплавов, продлевает срок службы инструмента на 20-30%.

AlCrN (алюминий хром нитрид) : отличная износостойкость, толщина 35 мкм , подходит для обработки композитных материалов и твердых металлов.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

DLC (алмазоподобное углеродное покрытие) : низкий коэффициент трения ($<0,1$), толщина 13 мкм, снижает налипание стружки и расслоение во время обработки углепластика.

Подготовка твердосплавного авиационного инструмента

Смешивание: высокоэнергетическая шаровая мельница (2436 часов, соотношение шаров к материалу 15:1, 300400 об/мин), обеспечивающая размер частиц порошка D50 <100 мкм, содержание кислорода $<0,03\%$ (в соответствии с GB/T 345052017).

Связующее: полиэтиленгликоль (ПЭГ, 0,1–0,2 мас. %) или парафин (0,51 мас. %) для оптимизации текучести порошка.

2.2 Эксплуатационные характеристики твердосплавного авиационного инструмента

Твердость : 1800-2200 HV (GB/T 79972017), что обеспечивает отличную износостойкость, скорость износа $<0,1$ мм³/мин (на 50% ниже, чем у обычного твердого сплава).

Прочность : 2,22,5 ГПа (GB/T 38512015), высокая устойчивость к скалыванию, подходит для обработки с высокой подачей.

Прочность : вязкость разрушения KIC 912 МПа·м^{1/2}, способность выдерживать удары и вибрацию при высокоскоростной резке.

Высокая термостойкость : $> 1000^{\circ}\text{C}$, сохранение производительности резания, подходит для сухой обработки или обработки с минимальной смазкой (скорость резания 500-2000 м/мин).

Коррозионная стойкость : марки на основе никеля (например, YN8N) устойчивы к кислотной и щелочной коррозии и подходят для влажной обработки и работы с едкими материалами.

Геометрическая точность : радиус режущей кромки <10 мкм, шероховатость поверхности Ra $<0,2$ мкм, отклонение размеров $\pm 0,01$ -0,05 мм, что соответствует требованиям допуска авиационных деталей ($\pm 0,02$ мм).

Адгезия покрытия : прочность сцепления >100 Н (в соответствии с ISO 26443), что гарантирует отсутствие отслоения покрытия при высокоскоростной резке.

2.3 Характеристики обработки твердосплавным авиационным инструментом

Высокоскоростная резка : поддерживает скорость резки 500–2000 м/мин (например, фрезерование Inconel 718 со скоростью 800 м/мин, сверление углепластика со скоростью 200 м/мин), повышая эффективность обработки на 30–50%.

Высокая скорость подачи : скорость подачи 0,1-0,5 мм/об, подходит для эффективной обработки крупных авиационных деталей.

Длительный срок службы : срок службы инструмента составляет 60–80 минут (на 50% дольше, чем у обычных инструментов), что снижает частоту смены инструмента.

Низкая шероховатость поверхности : Ra $<0,8$ мкм (металл) или Ra $<0,4$ мкм (углепластик) на обработанной поверхности, что соответствует требованиям к качеству поверхности авиационных деталей.

Адаптивность к окружающей среде : поддерживает сухую, с минимальной смазкой (MQL)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

или влажную обработку, а также адаптируется к различным условиям обработки.

3. Применение твердосплавного авиационного инструмента

Твердосплавная авиационная фреза

Сферы применения авиационных фрез из твердого сплава

Обработка лопаток авиационных двигателей и дисков турбин (Inconel 718, Ti6Al4V) для обеспечения точности сложных поверхностей.

Обработка композитных материалов (углепластика), таких как крылья и конструкции кабины, для предотвращения расслоения и образования заусенцев.

Производительность :

Скорость резки: 800-2000 м/мин (Inconel 718 800 м/мин, CFRP 1500 м/мин).

Скорость подачи: 0,20,5 мм/об.

Срок службы: 80 минут (суперсплав), 100 минут (углепластик).

поверхности : Ra <0,8 мкм .

Примеры :

Фреза шаровая авиационная твердосплавная (YN8N, Ø 10 мм, покрытие TiAlN):

Обработка лезвий из сплава Inconel 718, скорость резания 800 м/мин, подача 0,2 мм/об.

Результаты: допуск профиля $\pm 0,02$ мм, поверхность Ra 0,6 мкм , срок службы инструмента 80 минут (Sandvik, 2023).

Фреза авиационная волнообразная твердосплавная (YG6X, Ø 12 мм, покрытие AlCrN):

Обработка панели крыла из углепластика, скорость резания 1500 м/мин, подача 0,3 мм/об.

Результаты: расслоение отсутствует, шероховатость поверхности Ra 0,4 мкм , срок службы 100 минут.

Сферы применения авиационных сверл из цементированного карбида

Обработка соединительных отверстий фюзеляжа из титанового сплава (Ti6Al4V) обеспечивает высокую точность и минимальное количество заусенцев.

Обработка ламинированных конструкций из углепластика и алюминия для предотвращения расслоения и разрыва материала.

Производительность

Скорость резки: 50200 м/мин (Ti6Al4V 50 м/мин, углепластик 200 м/мин).

Скорость подачи: 0,10,2 мм/об.

Срок службы: 60 минут (металл), 80 минут (углепластик).

Точность апертуры: $\pm 0,02$ мм.

Примеры :

Сверло спиральное авиационное твердосплавное (YG6X, Ø 6 мм, покрытие AlCrN):

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Обработка присоединительных отверстий Ti6Al4V, глубина отверстия 50 мм, скорость резания 50 м/мин, подача 0,1 мм/об.

Результаты: отклонение диаметра отверстия $\pm 0,02$ мм, заусенцев нет, срок службы инструмента 60 минут.

Твердосплавное сверло для авиационных композитных материалов (YN10, Ø 8 мм, покрытие DLC):

Обработка пакета углепластик/алюминий, скорость резания 200 м/мин, подача 0,15 мм/об.

Результаты: расслоение отсутствует, шероховатость стенки отверстия Ra 0,3 мкм, срок службы 80 минут.

Сценарии применения авиационных разверток из твердого сплава

Финишная обработка отверстий в пакетах из углепластика/алюминия для обеспечения высокой точности и низкой шероховатости.

Обработка высокоточных отверстий в деталях двигателя, таких как отверстия под посадочные места подшипников.

Производительность :

Скорость резки: 100-300 м/мин (углепластик 200 м/мин, титановый сплав 100 м/мин).

Скорость подачи: 0,150,3 мм/об.

Срок службы: 50 минут (металл), 70 минут (углепластик).

поверхности : Ra <0,4 мкм .

Примеры :

Твердосплавная авиационная спиральная развертка (YN6, Ø 8 мм, покрытие DLC):

Обработка отверстий в углепластике со скоростью резания 200 м/мин и скоростью подачи 0,15 мм/об.

Результаты: Допуск на апертуру $\pm 0,01$ мм, поверхность Ra 0,3 мкм, срок службы 70 минут.

Твердосплавная авиационная развертка с прямой канавкой (YG8, Ø 10 мм, покрытие TiAlN):

Обработка отверстия под подшипник Ti6Al4V, скорость резания 100 м/мин, подача 0,2 мм/об.

Результаты: Отклонение апертуры $\pm 0,015$ мм, Ra 0,4 мкм, срок службы 50 минут.

Сферы применения токарных инструментов из твердого сплава для авиационной промышленности

Обработка наружного диаметра деталей вала из жаропрочного сплава, например, валов турбин.

Обработка резьбы и узких пазов, например, соединений двигателя.

Производительность :

Скорость резки: 200-600 м/мин (Инконель 718 200 м/мин, нержавеющая сталь 600 м/мин).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Скорость подачи: 0,2-0,4 мм/об.

Срок службы: 70 минут (жаропрочный сплав), 90 минут (нержавеющая сталь).

поверхности : Ra <0,8 мкм .

Примеры :

Твердосплавный авиационный наружный токарный резец (YG6X, лезвие 12×12×5 мм, покрытие TiAlN):

Обработка вала турбины из сплава Inconel 718, скорость резания 200 м/мин, подача 0,2 мм/об.

Результаты: Поверхность Ra 0,7 мкм , допуск ±0,03 мм, срок службы 70 минут.

Резьбонарезная машина авиационная твердосплавная (YN8N, лезвие 16×16×5 мм, покрытие TiAlN):

Обработка резьбы из нержавеющей стали, скорость резания 400 м/мин, подача 0,3 мм/об.

Результаты: Точность резьбы IT6, Ra 0,6 мкм , срок службы 90 минут.

Сценарии применения формовочных инструментов из твердого сплава в авиации

Обработка сложных композитных контуров, таких как кромки крыльев и конструкции корпуса.

Обработка канавок специальной формы из титанового сплава, например, канавок картера двигателя.

Производительность :

Скорость резки: 200-500 м/мин (углепластик 500 м/мин, титановый сплав 200 м/мин).

Скорость подачи: 0,150,3 мм/об.

Срок службы: 60 минут (углепластик), 50 минут (титановый сплав).

Точность контура: ±0,03 мм.

Примеры :

Фреза авиационная твердосплавная контурная (YN8N, Ø 20 мм, покрытие AlCrN):

Обработка кромки крыла из углепластика, скорость резания 500 м/мин, подача 0,2 мм/об.

Результаты: допуск профиля ±0,03 мм, расслоение отсутствует, срок службы 60 минут.

Инструмент для обработки композитных материалов из твердого сплава (YG6X, Ø 15 мм, покрытие DLC):

Обработка пазов специальной формы Ti6Al4V, скорость резания 200 м/мин, подача 0,15 мм/об.

Результаты: Допуск глубины канавки ±0,02 мм, Ra 0,5 мкм, срок службы 50 минут.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. Сравнение твердосплавных авиационных инструментов

Тип инструмента	Бренд	форма	покрытие	Скорость резки м/мин	жизнь минута	Точность мм	Типичные применения
Фреза концевая авиационная твердосплавная	YN8N,	Многолезвийный	TiAlN	5002000	80100	±0,02	Лопasti, самолет из углепластика
	YG6X	Ø 550 мм	AlCrN				
Фреза сферическая авиационная твердосплавная	YN8N,	Шаровая головка	TiAlN	8001500	80100	±0,02	Поверхность лезвия
	YG6X	Ø 550 мм	AlCrN				
Сверло авиационное твердосплавное спиральное	YG6X,	спираль	AlCrN	50200	6080	±0,02	Отверстие из титанового сплава
	YN10	Ø 320 мм	DLC				
Сверла из твердого сплава для авиационных композитных материалов	YG6X,	спираль	DLC	100200	80	±0,02	Отверстие из ламинированного углепластика
	YN10	Ø 320 мм					
Твердосплавная авиационная спиральная развертка	YN6,	Многолезвийный	DLC,	100300	5070	±0,01	Отделка отверстий в углепластике
	YG8	Ø 530 мм	TiAlN				
Твердосплавный авиационный наружный токарный инструмент	YN8N,	лезвие	TiAlN	200600	7090	±0,03	Вал турбины
	YG6X	1020 мм					
Карбидный авиационный нож Custom Contour	YN8N,	сложный	AlCrN	200500	5060	±0,03	Профиль крыла
	YG6X	Ø 1050 мм	DLC				

5. Предложения по оптимизации

Выбор материала :

Обработка сплава при высоких температурах : выберите YN8N (Ni 8 мас. %, зерно <0,5 мкм), твердость увеличена на 5%, коррозионная стойкость увеличена на 20%.

Обработка композитных материалов : используйте YG6X (Co 6 мас. %), чтобы увеличить прочность на 10% и снизить риск расслоения.

Добавка : Cr3C2 (0,2 мас. %), повышает износостойкость на 15%.

Оптимизация покрытия :

TiAlN (3 мкм) : Обработка сплава при высоких температурах, термостойкость увеличена на 20%, срок службы увеличен на 30%.

AlCrN (4 мкм) : Композитный материал и титановый сплав, износостойкость увеличена на 25%.

DLC (2 мкм) : Обработка углепластика, коэффициент трения снижается до <0,1, а прилипание уменьшается на 50%.

геометрия :

Оптимизация режущей кромки : радиус режущей кромки <10 мкм , снижение нагрева при

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

резке на 20% и улучшение качества поверхности.

Регулировка угла наклона спирали : Угол наклона спирали инструментов из композитных материалов составляет 3540° , что улучшает отвод стружки и снижает расслоение.

Усиленный задний угол : задний угол 1015° , что снижает силу резания на 15% и продлевает срок службы инструмента.

Параметры обработки :

Высокоскоростная резка : скорость резания Inconel 718 800-1000 м/мин, скорость подачи 0,2-0,3 мм/об.

Низкая скорость и высокая точность : скорость резания углепластика 100-200 м/мин, скорость подачи 0,1-0,15 мм/об.

Минимальное количество смазки (MQL) : снижает тепловыделение при резании на 30% и продлевает срок службы инструмента на 20%.

Постобработка :

Шлифовка : $R_a < 0,4$ мкм , снижение концентрации напряжений на 30% .

Полировка : $R_a < 0,2$ мкм , снижение прилипания стружки на 50% и улучшение качества поверхности .

Дробеструйная обработка : твердость поверхности увеличилась на 5%, усталостная прочность увеличилась на 20%.

6. Стандарты

GB/T 345052017 : Точность размеров $\pm 0,2$ мм, отклонение допуска $< \pm 5\%$.

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

GB/T 38502015 : Проверка плотности, гарантирующая плотность $> 99\%$.

GB/T 51692013 : Класс пористости A02B00C00.

GB/T 38512015 : Прочность на изгиб 1,82,5 ГПа .

GB/T 79972017 : Твердость 1400-2200 HV.

7. Заключение

Инструменты из карбида вольфрама для авиации включают пять категорий: фрезы из карбида вольфрама для авиации, сверла, развертки, токарные инструменты и формовочные инструменты. Они используют ультрамелкозернистый карбид вольфрама (YN8N, YG6X) и усовершенствованные покрытия (TiAlN , AlCrN , DLC) для удовлетворения потребностей в обработке высокотемпературных сплавов и композитных материалов в аэрокосмической промышленности:

Твердосплавная авиационная фреза : подходит для сложных поверхностей и композитных материалов, скорость резания 800-2000 м/мин, срок службы 80-100 минут.

Твердосплавное авиационное сверло : высокоточная обработка отверстий, скорость резания 50200 м/мин, отклонение диаметра отверстия $\pm 0,02$ мм.

Твердосплавная авиационная развертка : чистовое отверстие, поверхность $R_a < 0,4$ мкм , допуск $\pm 0,01$ мм.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Твердосплавные авиационные токарные инструменты : обработка валов и резьбы, срок службы 70–90 минут.

Твердосплавный авиационный формовочный инструмент : сложная контурная обработка, точность $\pm 0,03$ мм.

Эти инструменты значительно повышают эффективность и качество обработки авиационных деталей благодаря своей высокой твердости, высокой термостойкости и сверхвысокой точности и широко используются при производстве двигателей, фюзеляжей и композитных конструкций.

приложение:

Изделия из цементированного карбида, рассматриваемые в этой главе
Типы, характеристики и области применения твердосплавных горнодобывающих
буровых коронок

Твердосплавные горнодобывающие буровые коронки представляют собой высокопроизводительные инструменты, изготовленные из средне-мелкозернистого твердого сплава (WC + Co /Ni, размер зерна 0,52 мкм) в качестве основного материала в сочетании с технологией износостойкого покрытия (например, TiN , TiCN) и технология точной обработки. Эти буровые коронки предназначены для горнодобывающей промышленности, проходки туннелей и геологоразведочных работ и используются для обработки твердых пород (таких как гранит, базальт, прочность на сжатие >200 МПа), угольных пластов и руд. Горные буровые коронки должны иметь высокую твердость (1400-1800 HV), прочность на изгиб (1,8-2,5 ГПа) , отличную износостойкость (объем износа <0,2 мм³ / ч), ударопрочность (KIC 912 МПа·м^{1/2}) и точность размеров (±0,2-0,5 мм, в соответствии с GB/T 345052017), чтобы выдерживать высокие удары (1050 кН) , высокую скорость (100-500 об/мин) и суровые условия (пыль, влага). В этой статье объединены национальные стандарты (такие как GB/T 183762014, GB/T 79972017) и отраслевые практики (такие как Sandvik, 2023; ScienceDirect, 2021) для подробного анализа типов, характеристик и областей применения горнодобывающих буровых коронок из цементированного карбида, а также уточнено описание для обеспечения ясного понимания читателями, дополненное сравнениями производительности, типичными случаями и предложениями по оптимизации.

1. Типы твердосплавных горнодобывающих буровых коронок

Карбидные горнодобывающие буровые коронки делятся на следующие три категории в зависимости от функции, типа породы и геометрии. Каждый тип буровой коронки предназначен для определенных нужд горнодобывающих задач (таких как бурение твердых пород, добыча угля и добыча руды). Название было улучшено и теперь начинается с «Carbide Mining», чтобы подчеркнуть его профессионализм:

Типы шарошечных буровых долот из карбида вольфрама для горнодобывающей промышленности

Твердосплавные трехшарошечные буровые коронки для горнодобывающей промышленности

Используется для бурения твердых и средней твердости пород, подходит для крупных карьеров.

Твердосплавные горнодобывающие одноконусные буровые коронки

Используется для небольших или сложных геологических условий, обладает высокой гибкостью.

форма

Зубья конические или сферические, количество зубьев 10-30, диаметр сверла Ø 100-400 мм,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

длина 200-600 мм, присоединительная резьба стандарта API.

Бренд

YN10 (Co 10 мас. %, зерно 0,51,5 мкм, ударопрочный), YG8 (Co 8 мас. %, зерно 0,51,5 мкм, износостойкий).

Типы буровых долот DTH для карбидной горнодобывающей промышленности

Стандартные буровые коронки DTH для карбидной горнодобывающей промышленности

Используется в породах средней твердости и мягких породах, подходит для взрывных скважин.

Буровая коронка для погружного бурения с высоким давлением воздуха в карбидной горнодобывающей промышленности

Используется с высокой эффективностью в глубоких скважинах и твердых породах.

форма

Цилиндрические, со сферическими или пулевидными твердосплавными зубьями, количество зубьев 820, диаметр сверла Ø 80-200 мм, длина 150-300 мм.

Марка : YG8 (высокая твердость), YN10 (коррозионностойкий, подходит для мокрого сверления).

Типы твердосплавных горных резцов

Конические резцы для горнодобывающей промышленности из карбида

Для использования в угольных пластах и мягких породах, подходит для проходческих комбайнов.

Цилиндрические резцы из карбида вольфрама для горнодобывающей промышленности

Используется для пород средней твердости, подходит для комплексной добычи.

форма

Коническая или цилиндрическая головка, диаметр головки Ø 1030 мм, длина 50100 мм, корпус основания из высокопрочной стали (например, 42CrMo).

Бренд

YG6 (Co 6 мас. %, размер зерна 1,52 мкм, ударопрочный), YN10 (высокая вязкость).

2. Характеристики твердосплавных горнодобывающих буровых коронок

2.1 Свойства материалов твердосплавных горнодобывающих буровых коронок

Корпус буровой коронки из карбида вольфрама

WC (карбид вольфрама) : 8592 мас. %, твердость >2000 HV, обеспечивает превосходную износостойкость и режущую способность.

Co/Ni (связующая фаза) : 815 мас. %, Co (YG8, 815 мас. %) повышает прочность и подходит для условий высоких ударных нагрузок; Ni (YN10, 610 мас. %) повышает коррозионную стойкость и подходит для влажных угольных пластов и кислых сред.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Размер зерна : средне-мелкое зерно (0,51,5 мкм , YN10/YG8) обеспечивает баланс твердости (1400–1800 HV) и прочности (KIC 912 МПа · м^{1/2}) ; крупное зерно (1,52 мкм , YG6) дополнительно повышает ударную вязкость.

Добавки : Cr3C2 (0,10,5 мас. %), подавляет рост зерна, уменьшает η-фазу (вредные карбиды, содержание <0,5%) и повышает стабильность материала.

Покрытие буровой коронки из карбида вольфрама (опционально)

TiN (нитрид титана) : износостойкий, толщина 24 мкм , подходит для бурения твердых пород, увеличивает срок службы на 15–20%.

TiCN (карбонитрид титана) : ударопрочный, 35 мкм толстый, подходит для угольных пластов и мягких пород, снижает износ на 25%.

Подготовка твердосплавного горного сверла

Смешивание: высокоэнергетическая шаровая мельница (1624 часа, соотношение шаров к материалу 10:1, 200-300 об/мин), обеспечивающая размер частиц порошка D50 50-150 мкм , содержание кислорода <0,03% (в соответствии с GB/T 345052017).

Связующее: полиэтиленгликоль (ПЭГ, 0,1–0,2 мас. %) или парафин (0,51 мас. %) для оптимизации текучести порошка.

2.2 Эксплуатационные характеристики твердосплавных горнодобывающих буровых коронок

Твердость : 1400–1800 HV (GB/T 79972017), отличная износостойкость, скорость износа <0,2 мм³/ч (на 40% ниже, чем у обычного твердого сплава).

Прочность : 1,82,5 ГПа (GB/T 38512015), стойкость к разрушению, подходит для сред с высокими ударными нагрузками.

Прочность : вязкость разрушения KIC 912 МПа · м^{1/2} , устойчивость к высокочастотным ударам (1050 кН) и вибрации.

Износостойкость : износ <0,2 мм³/ч, срок службы инструмента 80–120 часов (на 50–100% дольше обычных сверл).

Коррозионная стойкость : марки на основе никеля (например, YN10) устойчивы к влаге и кислотным средам и подходят для мокрого сверления.

Геометрическая точность : отклонение размеров ±0,2±0,5 мм, шероховатость поверхности Ra <1,6 мкм , что соответствует требованиям допуска на сверление (±0,5 мм).

Адгезия покрытия : прочность сцепления >80 Н (в соответствии с ISO 26443), что гарантирует, что покрытие не отслоится при сильном ударе.

2.3 Технологические характеристики твердосплавных горнодобывающих буровых коронок

Высокоударное бурение : выдерживает ударную силу 1050 кН (например, 30 кН для погружного бурения) , подходит для добычи твердых пород и руды.

Высокая скорость : 100–500 об/мин (200 об/мин для шарошечного долота, 300 об/мин для

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

резца), что увеличивает эффективность бурения на 20–30%.

Длительный срок службы : срок службы инструмента составляет 80–120 часов, что снижает частоту замены и затраты на простои.

Адаптивность к окружающей среде : устойчив к пыли, влаге и высоким температурам (>200°C), поддерживает сухое и мокрое сверление.

Низкие затраты на техническое обслуживание : высокая износостойкость и прочность снижают износ зубьев и продлевают цикл технического обслуживания на 50%.

3. Применение твердосплавных горнодобывающих буровых коронок

Сценарии применения твердосплавных долот для вращательного бурения в горнодобывающей промышленности

Бурение твердых пород (например, гранита, базальта), применяемое при открытой и глубокой добыче полезных ископаемых.

Геологоразведочные работы, обработка скважин большого диаметра (Ø 200-400 мм).

Производительность :

Скорость вращения: 150 200 об/мин.

Сила удара: 2040 кН .

Срок службы: 100-120 часов.

Точность сверления: отклонение диаметра отверстия $\pm 0,5$ мм.

Примеры :

Твердосплавное трехшарошечное буровое долото (YN10, Ø 250 мм, покрытие TiN):

Обработка гранита (прочность на сжатие 220 МПа), скорость вращения 200 об/мин, сила удара 30 кН .

Результаты: глубина скважины 500 м, отклонение диаметра скважины $\pm 0,5$ мм, срок службы 120 часов (ScienceDirect, 2021).

Твердосплавное одношарошечное буровое долото для горных работ (YG8, Ø 150 мм, покрытие TiCN):

Обработка пород средней твердости (предел прочности при сжатии 150 МПа), скорость вращения 180 об/мин, сила удара 25 кН .

Результаты: Глубина скважины 300 м, срок службы 100 часов.

коронки с погружным погружным механизмом из карбида вольфрама :

Сценарии применения :

Добыча железа и меди, обработка взрывных скважин (Ø 80-200 мм).

Проходка тоннелей в породах средней твердости и мягких породах.

Производительность :

Скорость вращения: 100-150 об/мин.

Сила удара: 2030 кН .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Срок службы: 80100 часов.

Точность сверления: отклонение диаметра отверстия $\pm 0,4$ мм.

Примеры :

Буровая коронка для погружного бурения из твердого сплава (YG8, Ø 120 мм, покрытие TiCN):

Переработка железной руды (предел прочности при сжатии 180 МПа), скорость вращения 150 об/мин, сила удара 25 кН .

Результаты: глубина скважины 100 м, отклонение диаметра скважины $\pm 0,4$ мм, срок службы 100 часов.

Буровая коронка для горнодобывающей промышленности с погружным пневмоударником (YN10, Ø 100 мм, покрытие TiN):

Обработка базальта (прочность на сжатие 200 МПа), скорость вращения 120 об/мин, сила удара 30 кН .

Результаты: Глубина скважины 150 м, срок службы 90 часов.

Карбидные горнодобывающие кирки :

Сценарии применения :

Добыча угольных пластов, для проходческих комбайнов и комплексного оборудования для добычи угля.

Добыча горных пород средней твердости, таких как песчаник (прочность на сжатие 100-150 МПа).

Производительность :

Скорость вращения: 200-300 об/мин.

Сила удара: 1020 кН .

Срок службы: 80100 часов.

поверхности : Ra <1,6 мкм .

Примеры :

Конусные резцы для горнодобывающей промышленности из карбида (YG6, Ø 20 мм, без покрытия):

Обработка угольного пласта (предел прочности при сжатии 50 МПа), скорость вращения 300 об/мин, сила удара 10 кН .

Результаты: 5000 м³ проходки, 80 часов службы, износ <0,15 мм³/ч.

Цилиндрический резец горнодобывающий твердосплавный (YN10, Ø 25 мм, покрытие TiN):

Обработка песчаника (прочность на сжатие 120 МПа), скорость вращения 250 об/мин, сила удара 15 кН .

Результат: выемка грунта 4000 м², срок службы 100 часов.

4. Сравнение типов твердосплавных горнодобывающих буровых коронок

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Тип сверла	Бренд	форма	покрытие	Скорость об/мин	жизнь Час	Точность(мм)	Типичные применения
Твердосплавные трехшарошечные буровые коронки для горнодобывающей промышленности	YN10, YG8	Конические/сферические зубья, Ø 100400 мм	Тин , TiCN	150200	100120	±0,5	Хард-рок, разведка
Стандартные буровые коронки DTH для карбидной горнодобывающей промышленности	YG8, YN10	Сферические зубья, Ø 80200 мм	TiCN	100150	80100	±0,4	Железная руда, туннель
Конические резцы для горнодобывающей промышленности из карбида	YG6, YN10	Конический, Ø 1030 мм	Нет/ TiN	200300	80100	±0,3	Угольный пласт, мягкая порода

5. Предложения по оптимизации

Выбор материала :

Бурение твердых пород : используйте YN10 (Co 10 % по весу , размер зерна 0,5-1,5 мкм) , твердость увеличится на 5%, а ударопрочность увеличится на 15%.

Добыча угля : выбран сплав YG6 (Co 6 мас. %, размер зерна 1,52 мкм) с 20%-ным увеличением прочности и сопротивления разрушению.

Добавка : Cr3C2 (0,2 мас. %), износостойкость увеличена на 15%.

Оптимизация покрытия :

TiN (3 мкм) : При бурении твердых пород износостойкость увеличивается на 20%, а срок службы увеличивается на 15%.

TiCN (4 мкм) : Угольные пласты и мягкие породы, ударопрочность увеличена на 20%.

геометрия :

форма зубьев : сферические зубья (твердая порода) или конические зубья (мягкая порода), снижающие износ на 20%.

Расположение зубьев : асимметричное расположение, снижает вибрацию на 15% и повышает эффективность бурения.

Упрочнение матрицы : матрица из стали 42CrMo, сопротивление усталости увеличено на 30%.

Параметры обработки :

Твердая порода : скорость вращения 150200 об/мин, сила удара 2030 кН .

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

Мягкая порода : скорость вращения 200-300 об/мин, сила удара 1015 кН .

Мокрое бурение : расход воды 1020 л/мин, снижение износа на 25%.

Постобработка :

Шлифовка : Ra <1,6 мкм , снижение концентрации напряжений на 20% .

Дробеструйная обработка : твердость поверхности увеличилась на 5%, усталостная прочность увеличилась на 25%.

6. Стандарты

GB/T 345052017 : Точность размеров $\pm 0,2$ мм, отклонение допуска $< \pm 5\%$.

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

GB/T 38502015 : Проверка плотности.

GB/T 51692013 : Класс пористости A02B00C00.

GB/T 38512015 : Прочность на изгиб 1,82,5 ГПа .

GB/T 79972017 : Твердость 1400-1800 HV.

7. Заключение

Буровые коронки из карбида вольфрама для горнодобывающей промышленности включают три категории: шарошечные буровые коронки для горнодобывающей промышленности, погружные буровые коронки и резцы. Они изготовлены из средне-мелкозернистого карбида (YN10, YG8, YG6) и износостойких покрытий (TiN, TiCN) для удовлетворения потребностей добычи твердых пород, угольных пластов и руды:

буровые коронки из карбида вольфрама для горнодобывающей промышленности : бурение твердых пород, скорость 150–200 об/мин, срок службы 100–120 часов.

коронки для погружного бурения в твердом сплаве : рудные и туннельные, скорость 100-150 об/мин, срок службы 80-100 часов.

Твердосплавные горные резцы : угольные пласты и мягкие породы, скорость 200-300 об/мин, срок службы 80-100 часов.

Эти буровые коронки значительно повышают эффективность и экономичность горных работ благодаря своей высокой твердости, ударопрочности и длительному сроку службы и широко используются в открытых карьерах, подземных рудниках и туннельных проектах.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

Изделия из цементированного карбида, рассматриваемые в этой главе Типы, характеристики и области применения износостойких форм из твердого сплава

Износостойкие формы из цементированного карбида представляют собой высокопроизводительные инструменты, изготовленные из средне-мелкозернистого цементированного карбида (WC + Co /Ni, размер зерна 0,52 мкм) в качестве основного материала в сочетании с технологией прецизионной обработки и дополнительной технологией покрытия (например, TiN, CrN). Эти формы предназначены для промышленной формовки, штамповки и экструзии и используются для обработки металлов (таких как сталь, алюминий), пластика, керамики и других материалов. Износостойкие формы из цементированного карбида должны иметь высокую твердость (1400-1800 HV), высокую прочность (1,8-2,5 ГПа), отличную износостойкость (потеря износа <0,1 мм³ / ч), коррозионную стойкость и точность размеров ($\pm 0,01-0,05$ мм, в соответствии с GB/T 345052017), чтобы выдерживать высокое давление (500-2000 МПа), высокую частоту (>10⁶ раз) и сложные рабочие условия (высокая температура, коррозия). В этой статье объединены национальные стандарты (такие как GB/T 183762014, GB/T 79972017) и отраслевые практики (такие как Sandvik, 2023; ScienceDirect, 2021) для подробного анализа типов, характеристик и областей применения износостойких форм из цементированного карбида, а также уточнено описание для обеспечения четкого понимания читателями, дополнены сравнениями характеристик, типичными случаями и предложениями по оптимизации, а также детализировано название продукта в виде «износостойкий из цементированного карбида + конкретное название формы».

1. Типы твердосплавных износостойких форм

Износостойкие карбидные формы делятся на следующие три категории в зависимости от функции формования, обрабатываемых материалов и геометрических форм. Каждый тип формы ориентирован на конкретные потребности промышленного производства (например, штамповка металла, формование пластика, экструзия керамики), а название усовершенствовано, чтобы начать с «износостойкие карбидные», чтобы подчеркнуть его профессионализм:

Типы штампов из твердого сплава, износостойкие

Штамп для холодной штамповки из твердого сплава, износостойкий

Используется для штамповки и гибки металлических листов, подходит для изготовления автомобильных деталей.

Штамп для горячей штамповки из твердого сплава, износостойкий

Используется для высокотемпературной формовки металлов, например, при штамповке авиационных деталей.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Форма : сложная полость (пуансон, матрица), размер от 50×50×20 мм до 200×200×50 мм, радиус кромки 0,10,5 мм.

Марка : YG8 (Co 8 мас. %, зерно 0,51,5 мкм , износостойкий), YN10 (Co/Ni 10 мас. %, зерно 0,51,5 мкм , коррозионностойкий) .

Износостойкий твердосплавный штамп для испытаний на растяжение

Износостойкая волока для волочения проволоки из карбида

Используется для растяжения металлической проволоки, такой как медная и стальная проволока.

Твердосплавная износостойкая экструзионная матрица

Используется для экструзии металлических или пластиковых труб и профилей.

Форма : круглое или специальной формы отверстие (Ø 0,150 мм), наружный диаметр формы Ø 20100 мм, длина 30150 мм.

Марка : YG6 (Co 6 мас. %, размер зерна 1,52 мкм , ударопрочный), YG8 (высокая твердость).

Типы штампов из твердого сплава, устойчивых к износу

Форма для литья пластмасс из карбида износостойкого

Используется для литья под давлением, например, для изготовления корпусов мобильных телефонов.

Твердый сплав износостойкий порошковая металлургия пресс-форма

Используется для прессования керамических и твердосплавных заготовок.

Форма : Сложная криволинейная полость, размер от 20×20×10 мм до 150×150×50 мм, шероховатость поверхности Ra < 0,4 мкм .

Марка : YN10 (коррозионностойкая), YG8 (высокопрочная).

2. Характеристики износостойких форм из твердого сплава

2.1 Свойства материала

Матрица

WC (карбид вольфрама) : 8592 мас. %, твердость >2000 HV, обеспечивает отличную износостойкость и сопротивление сжатию.

Co/Ni (связующая фаза) : 615 мас. %, Co (YG8, 815 мас. %) повышает прочность и подходит для условий высокого давления; Ni (YN10, 610 мас. %) улучшает коррозионную стойкость и подходит для кислых или влажных сред.

Размер зерна : средне-мелкое зерно (0,51,5 мкм , YN10/YG8) обеспечивает баланс твердости (1400–1800 HV) и прочности (KIC 912 МПа · м^{1/2}) ; крупное зерно (1,52 мкм , YG6) улучшает ударную вязкость.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Добавки : Cr3C2 (0,10,5 мас. %), подавляет рост зерна, уменьшает η -фазу (вредные карбиды, содержание <0,5%) и повышает стабильность материала.

Покрывтие (опционально)

TiN (нитрид титана) : износостойкий, толщина 24 мкм , подходит для штамповки металла, продлевает срок службы на 20–30% .

CrN (нитрид хрома) : устойчив к коррозии, толщина 35 мкм , подходит для формования пластмасс и влажной обработки.

подготовка

Смешивание: высокоэнергетическая шаровая мельница (1624 часа, соотношение шаров к материалу 10:1, 200-300 об/мин), обеспечивающая размер частиц порошка D50 50-150 мкм , содержание кислорода <0,03% (в соответствии с GB/T 345052017).

Связующее: полиэтиленгликоль (ПЭГ, 0,1–0,2 мас. %) или парафин (0,51 мас. %) для оптимизации текучести порошка.

2.2 Эксплуатационные характеристики

Твердость : 1400–1800 HV (GB/T 79972017), отличная износостойкость, скорость износа <0,1 мм³/ч (на 50% ниже, чем у обычного твердого сплава).

Прочность : 1,82,5 ГПа (GB/T 38512015), высокая стойкость к сжатию, выдерживает 500–2000 МПа.

Прочность : вязкость разрушения K_{IC} 912 МПа·м^{1/2}, устойчив к высокочастотным ударам (>10⁶ раз).

Износостойкость : износ <0,1 мм³/ч, срок службы формы в 10⁶–10⁷ раз (в 510 раз дольше, чем у форм из быстрорежущей стали) .

Коррозионная стойкость : марки на основе никеля (например, YN10) устойчивы к кислотам и щелочам и подходят для влажной обработки и работы с едкими материалами.

Геометрическая точность : отклонение размеров ±0,01–0,05 мм, шероховатость поверхности Ra <0,4 мкм , что соответствует требованиям высокоточного литья.

Адгезия покрытия : прочность сцепления >80 Н (в соответствии с ISO 26443), что гарантирует, что покрытие не отслоится под высоким давлением.

2.3 Характеристики обработки

Литье под высоким давлением : выдерживает давление формования 500-2000 МПа (например, холодная штамповка 1000 МПа, экструзия 1500 МПа).

Высокая частота : поддерживает непрерывную штамповку/формовку >10⁶ раз, подходит для массового производства.

Длительный срок службы : срок службы пресс-формы увеличивается в 10⁶–10⁷ раз, что снижает частоту замены и снижает производственные затраты на 30-50%.

Высокое качество поверхности : поверхность отлитой детали имеет Ra < 0,8 мкм , что

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

соответствует требованиям, предъявляемым к прецизионным деталям .

Адаптивность к окружающей среде : устойчив к высоким температурам ($>300^{\circ}\text{C}$), влаге и коррозии, подходит для различных сред обработки.

3. Применение износостойких форм из твердого сплава

Штамповочный штамп из износостойкого карбида :

Сценарии применения :

Штамповка и гибка деталей автомобиля (например, стальных листов кузова, панелей из алюминиевого сплава).

Высокотемпературная формовка авиационных поволоков (например, соединителей из титанового сплава).

Производительность :

Давление формования: 800-1200 МПа.

Количество ударов: $>10^6$ раз.

Продолжительность жизни: 10^6 - 10^7 раз.

Точность: $\pm 0,02$ мм.

Примеры :

Штамп холодноштамповочный твердосплавный износостойкий (YG8, $100 \times 100 \times 30$ мм, покрытие TiN):

из нержавеющей стали толщиной 1 мм , давление 1000 МПа, количество ходов $1,5 \times 10^6$ раз.

Результаты: допуск детали $\pm 0,02$ мм, поверхность Ra 0,6 мкм , срок службы $1,5 \times 10^6$ раз (Sandvik, 2023).

Штампы штамповочные износостойкие твердосплавные для горячей штамповки (YN10, $150 \times 150 \times 40$ мм, покрытие CrN):

Обработка поволоков Ti6Al4V при давлении 1200 МПа и температуре 800°C .

Результат: Допуск $\pm 0,03$ мм, срок службы 10^6 раз.

Износостойкая карбидная матрица для испытаний на растяжение :

Сценарии применения :

Растяжение металлической проволоки (например, медной проволоки $\varnothing 0,1$ мм, стальной проволоки $\varnothing 1$ мм).

Экструзия труб из алюминиевого сплава или пластика (например, автомобильные фитинги).

Производительность :

Давление растяжения/выдавливания: 1000-1500 МПа.

Продолжительность жизни: $10^5 \times 10^6$ раз.

Точность: Отклонение апертуры $\pm 0,01$ мм.

поверхности : Ra $< 0,4$ мкм .

Примеры :

Волоки для волочения проволоки из твердого сплава, износостойкие (YG6, отверстие $\varnothing 0,5$ мм, покрытие TiN):

Растяжение медной проволоки ($\varnothing 0,5$ мм), давление 1200 МПа, линейная скорость 10 м/с.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Отклонение диаметра проволоки $\pm 0,01$ мм, поверхность Ra 0,3 мкм, срок службы 3×10^6 метров.

Твердосплавная износостойкая экструзионная матрица (YG8, отверстие $\varnothing$ 20 мм, покрытие CrN):

Труба прессованная из алюминиевого сплава ($\varnothing$ 20 мм), давление 1500 МПа.

Результат: допуск стенки трубки $\pm 0,02$ мм, срок службы 10^6 раз.

Твердосплавная износостойкая формовочная форма:

Сценарии применения:

Литье под давлением (например, корпуса мобильных телефонов, автомобильные пластиковые детали).

Прессование методом порошковой металлургии (например, керамические детали, заготовки из твердого сплава).

Производительность:

Давление формования: 500-1000 МПа.

: 2×10^6 раз.

Точность: $\pm 0,010,03$ мм.

поверхности: Ra $< 0,4$ мкм.

Примеры:

Пресс-форма для литья пластмасс из карбида вольфрама (YN10, $80 \times 80 \times 20$ мм, покрытие CrN):

Литье под давлением корпуса мобильного телефона из АБС-пластика, давление 800 МПа, цикл 2×10^6 раз.

Результаты: Допуск детали $\pm 0,01$ мм, поверхность Ra 0,2 мкм, срок службы $2,5 \times 10^6$ раз.

Износостойкая форма для порошковой металлургии из цементированного карбида (YG8, $50 \times 50 \times 15$ мм, покрытие TiN):

Прессование керамических заготовок под давлением 1000 МПа.

Результат: Допуск $\pm 0,02$ мм, срок службы 10^7 раз.

4. Сравнение типов износостойких форм из цементированного карбида

Тип пресс-формы	Бренд	форма	покрытие	Давление (МПа)	Продолжительность жизни (раз)	Точность(мм)	Типичные применения
Штампы для холодной штамповки из твердого сплава, износостойкий	YG8, YN10	Камера, 50200 мм	TiN, KpH	8001200	10^6 10^7	$\pm 0,02$	Автомобильная стальная пластина
Износостойкая волока для волочения проволоки из карбида	YG6, YG8	Отверстие, $\varnothing$ 0,150 мм	TiN	10001500	10^6 5×10^6	$\pm 0,01$	Медная проволока, стальная проволока

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Тип пресс-формы	Бренд	форма	покрытие	Давление (МПа)	Продолжительность жизни (раз)	Точность(мм)	Типичные применения
Форма для литья пластмасс из карбида износостойкого	YN10, YG8	Изогнутая поверхность, 20150 мм	CrN	5001000	$2 \times 10^6 \cdot 10^7$	$\pm 0,01$	Чехлы для телефонов

5. Предложения по оптимизации

Выбор материала :

Штамповка металла : используйте YG8 (Co 8 мас. %, размер зерна 0,51,5 мкм) , твердость увеличится на 5%, а износостойкость увеличится на 20%.

Литье пластмасс : используйте YN10 (Ni 10 мас. %) для повышения коррозионной стойкости на 25%.

Добавка : Cr3C2 (0,2 мас. %), износостойкость увеличена на 15%.

Оптимизация покрытия :

TiN (3 мкм) : Штамповка металла, износостойкость увеличена на 20%, срок службы увеличен на 30%.

CrN (4 мкм) : Пластиковое литье, коррозионная стойкость увеличена на 20%, уменьшено прилипание формы.

геометрия :

Оптимизация режущей кромки : радиус режущей кромки <0,2 мм, снижение концентрации напряжений на 20%.

Полировка полости : Ra <0,2 мкм, снижение адгезии на 30%.

Радиус перехода : R0,51 мм, трещиностойкость увеличена на 15%.

Параметры обработки :

Холодная штамповка : давление 800-1000 МПа, скорость штамповки 100-200 раз/мин.

Экструзия : давление 1200-1500 МПа, температура <300°C.

Литье под давлением : давление 600-800 МПа, время цикла 510 секунд.

Постобработка :

Шлифовка : Ra <0,4 мкм , снижение износа на 20%.

Полировка : Ra <0,2 мкм , улучшение качества поверхности деталей на 30% .

Дробеструйная обработка : твердость поверхности увеличилась на 5%, усталостная прочность увеличилась на 25%.

6. Стандарты

GB/T 345052017 : Точность размеров $\pm 0,01$ мм, отклонение допуска $\leq \pm 5\%$.

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

GB/T 38502015 : Проверка плотности.

GB/T 51692013 : Класс пористости A02B00C00.

GB/T 38512015 : Прочность на изгиб 1,82,5 ГПа .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

GB/T 79972017 : Твердость 1400-1800 HV.

7. Заключение

Износостойкие формы из цементированного карбида включают три категории: штамповочные формы из цементированного карбида, волочильные формы и формовочные формы. Они используют средне- и мелкозернистый цементированный карбид (YG8, YN10, YG6) и износостойкие покрытия (TiN, CrN) для удовлетворения потребностей обработки металлов, пластмасс и керамики:

Штампы штамповочные износостойкие из карбида : автомобильные детали и авиационные поковки, давление 800-1200 МПа, срок службы $10^6 - 10^7$ раз.

Износостойкий твердосплавный штамп для испытаний на растяжение : проволока и трубка, давление 1000-1500 МПа, точность $\pm 0,01$ мм.

Формы для формования износостойкие из карбида : литье под давлением и порошковая металлургия, срок службы $2 \times 10^6 - 10^7$ раз, поверхность $Ra < 0,4$ мкм.

Эти формы значительно повышают эффективность промышленного литья и качество продукции благодаря своей высокой твердости, износостойкости и сверхвысокой точности и широко используются в автомобильной, электронной, авиационной и керамической промышленности.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

приложение:

**Характеристики, применимость, преимущества и недостатки различных процессов
прессования твердого сплава**

Процесс прессования твердого сплава (например, никелевого или кобальтового твердого сплава) заключается в смешивании порошка карбида вольфрама (WC), связующей фазы (например, Ni, Co) и других добавок (например, Cr₃C₂, VC) и прессовании их в заготовки (испытательные прутки, заготовки инструментов и т. д.) для получения однородных и плотных заготовок (плотность 50-70% теоретической плотности, пористость <0,01%) для последующего спекания. Процесс прессования напрямую влияет на точность размеров ($\pm 0,1$ мм), однородность плотности (>95%), механические свойства (прочность на изгиб 1,8-2,5 ГПа, твердость 1400-2200 HV) и качество конечного испытательного прутка (в соответствии с GB/T 38512015, GB/T 79972017) заготовки. Распространенные процессы прессования включают прессование под давлением, холодное изостатическое прессование (CIP), горячее изостатическое прессование (HIP, прессование + спекание), экструзию и литье металлов под давлением (MIM). Ниже подробно описаны характеристики, применимость, преимущества и недостатки различных процессов прессования с таблицей для наглядного сравнения в сочетании с национальными стандартами (например, GB/T 345052017, GB/T 183762014) и последними исследованиями (например, Sandvik, 2023; ScienceDirect, 2021).

1. Обзор различных процессов прессования твердого сплава

Целью процесса прессования твердого сплава является получение заготовок с высокой плотностью (50–70 % от теоретической плотности), однородностью (> 95 %) и точностью размеров ($\pm 0,1$ мм) для удовлетворения эксплуатационных требований к испытательным пруткам после спекания (таких как прочность на изгиб 1,8–2,5 ГПа, твердость 1400–2200 HV, коррозионная стойкость < 0,005 мм/год).

Процесс прессования должен учитывать:

Свойства порошка

Размер частиц WC (0,12 мкм), текучесть (<25 с/50 г, GB/T 14822010) и соотношение фаз связующего (615 мас. %).

Форма заготовки

Простые (например, тестовый стержень 5×5×35 мм) или сложные (например, инструмент, форма).

Эффективность производства

Большие партии (>1000 шт./час) или малые партии (<100 шт.).

расходы

Оборудование (505 млн юаней), формы (1,1 млн юаней), энергопотребление (0,55 кВтч/кг). В данной статье анализируются характеристики, применимость, преимущества и недостатки пяти основных процессов прессования в соответствии со стандартами GB/T 345052017 (подготовка порошка) и GB/T 38512015 (прочность).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Характеристики, применимость, преимущества и недостатки процесса прессования твердого сплава

Ниже приводится подробное описание пяти процессов прессования с указанием параметров процесса, оборудования, применимых сценариев, а также преимуществ и недостатков.

2.1 Прессование штампом

Характеристики процесса штамповки

Принцип прессования штампа

Смешанный материал (WC +Ni /Co, D50 50-150 мкм) загружается в стальную форму и прессуется в заготовку в одном или двух направлениях с помощью гидравлического пресса.

Параметры прессования

Давление: 100300 МПа.

Время выдержки: 530 секунд.

Форма : Высокопрочная сталь (HRC 6065), поверхность Ra < 0,4 мкм .

Плотность заготовки: 50-60% теоретической плотности (~810 г/см³) .

Оборудование для штамповки

Автоматические гидравлические прессы (101 000 тонн) , например, немецкой серии Dorst TRA.

Процесс прессования штампом

Компаундирование (мокрое измельчение, ПЭГ 12 мас. %).

Формовка (автоматическое заполнение, однородность >90%).

Прессование (100-300 МПа, 530 с).

Извлечение из формы (распыление разделительного состава, сила сцепления <0,1 Н).

Постобработка заготовок из твердого сплава, полученных прессованием

Обрежьте края и проверьте размеры ($\pm 0,1$ мм).

Применимость прессования штампом

форма

Простые геометрические фигуры, такие как стержни (5×5×35 мм), цилиндры и кубы.

Бренд

размер частиц 0,52 мкм) .

Урожай

Большие объемы (>1000 шт./час), например, пластины, заготовки сверл.

Преимущества прессования штампом

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Высокая эффективность: одномодовый режим 1020 шт./мин, высокая степень автоматизации (>90%).

Низкая стоимость: оборудование (501 млн юаней), форма (150 000 юаней/комплект).
размеров : $\pm 0,1$ мм, поверхность Ra <0,8 мкм .

Недостатки штамповки

Градиент плотности: однонаправленное нажатие снижает плотность центра на 510% (двунаправленное улучшение до <3%).

Сложные формы ограничены: форма сложна, а стоимость увеличивается на 50–100%.

Износ плесени: необходимо заменить после 10,5 миллионов циклов (стоимость 120 000 юаней).

Пример штамповки :

Испытательный стержень YN6 (5×5×35 мм): 200 МПа, 10 с, плотность ~ 9 г/см³ , прочность 1,8 ГПа (Sandvik, 2023).

стандарт :

GB/T 345052017: Отклонение плотности заготовки $\leq \pm 5\%$.

GB/T 3851:2015: Проверка прочности испытательного стержня.

2.2 Холодное изостатическое прессование (ХИП)

Особенности процесса холодного изостатического прессования (CIP) :

Принцип : Смешанный материал загружается в гибкую форму (например, резиновый мешок), помещается в жидкость под высоким давлением (масло/вода), и равномерное давление прикладывается во всех направлениях.

Параметры холодного изостатического прессования (ХИП) :

Давление: 200400 МПа.

Время выдержки: 30120 секунд.

Форма : Резина/ПУ (прочность на давление > 500 МПа).

Плотность заготовки: 60-70% теоретической плотности ($\sim 9,511$ г/см³) .

Оборудование для холодного изостатического прессования (CIP)

Машины CIP-мойки (100–1000 МПа), такие как серия Quintus QIC.

Процесс холодного изостатического прессования (CIP) :

Смешивание (высокоэнергетическая шаровая мельница, 1624 ч).

Упаковка в мешки (вакуумная герметизация, уровень утечки воздуха <0,01%).

Прессование (200400 МПа, 30120 с).

Извлечение из формы (мойка, сушка при 80°C).

Холодное изостатическое прессование (CIP) Применимость :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Формы : заготовки среднего и большого размера, такие как прутки ($\varnothing$ 1050 мм), пластины.

Сорт : YN10, YG8 (размер зерна 0,51,5 мкм) .

Объем производства : Средние партии (100-500 шт./час), например, горнодобывающий инструмент.

Преимущества холодного изостатического прессования (ХИП) :

Равномерная плотность: одинаковое давление во всех направлениях, отклонение плотности <1% (35% для формования).

Подходит для больших размеров: заготовки $\varnothing$ 100 мм, длина 500 мм.

Сокращение дефектов: уровень микротрещин снижен на 50%, пористость <0,005%.

Недостатки холодного изостатического прессования (ХИП) :

Низкая эффективность: 15 минут на одну партию, а производительность на 50% ниже, чем при формовании.

Высокие затраты: оборудование (2005 млн юаней), потребление энергии (23 кВтч/кг).

Точность размеров немного ниже: $\pm 0,2-0,5$ мм, и требуется вторичная обработка.

Пример холодного изостатического прессования (СІР) :

Стержень YN10 ($\varnothing$ 20 $\times$ 330 мм): 300 МПа, 60 с, плотность ~ 10 г/см³, KIC 9 МПа $\cdot$ м^{1/2} (ScienceDirect, 2021).

Стандарты холодного изостатического прессования (СІР) :

GB/T 183762014: Пористость заготовки <0,01%.

GB/T 38502015: Проверка плотности.

2.3 Горячее изостатическое прессование (ГИП, прессование + спекание)

Особенности процесса горячего изостатического прессования (ГИП, прессование + спекание) :

Принцип : Порошок напрямую прессуется и спекается при высокой температуре и высоком давлении (атмосфера Ar), принимая во внимание как формование, так и уплотнение.

Параметры горячего изостатического прессования (ГИП, прессование + спекание) :

Температура: 1350-1450°C.

Давление: 100-200 МПа.

Атмосфера: Ar (>99,99%), давление 50-150 МПа.

Плотность заготовки: >99,9% теоретической плотности ($\sim 14,515$ г/см³) .

Оборудование : Печь HIP, например, серии Quintus HIP.

процесс :

материалы (ультрамелкое зерно, D50 30100 мкм) .

Упаковка (стальная/титановая банка, вакуум <10⁻³ Па) .

Горячее изостатическое прессование (1350-1450°C, 100-200 МПа, 24 часа).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Декантация (механическая очистка, $Ra < 0,8$ мкм) .

Горячее изостатическое прессование (ГИП, прессование + спекание) применимо :

Форма : сложные и крупные детали, такие как авиационные инструменты и формы.

Сорт : YN8N (ультрамелкое зерно $< 0,5$ мкм) .

Объем производства : небольшие партии (< 50 шт./партия), продукция с высокой добавленной стоимостью.

Преимущества горячего изостатического прессования (ГИП, прессование + спекание) :

Высокая плотность: $> 99,9\%$, пористость $< 0,001\%$, прочность увеличена на 1015%.

Сложные формы: не требуется пресс-форма, подходит для деталей специальной формы (точность $\pm 0,1$ мм).

Превосходные характеристики: контроль зерна $< 0,5$ мкм , твердость увеличена на 510% (1800-2200 HV).

Недостатки горячего изостатического прессования (ГИП, прессование + спекание) :

Высокая стоимость: оборудования (500–1000 млн юаней), энергопотребления (5 кВт·ч/кг).

Низкая эффективность: 46 часов на одну партию, производительность < 10 шт./час.

Сложная упаковка: сталь может стоить 5100 юаней за штуку.

Пример горячего изостатического прессования (ГИП, прессование + спекание) :

Заготовка инструмента YN8N: 1400°C , 150 МПа, 3 часа, плотность $14,8 \text{ г/см}^3$, твердость 1800 HV (Sandvik, 2023).

Стандарты горячего изостатического прессования (ГИП, прессование + спекание) :

GB/T 79972017: Проверка твердости.

GB/T 51692013: Пористость $< 0,001\%$.

2.4 Экструзия

Особенности процесса экструзии :

Принцип : смешать смешанный материал со связующим веществом (воск, парафин 515 мас. %) до состояния пасты и выдавить непрерывные заготовки (например, стержни и трубки) через шнековый экструдер.

Параметры экструзии :

Давление: 1050 МПа.

Температура: $50-100^{\circ}\text{C}$ (размягчение клея).

Скорость экструзии: 0,11 м/мин.

Плотность заготовки: 50-60% теоретической плотности ($\sim 810 \text{ г/см}^3$) .

Оборудование : Одно-/двухшнековый экструдер, например Haake Rheomex .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Процесс экструзии :

Смешивание (мокрое измельчение + связующее, D50 80-150 мкм) .

Предварительный нагрев (50100°C, вязкость $10^3 \cdot 10^4$ Па·с) .

Экструзия (Ø 120 мм, длина >1 м).

Резка, обезжиривание (400-600°C, H2).

Применимость экструзии :

Форма : Длинные полосы, такие как буровые штанги (Ø 120 мм), трубы.

Сорт : YG8, YN10 (размер зерна 0,51,5 мкм) .

Производительность : средние и большие партии (500-2000 м3/ч).

Преимущества экструзии :

Непрерывное производство: подходит для длинных заготовок (>1 м), высокая производительность (500 м/час).

Гибкая форма: регулируемая форма , Ø 150 мм.

Стоимость умеренная: оборудование (100,2 млн юаней), форма (0,52 млн юаней).

Недостатки экструзии :

Обработка связующим: Обезжиривание занимает 48 часов, а остаточный углерод увеличивается на 0,01–0,02%.

Плотность немного ниже: 50–60%, требующая последующей обработки горячим изостатическим прессованием.

Ограниченная точность: $\pm 0,2-0,3$ мм, требуется шлифовка.

Пример экструзии :

Буровая штанга YG8 (Ø 10 × 330 мм): 30 МПа, 80°C, плотность ~ 9 г/см³ , прочность 2,0 ГПа (ScienceDirect, 2021).

Стандарт экструзии :

GB/T 183762014: Однородность бланка >90%.

GB/T 53142011: Проверка остатка углерода.

2.5 Литье металлов под давлением (MIM)

Характеристики процесса :

Принцип : Смешанный материал смешивается с полимерным связующим (ПП, ПЭ 1020 мас. %), впрыскивается в прецизионную форму, а затем обезжиривается и спекается после формирования сложной формы.

параметр :

Давление: 50150 МПа.

Температура: 150-200°C (расплавленный клей).

Скорость впрыска: 10100 см³/с.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Плотность заготовки: 50-60% теоретической плотности (~810 г/см³) .

Оборудование : Литьевая машина, например, Arburg Allrounder.

процесс :

Смешивание (высокоэнергетическая шаровая мельница + связующее, D50 50100 мкм) .

Инжекция (150-200°C, 50-150 МПа).

Обезжиривание (растворитель + термическое обезжиривание, 400-600°C).

Предварительное спекание (800-1000°C, H₂).

применимость :

Форма : сложные, мелкие детали, такие как микроинструменты, шестерни (<50 мм).

Марка : YN8N, YG6X (сверхмелкое зерно < 0,5 мкм) .

Объем производства : средняя партия (100-1000 шт./час).

преимущество :

Сложные формы: точность ±0,05 мм, подходит для микродеталей (<10 мм).

Массовое производство: единичная форма 1050 шт./мин.

Высокое качество поверхности: Ra < 0,4 мкм , вторичная обработка не требуется.

недостаток :

Высокая стоимость: оборудование (200,3 млн юаней), форма (5,1 млн юаней).

Обезжиривание усложняется: 8-12 часов, остаточный углерод увеличивается на 0,02-0,05%.

Большая усадка: 15-20%, требуется точная форма.

Примеры :

Микроинструмент YN8N (5×5×10 мм): 100 МПа, 180°C, плотность ~9 г/см³ , твердость 1800 HV (Sandvik, 2023).

стандарт :

GB/T 345052017: Точность заготовки ±0,05 мм.

GB/T 5169-2013: Проверка пористости.

3. Сравнение процессов

Таблица 1: Сравнение процессов прессования твердого сплава

Технологии	давление (МПа)	плотность %	Применимая форма	Урожай Штук/час	Точность мм	расходы	преимущество	недостаток
Формование	100300	5060	Простой	>1000	±0,1	Низкий	Высокая	Градиенты
			(испытательный стержень, цилиндр)				эффективность, низкая стоимость, высокая точность	плотности, ограничения сложной формы, износ

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

Технологии	давление (МПа)	плотность %	Применимая форма	Урожай Штук/час	Точность мм	расходы	преимущество	недостаток
								штампа
Холодное изостатическое прессование	200400	6070	Средние и большие (стержни, пластины)	100500	±0,20,5	середина	Однородная плотность, большой размер, мало дефектов	Низкая эффективность, высокая стоимость, немного меньшая точность
Горячее изостатическое прессование	100200	>99,9	Комплекс (инструменты, формы)	<50	±0,1	высокий	Высокая плотность, сложная форма, отличные эксплуатационные характеристики	Высокая стоимость, низкая эффективность, сложная упаковка
экструзия	1050	5060	Длинные полосы (стержни, трубки)	5002000 м	±0,20,3	середина	Непрерывное производство, гибкая форма, умеренная стоимость	Обработка связующим, низкая плотность, ограниченная точность
Литье под давлением	50150	5060	Сложные малые (микроинструменты)	1001000	±0,05	высокий	Сложные формы, массовое производство, высокое качество поверхности	Высокая стоимость, сложное обезжиривание, большая усадка

4. Руководство по применению и выбору

Формованный :

Применимо : большие количества, простые формы, такие как тестовые стержни YN6 (5×5×35 мм), лезвия.

Причины выбора : низкая стоимость (оборудование 501 млн юаней), высокая производительность (>1000 шт./час), точность ±0,1 мм.

Пример : лезвие YG15, 200 МПа, плотность ~9 г/см³, прочность 2,0 ГПа.

Холодное изостатическое прессование :

Применимо к : средним и крупным заготовкам, таким как прутки YN10 (Ø 20 × 330 мм), горнодобывающему инструменту.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Причины выбора : равномерная плотность (отклонение <1%), подходит для больших размеров (>500 мм), мало микротрещин.

Пример : стержень YN10, 300 МПа, KIC 9 МПа·м^{1/2}.

Горячее изостатическое прессование :

Применимо : высокопроизводительные, сложные детали, такие как авиационные инструменты и формы YN8N.

Причина выбора : плотность > 99,9%, твердость увеличена на 5–10% (1800–2200 HV), вторичное спекание не требуется.

Пример : заготовка инструмента YN8N, 1400°C, 150 МПа, твердость 1800 HV.

экструзия :

Применимо к : длинным полосам, таким как буровая штанга YG8 (Ø 120 мм).

Причины выбора : Непрерывное производство (500 м/час), умеренная стоимость, подходит для прутков/труб.

Пример : стержень YG8, 30 МПа, плотность ~9 г/см³.

Литье под давлением :

Применимо : сложные мелкие детали, такие как микроинструмент YN8N (<10 мм).

Причина выбора : Высокая точность (±0,05 мм), шероховатость поверхности Ra <0,4 мкм, подходит для изделий с высокой добавленной стоимостью.

Пример : микроинструмент YN8N, 100 МПа, твердость 1800 HV.

Таблица 2: Пригодность процесса прессования

Технологии	Применимые классы	Применимая форма	Урожай	Типичные применения
Формование	YN6, YG15	Испытательные стержни, лопасти, цилиндры	Большие партии (>1000)	Ножи, тестовые стержни
Холодное изостатическое прессование	YN10, YG8	Прутки и пластины	Средняя партия (100500)	Горные инструменты, длинные палки
Горячее изостатическое прессование	YN8	Сложные инструменты и формы	Небольшие партии (<50)	Авиационные инструменты, высококачественные формы
экструзия	YG8, YN10	Стержни и трубки	Средняя и высокая партия (500-2000 м)	Буровая штанга, волокна для волочения проволоки

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Технологии	Применимые классы	Применимая форма	Урожай	Типичные применения
Литье под давлением	YN8N, YG6X	Микроинструменты, шестерни	Средняя партия (1001000)	Прецизионные инструменты, микродетали

5. Заключение

Каждый процесс прессования твердого сплава имеет свои особенности и должен выбираться с учетом формы, производительности, производительности и стоимости:

Формование : высокая эффективность, низкая стоимость, подходит для больших объемов простых форм (тестовые стержни YN6), но градиент плотности составляет 35%.

Холодное изостатическое прессование : равномерная плотность, подходит для средних и больших заготовок (прутки YN10), но с несколько меньшей точностью ($\pm 0,2$ мм).

Горячее изостатическое прессование : плотность $>99,9\%$, подходит для изготовления сложных деталей высокой производительности (инструменты YN8N), но имеет высокую стоимость и низкую эффективность.

Экструзия : непрерывное производство длинных полос (прутки YG8), но требуется обезжиривание, а точность ограничена ($\pm 0,2$ мм).

Литье под давлением : высокоточные сложные мелкие детали (микроинструмент YN8N), но обезжиривание является сложным и дорогостоящим процессом.

стандарт :

GB/T 345052017 : Отклонение плотности заготовки $<\pm 5\%$, точность $\pm 0,1$ мм.

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

GB/T 14822010 : Текучесть <25 с/50 г.

GB/T 38512015 : Прочность на изгиб (испытательный стержень 1,8-2,5 ГПа) .

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

GB/T 51692013 : Пористость (A02B00C00).

Будущие тенденции : автоматизированное формование (эффективность повышается на 20%), 3D-печать (точность сложной формы $\pm 0,01$ мм) и технология зеленого обезжиривания (остаточный углерод $<0,01\%$) улучшат эффективность и производительность прессования.

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:

Типы, производительность и адаптируемость оборудования для прессования штампов из твердого сплава

Прессование в штампе является наиболее часто используемым процессом прессования при изготовлении заготовок из твердого сплава. Смешанный материал (WC+Ni /Co, размер частиц 50-150 мкм) загружается в стальную матрицу с помощью гидравлического или механического оборудования, и применяется однонаправленное или двунаправленное давление (100-300 МПа) для формирования заготовки высокой плотности (теоретическая плотность 50-60%, около 810 г/см³), которая подходит для простых геометрических форм (таких как испытательные стержни 5×5×35 мм, лопатки, цилиндры) и соответствует размерной точности ($\pm 0,1$ мм), однородности плотности (>90%) и производительности (прочность на изгиб 1,8-2,5 ГПа , твердость 1400-2200 HV), требуемым национальными стандартами (такими как GB/T 345052017, GB/T 38512015). Оборудование для прессования штампов подразделяется на множество типов в зависимости от режима привода, степени автоматизации и назначения, включая механические прессы, гидравлические прессы, сервопрессы и автоматические машины для прессования штампов. Ниже подробно описаны типы, характеристики и области применения оборудования для формования из цементированного карбида.

1. Обзор

Оборудование для формования изделий из твердого сплава должно соответствовать следующим требованиям:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Давление : 100-300 МПа, обеспечивающее плотность заготовки 50-60% ($\sim 810 \text{ г/см}^3$) .

Точность : позиционирование формы $\pm 0,01 \text{ мм}$, размер заготовки $\pm 0,1 \text{ мм}$ (GB/T 345052017).

Форма : Высокопрочная сталь (HRC 6065), поверхность Ra $< 0,4 \text{ мкм}$, срок службы 10,5 миллионов раз.

Эффективность : крупносерийное производство ($> 1000 \text{ шт./час}$), уровень автоматизации $> 90\%$.

Применимость : Подходит для твердых сплавов (например, YN6, YG15, размер зерна $0,52 \text{ мкм}$) и форм (испытательные стержни, лезвия).

Формовочное оборудование делится на четыре категории в зависимости от режима работы и функции: механический пресс, гидравлический пресс, сервопресс и автоматический формовочный пресс. Ниже последовательно анализируются их типы, характеристики, области применения, а также преимущества и недостатки.

2. Типы оборудования для формовки изделий из твердого сплава

2.1 Характеристики механического прессы

Режим привода : кривошипно-шатунный механизм или эксцентриковое колесо, давление обеспечивает механическая трансмиссия.

параметр :

Давление: 50500 тонн (100300 МПа).

Скорость ударов: 30120 раз/мин.

Мощность: Средняя (1050 кВт).

Форма : одинарная или многосекционная , сталь (HRC 6065).

Оборудование : например, японская серия Aida NC, немецкая серия Schuler MS.

Принцип работы :

Смешанный материал (WC +Ni /Co, PEG 12 мас. %) автоматически загружается в форму.

Кривошипно-шатунный механизм, однонаправленное прессование (100-300 МПа, 510 с).

Извлечение из формы (пневматическое/гидравлическое, сила сцепления $< 0,1 \text{ Н}$).

Управление : управление ПЛК, отклонение давления $\leq \pm 5 \text{ МПа}$, точность позиционирования $\pm 0,02 \text{ мм}$.

приложение :

Марка : YN6, YG15 (условный размер зерна $0,52 \text{ мкм}$) .

Форма : стержень ($5 \times 5 \times 35 \text{ мм}$), диск ($\varnothing 1050 \text{ мм}$).

Производительность : Большие объемы (1000-5000 шт./час).

Сценарий: Изготовление стандартных деталей для пластин и заготовок сверл.

преимущество :

Высокая эффективность: ход 60-120 раз/мин, производительность увеличена на 20-30% (гидравлический пресс).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Низкая стоимость: низкие затраты на оборудование и техническое обслуживание.

Хорошая устойчивость: механическая конструкция прочная и имеет длительный срок службы.

недостаток :

Ограниченная регулировка давления: фиксированный ход, на 10–20 % меньшая гибкость.

Возможность изготовления сложных форм ограничена: стоимость пресс-форм высока.

Градиент плотности: отклонение компрессии в одном направлении составляет 35%, требуется улучшение в двух направлениях.

Примеры :

Испытательный стержень YN6: 200 МПа, 10 с, плотность ~ 9 г/см³, прочность 1,8 ГПа (Sandvik, 2023).

стандарт :

GB/T 345052017: Отклонение плотности заготовки $< \pm 5\%$.

GB/T 1482-2010: Текучесть смеси < 25 с/50 г.

2.2 Гидравлический пресс

Функции :

Режим движения : Гидравлический цилиндр обеспечивает давление, одностороннее или двухстороннее нажатие.

параметр :

Давление: 1001000 тонн (100300 МПа).

Время выдержки: 530 секунд, регулирование давления ± 2 МПа.

Мощность: Средне-высокая (20-100 кВт).

Форма : Высокопрочная сталь, поверхность Ra $< 0,4$ мкм .

Оборудование : немецкое, серий Lauffer и Dorst TPH.

Принцип работы :

Смешивание и формование (автоматическое наполнение, однородность $> 90\%$).

Приводится в действие гидроцилиндром, двунаправленное прессование (верхнее и нижнее давление 150-250 МПа).

Извлечение из формы (гидравлическое выталкивание, точность $\pm 0,01$ мм).

Управление : система ЧПУ, мониторинг кривой давления/перемещения в реальном времени, отклонение $< \pm 1\%$.

приложение :

Сорт : YN10, YG8 (размер зерна 0,51,5 мкм) .

Форма : испытательный брусок, куб, тонкая пластина (толщина 120 мм).

Производительность : средние и большие объемы (500-2000 шт./час).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Сценарий : заготовки инструментов, заготовки форм.

преимущество :

Регулируемое давление: 100-300 МПа, подходит для разных марок (YN6, YN10).

Равномерная плотность: двунаправленное прессование, отклонение $<2\%$ (механическое 35%).

Подходит для форм средней сложности: на 20% больше гибкости форм.

недостаток :

Чуть меньшая эффективность: ход 1030 раз/мин (механический 60120 раз).

Более высокая стоимость: стоимость обслуживания оборудования и гидравлической системы средняя или высокая.

Высокое энергопотребление: энергопотребление на 50–100 % выше, чем у механических прессов.

Примеры :

Заготовка инструмента YN10: 250 МПа, 15 секунд, плотность $\sim 9,5 \text{ г/см}^3$, КИС $9 \text{ МПа} \cdot \text{м}^1 / \text{2}$ (ScienceDirect, 2021).

стандарт :

GB/T 183762014: Пористость заготовки $<0,01\%$.

GB/T 3851:2015: Проверка прочности испытательного стержня.

2.3 Сервопресс

Режим привода : сервопривод, точный контроль давления, скорости и рабочего объема.

параметр :

Давление: 50500 тонн (100300 МПа).

Скорость хода: регулируемая, 1100 раз/мин.

Мощность: Средняя (1580 кВт).

Форма : сталь (HRC 6065), многопозиционная.

Оборудование : например, японское Komatsu H1F и немецкое Schuler ServoLine .

Принцип работы :

Смешивание и формование (сервозаполнение, однородность $>95\%$).

Заслонка с сервоприводом, одинарное/двойное нажатие (кривая давления программируется).

Извлечение из формы (сервовыталкивание, точность $\pm 0,005 \text{ мм}$).

Управление : интеллектуальный ПЛК + сенсорный экран, отклонение давления $\leq \pm 0,5 \text{ МПа}$, позиционирование $\pm 0,005 \text{ мм}$.

приложение :

Марка : YN8N, YG6X (сверхмелкое зерно $< 0,5 \text{ мкм}$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Форма : сложные лопадки, тонкостенные детали (толщина 0,510 мм).

Производительность : средние и большие объемы (500-3000 шт./час).

Области применения : авиационный инструмент, прецизионные заготовки для литья.

преимущество :

Высокая точность: контроль давления/смещения $\pm 0,5\%$, размер $\pm 0,05$ мм.

Высокая гибкость: программируемый ход, адаптируемость к сложным формам (снижение стоимости пресс-формы).

Высокая энергоэффективность: энергопотребление на 20–30 % ниже, чем у гидравлических прессов.

недостаток :

Высокая стоимость: оборудование и сервосистема требуют высоких затрат на техническое обслуживание.

Немного более низкая скорость: 1050 раз/минуту для сложных деталей.

Высокие технические требования: требуется профессиональное программирование и отладка.

Примеры :

Вставка YN8N: 200 МПа, 10 с, плотность $\sim 9,2$ г/см³, твердость 1800 HV (Sandvik, 2023).

стандарт :

GB/T 345052017: Точность заготовки $\pm 0,05$ мм.

GB/T 7997-2017: Проверка твердости (косвенная).

2.4 Автоматический штамповочный пресс

Функции :

Тип привода : гидравлический или сервопривод, интегрированная система автоматизации (заполнение, прессование, выемка из формы, транспортировка).

параметр :

Давление: 100600 тонн (100300 МПа).

Производственный цикл: 520 секунд/шт.

Мощность: средне-высокая (30-150 кВт).

Форма : многопозиционная (416 гнезд), сталь (HRC 6065).

Оборудование : немецкое Dorst TPA, швейцарское Osterwalder серии CA.

Принцип работы :

Автоматическое наполнение: вибрационное/сервонаполнение, равномерность >95%.

Многоосное прессование: двунаправленное или многонаправленное, давление 150-300 МПа.

Автоматическая распалубка : роботизированная рука извлекает детали, повышая эффективность на 30%.

Конвейер: Выход конвейера, размер обнаружения ($\pm 0,1$ мм).

Контроль : промышленный ПК + визуальный осмотр, уровень автоматизации > 95%,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

отклонение < ± 0,5%.

приложение :

Марка : YN6, YN10, YG15.

Форма : лезвия, испытательные стержни, детали специальной формы (заготовки сложных инструментов).

Производительность : сверхбольшие партии (2000-10000 шт./час).

Сценарий : Крупносерийное производство режущих инструментов и стандартных деталей.

преимущество :

Сверхвысокая эффективность: время цикла 510 секунд/изделие, производительность увеличена на 50% (гидравлический пресс).

Высокая степень автоматизации: трудозатраты сокращаются на 70–80%, а стабильность составляет >95%.

Высокая точность: размер ±0,050,1 мм, отклонение плотности <1%.

недостаток :

Чрезвычайно высокая стоимость: Стоимость оборудования и форм чрезвычайно высока.

Сложное обслуживание: частота отказов системы автоматизации увеличивается на 10%, а стоимость обслуживания высока.

Однократное применение: требуется индивидуальная производственная линия, гибкость снижается на 20%.

Примеры :

Лезвие YG15: 250 МПа, 8 секунд, плотность ~9,5 г/см³, прочность 2,0 ГПа (Sandvik, 2023).

стандарт :

GB/T 183762014: однородность бланка>95%.

GB/T 3851:2015: Проверка прочности испытательного стержня.

3. Сравнение типов устройств

Таблица 1: Сравнение типов оборудования для формования изделий из карбида вольфрама

Тип устройства	Режим движения	Давление тонн	Штук/час	Точность мм	расходы	преимущество	недостаток
Механический пресс	рукоятка Эксцентриковое колесо	50500	10005000	±0,1	Низкий	Высокая эффективность, низкая стоимость и хорошая стабильность	Ограниченное регулирование давления, ограниченные

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

Тип устройства	Режим движения	Давление тонн	Штук/час	Точность мм	расходы	преимущество	недостаток
							сложные формы, градиенты плотности
Гидравлический пресс	Гидравлический цилиндр	1001000	5002000	±0,1	середина	Регулируемое давление, равномерная плотность, подходит для средних и сложных форм.	Немного более низкая эффективность, более высокая стоимость и высокое потребление энергии
Сервопресс	Серводвигатель	50500	5003000	±0,05	высокий	Высокая точность, гибкость и энергоэффективность	Высокая стоимость, низкая скорость, высокие технические требования
Автоматическая формовочная машина	Гидравлический/Сервопривод	100600	200010000	±0,050,1	Очень высокий	Сверхвысокая эффективность, высокая автоматизация и высокая точность	Чрезвычайно высокая стоимость, сложное обслуживание и одноразовое применение

4. Руководство по применению и выбору

Механический пресс :

Применимо : большой объем, простые формы, такие как тестовые стержни YN6, диски YG15.

Причины выбора : низкая стоимость, высокая производительность (1000-5000 шт./час), подходит для стандартных деталей.

Пример : испытательный стержень YN6, 200 МПа, плотность ~9 г/см³ .

Гидравлический пресс :

Применимо к : средним и большим партиям, изделиям средней сложности, таким как заготовки инструментов YN10, тонкие пластины YG8.

Причина выбора : Двухнаправленное прессование, отклонение плотности <2%, подходит для различных марок.

Пример : заготовка инструмента YN10, 250 МПа, KIC 9 МПа·м^{1/2} .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Сервопресс :

Применимо : высокоточные, сложные формы, такие как лопатки YN8N, тонкостенные детали YG6X.

Причины выбора : точность $\pm 0,05$ мм, программируемое управление, подходит для авиационных/прецизионных пресс-форм.

Пример : вставка YN8N, 200 МПа, твердость 1800 HV.

Автоматическая формовочная машина :

Применимо к : сверхкрупным партиям, стандартным/специальной формы деталям, таким как лезвия YG15, испытательные стержни YN6.

Причина выбора : Автоматизация >95%, производительность 2000–10000 шт./час, подходит для крупномасштабного производства.

Пример : лезвие YG15, 250 МПа, прочность 2,0 ГПа .

Таблица 2: Пригодность формовочного оборудования

Тип устройства	Применимые классы	Применимая форма	Производительность (штук/час)	Типичные применения
Механический пресс	YN6, YG15	Тестовые стержни, диски	10005000	Стандартные лезвия, испытательные стержни
Гидравлический пресс	YN10, YG8	Заготовки инструментов, тонкие пластины	5002000	Режущие инструменты и заготовки для форм
Сервопресс	YN8N, YG6X	Сложные лопатки, тонкостенные детали	5003000	Авиационные инструменты, прецизионные формы
Автоматическая формовочная машина	YN6, YN10, YG15	Лезвия, испытательные стержни, детали специальной формы	200010000	Крупногабаритные режущие инструменты и стандартные детали

5. Заключение

Типы оборудования для формования изделий из твердого сплава включают в себя:

Механический пресс

Низкая стоимость, высокая эффективность, подходит для простых форм большого объема (тестовые стержни YN6), но с градиентом плотности 35%.

Гидравлический пресс

Регулируемое давление, равномерная плотность, подходит для средних и больших партий средней сложности форм (заготовки инструментов YN10) , но высокое энергопотребление.

Сервопресс

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Высокая точность, большая гибкость, подходит для сложных и высокоточных деталей (лезвия YN8N), но стоимость высока.

Автоматическая формовочная машина

Сверхвысокая эффективность, высокая степень автоматизации, подходит для крупномасштабного производства (лезвия YG15), но чрезвычайно дорог и сложен в обслуживании.

стандарт :

GB/T 345052017 : Отклонение плотности заготовки $< \pm 5\%$, точность $\pm 0,1$ мм.

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

GB/T 14822010 : Текучесть при смешивании < 25 с/50 г.

GB/T 38512015 : Прочность на изгиб (испытательный стержень 1,8-2,5 ГПа) .

Будущие тенденции : интеллектуальные сервопрессы (точность $\pm 0,01$ мм), многопозиционные автоматические формовочные машины (производительность увеличивается на 30%) и экологически чистые энергосберегающие технологии (потребление энергии снижается на 20%) будут доминировать в развитии формовочного оборудования.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

**Типы, оборудование, характеристики и технологичность изостатического
прессования твердого сплава**

Изостатическое прессование твердого сплава — это процесс получения заготовок высокой плотности (теоретическая плотность 60-70%, около 9,511 г/см³) путем прессования смеси (WC +Ni /Co, размер частиц 50-150 мкм) с одинаковым давлением во всех направлениях. Он широко используется при производстве твердосплавных испытательных стержней, инструментальных заготовок и форм. Его основным преимуществом является однородность плотности (>95%, отклонение <1%). По сравнению с прессованием в штампе (отклонение плотности 35%), оно больше подходит для заготовок среднего размера или сложной формы (таких как прутки Ø 1050 мм, пластины) и соответствует размерной точности ($\pm 0,2-0,5$ мм), пористости (<0,01%) и производительности (прочность на изгиб 1,8-2,5 ГПа, твердость 1400-2200 HV), требуемым национальными стандартами (такими как GB/T 345052017, GB/T 183762014). Изостатическое прессование подразделяется на холодное изостатическое прессование (CIP) и горячее изостатическое прессование (HIP) в зависимости от температуры и процесса.

Далее подробно рассматриваются типы, оборудование, характеристики, применимость и сравнение с формованием изостатическим прессованием твердого сплава, улучшается и совершенствуется технологическая часть, добавляются конкретные модели оборудования, оптимизация параметров, примеры применения и сравнительные таблицы, а также объединяются национальные стандарты и отраслевые практики (например, Sandvik, 2023; ScienceDirect, 2021).

1. Обзор

Изостатическое прессование карбида вольфрама прессует заготовку с равномерным давлением (100-400 МПа), устраняет градиент плотности (35%) прессования в форме, улучшает однородность заготовки (>95%) и последующую производительность спекания (плотность>99,5%, пористость<0,01%). По сравнению с прессованием в форме изостатическое прессование имеет преимущества однородной плотности и пригодности для сложных форм, но недостатками являются низкая эффективность и высокая стоимость. Процесс изостатического прессования должен соответствовать следующим требованиям:

Давление : 100400 МПа (CIP 200400 МПа, HIP 100200 МПа).

Форма : Гибкая форма (CIP: резина/ПУ; HIP: стальной/титановый резервуар).

Заготовки : средние и большие (Ø 10-100 мм, длина 500 мм) или сложной формы (например, инструменты, формы).

Производительность : от низких до средних партий (CIP: 100-500 шт./час; HIP: <50 шт./партия).

Применимость : Подходит для твердых сплавов (таких как YN6, YN10, YN8N, размер зерна

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

0,12 мкм) .

Изостатическое прессование подразделяется на холодное изостатическое прессование (CIP) и горячее изостатическое прессование (HIP), которые подходят для различных форм, характеристик и производственных требований. Ниже анализируются их типы, оборудование, характеристики, применимость и сравнение с формованием по отдельности, особенно подробная часть процесса.

2. Виды, оборудование, характеристики и область применения изостатического прессования твердого сплава

2.1 Холодное изостатическое прессование (ХИП)

Тип и принцип :

Мешок CIP : Смешанный материал загружается в гибкую форму (например, резиновый мешок), погружается в жидкость под высоким давлением (вода/масло) и прессуется с одинаковым давлением во всех направлениях. Подходит для различных форм (например, детали специальной формы, стержни).

Мешок CIP : Смешанный материал загружается в фиксированную гибкую форму, а жидкость продавливается через стенку формы. Подходит для высокоэффективных и стандартных форм (например, цилиндрических стержней).

оборудование :

Конкретная модель :

Quintus Technologies QIC 2.4x4.8 : камера Ø 600 мм × 1800 мм, давление 200-400 МПа, подходит для крупногабаритных прутков.

Avure Technologies V3 CIP : камера Ø 400 мм × 1200 мм, давление 250-350 МПа, подходит для деталей среднего размера.

EPSI CIP 400200 : Камера Ø 300 мм × 1000 мм, давление 200-400 МПа, подходит для малых и средних партий.

Спецификация :

Давление: 200-400 МПа (обычно 300 МПа).

Размеры камеры: Ø 100-1000 мм, высота 500-2000 мм.

Мощность: средне-высокая (50-150 кВт).

Управление: ПЛК+сенсорный экран, отклонение давления <±2 МПа, позиционирование ±0,1 мм.

Время цикла: 15 минут на партию (25 минут для метода влажного мешка , 12 минут для метода сухого мешка) .

Функции :

Параметры процесса :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Давление: 200400 МПа (оптимизация: 300 МПа, плотность увеличена на 5%).

Время выдержки: 30120 секунд (оптимизация: 60 секунд, однородность >95%).

Форма : Резина/ПУ (прочность на сжатие >500 МПа, твердость по Шору А 7090), срок службы 1000-5000 раз.

Плотность заготовки: 60-70% теоретической плотности ($\sim 9,511 \text{ г/см}^3$).

Жидкая среда: вода/масло (содержит ингибитор ржавчины, pH 78, для вторичной переработки).

Процесс холодного изостатического прессования карбида (CIP)

Подготовка смеси

Сырье: WC (D50 50-150 мкм), Ni/Co (6-15 мас. %), добавки (Cr3C2/VC 0,1-0,5 мас. %).

Процесс: высокоэнергетическое шаровое измельчение (1624 ч, соотношение шаров к материалу 10:1, скорость вращения 200-300 об/мин), добавление ПЭГ (0,1-0,2 мас. %) в качестве формовочного агента.

Испытание: размер частиц D50 <150 мкм, текучесть <25 с/50 г (GB/T 1482-2010), влажность <0,1%.

Заполнение формы

Форма : Резиновый/ПУ мешок (толщина стенки 25 мм, сопротивление давлению >500 МПа), с нанесенной внутри смазкой (силиконовое масло, 0,01 мм).

Наполнение: Автоматический наполнитель (частота вибрации 50-100 Гц), плотность наполнения 23 г/см^3 , однородность >90%.

Герметизация: вакуумная герметизация ($<10^{-2}$ Па, скорость утечки воздуха <0,01%) с использованием термосварщика (температура 150-200°C).

Контроль: Взвешивание ($\pm 0,1 \text{ г}$), рентгенологический контроль целостности формы (отсутствие пузырей/трещин).

Прессование под высоким давлением :

Оборудование: Quintus QIC 2.4x4.8 (метод мокрого мешка) или Avure V3 CIP (метод сухого мешка).

Параметры: давление 300 МПа (скорость нагнетания давления 510 МПа/с), выдержка давления 60 секунд, жидкая среда (вода + 0,5% ингибитора ржавчины).

Процесс: Метод мокрого мешка погружает форму в полость, а метод сухого мешка фиксирует форму в полости и равномерно распределяет давление.

Мониторинг: Регистрация кривой давления в реальном времени (отклонение $\leq \pm 2 \text{ МПа}$), температура 2030°C.

Извлечение из формы и очистка :

Извлечение из формы : ручное (метод мокрого мешка) или пневматическое (метод сухого мешка, давление 0,51 МПа), процент разрушения формы <0,5%.

Очистка: Ультразвуковая очистка (40 кГц, 10 мин) для удаления остатков масла/порошка.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Сушка: Вакуумная сушка (80°C, 2 часа, давление $<10^{-1}$ Па), влажность $<0,05\%$.

Тесты: размер ($\pm 0,2-0,5$ мм), плотность (~ 10 г/см³), отклонение $<1\%$.

Проверка качества :

Внешний вид: без трещин, деформаций, шероховатость поверхности Ra $< 1,6$ мкм .

Свойства: плотность (GB/T 38502015), пористость $<0,01\%$ (GB/T 183762014).

Записи: прослеживаемость партии (QR-код), сохранение параметров смешивания/прессования.

Окружающая среда : комнатная температура (20–30 °C), система циркуляции жидкости (точность фильтрации 10 мкм , скорость циркуляции $>95\%$).

Предложения по оптимизации параметров :

Давление: 300 МПа, баланс плотности (~ 10 г/см³) и срока службы формы (увеличение на 20%).

Время выдержки: 60 секунд, сократить время на 30%, сохранить однородность $>95\%$.

Форма : материал ПУ (твёрдость по Шору А 80), сопротивление давлению увеличено на 10%, стоимость снижена на 15%.

Жидкость: добавьте 0,5% ингибитора ржавчины, чтобы продлить срок службы оборудования на 12 лет.

Упаковка: частота вибрации 80 Гц, однородность повышена на 5%.

применимость :

Сорт : YN10, YG8 (размер зерна 0,51,5 мкм) .

Форма : от средней до большой, например, стержни (Ø 1050 мм, длина 330–500 мм), пластины (50 × 50 × 20 мм), кольца (Ø 100 мм).

Производительность : Средняя партия (100500 шт./час, 100300 для метода влажного мешка, 300500 для метода сухого мешка) .

Применение : Горнодобывающие инструменты (например, буровые штанги), волоочильные матрицы, длинные стержни (для оснований инструментов).

преимущество :

Равномерная плотность: одинаковое давление во всех направлениях, отклонение $<1\%$ (35% для формования).

Подходит для больших размеров: заготовка Ø 100 мм, длина 500 мм (предел формовки Ø 50 мм).

Меньше микротрещин: процент дефектов снижен на 50%, пористость $<0,005\%$ (0,01% для формования).

Гибкая форма: метод мокрого мешка подходит для деталей специальной формы, а стоимость пресс-формы на 20% ниже (литье).

недостаток :

Низкая эффективность: 15 минут на одну партию, а производительность на 50% ниже, чем

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

при формировании (формование > 1000 шт./час).

Более высокая стоимость: затраты на оборудование и техническое обслуживание средние или высокие (затраты на формование низкие).

Точность немного ниже: $\pm 0,20,5$ мм (формовка $\pm 0,1$ мм), и требуется вторичная обработка.

Примеры применения :

Штанга для горнодобывающего сверла YN10 :

Оборудование: Quintus QIC 2.4x4.8.

Параметры: 350 МПа, выдержка под давлением 90 секунд, диаметр камеры 600 мм.

Результаты: заготовка $\varnothing 20 \times 330$ мм, плотность $10,2 \text{ г/см}^3$, однородность >95%, KIC 9 МПа·м^{1/2}, прочность после спекания 2,0 ГПа (ScienceDirect, 2021).

Сценарий: Бурение твердых пород, производительность 200 шт./час.

Заготовка фильеры для волочения проволоки YG8 :

Оборудование: Avure V3 CIP.

Параметры: 300 МПа, выдержка под давлением в течение 60 секунд, метод сухого мешка.

Результат: заготовка $\varnothing 50 \times 20$ мм, плотность 10 г/см^3 , пористость <0,005%, твердость после спекания 1500 HV.

Сценарий: Волочение металла, производительность 400 шт./час.

Сравнение холодного изостатического прессования (ХИП) и формования :

Равномерность плотности : отклонение CIP <1%, формование 35% (однаправленное прессование).

Применимость формы : CIP подходит для деталей среднего и большого размера/специальной формы, а формование ограничивается простыми формами (например, испытательными стержнями).

Производительность : CIP 100500 шт./час, формовка 100010000 шт./час.

Стоимость : средняя при CIP, низкая при формовании.

Точность : CIP $\pm 0,20,5$ мм, формовка $\pm 0,1$ мм.

стандарт :

GB/T 183762014: Пористость заготовки <0,01%.

GB/T 38502015: Проверка плотности.

2.2 Горячее изостатическое прессование (ГИП)

принципы горячего изостатического прессования (ГИП) :

Прямой ХИП

Порошок загружается непосредственно в металлическую банку (сталь/титан), прессуется и спекается при высокой температуре и давлении, принимая во внимание как формование, так

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

и уплотнение, что подходит для высокопроизводительных деталей.

Постобработка HIP

Предварительно спеченная заготовка (вакуумное спекание, 1200–1300 °С, плотность 80–90 %) затем подвергается горячей изостатической обработке для устранения пористости и улучшения эксплуатационных характеристик.

оборудование :

Конкретная модель :

Quintus HIP QIH 122 : Камера Ø 400 мм × 1200 мм, давление 100-200 МПа, температура 1350-1450 °С.

Bodycote HIP HT 200 : Камера Ø 300 мм × 1000 мм, давление 120-180 МПа, температура 1300-1400 °С.

ALD HIP V 4 : камера Ø 500 мм × 1500 мм, давление 100-200 МПа, подходит для крупногабаритных форм.

Спецификация :

Давление: 100-200 МПа (обычно 150 МПа).

Температура: 1350-1450°С.

Размеры камеры: Ø 500 мм, высота 1500 мм.

Мощность: Высокая (100-300 кВт).

Управление: промышленный ПК, отклонение температуры <±5°С, отклонение давления <±1 МПа.

Продолжительность цикла: 46 часов/партия.

Функции :

Параметры процесса :

Температура: 1350-1450°С (на основе Ni 1350-1400°С, на основе Co 1400-1450°С).

Давление: 100-200 МПа (оптимизировано: 150 МПа, плотность >99,9%).

Атмосфера: Ar (>99,99%, O₂ <0,001%).

Время изоляции: 24 часа (оптимизация: 3 часа, увеличение производительности 5%).

Плотность: >99,9% теоретической плотности (~14,515 г/см³).

Процесс горячего изостатического прессования (HIP) (подробно)

Смешивание или приготовление заготовки :

Прямое ГИП : смешивание (WC +Ni /Co, D50 30-100 мкм , сверхтонкое зерно <0,5 мкм) , высокоэнергетическое измельчение в шаровой мельнице (2436 часов, соотношение шаров к материалу 15:1, скорость 300-400 об/мин), добавление ВК (0,2 мас . %) для контроля размера зерна.

Последующая обработка HIP : предварительно спеченная заготовка (вакуумное спекание, 1200-1300°С, 12 часов, плотность 80-90%).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Тестирование: Размер частиц смешанного материала D50 <100 мкм , O2 <0,03% (GB/T 345052017), пористость заготовки <0,05%.

Упаковка :

Контейнер: нержавеющая сталь (316L, толщина стенки 23 мм) или титановый бак (Gr5, термостойкость >1500°C).

Наполнение: Вибронаполнение (частота 5080 Гц), плотность наполнения 34 г/см³ .

Герметизация: вакуумная сварка (<10⁻³ Па, электронно-лучевая сварка, ширина шва 12 мм), уровень утечки <0,001%.

Инспекция: рентгенографический контроль целостности резервуара (отсутствие трещин/пор), вакуумные испытания (<10⁻³ Па) .

Высокая температура и высокое давление уход :

Оборудование: Quintus HIP QIH 122 или ALD HIP V4.

Параметры: 1400°C (скорость нагрева 510°C/мин), 150 МПа (скорость повышения давления 25 МПа/мин), выдержка 3 часа, атмосфера Ar (чистота>99,995%).

Процесс: Резервуар помещается в графитовый нагреватель (C >99,9%), и кривая давления/температуры отслеживается в режиме реального времени (отклонение <±5°C, ±1 МПа).

Охлаждение: Охлаждение в печи (510°C/мин, расход Ar 12 л/мин) до температуры <100°C.

Декантирование и последующая обработка :

Зачистка банок: механическая зачистка (резательная машина, точность ±0,5 мм) или травление (HNO₃ 10%, 30 минут), поверхность Ra < 0,8 мкм .

Очистка: Ультразвуковая очистка (40 кГц, 15 мин) для удаления остаточной стружки Ar /металла.

Обработка: шлифовка (Ra < 0,4 мкм , размер ± 0,1 мм), полировка (Ra < 0,2 мкм , требования к авиационному инструменту) .

Тест: плотность (>99,9%, ~14,8 г/см³) , пористость <0,001% (GB/T 51692013).

Проверка качества :

Свойства: твердость (1800-2200 HV, GB/T 7997-2017), прочность (2,2-2,5 ГПа , GB/T 3851-2015).

Микроструктура: размер зерна <0,5 мкм (GB/T 183762014), η-фаза <0,5%.

Записи: прослеживаемость партии (штрих-код), хранение кривых температуры/давления.

Окружающая среда : высокая температура и высокое давление, атмосфера Ar , охлаждение печи (510°C/мин).

Предложения по оптимизации параметров :

Давление: 150 МПа, сбалансированная плотность (>99,9%) и энергопотребление (снижение на 10%).

Температура: 1400°C (на основе Co), снижает рост зерна (<5%).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Время изоляции: 3 часа, эффективность увеличена на 25%, пористость <0,001%.

Материал бака: нержавеющая сталь (316L), на 20% дешевле, устойчивость к давлению та же.

Атмосфера: чистота Ar >99,995%, O₂ <0,0005%, снижение окисления на 50%.

применимость :

Марка : YN8N, YG6X (сверхмелкое зерно < 0,5 мкм) .

Форма : сложная, например, авиационные инструменты (многокриволинейные поверхности), пресс-формы (полости специальной формы), заготовки турбинных лопаток.

Производство : небольшие партии (<50 шт./партия), продукция с высокой добавленной стоимостью.

Области применения : аэрокосмические инструменты, высококачественные формы, медицинские имплантаты.

преимущество :

Высокая плотность: >99,9%, пористость <0,001% (модуль спекания 0,005 0,01%).

Сложные формы: не требуются формы, точность ±0,1 мм (для литья требуется сложная форма).

Превосходные характеристики: контроль зерна <0,5 мкм , твердость увеличилась на 510% (1800-2200 HV), прочность увеличилась на 1015% (2,2-2,5 ГПа) .

Меньше дефектов: скорость образования микротрещин снизилась на 50%, KIC увеличился на 10% (912 МПа·м^{1/2}) .

недостаток :

Высокая стоимость: высокие затраты на оборудование и электроэнергию (низкая стоимость формования).

Низкая эффективность: 46 часов на одну партию, производительность <50 шт./час (формование >1000 шт./час).

Сложная упаковка: металлические банки стоят дорого, а время процесса увеличивается на 12 часов.

Примеры применения :

YN8N Заготовка для авиационного инструмента :

Оборудование: Quintus HIP QIH 122.

Параметры: 1400°C, 150 МПа, 3 часа, атмосфера Ar .

Результаты: Заготовка 50×50×20 мм, плотность 14,8 г/см³ , пористость <0,001%, твердость 1800 HV, прочность 2,2 ГПа (Sandvik, 2023).

Сценарий: Обработка жаропрочных сплавов, объем производства 30 шт./партия.

форма YG6X :

Оборудование: ALD HIP V4.

Параметры: 1350°C, 120 МПа, 2,5 часа сохранения тепла, последующая обработка горячим

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

изостатическим прессованием.

Результаты: Ø матрицы 100 × 50 мм, плотность 14,9 г/см³ , размер зерна < 0,5 мкм , KIC 10 МПа·м^{1/2}.

Сценарий: Штамп для штамповки деталей автомобилей, объем производства 20 шт./партия.

По сравнению с формованием :

Равномерность плотности : HIP >99,9%, отклонение <0,1%, формование 50–60%, отклонение 35%.

Применимость формы : ГИП подходит для деталей сложной и специальной формы, в то время как формование ограничивается простыми формами (испытательные стержни, лопатки).

Производительность : HIP <50 шт./партия, формование 100010000 шт./час.

Стоимость : высокая для HIP, низкая для формовки.

Характеристики : твердость после горячего изостатического прессования 1800-2200 HV, после спекания после формования 1400-1800 HV.

стандарт :

GB/T 79972017: Проверка твердости.

GB/T 51692013: Пористость <0,001%.

3. Сравнение изостатического прессования и формования

характеристика	Холодное изостатическое прессование (ХИП)	Горячее изостатическое прессование (ГИП)	Прессование штампов
Давление (МПа)	200400	100200	100300
Температура (°C)	Комнатная температура	13501450	Комнатная температура
Плотность (% теоретическая)	6070	>99,9	5060
Однородность	Отклонение <1%	Отклонение <0,1%	Отклонение 35% (в одну сторону)
Применимая форма	Средние и большие (стержни, пластины)	Комплекс (инструменты, формы)	Простой (тестовый стержень, лезвие)
Точность(мм)	±0,20,5	±0,1	±0,1
Урожай	100500 шт/час	<50 шт./партия	100010000 шт/час
расходы	середина	высокий	Низкий
преимущество	Однородная плотность, большой размер, мало микротрещин	Высокая плотность, сложная форма, отличные эксплуатационные характеристики	Высокая эффективность, низкая стоимость, высокая точность

характеристика	Холодное изостатическое прессование (ХИП)	Горячее изостатическое прессование (ГИП)	Прессование штампов
недостаток	Низкая эффективность, средняя стоимость, немного меньшая точность	Высокая стоимость, низкая эффективность, сложная упаковка	Градиенты плотности, ограничения сложной формы, износ штампа
Типичное оборудование	Quintus QIC 2.4x4.8, Avure V3 CIP	Квинтус HIP QIH 122, ALD HIP V4	Дорст ТРА, Айда NC

4. Сравнение типов изостатического прессования

Таблица 2: Сравнение типов изостатического прессования твердого сплава

тип	давление МПа	температура °C	плотность %	Применимая форма	Урожай Штука/Партия	расходы	преимущество	недостаток
Холодное изостатическое прессование (ХИП)	200400	Комнатная температура	6070	Средние и большие (стержни, пластины)	100500 (штук/час)	середина	Равномерная плотность, большой размер, мало микротрещин	Низкая эффективность, средняя стоимость, немного меньшая точность
Горячее изостатическое прессование (ГИП)	100200	13501450	>99,9	Комплекс (инструменты, формы)	<50 (шт./партия)	высокий	Высокая плотность, сложная форма, отличные эксплуатационные характеристики	Высокая стоимость, низкая эффективность, сложная упаковка

5. Руководство по применению и выбору

Холодное изостатическое прессование (ХИП) :

Применимо к : средним и большим заготовкам, таким как прутки YN10 (Ø 20 × 330 мм), пластины YG8.

Причины выбора : равномерная плотность (отклонение <1%), подходит для больших размеров (>500 мм), мало микротрещин.

Рекомендуемое оборудование : Quintus QIC 2.4x4.8 (большого размера), Avure V3 CIP (среднего размера).

Пример : стержень YN10, 300 МПа, плотность ~10 г/см³ , KIC 9 МПа· м^{1/2}.

Применение : Горнодобывающие инструменты, волочильные матрицы, длинные прутки.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Горячее изостатическое прессование (ГИП) :

Применимо : высокопроизводительные сложные детали, такие как авиационные инструменты и формы YN8N.

Причина выбора : плотность>99,9%, пористость<0,001%, твердость18002200 HV.

Рекомендуемое оборудование : Quintus HIP QIH 122 (высокопроизводительный), ALD HIP V4 (большого размера).

Пример : заготовка инструмента YN8N, 1400°C, 150 МПа, твердость 1800 HV.

Применение : Аэрокосмические инструменты, высококачественные пресс-формы.

Таблица 3: Пригодность изостатического прессования

тип	Применимые классы	Применимая форма	Урожай	Типичные применения	Рекомендуемое оборудование
Холодное изостатическое прессование (ХИП)	YN10, YG8	Стержни, пластины, кольца	Средняя партия (100500 шт./час)	Горнодобывающие инструменты, волочильные фильеры, длинные прутки	Quintus QIC 2.4x4.8, Avure V3 CIP
Горячее изостатическое прессование (ГИП)	YN8N, YG6X	Сложные инструменты и формы	Небольшие партии (<50 шт./партия)	Авиационные инструменты, высококачественные формы	Квинтус HIP QIH 122, ALD HIP V4

6. Заключение

Изостатическое прессование твердого сплава подразделяется на:

Холодное изостатическое прессование (ХИП) : равномерная плотность (отклонение <1%), подходит для средних и больших заготовок (прутки YN10), но низкая производительность (100500 шт./час), точность ±0,2-0,5 мм.

Горячее изостатическое прессование (ГИП) : плотность >99,9%, подходит для изготовления сложных деталей с высокими эксплуатационными характеристиками (инструмент YN8N), но высокая стоимость и низкая производительность (<50 штук в партии).

оборудование :

CIP : Quintus QIC 2.4x4.8 (большой размер, 350 МПа), Avure V3 CIP (средний размер, 300 МПа), средняя стоимость.

HIP : Quintus HIP QIH 122 (высокая производительность, 150 МПа), ALD HIP V4 (большой размер, 120 МПа), высокая стоимость.

По сравнению с формованием :

Изостатическое прессование (CIP/HIP) превосходит литье по однородности плотности (<1% против 35%) и применимости к сложным формам, но имеет низкую производительность (100500 шт./час против 100010000 шт./час) и высокую стоимость.

Компрессионное формование подходит для простых форм в больших объемах (испытательные прутки YN6), изостатическое прессование подходит для средних и больших

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

или высокопроизводительных деталей (прутки YN10, инструменты YN8N).

стандарт :

GB/T 345052017 : Отклонение плотности заготовки $<\pm 5\%$, точность $\pm 0,2$ мм.

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

GB/T 38502015 : Проверка плотности.

GB/T 5169-2013 : Пористость (A02B00C00).

GB/T 38512015 : Прочность на изгиб (1,82,5 ГПа) .

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

Будущие тенденции

Автоматизированная CIP-мойка (эффективность повышается на 20%), экологичная HIP-мойка (потребление энергии снижается на 15%) и интеллектуальный контроль давления (отклонение $<\pm 0,5$ МПа) улучшат процесс изостатического прессования.

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:

Коэффициент усадки карбида при прессовании

В процессе прессования и спекания твердого сплава из-за перераспределения частиц порошка, улетучивания связующего и роста зерна происходит значительная усадка объема, которая называется **коэффициентом усадки**. Коэффициент усадки является ключевым параметром в производстве твердого сплава, который напрямую влияет на форму заготовки, точность размеров ($\pm 0,2-0,5$ мм, в соответствии с GB/T 345052017) и эксплуатационные характеристики конечного продукта (такие как плотность $>99,5\%$, пористость $<0,01\%$, прочность на изгиб $1,8-2,5$ ГПа). Метод прессования твердого сплава (такой как изостатическое прессование, формование) и последующий процесс спекания будут влиять на коэффициент усадки.

В данной статье на основе изостатического прессования твердого сплава (холодное изостатическое прессование CIP, горячее изостатическое прессование HIP) и формования в сочетании с национальными стандартами (такими как GB/T 183762014, GB/T 38502015) и отраслевыми практиками (такими как Sandvik, 2023; ScienceDirect, 2021) подробно анализируются определение, факторы влияния, типичные значения, методы расчета и практические примеры применения коэффициента усадки при прессовании твердого сплава, проводится сравнение с формованием и уточняется влияние процесса изостатического прессования на коэффициент усадки.

1. Определение коэффициента усадки при прессовании твердого сплава

Коэффициент усадки относится к изменению размеров твердого сплава от прессованной заготовки (сырой прессовки) до спеченного готового продукта, обычно выражается как линейный коэффициент усадки (линейный коэффициент усадки), формула имеет вид:

$$S = \frac{L_g - L_s}{L_g} \times 100\%$$

SSS: коэффициент линейной усадки (%).

L_g : Размер сырой заготовки (мм, после прессования).

L_s : размер после спекания (мм).

Коэффициент усадки составляет:

$$S_v = \frac{V_g - V_s}{V_g} \times 100\%$$

S_v : Коэффициент объемной усадки (%).

V_g : объем зеленой заготовки (мм^3).

V_s : объем после спекания (мм^3).

Приблизительное соотношение между коэффициентом линейной усадки и коэффициентом объемной усадки (изотропная усадка):

$$S_v \approx 3S - 3S^2 + S^3$$

На практике линейный коэффициент усадки твердого сплава обычно составляет **1522 %**, а

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

объемный коэффициент усадки — **3550 %** На конкретные значения влияют процесс прессования (CIP, HIP, формование), состав смеси (WC +Ni /Co, размер зерна 0,12 мкм), содержание связующего (PEG 0,10,2 мас. %) и условия спекания (1350-1450 °C, атмосфера Ar).

2. Факторы, влияющие на коэффициент усадки твердого сплава

На коэффициент усадки влияют следующие факторы, которые необходимо всесторонне учитывать при разработке формы (точность $\pm 0,1$ мм) и оптимизации процесса:

Состав смеси :

Содержание связующей фазы (Ni/Co) : высокое содержание Co (1015 мас. %) увеличивает коэффициент усадки (1822%), поскольку Co имеет низкую температуру плавления (1495°C), а спекание в жидкой фазе способствует уплотнению; высокое содержание Ni (610 мас. %) имеет немного более низкий коэффициент усадки (1518%).

Размер зерна : ультрамелкие зерна ($<0,5$ мкм) имеют высокий коэффициент усадки (20–22%) из-за их высокой поверхностной энергии и сильной движущей силы уплотнения; средне-крупные зерна (12 мкм) имеют низкий коэффициент усадки (15–18%) .

Добавки : Cr3C2/VC (0,10,5 мас. %) подавляют рост зерна и немного снижают коэффициент усадки (0,51%).

Процесс прессования :

Холодное изостатическое прессование (ХИП) : плотность заготовки составляет 60–70% ($\sim 9,511$ г/см³) , изотропное давление (200–400 МПа) обеспечивает равномерную усадку, а линейный коэффициент усадки составляет 16–20%.

Горячее изостатическое прессование (ГИП) : плотность прямого ГИП $>99,9\%$ ($\sim 14,515$ г/см³) , высокий коэффициент усадки (1822%); ГИП после обработки (предварительно спеченная заготовка, плотность 8090%) имеет низкий коэффициент усадки (510%).

Формование : Плотность заготовки составляет 50-60%, одноосное давление (100-300 МПа) приводит к градиенту плотности (35%), коэффициент усадки составляет 15-18%, а анизотропия немного больше (0,51%).

Содержание связующего :

Испарение (300-500°C) ПЭГ (0,10,2 мас. %) или парафина (0,51 мас. %) увеличило пористость и коэффициент усадки на 12%.

Оптимизированный клей (ПЭГ 0,15 мас. %) позволяет контролировать отклонение коэффициента усадки до $\leq \pm 0,5\%$.

Условия спекания :

Температура : 1350-1450°C (на основе Co 1400-1450°C, на основе Ni 1350-1400°C), высокая температура увеличивает долю жидкой фазы, а коэффициент усадки увеличивается на 12%.

Время изоляции : 24 часа. Увеличение времени изоляции (3 часа) делает уплотнение более

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

полным, а коэффициент усадки увеличивается на 0,51%.

Атмосфера : Ar (>99,99%, O2 <0,001%) снижает окисление и стабилизирует коэффициент усадки; атмосфера H2 может снизить коэффициент усадки (0,5%).

форма заготовки :

у крупногабаритных заготовок (Ø 50-100 мм) несколько ниже (на 15-17%) из-за неравномерной теплопроводности.

Из-за распределения напряжений отклонение коэффициента усадки сложных форм (таких как инструменты и формы) увеличивается на ±0,51%.

3. Типичное значение коэффициента усадки карбида в прессовании

Таблица 1: Типичные значения коэффициентов усадки для различных процессов прессования

Процесс прессования	Бренд	Размер зерна (мкм)	Содержание Co/Ni (мас. %)	Плотность заготовки теоретическая	Коэффициент (% линейной усадки (%))	Коэффициент усадки объема (%)	Плотность после спекания (г/см³)
Холодное изостатическое прессование (ХИП)	YN10	0,51,5	10 (Ni)	6070	1620	4045	14.514.8
Холодное изостатическое прессование (ХИП)	YG8	12	8 (Co)	6070	1518	3540	14.614.9
Горячее изостатическое прессование (прямое ГИП)	YN8	<0,5	8 (Ni)	>99,9	1822	4550	14.815.0
Горячее изостатическое прессование (постобработка НРП)	YG6X	<0,5	6 (Co)	8090 (предварительно спеченный)	510	1525	14.915.0
Формование	YN6	12	6 (Ni)	5060	1518	3540	14.514.8

проиллюстрировать :

СИР : равномерное давление (300 МПа) стабилизирует коэффициент усадки, подходит для средних и больших заготовок (Ø 20 × 330 мм).

ГИП : Прямое ГИП имеет высокий коэффициент усадки за счет одноэтапного формования + спекания; ГИП после обработки имеет низкий коэффициент усадки и только устраняет поры.

Формование : одноосное давление приводит к анизотропной усадке (радиальное/осевое отклонение 0,51%).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. Расчет коэффициента усадки и формовка

Метод расчета :

размеров сырой заготовки и спеченного материала :

Сырая заготовка: прутки $\varnothing 20 \times 330$ мм измеряются высокоточным штангенциркулем ($\pm 0,01$ мм).

После спекания: Размеры $\varnothing 16,8 \times 280$ мм (после усадки).

Расчет: $S = 20 - 16,820 \times 100\% = 16\%$ $S = \frac{20 - 16,8}{20} \times 100\% = 16\%$ $S = 20 - 16,8 \times 100\% = 16\%$ (радиальная), $S = 330 - 280330 \times 100\% = 15,15\%$ $S = \frac{330 - 280}{330} \times 100\% = 15,15\%$ $S = 330 - 280 \times 100\% = 15,15\%$ (осевая).

Коэффициент увеличения формы :

Размер формы = целевой размер $\div$ (1 S).

示例: 目标 $\varnothing 16$ mm 棒材, $S = 16\%$, 模具 $\varnothing = 16 \div (1 - 0,16) = 19,51$ mm.

Контроль отклонений :

CIP: Отклонение коэффициента усадки $< \pm 0,5\%$, точность формы $\pm 0,1$ мм.

HIP: Прямое отклонение HIP $\pm 0,51\%$ (сложная форма), отклонение HIP после обработки $< \pm 0,3\%$.

Формование: Отклонение $\pm 0,51\%$ (влияние однонаправленного давления).

Требования национального стандарта :

GB/T 345052017 : Точность размеров после спекания составляет $\pm 0,2$ мм, а отклонение коэффициента усадки составляет $< \pm 5\%$.

GB/T 183762014 : Равномерность плотности $> 95\%$, пористость $< 0,01\%$.

5. Влияние изостатического прессования и формования на коэффициент усадки

Холодное изостатическое прессование (ХИП) :

Влияние процесса :

Смешивание : Высокоэнергетическая шаровая мельница (1624 часа, D50 < 150 мкм) обеспечивает однородность частиц и отклонение коэффициента усадки $< \pm 0,5\%$.

Заполнение : Вибрационное заполнение (80 Гц) увеличивает плотность заполнения (23 г/см^3) и стабилизирует коэффициент усадки (1620%).

Прессование : 300 МПа, 60 секунд, равномерное давление (отклонение $< \pm 2$ МПа) для обеспечения равномерной усадки во всех направлениях.

Спекание : 1400°C , 3 часа, атмосфера Ar, коэффициент усадки 1620%.

Преимущества : изотропная усадка, отклонение $< 1\%$, подходит для больших размеров ($\varnothing 100$ мм) / специальных форм.

Недостатки : Улетучивание связующего (ПЭГ 0,10,2 мас. %) немного увеличивает коэффициент усадки (12%).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Горячее изостатическое прессование (ГИП) :

Влияние процесса :

Прямой ХИП :

Смешанный материал: ультрамелкое зерно (D50 <100 мкм) , высокий коэффициент усадки (1822%).

Упаковка: Банка из нержавеющей стали (316L, <10⁻³ Па) , плотность упаковки 34 г/см³ .

Обработка: 1400°C, 150 МПа, 3 часа, плотность >99,9%, коэффициент усадки 1822%.

Постобработка НР :

Предварительное спекание: 1200-1300°C, плотность 80-90%, коэффициент усадки 10-15% (стадия предварительного спекания).

ГИП: 1350°C, 120 МПа, 2,5 часа, коэффициент усадки 510% (только устранение пористости).

Преимущества : высокая плотность (>99,9%), контролируемый коэффициент усадки, подходит для сложных форм (инструменты аэрокосмической промышленности).

Недостатки : сложная упаковка, отклонение коэффициента усадки ±0,51% (сложная форма).

Формованный :

Влияние процесса :

Смешивание: аналогично СР, D50 50-150 мкм .

Прессование: 100-300 МПа, одноосное давление, плотность заготовки 50-60%, градиент плотности 35%.

Спекание: 1350-1450°C, 23 часа, коэффициент усадки 15-18%, радиальное/осевое отклонение 0,51%.

Преимущества : высокая производительность (1000-10000 шт./час), отклонение коэффициента усадки можно контролировать путем оптимизации пресс-формы (±0,5%).

Недостатки : Анизотропная усадка (отклонение 0,51%), не подходит для сложных форм.

Таблица 2: Сравнение коэффициента усадки при изостатическом прессовании и формовании

Технологии	Коэффициент линейной усадки (%)	Коэффициент усадки объема (%)	Равномерность усадки	Применимая форма	Отклонение коэффициента усадки (%)
Холодное изостатическое прессование (ХИП)	1620	4045	Отклонение <1%	Средние и большие (стержни, пластины)	±0,5
Горячее изостатическое прессование (прямое ГИП)	1822	4550	Отклонение <0,1%	Комплекс (инструменты, формы)	±0,51
Горячее изостатическое прессование	510	1525	Отклонение <0,3%	Комплекс (инструменты, формы)	±0,3

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

Технологии	Коэффициент линейной усадки (%)	Коэффициент усадки объема (%)	Равномерность усадки	Применимая форма	Отклонение коэффициента усадки (%)
(постобработка HIP)					
Формование	1518	3540	Отклонение 35%	Простой (тестовый стержень, лезвие)	±0,51

6. Случаи применения и контроль коэффициента усадки

Штанга буровая для горнодобывающей промышленности YN10 (CIP) :

Процесс : Quintus QIC 2.4x4.8, 350 МПа, 90 сек, заготовка Ø 24 мм × 400 мм.

Спекание : 1400°C, 3 ч, атмосфера Ag .

Результаты : После спекания, Ø 20 × 330 мм, линейный коэффициент усадки 16,67% (радиальный), 17,5% (осевой), плотность 14,6 г/см³ , KIC 9 МПа·м^{1/2} (ScienceDirect, 2021).

Форма : Ø 24 мм (увеличение в 1,2 раза) , отклонение ± 0,2 мм.

Сценарий : Бурение твёрдых пород, производительность 200 шт./час.

Заготовка для авиационного инструмента YN8N (прямое ГИП) :

Процесс : Quintus HIP QIN 122, 1400°C, 150 МПа, 3 ч, заготовка 60×60× 25 мм.

Результаты : После спекания размер составляет 50×50×20 мм, коэффициент линейной усадки составляет 20%, плотность составляет 14,8 г/см³ , а твердость составляет 1800 HV (Sandvik, 2023).

Форма : корпус бака 60×60×25 мм (увеличение в 1,25 раза), отклонение ±0,3 мм.

Сценарий : Обработка высокотемпературных сплавов, объем производства 30 шт./партия.

Тестовый стержень YG6 (формованный) :

Процесс : Dorst TPA, 200 МПа, заготовка 20×20×6 мм.

Спекание : 1350°C, 2 ч, атмосфера H₂.

Результаты : После спекания размер составил 17×17×5 мм, коэффициент линейной усадки составил 15%, плотность составила 14,5 г/см³ , а прочность составила 1,8 ГПа .

Форма : 20×20× 6 мм (увеличение в 1,18 раза), отклонение ±0,1 мм.

Сценарий : Обработка лопаток, производительность 5000 шт./час.

7. Предложения по оптимизации коэффициента усадки

CIP-проект :

Смешивание: D50 <100 мкм , ПЭГ 0,15 мас. % , отклонение коэффициента усадки <±0,5%.

Прессование: 300 МПа, 60 с, вибрационное нагружение (80 Гц), коэффициент усадки 1618%.

Форма : материал ПУ (твердость по Шору А 80), коэффициент увеличения 1,181,20, точность ±0,1 мм.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

БЕДРО :

Прямое ГИП: сверхмелкое зерно ($<0,5$ мкм), 1400°C , 150 МПа, коэффициент усадки 1820%, отклонение $\leq \pm 0,5\%$.

Последующая обработка ГИП: плотность до спекания $>85\%$, 1350°C , 120 МПа, коэффициент усадки 58%, отклонение $\leq \pm 0,3\%$.

Материал бака: нержавеющая сталь 316L, на 20% дешевле, герметичность $<10^{-3}$ Па.

Формованный :

Смесь: средне-крупнокристаллическая (12 мкм), ПЭГ 0,1 мас. %, коэффициент усадки 1517%.

Прессование: 250 МПа, двунаправленное прессование, пониженная анизотропия (отклонение $< \pm 0,5\%$).

Форма : твердосплавная форма ($\text{HRC} > 60$), коэффициент увеличения 1,15-1,18, точность $\pm 0,05$ мм.

8. Заключение

Коэффициент усадки твердого сплава при прессовании зависит от состава смеси, процесса прессования, связующего вещества, условий спекания и формы заготовки. Типичные значения следующие:

CIP : коэффициент линейной усадки составляет 1620%, коэффициент объемной усадки составляет 4045%, подходит для средних и больших заготовок (прутки YN10).

ГИП : прямое ГИП 1822%, постобработка ГИП 510%, подходит для высокопроизводительных сложных деталей (инструмент YN8N).

Формование : 15–18%, подходит для простых форм большого объема (испытательный образец YN6), но слегка анизотропен (отклонение 0,51%).

По сравнению с формованием :

Изостатическое прессование (CIP/HIP) имеет равномерную усадку (отклонение $<1\%$ против 35%), что подходит для сложных/крупногабаритных деталей, но имеет низкую производительность (100500 шт./час против 100010000 шт./час).

Формование отличается высокой эффективностью и низкой стоимостью, но коэффициент усадки анизотропен и ограничивается простыми формами.

стандарт :

GB/T 345052017 : Точность размеров $\pm 0,2$ мм, отклонение коэффициента усадки $\leq \pm 5\%$.

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

GB/T 38502015 : Проверка плотности.

GB/T 5169-2013 : Пористость (A02B00C00).

GB/T 38512015 : Прочность на изгиб (1,82,5 ГПа) .

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

Типы твердосплавных пресс-форм

Пресс-формы из твердого сплава являются ключевыми инструментами для прессования порошка твердого сплава (например, WC+Ni /Co, размер частиц 50-150 мкм) в заготовки (плотность 50-70% от теоретической плотности, около 9,511 г/см³) и широко используются при производстве испытательных стержней, инструментальных заготовок и штампов. Типы штампов различаются в зависимости от процесса прессования (холодное изостатическое прессование CIP, горячее изостатическое прессование HIP, штамповка), формы заготовки (пруток Ø 1050 мм, пластина, сложный инструмент), точности размеров ($\pm 0,2-0,5$ мм, в соответствии с GB/T 345052017), требований к производительности (прочность на изгиб 1,8-2,5 ГПа , твердость 1400-2200 HV) и производительности производства (CIP 100-500 шт./час, штамповка 1000-10000 шт./час).

Ниже представлены национальные стандарты (например, GB/T 183762014, GB/T 38502015) и отраслевые практики (например, Sandvik, 2023; ScienceDirect, 2021) для подробного анализа типов, материалов, конструкций, применимости, преимуществ и недостатков пресс-форм из твердого сплава, уточнения взаимосвязи с процессами изостатического прессования и формования, добавления сравнительных таблиц и примеров применения, а также улучшения влияния пресс-форм на коэффициент усадки (15-22%).

1. Обзор пресс-форм из твердого сплава

Пресс-формы из твердого сплава должны соответствовать следующим требованиям:

давлению : 100-400 МПа (CIP 200-400 МПа, HIP 100-200 МПа, формование 100-300 МПа).

Износостойкость : устойчивость к износу карбидным порошком (твердость WC>2000 HV), срок службы формы>10005000 раз .

Точность : Отклонение размеров заготовки $\pm 0,20,5$ мм (CIP), $\pm 0,1$ мм (формовка) с учетом коэффициента усадки (1522%).

Применимость : Подходит для различных форм (стержни, пластины, сложные инструменты) и марок (YN6, YN10, YN8N, размер зерна 0,12 мкм) .

Эффективность : поддерживает низкие и средние партии (CIP/HIP) или высокие партии (формование).

Существует три основных типа пресс-форм, классифицируемых в зависимости от процесса прессования:

Формы для холодного изостатического прессования (CIP) : Гибкие формы (резина/ПУ).

Формы для горячего изостатического прессования (HIP) : металлические банки (сталь/титан).

Пресс- форма : жесткая форма (карбид/сталь).

2. Типы и характеристики пресс-форм из твердого сплава

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.1 Типы форм для холодного изостатического прессования (CIP) :

Плесь из мокрого мешка

Гибкие мешки (например, резина, полиуретан), после заполнения смешанным материалом, погружаются в жидкость под высоким давлением (вода/масло, 200-400 МПа), подходят для деталей специальной формы, средних и больших заготовок (Ø 10-100 мм, длина 500 мм).

Плесь из сухого мешка

Фиксированная гибкая форма (ПУ/силикон), жидкость продавливается через стенку формы, подходит для стандартных форм (например, цилиндрических прутков Ø 1050 мм).

Материалы для форм холодного изостатического прессования (CIP)

резина

Натуральный каучук или синтетический каучук (твердость по Шору А 7090), сопротивление давлению >500 МПа, низкая стоимость, срок службы 1000-2000 раз.

Полиуретан (ПУ)

Высокопрочный полиуретан (твердость по Шору А 8095), отличная износостойкость, срок службы 2000-5000 раз, средняя стоимость.

Силикон

Используется для метода сухого мешка, высокая гибкость (твердость по Шору А 6080), но немного более низкая устойчивость к давлению (<300 МПа), срок службы 1000-3000 раз.

Структура пресс-формы для холодного изостатического прессования (CIP)

Метод мокрого мешка

Однослойные или многослойные мешки (толщина стенки 25 мм), покрытые изнутри смазкой (силиконовое масло, 0,01 мм), вакуумно-плотные (<10⁻² Па).

Метод сухого мешка

Форма фиксируется в полости, облицованной полиуретаном/силиконом (толщина стенки 310 мм) и наружной стальной оболочкой (316L, сопротивление давлению >600 МПа).

Характеристики пресс-формы для холодного изостатического прессования (CIP) :

Выдерживаемое давление : 200-400 МПа (обычно 300 МПа).

Коэффициент усадки : 1620%, коэффициент увеличения формы 1,181,20 (с учетом размера после спекания, точность ±0,20,5 мм).

Наполнение : Вибрационное наполнение (50-100 Гц), плотность 23 г/см³, однородность >90%.

Срок службы : 1000-5000 раз, срок службы полиуретановой формы увеличивается на 50% (по сравнению с резиной).

Стоимость : средняя (ПУ стоит на 15% дороже, но имеет более длительный срок службы).

Влияние процесса :

Наполнение : Автоматическая фасовочная машина (частота вибрации 80 Гц) для обеспечения равномерной плотности наполнения и отклонения коэффициента усадки

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$\leq \pm 0,5\%$.

Прессование : 300 МПа, выдержка под давлением 60 секунд, отклонение давления $\leq \pm 2$ МПа, изотропная усадка (1620%).

Извлечение из формы : ручная (мокрый мешок) или пневматическая (сухой мешок, 0,51 МПа), процент поломок $< 0,5\%$.

Применимость форм для холодного изостатического прессования (CIP) :

Сорт : YN10, YG8 (размер зерна 0,51,5 мкм) .

Формы : стержни ($\varnothing$ 1050 мм, длина 330–500 мм), пластины ($50 \times 50 \times 20$ мм), кольца ($\varnothing$ 100 мм).

Производительность : Средняя партия (100500 шт./час, 100300 для метода влажного мешка, 300500 для метода сухого мешка) .

Применение : Горнодобывающий инструмент (буровые штанги), волочильные матрицы, длинные стержни.

Преимущества пресс-форм для холодного изостатического прессования (CIP) :

Гибкие формы позволяют создавать изделия сложной формы и обходятся на 20% дешевле (по сравнению с компрессионным формованием).

Изотропное давление (отклонение $< 1\%$), равномерная усадка, плотность заготовки 60-70% ($\sim 9,511 \text{ г/см}^3$) .

Мало микротрещин, пористость $< 0,005\%$ (0,01% для формовки).

пресс-формы холодного изостатического прессования (CIP) :

Более короткий срок службы (1000-5000 раз по сравнению с формованием > 10000 раз).

Точность немного ниже ($\pm 0,2-0,5$ мм против $\pm 0,1$ мм для литья), и требуется вторичная обработка.

Более низкая эффективность (15 минут/партия против < 1 минуты для формования).

Примеры :

Стержень YN10 :

Форма : полиуретановый мешок для мокрого прессования (толщина стенки 3 мм, твердость по Шору А 80).

Процесс: Quintus QIC 2.4x4.8, 350 МПа, 90 сек., заготовка $\varnothing 24 \times 400$ мм.

Коэффициент усадки: 16,67% (радиальная, $\varnothing 20$ мм после спекания), коэффициент увеличения формы 1,20.

Результаты: Плотность $10,2 \text{ г/см}^3$, KIC $9 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, производительность 200 шт./час (ScienceDirect, 2021).

станок YG8 :

Форма : Сухой силиконовый мешок (толщина стенки 5 мм, твердость по Шору А 70).

Процесс: Avure V3 CIP, 300 МПа, 60 с, заготовка $\varnothing 50 \times 20$ мм.

Коэффициент усадки: 15%, коэффициент увеличения формы 1,18.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Результат: Плотность 10 г/см³, твердость 1500 HV, производительность 400 шт./час.

2.2 Типы штампов для горячего изостатического прессования (ГИП)

горячего изостатического прессования (ГИП), форма для прямого ГИП : металлический корпус (сталь/титан), прямая загрузка порошка, прессование при высокой температуре и высоком давлении (1350-1450 °C, 100-200 МПа) + спекание, подходит для сложных деталей с высокими эксплуатационными характеристиками.

Постобработка пресс-формы HIP : металл может инкапсулировать предварительно спеченные заготовки (плотность 80-90%), устраняет пористость, подходит для авиационных инструментов и пресс-форм.

Материал формы для горячего изостатического прессования (ГИП) :

Нержавеющая сталь (316L)

Толщина стенки 23 мм, термостойкость 1500°C, сопротивление давлению >200 МПа, низкая стоимость, срок службы 50-100 раз (в основном одноразовое использование).

Титан (Gr5) : толщина стенки 12 мм, термостойкость >1600°C, коррозионно-стойкий, высокая стоимость, срок службы 100-200 раз.

Мягкая сталь

Толщина стенки 35 мм, самая низкая стоимость, термостойкость <1400°C и срок службы 2050 раз.

Структура пресс-формы для горячего изостатического прессования (ГИП) :

Цилиндрические или сложной формы резервуары (Ø 50-500 мм, высота 500-1500 мм) с гладкой внутренней стенкой (Ra < 0,8 мкм) .

Вакуумное сварное соединение (<10⁻³ Па, электронно-лучевая сварка, шов 12 мм), уровень утечки <0,001%.

Внутреннее заполнение порошком (34 г/см³) или предварительно спеченными заготовками, внешнее термостойкое покрытие (опционально).

Характеристики пресс-формы для горячего изостатического прессования (ГИП) :

Температурная стойкость : 1350-1450°C (316L 1400°C, Gr5 1500°C).

Выдерживаемое давление : 100-200 МПа (обычно 150 МПа).

Коэффициент усадки : прямое ГИП 1822% (коэффициент увеличения 1,201,25), постобработка ГИП 510% (коэффициент увеличения 1,051,10).

Срок службы : 20 200 раз (в основном одноразовое использование).

Стоимость : высокая (Gr5 стоит на 50% дороже, 316L — средняя).

Влияние процесса горячего изостатического прессования (ГИП) на форму :

Упаковка : Виброзаполнение (5080 Гц), плотность 34 г/см³, рентген-контроль целостности банки.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Обработка : 1400°C, 150 МПа, 3 часа, атмосфера Ar (>99,995%), коэффициент усадки 1822% (прямое ГИП).

Деканирование : механическая зачистка (резка, $\pm 0,5$ мм) или травление (HNO₃ 10%, 30 мин).

Применимость форм для горячего изостатического прессования (ГИП) :

Марка : YN8N, YG6X (сверхмелкое зерно < 0,5 мкм) .

Форма : сложная, например, авиационные инструменты (многокриволинейные поверхности) и формы (полости специальной формы).

Объем производства : небольшие партии (<50 шт./партия), высокая добавленная стоимость.

Области применения : аэрокосмические инструменты, высокотехнологичные пресс-формы, медицинские имплантаты.

Преимущества форм горячего изостатического прессования (ГИП) :

Поддерживает сложные формы без традиционных форм с точностью $\pm 0,1$ мм.

Высокая плотность (>99,9%), пористость <0,001% (формовка 0,01%).

Отличные эксплуатационные характеристики: твердость 1800-2200 HV, прочность 2,2-2,5 ГПа .

Недостатки пресс-форм для горячего изостатического прессования (ГИП) :

Высокая стоимость (материал бака + сварка, стоимость на 50-100% выше).

Низкая эффективность (46 часов/партия по сравнению с формованием <1 минуты).

Упаковка сложная, отклонение коэффициента усадки составляет $\pm 0,51\%$ (сложная форма).

Корпус пресс-формы для горячего изостатического прессования (ГИП) :

Авиационный инструмент YN8N :

Форма : банка из стали 316L (толщина стенки 2 мм, 50×50×25 мм).

Процесс : Quintus HIP QIN 122, 1400°C, 150 МПа, 3 часа.

Коэффициент усадки: 20%, коэффициент увеличения формы 1,25.

Результаты: После спекания 50×50×20 мм, плотность 14,8 г/см³, твердость 1800 HV (Sandvik, 2023).

Форма YG6X :

Форма : банка Gr5 (толщина стенки 1,5 мм, Ø 100 × 50 мм).

Процесс : ALD HIP V4, 1350°C, 120 МПа, 2,5 часа.

Коэффициент усадки: 8% (постобработка HIP), коэффициент увеличения формы 1,09.

Результаты: Плотность 14,9 г/см³, KIC 10 МПа·м^{1/2}.

2.3 Формовочная форма

Тип пресс-формы :

Форма для одностороннего прессования : одностороннее давление (100–300 МПа), подходит для простых форм (испытательные стержни, лопатки).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Штамп двойного действия : двойное давление вверх и вниз, уменьшенный градиент плотности (35%), подходит для деталей среднего размера ($\varnothing$ 1050 мм).

Многогнездная пресс-форма : одновременно можно прессовать несколько заготовок с высокой эффективностью, подходит для лопаток небольшого размера ($10 \times 10 \times 5$ мм).

Материал формовочной формы :

Твердый сплав (WCCo) : твердость HRC >60, износостойкость, срок службы >10 000 раз, высокая стоимость.

Быстрорежущая сталь (HSS) : твердость HRC 5560, сопротивление давлению >500 МПа, срок службы 5000–10000 раз, средняя стоимость.

Сталь для пресс-форм (Cr12MoV) : твердость HRC 5055, низкая стоимость, срок службы 2000-5000 раз.

Структура литевой формы :

Полость формы (точность $\pm 0,05$ мм), внутренняя стенка полированная ($Ra < 0,4$ мкм) .

Пуансон (твердый сплав/HSS, сопротивление давлению >600 МПа), направляющая колонка (отклонение <0,01 мм).

Механизм распалубки (пружинно-пневматический, усилие распалубки 0,52 МПа).

Характеристики пресс-формы :

Выдерживаемое давление : 100-300 МПа (обычно 250 МПа).

Коэффициент усадки : 1518%, коэффициент увеличения формы 1,151,18 (точность $\pm 0,1$ мм).

Срок службы : 2000–10000 раз (твердый сплав >10000 раз).

Стоимость : от низкой (Cr12MoV) до высокой (карбид).

процесса формования :

Прессование : 250 МПа, цикл <1 мин, плотность заготовки 50-60%.

Извлечение из формы : пневматическое извлечение из формы (0,51 МПа), процент поломок <0,2%.

Спекание : 1350-1450°C, 23 часа, коэффициент усадки 15-18%, анизотропия 0,51%.

Применимость формовочной формы :

Сорт : YN6, YG8 (размер зерна 12 мкм) .

Форма : простая, например, тестовая палочка ($20 \times 20 \times 6$ мм), лезвие ($10 \times 10 \times 5$ мм).

Производительность : Большой объем (1000-10000 шт./час).

Сценарий : обработка пластин, стандартные испытательные стержни.

Преимущества компрессионного формования :

Высокая эффективность (цикл < 1 минуты) и в 10 раз более высокая производительность (CIP).

Высокая точность ($\pm 0,1$ мм) и длительный срок службы пресс-формы (>10000 раз).

Низкая стоимость (стоимость пресс-формы Cr12MoV на 50% ниже).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Недостатки компрессионного формования :

Градиент плотности (35%), анизотропия коэффициента усадки (0,51%).
Не подходит для сложных форм (только Ø 50 мм).
Штамп быстро изнашивается (истирание WC-порошком).

Корпус пресс-формы :

Тестовый стержень YN6 :

Матрица: твердый сплав (HRC >60, 20×20×6 мм).
Процесс: Dorst TPA, 200 МПа, заготовка 20×20×6 мм.
Коэффициент усадки: 15%, коэффициент увеличения формы 1,18.
Результаты: После спекания размер составляет 17×17×5 мм, плотность — 14,5 г/см³ ,
производительность — 5000 шт./час.

Лезвие YG8 :

Форма : HSS (HRC 58, 10×10×5 мм).
Процесс: Aida NC, 250 МПа, заготовка 10×10×5 мм.
Коэффициент усадки: 16%, коэффициент увеличения формы 1,19.
Результат: Плотность 14,6 г/см³ , твердость 1400 HV, производительность 8000 шт./час.

3. Сравнение типов форм

Таблица 1: Сравнение пресс-форм из твердого сплава

Тип пресс-формы	Материал	Сопротивление давлению (МПа)	сокращать Сравнить %	Точность мм	жизнь (второго сорта)	расход ы	Применимая форма	Урожай	преимущество	недостаток
CIP Плесень из мокрого мешка	Резина/ПУ	200400	1620	±0,20,5	10005000	середине	Средние и большие/специальные формы (стержни, пластины)	100300 шт/час	Сложная форма, равномерная усадка, мало микротрещин	Короткий срок службы, немного меньшая точность, низкая эффективность
CIP Плесень из сухого мешка	ПУ/Силикон +Стальная оболочка	200400	1620	±0,20,5	10005000	середине	Стандартные формы (стержни)	300500 шт/час	Высокая эффективность, равномерная усадка, адаптируемость к стандартным	Ограничено стандартными формами, немного более низкая точность

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Тип пресс-формы	Материал	Сопротивлен ие давлению (МПа)	сокращать Сравнивать %	Точност ь мм	жизнь (второго сорта)	расход ы	Применимая форма	Урожай	преимущество	недостаток
									формам	
БЕДРО Форма	Нержавеющ ая сталь/титан	100200	522	±0,1	20200	высоки й	Комплекс (инструменты, формы)	<50 шт./парт ия	Высокая плотность, сложная форма, отличные эксплуатационн ые характеристики	Высокая стоимость, низкая эффективнос ть, сложная упаковка
Формовочн ая форма	Твердый сплав HSSCr12Mo V	100300	1518	±0,1	2000100 00	Низкий Высоки й	Простой (тестовый стержень, лезвие)	10001000 0 шт/час	Высокая эффективность, высокая точность и длительный срок службы	Градиент плотности, простые формы, анизотропия

4. Коэффициент формования и усадки

Ключевые моменты :

Коэффициент увеличения : размер формы = размер цели ÷ (1 S).

CIP: S = 1620%, увеличение 1,181,20.

Прямой HIP: S = 1822%, усиление 1,201,25.

Постобработка HIP: S = 510%, увеличение 1,05×1,10.

Молдинг: S = 1518%, увеличение 1.151.18.

Точность : CIP ±0,2-0,5 мм, HIP ±0,1 мм, формовка ±0,1 мм.

Равномерность усадки :

CIP/HIP: изотропный, отклонение <1% (CIP), <0,1% (HIP).

Формование: Анизотропное, радиальное/осевое отклонение 0,51%.

Пример :

Целевой пруток Ø 16 мм (CIP, S = 18%):

Ø матрицы = 16 ÷ (1 - 0,18)= 19,51 мм
 $16 \div (1 - 0,18) = 19,51 \text{ мм}$

Точность: ±0,2 мм, отклонение <±0,5%.

Национальный стандарт :

GB/T 345052017 : Точность размеров ±0,2 мм, отклонение коэффициента усадки <±5%.

GB/T 183762014 : Равномерность плотности>95%, пористость<0,01%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5. Руководство по применению и выбору

Форма СІР :

Применимо к : средним и крупным заготовкам (прутки YN10 Ø 20 × 330 мм), деталям специальной формы.

Причины выбора : равномерная усадка (отклонение <1%), возможность адаптации к сложным формам и средняя стоимость.

Рекомендовано : полиуретановый влажный мешок (для сложных форм), силиконовый сухой мешок (для стандартных стержней).

Сцена : горнодобывающие инструменты, волокни для волочения проволоки.

Форма НІР :

Применимо : высокопроизводительные сложные детали (авиационный инструмент YN8N, 50×50×20 мм).

Причины выбора : плотность >99,9%, пористость <0,001%, точность ±0,1 мм.

Рекомендуется : бак 316 л (средняя стоимость), бак Gr5 (высокая производительность).

Области применения : авиационные инструменты, высококачественные пресс-формы.

Форма для литья :

Применимо к : простым формам большого объема (тестовый стержень YN6, 20×20×6 мм).

Причины выбора : высокая производительность (1000-10000 шт./час), точность ±0,1 мм, низкая стоимость.

Рекомендовано : карбид (долгий срок службы), быстрорежущая сталь (соотношение стоимость-срок службы).

Сцена : Лезвие, испытательный стержень.

Таблица 2: Пригодность форм

Тип пресс-формы	Применимые классы	Применимая форма	Урожай	Типичные применения	Рекомендуемые материалы
Форма для влажного мешка СІР	YN10, YG8	Прутки, пластины, детали специальной формы	100300 шт/час	Горнодобывающий инструмент, волокни для волочения проволоки	ПУ (Шор А 80)
Форма для сухих мешков СІР	YN10, YG8	Стержни	300500 шт/час	Длинные стержни	Силикон + стальной корпус
НІР-форма	YN8N, YG6X	Сложные инструменты и формы	<50 шт/партия	Авиационные инструменты, высококачественные формы	316L/Gr5 бак
Формовочная форма	YN6, YG8	Тестовый стержень, лезвие	100010000 шт/час	Обработка лезвий и испытательных стержней	Карбид/HSS

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6. Заключение

Типы пресс-форм из твердого сплава включают в себя:

СIP-форма

Гибкий (резина/ПУ), коэффициент усадки 1620%, подходит для средних и больших/специальной формы деталей (стержни YN10), но короткий срок службы (10005000 раз), точность $\pm 0,20,5$ мм.

НIP-форма

Металлические банки (316L/Gr5) с коэффициентом усадки 522% подходят для изготовления сложных деталей высокой производительности (инструмент YN8N), но имеют высокую стоимость и низкую эффективность (<50 шт./партия).

Формовочная форма

Жесткий (карбид/HSS), коэффициент усадки 15-18%, подходит для простых форм большого объема (испытательный стержень YN6), высокая производительность (1000-10000 шт./час), но анизотропный (отклонение 0,51%).

По сравнению с формованием :

Формы СIP/НIP могут адаптироваться к сложным формам и обеспечивать равномерную усадку (отклонение <1% против 35%), но они неэффективны и дороги.

Пресс-формы эффективны и точны ($\pm 0,1$ мм), но ограничены простыми формами и имеют большие градиенты плотности.

стандарт :

GB/T 345052017 : Точность размеров $\pm 0,2$ мм, отклонение коэффициента усадки $\leq \pm 5\%$.

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

GB/T 38502015 : Проверка плотности.

GB/T 5169-2013 : Пористость (A02B00C00).

GB/T 38512015 : Прочность на изгиб (1,82,5 ГПа) .

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

Характеристики, применимость, преимущества и недостатки различных процессов спекания твердого сплава

Процесс спекания твердого сплава (например, твердого сплава на основе никеля или кобальта) заключается в преобразовании прессованной заготовки (WC + Ni /Co, плотность 50-70% от теоретической плотности) в испытательный стержень или деталь (например, инструмент, пресс-форму) с высокой плотностью (>99,5%), высокой прочностью (прочность на изгиб 1,8-2,5 ГПа) и высокой твердостью (1400-2200 HV). Процесс спекания использует жидкофазное спекание или твердофазное спекание для формирования однородной микроструктуры (зерно 0,12 мкм, пористость <0,01%) между частицами WC и связующей фазой (Ni, Co, 615 мас. %), соответствующей национальным стандартам (таким как GB/T 38512015, GB/T 79972017) и эксплуатационным требованиям (таким как коррозионная стойкость <0,005 мм/год, GB/T 43342020). Основные процессы спекания включают вакуумное спекание, спекание горячим изостатическим прессованием (HIP), микроволновое спекание, искровое плазменное спекание (SPS) и спекание под давлением газа (GPS). Ниже подробно описаны характеристики, применимость, преимущества и недостатки каждого процесса спекания с новой таблицей для наглядного сравнения в сочетании с национальными стандартами (такими как GB/T 345052017, GB/T 183762014) и последними исследованиями (такими как Sandvik, 2023; ScienceDirect, 2021). Вся информация представлена на китайском языке, что гарантирует точность, полноту и увлекательность содержания.

1. Обзор

Целью процесса спекания твердого сплава является достижение уплотнения заготовки (плотность>99,5%), контроля зерна (0,12 мкм), микроструктурной однородности (>95%) и отличных характеристик (твердость 1400-2200 HV, прочность 1,8-2,5 ГПа). При спекании необходимо учитывать:

Свойства материала : размер частиц WC (0,12 мкм), соотношение фаз связующего (615 мас. %), добавки (такие как Cr₃C₂, VC).

Форма заготовки : простая (тестовый брусок 5×5×35 мм) или сложная (нож, штамп).

Среда спекания : вакуум, H₂, Ar, N₂ или атмосфера высокого давления (1150 МПа).

Эффективность и стоимость : время спекания (124 часа), оборудование (501 млн юаней), потребление энергии (0,55 кВтч/кг).

В данной статье анализируются характеристики, применимость, преимущества и недостатки пяти основных процессов спекания в соответствии с такими стандартами, как GB/T 345052017 (подготовка порошка) и GB/T 183762014 (микроструктура).

2. Характеристики, применимость, преимущества и недостатки процесса спекания твердого сплава

Ниже приводится подробное описание пяти процессов спекания с указанием параметров процесса, оборудования, применимых сценариев, а также преимуществ и недостатков.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.1 Вакуумное спекание

Характеристики процесса :

Принцип : При нагревании заготовки в вакуумной среде ($<10^{-2}$ Па) связующая фаза (Ni, Co) плавится, образуя жидкую фазу, что способствует перестройке и уплотнению частиц WC.

параметр :

Температура: 1350-1450°C (на основе Ni 1350-1400°C, на основе Co 1400-1450°C).

Степень вакуума: $<10^{-2}$ Па ($O_2 <0,001\%$).

Время сохранения тепла: 14 часов.

Скорость нагрева: 510°C/мин.

Плотность: $>99,5\%$ теоретической плотности ($\sim 14,515$ г/см³).

Оборудование : Вакуумная печь для спекания, например, ALD Vacuum Technologies.

процесс :

Загрузка: Заготовки помещаются на графитовые поддоны ($C >99,9\%$).

Вакуум: $<10^{-2}$ Па, исключая O_2 и N_2 .

Нагрев: 1350-1450°C, поддержание тепла в течение 14 часов.

Охлаждение: 510°C/мин, защита Ag.

Постобработка : очистка поверхности ($Ra <0,8$ мкм), контроль размеров ($\pm 0,1$ мм).

применимость :

Марка : YN6, YG15 (условный размер зерна 0,52 мкм).

Форма : простая или умеренно сложная, например, стержни (5×5×35 мм), лезвия.

Объем производства : средний или большой (100-1000 шт./партия).

преимущество :

Умеренные затраты: оборудование (1003 млн юаней), потребление энергии (12 кВтч/кг).

Низкое содержание кислорода: $O <0,03\%$, что снижает η -фазу ($<0,5\%$) и увеличивает прочность на 5%.

Широкое применение: подходит для различных марок (YN6, YG8, YN10).

недостаток :

Пористость немного выше: 0,005-0,01% (HIP 0,001%), и требуется постобработка.

Ограниченный контроль зерна: Сверхмелкие зерна ($<0,5$ мкм) увеличиваются на 1020%.

Неравномерная усадка сложных форм: Отклонение $\pm 0,2$ мм.

Примеры :

Испытательный образец YN6: 1400°C, 2 часа, плотность 14,6 г/см³, прочность 1,8 ГПа (Sandvik, 2023).

стандарт :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

GB/T 183762014: Пористость <0,01%, η-фаза <0,5%.

GB/T 3851:2015: Проверка прочности.

2.2 Горячее изостатическое прессование спеканием (ГИП)

Характеристики процесса :

Принцип : Спекание при высокой температуре и высоком давлении. Атмосфера Ar , приложение одинакового давления во всех направлениях после жидкофазного спекания для устранения пор и повышения плотности.

параметр :

Температура: 1300-1400°C (на основе Ni 1300-1350°C, на основе Co 1350-1400°C).

Давление: 100-150 МПа.

Атмосфера: Ar (>99,99%).

Время сохранения тепла: 13 часов.

Плотность: >99,9% теоретической плотности (~14,815 г/см³).

Оборудование : Печь HIP, например, серии Quintus HIP.

процесс :

Предварительное спекание (вакуум, 1200-1300°C, 0,51 ч).

Загрузка печи: графитовый/керамический поддон.

Горячее изостатическое прессование: 1300-1400°C, 100-150 МПа, 13 часов.

Охлаждение: 510°C/мин, защита Ar .

Постобработка : шлифовка (Ra <0,4 мкм) , тестирование производительности.

применимость :

Марка : YN8N, YG6X (сверхмелкое зерно < 0,5 мкм) .

Форма : сложная, например, авиационные инструменты и формы.

Объем производства : небольшие партии (<100 шт./партия), продукция с высокой добавленной стоимостью.

преимущество :

Высокая плотность: >99,9%, пористость <0,001%, прочность увеличена на 1015%.

Хороший контроль зерна: сверхмелкий рост зерна <5%, увеличение твердости 510% (1800-2200 HV).

Меньше дефектов: скорость образования микротрещин снизилась на 50%, KIC увеличился на 10% (912 МПа·м^{1/2}) .

недостаток :

Высокая стоимость: оборудования (500–1000 млн юаней), энергопотребления (35 кВт·ч/кг).

Низкая эффективность: 46 часов на одну партию, производительность <50 шт./час.

Техническое обслуживание оборудования является сложным: стоимость замены уплотнений высокого давления составляет 10,2 млн юаней в год.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Примеры :

Инструмент YN8N: 1350°C, 120 МПа, 2 часа, плотность 14,8 г/см³ , твердость 1800 HV (Sandvik, 2023).

стандарт :

GB/T 79972017: Проверка твердости.

GB/T 51692013: Пористость <0,001%.

2.3 Микроволновое спекание

Характеристики процесса :

Принцип : Микроволны (2,45 ГГц) используются для непосредственного нагрева заготовки. Фаза связующего поглощает микроволны для генерации тепла и содействия спеканию жидкой фазы.

параметр :

Температура: 1300-1400°C.

Мощность: 110 кВт.

Атмосфера: вакуум (<10⁻¹ Па) или Ar /H₂.

Время выдержки: 1060 минут.

Плотность: >99,5% теоретической плотности (~14,514,8 г/см³).

Оборудование : микроволновая печь для спекания, например Linn High Therm .

процесс :

Загрузка печи: Заготовка помещается в керамический тигель (вспомогательный нагрев из SiC).

Откачайте или пропустите Ar /H₂ (расход 0,51 л/мин).

Микроволновый нагрев: 1300-1400°C, 1060 мин.

Охлаждение: 1020°C/мин, защита Ar .

Последующая обработка : полировка поверхности (Ra <0,4 мкм) .

применимость :

Сорт : YN10, YG8 (размер зерна 0,51,5 мкм) .

Форма : мелкие и средние детали, такие как лезвия и сверла.

Объем производства : средняя партия (100 500 шт./партия).

преимущество :

Короткое время спекания: 1060 минут (14 часов вакуумного спекания), эффективность увеличена на 50%.

Низкое энергопотребление: 0,51 кВтч/кг (вакуумное спекание 12 кВтч/кг).

Равномерный размер зерна: рост <10%, увеличение твердости 35% (1500-1800 HV).

недостаток :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Оборудование стоит дорого: 200,5 млн юаней, а расходы на техническое обслуживание высоки (5,1 млн юаней в год).

Ограничения по размеру: заготовка <100 мм, подходит для деталей малого и среднего размера.

Сложно контролировать температуру: отклонение $\pm 20^{\circ}\text{C}$, требуется точная калибровка.

Примеры :

Лезвие YN10: 1350°C , 30 мин, плотность $14,7 \text{ г/см}^3$, KIC $9 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ (ScienceDirect, 2021).

стандарт :

GB/T 183762014: Отклонение зерна $\leq \pm 10\%$.

GB/T 38502015: Проверка плотности.

2.4 Искровое плазменное спекание (ИПС)

Характеристики процесса :

Принцип : Заготовка быстро нагревается импульсным постоянным током (1000–5000 А) с приложением давления для ускорения спекания твердой и жидкой фаз.

параметр :

Температура: $1200\text{--}1300^{\circ}\text{C}$ (на $100\text{--}200^{\circ}\text{C}$ ниже, чем при вакуумном спекании) .

Давление: 30100 МПа.

Ток: 10005000 А, импульс 310 мс .

Время выдержки: 530 минут.

Плотность: $>99,8\%$ теоретической плотности ($\sim 14,715 \text{ г/см}^3$) .

Оборудование : SPS-печь, например, Dr. Sinter SPS.

процесс :

Загрузка пресс-формы: Заготовка помещается в графитовую пресс-форму ($C > 99,9\%$).

Вакуумирование: $< 10^{-1} \text{ Па}$.

SPS: $1200\text{--}1300^{\circ}\text{C}$, 30-100 МПа, 530 мин.

Охлаждение: 1020°C/мин , защита Ar .

Постобработка : шлифовка ($Ra < 0,2 \text{ мкм}$) .

применимость :

Марка : YN8N, YG6X (сверхмелкое зерно $< 0,5 \text{ мкм}$) .

Форма : Небольшие сложные детали, такие как микроинструменты ($< 50 \text{ мм}$).

Объем производства : Небольшие партии ($< 100 \text{ шт./партия}$).

преимущество :

Быстрое спекание: 530 минут, эффективность увеличена на 80%.

Превосходный контроль зерна: рост $< 5\%$, подходит для сверхмелкого зерна ($< 0,5 \text{ мкм}$) , твердость 1800-2200 HV.

Высокая плотность: $> 99,8\%$, пористость $< 0,002\%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

недостаток :

Стоимость чрезвычайно высока: оборудование (500,8 млн юаней), форма (5,1 млн юаней/комплект).

Ограничения по размеру: заготовка <50 мм.

Малый размер партии: 110 штук за раз, производительность <100 штук/час.

Примеры :

Микроинструмент YN8N: 1250°C, 50 МПа, 10 мин, плотность 14,8 г/см³, твердость 1800 HV (ScienceDirect, 2021).

стандарт :

GB/T 79972017: Проверка твердости.

GB/T 18376-2014: Контроль зерна.

2.5 Газовое спекание под давлением (GPS)

Характеристики процесса :

Принцип : Жидкофазное спекание проводится под высоким давлением газа (N₂, Ar) для предотвращения улетучивания и повышения плотности.

параметр :

Температура: 1350-1450°C.

Давление: 110 МПа (ниже HIP).

Атмосфера: N₂/ Ar (>99,99%).

Время сохранения тепла: 14 часов.

Плотность: >99,7% теоретической плотности (~14,614,9 г/см³).

Оборудование : печь GPS, например FCT Systeme.

процесс :

Загрузка печи: Заготовка помещается на графитовый поддон.

Вентиляция: N₂/ Ar, 110 МПа.

Нагрев: 1350-1450°C, поддержание тепла в течение 14 часов.

Охлаждение: 510°C/мин, защита Ar.

Последующая обработка : полировка (Ra < 0,4 мкм).

применимость :

Сорт : YN6, YN10 (размер зерна 0,52 мкм).

Форма : Умеренно сложная, например, ножи, формы.

Объем производства : средняя партия (100 500 шт./партия).

преимущество :

Высокая плотность: >99,7%, пористость <0,003%, прочность увеличена на 510%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Умеренные затраты: оборудование (2005 млн юаней), потребление энергии (1,5-2,5 кВтч/кг).
Низкая летучесть: потеря адгезионной фазы <0,1%, однородность >95%.

недостаток :

Более низкое давление: пористость немного выше, чем у HIP (0,003% против 0,001%).
Время спекания было больше: 14 ч (530 мин для SPS).
Точность сложных форм несколько ниже: ±0,15 мм.

Примеры :

Форма YN10: 1400°C, 5 МПа, 2 часа, плотность 14,7 г/см³ , KIC 9 МПа·м^{1/2} (Sandvik, 2023).

стандарт :

GB/T 183762014: Пористость <0,003%.
GB/T 3851:2015: Проверка прочности.

3. Сравнение процессов

Таблица 1: Сравнение процессов спекания твердого сплава

Технологии	температура °C	давление МПа	плотность %	Применяемая форма	Урожай Штука/Партия	расход ы	преимуществ о	недостаток
Вакуумное спекание	13501450	никто	>99,5	От простого до умеренно сложного	1001000	середина	Умеренная стоимость, низкое содержание кислорода, широкое применение	Немного более высокая пористость, ограниченный контроль зерна, неравномерная усадка
Горячее изостатическое прессование	13001400	100150	>99,9	Комплекс (инструменты, формы)	<100	высокий	Высокая плотность, хороший контроль зерна, мало дефектов	Высокая стоимость, низкая эффективность, сложное обслуживание
Микроволновое спекание	13001400	никто	>99,5	Малый и средний (лезвия, сверла)	100500	От среднего до высокого	Короткое время, низкое потребление энергии, однородное зерно	Дорогое оборудование, ограниченные размеры, сложный контроль температуры

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

Технологии	температура °C	давление МПа	плотность %	Применимая форма	Урожай Штука/Партия	расход ы	преимуществ о	недостаток
Искровое плазменное спекание	12001300	30100	>99,8	Маленькие и сложные (микроинструменты)	<100	высокий	Быстро, хороший контроль зерна, высокая плотность	Очень высокая стоимость, ограниченный размер, малый объем
Спекание под давлением газа	13501450	110	>99,7	Средняя сложность (инструменты, формы)	100500	середина	Высокая плотность, умеренная стоимость, низкая волатильность	Низкое давление, длительное время, немного меньшая точность

4. Руководство по применению и выбору

Вакуумное спекание :

Применимо : средние и большие партии, простые и средние формы, такие как испытательные стержни YN6, лезвия YG15.

Причины выбора : умеренная стоимость (оборудование 1003 млн юаней), низкое содержание кислорода (O <0,03%), подходит для обычных сортов.

Пример : испытательный стержень YN6, 1400°C, плотность 14,6 г/см³ , прочность 1,8 ГПа .

Горячее изостатическое прессование :

Применимо : высокопроизводительные сложные детали, такие как авиационные инструменты и формы YN8N.

Причины выбора : плотность >99,9%, пористость <0,001%, твердость 1800-2200 HV.

Пример : инструмент YN8N, 1350°C, 120 МПа, твердость 1800 HV.

Микроволновое спекание :

Применимо к : деталям малого и среднего размера, таким как лезвия YN10 и сверла YG8.

Причины выбора : короткое время спекания (10–60 минут) и низкое потребление энергии (0,51 кВт·ч/кг).

Пример : вставка YN10, 1350°C, 30 мин, KIC 9 МПа·м^{1/2} .

Искровое плазменное спекание :

Применимо : небольшие высокоточные детали, такие как микроинструменты YN8N.

Причины выбора : быстрота (530 минут), превосходный контроль зерна (<0,5 мкм) , плотность >99,8%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Пример : микроинструмент YN8N, 1250°C, 50 МПа, твердость 1800 HV.

Спекание под давлением газа :

Применимо : детали средней сложности, такие как формы YN10 и инструменты YG15.

Причины выбора : плотность > 99,7%, умеренная стоимость, низкая летучесть (потеря фазы связующего < 0,1%).

Пример : форма YN10, 1400°C, 5 МПа, KIC 9 МПа·м^{1/2}.

Таблица 2: Пригодность процесса спекания

Технологии	Применимые классы	Применимая форма	Выход (штук/партия)	Типичные применения
Вакуумное спекание	YN6, YG15	Тестовый стержень, лезвие	1001000	Ножи, тестовые стержни
Горячее изостатическое прессование	YN8N, YG6X	Сложные инструменты и формы	<100	Авиационные инструменты, высококачественные формы
Микроволновое спекание	YN10, YG8	Лезвия, сверла	100500	Малые и средние инструменты и сверла
Искровое плазменное спекание	YN8N, YG6X	Микро Нож	<100	Прецизионные микродетали
Спекание под давлением газа	YN6, YN10	Режущие инструменты и формы	100500	Формы и режущие инструменты

5. Заключение

Каждый процесс спекания твердого сплава имеет свои особенности и должен выбираться с учетом марки, формы, производительности и стоимости:

Вакуумное спекание : умеренная стоимость, подходит для средних и больших партий обычных марок (YN6, YG15), но с немного более высокой пористостью (0,005-0,01%).

Горячее изостатическое прессование спеканием : плотность>99,9%, подходит для высокопроизводительных сложных деталей (YN8N), но высокая стоимость и низкая эффективность.

Микроволновое спекание : короткое время, низкое потребление энергии, подходит для деталей малого и среднего размера (YN10), но ограничено по размеру (<100 мм).

Искровое плазменное спекание : быстрое, хороший контроль зерна, подходит для мелких сверхмелкозернистых деталей (YN8N), но чрезвычайно высокая стоимость и небольшой размер партии.

Спекание под давлением газа : высокая плотность, умеренная стоимость, подходит для деталей средней сложности (YN10), но низкое давление и длительное время.

стандарт :

GB/T 345052017 : Отклонение плотности после спекания <±0,5%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

GB/T 183762014 : Пористость $<0,01\%$, отклонение зерна $<\pm 10\%$.

GB/T 38512015 : Прочность на изгиб (1,82,5 ГПа) .

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

GB/T 51692013 : Пористость (A02B00C00).

GB/T 43342020 : Коррозионная стойкость ($<0,005$ мм/год).

Будущие тенденции

Интеллектуальный контроль температуры (отклонение $<\pm 5^{\circ}\text{C}$), зеленое спекание (потребление энергии снижено на 20%) и нанокристаллическое спекание (зерна $<0,1$ мкм) улучшат производительность и эффективность.

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:

Краткое описание типичной печи для спекания карбида вольфрама

Печи для спекания твердого сплава являются ключевым оборудованием для высокотемпературного спекания заготовок из твердого сплава (WC + Co /Ni). Благодаря точному контролю высокой температуры (1350-1500 °C), атмосферы (например, H₂, Ar), давления (0,1-200 МПа) и технологического потока, прессованные заготовки (плотность 50-70%) преобразуются в высокоплотные (>99%), высокопроизводительные изделия из твердого сплава (например, горнодобывающие сверла, авиационные инструменты и износостойкие формы). Эти печи для спекания должны иметь высокоточный контроль температуры ($\pm 35^{\circ}\text{C}$), равномерный нагрев (разница температур $< \pm 10^{\circ}\text{C}$), стабильность атмосферы ($\text{O}_2 < 10 \text{ ppm}$), высокую надежность и эффективную производственную мощность для обеспечения твердости продукта (1400-2200 HV), прочности (1,8-2,5 ГПа), пористости ($< 0,01\%$) и точности размеров ($\pm 0,01-0,5 \text{ мм}$, в соответствии с GB/T 345052017). В этой статье объединены национальные стандарты (такие как GB/T 18376-2014, GB/T 38502015) и отраслевые практики (такие как ALD, PVA TePla, Quintus, 2023), чтобы подробно представить типы, характеристики, параметры процесса, данные о производительности, области применения и рекомендации по выбору типичных печей для спекания твердого сплава.

1. Типы печей для спекания карбида вольфрама

Печи для спекания карбида вольфрама делятся на следующие три категории в соответствии с требованиями к процессу и методами спекания. Каждая категория имеет определенные требования к спеканию для изделий из карбида вольфрама (таких как горнодобывающие сверла, авиационные инструменты и износостойкие формы):

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

печь для спекания цементированного карбида :

Однокамерная вакуумная печь для спекания твердого сплава : малые и средние партии, подходит для изделий сложной формы (например, авиационные инструменты Ø 550 мм).

Многокамерная вакуумная печь для спекания твердого сплава : крупномасштабное непрерывное производство, подходит для горнодобывающих буровых коронок (Ø 100-400 мм).

Конструкция : Одно-/многокамерная, Ø камеры 3001000 мм × 5002000 мм, нагревательные элементы из графита/молибдена, степень вакуума 10^{-3} 10^{-5} Па, оснащена конденсатором и системой депарафинизации.

Применение : депарафинизация и спекание в одном, подходит для высокоточных изделий.

Печь для горячего изостатического прессования цементированного карбида (HIP) :

Высокотемпературная печь для спекания твердого сплава методом горячего изостатического прессования : спекание высокопроизводительных изделий за один этап для устранения микропор.

Печь для низкотемпературного спекания твердого сплава методом горячего изостатического прессования : последующая обработка для повышения производительности.

Конструкция : камера высокого давления (Ø 200-800 мм × 500-1500 мм), давление 100-200 МПа, нагревательные элементы из графита/молибдена, атмосфера Ar , оснащена насосом высокого давления и предохранительным клапаном.

Применение : Авиационный инструмент, износостойкие формы, требующие высокой плотности (>99,9%).

Печь для спекания в атмосфере цементированного карбида :

Печь для спекания цементированного карбида в атмосфере водорода : недорогое массовое производство, подходит для горнодобывающих отбойных молотков.

Печь для спекания цементированного карбида в среде инертного газа : высокоточные изделия, пониженное окисление, подходит для форм.

Конструкция : лодочно-роликового типа, камера Ø 500x1500 мм × 1000x3000 мм, атмосфера H₂/ Ar , графитовые/керамические нагревательные элементы, оснащена системой газоочистки.

Применение : заготовки больших размеров, низкая стоимость обработки.

2. Характеристики печи для спекания карбида вольфрама

2.1 Структура и свойства материала

Материал полости :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Нержавеющая сталь 316L/ молибден : термостойкость $>1500^{\circ}\text{C}$, коррозионная стойкость, подходит для вакуума/высокого давления.

Графитовая/керамическая футеровка : тепловая однородность $\pm 10^{\circ}\text{C}$, снижение теплотерь на 20%.

Нагревательные элементы :

Графит : термостойкость $>2000^{\circ}\text{C}$, подходит для вакуумного/атмосферного спекания, срок службы >5000 часов.

Молибден/ Вольфрам : высокая чистота (загрязнение $<0,01\%$), подходит для горячего изостатического прессования, срок службы >4000 часов.

Изоляционный материал :

Войлок из углеродного волокна : теплопроводность $<0,1 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, эффективность изоляции 95%.

Алюминиевое волокно : термостойкость $>1600^{\circ}\text{C}$, энергосбережение 1520%.

Система управления :

ПЛК+сенсорный экран, точность регулирования температуры $\pm 35^{\circ}\text{C}$, регулирование давления $\pm 0,1 \text{ МПа}$, расход атмосферы $\pm 0,5 \text{ л/мин}$.

Поддержка удаленного мониторинга, уровень диагностики неисправностей $>98\%$.

Система безопасности :

Защита от перегрева/перегрузки по давлению, время срабатывания предохранительного клапана $<0,1$ секунды.

Обнаружение газа (O_2 , H_2), автоматическое отключение при превышении концентрации нормы.

2.2 Эксплуатационные характеристики

Диапазон температур : $1200-1500^{\circ}\text{C}$ (вакуум/НП), $800-1400^{\circ}\text{C}$ (атмосфера).

Точность контроля температуры : $\pm 35^{\circ}\text{C}$, однородность $\pm 10^{\circ}\text{C}$ (многоточечное измерение температуры).

Степень вакуума : $10^{-3} - 10^{-5} \text{ Па}$ (вакуумная печь), 10^{-2} Па (стадия депарафинизации).

Диапазон давлений : $0,1200 \text{ МПа}$ (НП), $0,010,1 \text{ МПа}$ (атмосфера).

Контроль атмосферы : H_2 (99,999%), Ar (99,99%), $\text{O}_2 < 510 \text{ ppm}$.

Скорость охлаждения : 520°C/мин (принудительное охлаждение, впрыск Ar/N_2), снижение термического напряжения 30%.

Характеристики продукта :

Твердость: $1400-2200 \text{ HV}$ (GB/T 79972017).

Прочность: $1,82,5 \text{ ГПа}$ (GB/T 38512015).

Плотность: $>99\%$ (GB/T 38502015).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Пористость: <0,01% (GB/T 51692013).

2.3 Характеристики процесса

Эффективность депарафинизации : вакуум/низкое давление H₂, степень депарафинизации >99,5%, остаточный углерод <0,05%.

Цикл спекания : 824 часа (вакуум 1216 часов, горячее изостатическое прессование 36 часов, атмосфера 1020 часов).

Контроль усадки : Коэффициент усадки 1522% (YG8 1618%, YN10 1820%), отклонение <±0,5%.

Потребление энергии : 12 кВт·ч/кг (вакуум/НП), 0,51 кВт·ч/кг (атмосфера).

Автоматизация : автоматическая загрузка и выгрузка, регулировка атмосферы, повышение эффективности производства на 30-40%.

Консистенция продукта : отклонение твердости <±50 HV, отклонение плотности <±0,1 г/см³.

3. Параметры процесса спекания твердосплавных изделий

печь для спекания цементированного карбида :

Стадия депарафинизации :

Температура: 200–600 °C, скорость нагрева 25 °C/мин.

Степень вакуума: 10⁻² Па, расход H₂ 510 л/мин.

Время: 24 часа, степень депарафинизации >99%.

Стадия спекания :

Температура: 1350-1450°C, скорость нагрева 510°C/мин.

Степень вакуума: 10⁻⁴ 10⁻⁵ Па, сохранение тепла в течение 24 часов.

Охлаждение: 10°C/мин (принудительное охлаждение Ar), до 100°C.

Типичные параметры :

Горнодобывающее буровое долото YG8: 1400°C, 10⁻⁴ Па, 12 часов, плотность 14,6 г/см³.

Авиационный инструмент YN10: 1450°C, 10⁻⁵ Па, 14 часов, твердость 1800 HV.

Печь горячего изостатического прессования (ГИП) цементированного карбида :

Стадия спекания :

Температура: 1350-1450°C, скорость нагрева 58°C/мин.

Давление: 100-150 МПа (Ar), сохранение тепла в течение 13 часов.

Охлаждение: 15°C/мин (Ar высокого давления), до 200°C.

Стадия постобработки (низкотемпературное ГИП):

Температура: 1300-1350°C, давление 80-100 МПа.

Время: 12 часов, пористость снизилась до <0,001%.

Типичные параметры :

Авиационный инструмент YG6X: 1400°C, 120 МПа, 4 часа, плотность 14,9 г/см³.

Износостойкая форма YG8: 1350°C, 100 МПа, 3 часа, прочность 2,2 ГПа.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Печь для спекания в атмосфере цементированного карбида :

Стадия депарафинизации :

Температура: 200-500°C, скорость нагрева 35°C/мин.

Расход H₂: 2050 л/мин, O₂ <10 ppm.

Время: 35 часов, остаточный углерод <0,1%.

Стадия спекания :

Температура: 1300-1400°C, скорость нагрева 510°C/мин.

Атмосфера: H₂ (99,999%), сохраняет тепло в течение 35 часов.

Охлаждение: 510°C/мин (защита N₂), до 100°C.

Типичные параметры :

Резьба YG6: 1350°C, H₂ 30 л/мин, 12 часов, твердость 1400 HV.

Форма YN10: 1400°C, Ar 20 л/мин, 15 часов, точность ±0,01 мм.

4. Эксплуатационные характеристики печи для спекания карбида вольфрама

печь для спекания цементированного карбида :

Характеристики продукта :

Плотность: 14,514,9 г/см³ (YG 8/YG6X), отклонение ±0,1 г/см³.

Твёрдость: 1400-2000 HV, отклонение ±50 HV.

Прочность: 1,82,3 ГПа, пористость <0,01%.

Производительность оборудования :

Точность регулирования температуры: ±3°C (ПИД-регулирование, 10-точечное измерение температуры).

Степень вакуума: 10⁻⁵ Па (молекулярный насос), скорость утечки <10⁻⁸ Па·м³/с.

Расход энергии: 1,5 кВтч/кг, производительность: 50200 кг/печь.

Консистенция : отклонение твердости партии <2%, отклонение размеров ±0,02-0,5 мм.

Печь горячего изостатического прессования (ГИП) цементированного карбида :

Характеристики продукта :

Плотность: 14,815,0 г/см³ (YG 6X/YN10), отклонение ±0,05 г/см³.

Твёрдость: 1800-2200 HV, отклонение ±30 HV.

Прочность: 2,22,5 ГПа, пористость <0,001%.

Производительность оборудования :

Точность регулирования температуры: ±5°C, давления ±0,1 МПа.

Стабильность давления: ±0,5% (100-150 МПа), расход Ar 50-100 л/печь.

Расход энергии: 2 кВтч/кг, производительность: 20100 кг/печь.

Консистенция : Отклонение плотности партии <0,5%, точность ±0,01-0,05 мм.

Печь для спекания в атмосфере цементированного карбида :

Характеристики продукта :

Плотность: 14,514,8 г/см³ (YG 6/YN10), отклонение ±0,15 г/см³.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Твёрдость: 1400-1800 HV, отклонение ± 60 HV.

Прочность: 1,82,2 ГПа, пористость $< 0,02\%$.

Производительность оборудования :

Точность регулирования температуры: $\pm 5^{\circ}\text{C}$, расхода воздуха $\pm 0,5$ л/мин.

Расход H_2 : 100200 л/печь, $\text{O}_2 < 10$ ppm.

Расход энергии: 0,8 кВтч/кг, производительность: 100500 кг/печь.

Консистенция : отклонение твердости партии $< 3\%$, отклонение размера $\pm 0,10,5$ мм.

5. Применение печи для спекания карбида вольфрама

печь для спекания цементированного карбида :

Сценарии применения :

Спеченные горнодобывающие буровые коронки (например, шарошечные буровые коронки $\varnothing 100-400$ мм) требуют высокой прочности.

Авиационный инструмент (например, шаровые концевые фрезы $\varnothing 550$ мм) требует высокой точности.

Производительность :

Температура: $1350-1450^{\circ}\text{C}$, 10^{-4} 10^{-5} Па.

Цикл: 1216 часов, плотность $> 99\%$.

Точность: $\pm 0,02-0,5$ мм, твердость 1400-2000 HV.

Примеры :

Однокамерная вакуумная печь для спекания твердого сплава (ALD VKPgr, $\varnothing 400 \times 1200$ мм):

Спекание горнодобывающей буровой коронки YG8 ($\varnothing 20 \times 330$ мм), 1450°C , 10^{-4} Па, 12 ч.

Результаты: плотность $14,6 \text{ г/см}^3$, твердость 1400 HV, коэффициент усадки 16% , пористость $< 0,01\%$ (ScienceDirect, 2021).

Многокамерная вакуумная печь для спекания твердого сплава (PVA TePla COD, $\varnothing 600 \times 1500$ мм):

Спекание авиационного инструмента YN10 ($\varnothing 10 \times 100$ мм), 1400°C , 10^{-5} Па, 14 ч.

Результаты: Плотность $14,8 \text{ г/см}^3$, твердость 1800 HV, точность $\pm 0,02$ мм, KIC $10 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$.

Печь горячего изостатического прессования (ГИП) цементированного карбида :

Сценарии применения :

Авиационные инструменты (например, фрезы) могут устранить микропоры и повысить плотность.

Износостойкие формы (например, формы для холодной штамповки размером $100 \times 100 \times 30$ мм) могут повысить противоусталостные характеристики.

Производительность :

Температура: $1350-1450^{\circ}\text{C}$, 100-150 МПа.

Цикл: 36 часов, плотность $> 99,9\%$.

Точность: $\pm 0,010,05$ мм, твердость 1800-2200 HV.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Примеры :

Печь для спекания твердых сплавов методом HIP (Quintus QIH, Ø 300 × 1000 мм):
Спекание авиационного инструмента YG6X (Ø 12 × 80 мм), 1400°C, 120 МПа, 4 часа.
Результаты: Плотность 14,9 г/ см³, твердость 2000 HV, пористость <0,001%, прочность 2,3 ГПа .
Печь для спекания карбида вольфрама при низкой температуре (ALD HP, Ø 250 × 800 мм):
Постобработка износостойкой формы YG8 (100 × 100 × 30 мм), 1350°C, 100 МПа, 3 ч.
Результаты: Пористость <0,001%, прочность 2,2 ГПа , срок службы увеличился на 20%.

Печь для спекания в атмосфере цементированного карбида :

Сценарии применения :

Кирки горнодобывающие (например, конические Ø 20 мм), серийного производства.
Износостойкие формы (например, пластиковые формы 80×80×20 мм), низкая себестоимость переработки.

Производительность :

Температура: 1300–1400 °C, атмосфера H2/ Ar .
Цикл: 1020 часов, плотность>99%.
Точность: ±0,1-0,5 мм, твердость 1400-1800 HV.

Примеры :

Печь для спекания цементированного карбида в атмосфере водорода (ECM Lilas, Ø 800 × 2000 мм):
Спекание прутка YG6 (Ø 20 × 50 мм), 1350°C, H2 30 л/мин, 12 часов.
Результаты: Плотность 14,5 г/ см³, твердость 1400 HV, срок службы 80 часов, пористость <0,02%.
Печь для спекания в среде инертного газа для твердого сплава (Centorr , Ø 600 × 1500 мм):
Спекание пластиковой литевой формы YN10 (80 × 80 × 20 мм), 1400°C, Ar 20 л/мин, 15 часов.
Результаты: Плотность 14,7 г/см³ , точность ±0,01 мм, твердость 1600 HV.

6. Сравнение типов печей для спекания карбида вольфрама

Тип печи для спекания	температура °C	давление МПа	атмосфера	цикл Час	плотность %	Точность мм	Потребление энергии кВтч/кг	Типичные применения
Однокамерная вакуумная печь для спекания цементированного карбида	13501450	10 ⁻³ 10 ⁻⁵ Па	вакуум	1216	>99	±0,020,5	1.5	Горнодобывающие буровые коронки и резцы
Высокотемпературная	13501450	100150	Ar	36	>99,9	±0,010,05	2	Авиационные

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Тип печи для спекания	температура °C	давление МПа	атмосфера	цикл Час	плотность %	Точность мм	Потребление энергии кВтч/кг	Типичные применения
печь для спекания цементированного карбида HIP								инструменты и формы
Печь для спекания цементированного карбида в атмосфере водорода	1300/1400	0.1	H2	1020	>99	±0,10,5	0.8	Медальоны, плашки

7. Рекомендации по выбору

По типу продукта

Авиационный инструмент (высокая точность, сложные формы) :

Рекомендуется: вакуумная печь для спекания карбида (однокамерная) или высокотемпературная печь для спекания методом HIP.

Причина: Степень вакуума 10^{-5} Па обеспечивает низкий уровень загрязнения, давление HIP 120 МПа устраняет микропоры, точность $\pm 0,01-0,05$ мм.

Модель: ALD VKPgr (Ø 400 × 1200 мм, 50100 кг/печь), Quintus QIH (Ø 300 × 1000 мм, 2050 кг/печь).

Горнодобывающие буровые коронки/резцы (крупногабаритные, массового производства) :

Рекомендуется: многокамерная вакуумная печь для спекания карбида или печь для спекания в атмосфере водорода.

Причина: Многокамерность обеспечивает непрерывное производство (200-500 кг/печь), а стоимость атмосферы H2 низкая (0,8 кВт-ч/кг).

Модели: PVA TePla COD (Ø 600 × 1500 мм, 200 кг/печь), ECM Lilas (Ø 800 × 2000 мм, 300 кг/печь).

Износостойкая форма (высокая плотность, устойчивость к усталости) :

Рекомендуется: высокотемпературная печь для спекания HIP для цементированного карбида или низкотемпературная последующая обработка HIP.

Причина: ГИП обеспечивает плотность >99,9%, пористость <0,001% и увеличение прочности на 1020%.

Модели: ALD HP (Ø 250×800 мм, 2050 кг/печь), Quintus QIH (Ø 300×1000 мм).

В соответствии с производственным спросом

Малые и средние партии (<100 кг/печь) : однокамерная вакуумная печь для спекания или

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

небольшая печь HIP, высокая гибкость, подходит для НИОКР или изготовления продукции по индивидуальному заказу.

Крупная партия (>200 кг/печь) : многокамерная вакуумная печь для спекания или печь для спекания в атмосфере, высокая производительность, себестоимость единицы продукции снижена на 20–30%.

Согласно смете расходов бюджетный

Печь для спекания цементированного карбида в водородной атмосфере, энергопотребление 0,8 кВт·ч/кг, стоимость оборудования на 30-50% ниже (около 501 млн долларов США).

высокая производительность

Печь для спекания цементированного карбида при высокой температуре HIP потребляет 2 кВт·ч/кг энергии и имеет высокую стоимость оборудования (около 2005 млн долларов США), но производительность продукта улучшается на 20%.

требованиями процесса :

Высокая точность ($\pm 0,01-0,05$ мм) : вакуумная печь спекания (10^{-5} Па) + горячее изостатическое прессование (120 МПа), отклонение усадки $\leq \pm 0,5\%$.

Низкий уровень загрязнения : нагревательные элементы из молибдена/вольфрама и атмосфера аргона снижают уровень загрязнения на 30%.

Быстрое производство : печь HIP (36 часов) или многокамерная вакуумная печь (непрерывное производство).

Окружающая среда и безопасность :

Атмосфера H₂ : требуется обнаружение газа ($O_2 < 10$ ppm) и система сброса давления (время реакции $< 0,1$ с).

давление HIP : выбирайте оборудование с предохранительным клапаном и контролем давления (скорость утечки $< 10^{-8}$ Па·м³/с).

8. Предложения по оптимизации

оборудование :

Нагревательный элемент : молибден/вольфрам (HIP/вакуум), снижение загрязнения на 30%, срок службы > 4000 часов.

Изоляционный материал : войлок из углеродного волокна + волокно из оксида алюминия, потери тепла снижены на 20%, экономия энергии 15%.

Камера : нержавеющая сталь 316L + графитовая футеровка, коррозионная стойкость повышена на 25%, срок службы > 10 лет.

Оптимизация процесса :

Контроль температуры : модернизированный алгоритм ПИД+ИИ, точность $\pm 3^\circ\text{C}$, однородность $\pm 5^\circ\text{C}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Депарафинизация : вакуум (10^{-2} Па) + H₂ (510 л/мин), скорость депарафинизации >99,5%, остаточный углерод <0,05%.

ГИП : 1350°C, 120 МПа, 2 часа сохранения тепла, цикл сокращен на 20%, плотность увеличена на 0,5%.

Контроль атмосферы :

Чистота H₂ : >99,999%, O₂ <5 ppm, скорость окисления снижена на 50%.

Ар циркуляция : расход 2050 л/мин, степень извлечения >80%, снижение затрат 15%.

Оптимизация охлаждения :

Принудительное охлаждение : впрыск аргона под высоким давлением (1520°C/мин), снижение термического напряжения на 30%.

Многоступенчатое охлаждение : 800°C/400°C/100°C сегментировано, точность повышена на 10%.

Техническое обслуживание и автоматизация :

Онлайн- мониторинг : мониторинг температуры, давления и атмосферы в режиме реального времени, снижение частоты отказов на 20%.

Автоматическая загрузка и разгрузка : роботизированная система снижает затраты на рабочую силу на 30% и повышает эффективность на 40%.

Цикл технического обслуживания : графитовые компоненты следует проверять каждые 5000 часов, а камеру следует чистить ежегодно, что может продлить срок службы на 25%.

9. Стандарты

GB/T 345052017 : Точность размеров $\pm 0,01$ мм, отклонение допуска $< \pm 5\%$.

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

GB/T 38502015 : Плотность >99%.

GB/T 51692013 : Класс пористости A02B00C00.

GB/T 38512015 : Прочность на изгиб 1,82,5 ГПа .

GB/T 79972017 : Твердость 1400-2200 HV.

10. Заключение

Печи для спекания карбида вольфрама подразделяются на три категории: вакуумные печи для спекания карбида вольфрама, печи для спекания с горячим изостатическим прессованием и печи для спекания в атмосфере, которые могут удовлетворить потребности в спекании для горнодобывающих буров, авиационных инструментов и износостойких форм:

Вакуумная печь для спекания цементированного карбида

Сложная форма, 1350/1450°C, 10^{-5} Па, плотность >99%, точность $\pm 0,02-0,5$ мм.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Печь для спекания горячего изостатического прессования цементированного карбида
Высококачественные изделия, 100-150 МПа, плотность>99,9%, пористость<0,001%.

Атмосферная печь для спекания цементированного карбида
Массовое производство, 1300-1400°C, H₂/ Ar , низкая стоимость, подходит для резцов.

Эти печи для спекания значительно повышают производительность и эффективность производства изделий из твердого сплава благодаря высокоточному контролю температуры, стабильности атмосферы и эффективным процессам, и широко используются в горнодобывающей промышленности, авиации и производстве пресс-форм. При выборе модели необходимо учитывать точность продукта, производительность, стоимость и требования к процессу.

приложение:

Какова плотность спеченного карбида?

Краткое введение в плотность спеченного твердого сплава

Спеченная плотность твердого сплава относится к плотности материала, которая в конечном итоге достигается заготовкой (прессованный порошок, начальная плотность обычно составляет 50-70% от теоретической плотности) во время высокотемпературного процесса спекания твердого сплава (например, WC+Co, WC+Ni) посредством перераспределения частиц, диффузии и устранения пор. Обычно она выражается как фактическая плотность (г/см^3) или относительная плотность (процент от теоретической плотности). Спеченная плотность напрямую влияет на эксплуатационные характеристики твердого сплава, включая твердость (1400-2200 HV), прочность (1,8-2,8 ГПа), износостойкость и пористость (<0,01%). Это ключевой показатель для оценки качества спекания, который должен соответствовать национальным стандартам (например, GB/T 3850-2015, GB/T 1837-6-2014). Высокая плотность спекания (>99% теоретической плотности) гарантирует отсутствие микропор в продукте и его превосходные эксплуатационные характеристики, а также подходит для таких применений, как изготовление износостойких форм, горнодобывающего инструмента и глубоководных уплотнений.

1. Определение плотности спеченного твердого сплава

Фактическая плотность

Масса единицы объема твердого сплава после спекания (г/см^3) рассчитывается по методу Архимеда (GB/T 3850-2015) или прямым измерением.

Относительная плотность

Отношение фактической плотности к теоретической плотности (идеальная плотность в полностью плотном состоянии), обычно выражаемое в процентах. Например, теоретическая плотность YG8 (WC+8%Co) составляет около $14,7 \text{ г/см}^3$, а фактическая плотность после спекания составляет $14,65 \text{ г/см}^3$, а относительная плотность составляет 99,66%.

Теоретическая плотность

на основе массовой доли компонентов твердого сплава (WC, Co/Ni, добавки) и плотности каждого компонента (WC: $15,63 \text{ г/см}^3$, Co: $8,9 \text{ г/см}^3$, Ni: $8,9 \text{ г/см}^3$).

Значение плотности спекания твердого сплава

Влияние на производительность

Высокая плотность спекания (>99%) снижает пористость (<0,01%, GB/T 5169-2013), улучшает твердость (увеличивается на 510%), прочность (увеличивается на 1020%) и износостойкость (потери от износа уменьшаются на 2030%).

Контроль качества

Плотность спекания отражает степень оптимизации процесса спекания (например,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

температуры, давления и атмосферы). Низкая плотность (<95%) может привести к образованию микропор и недостаточной прочности, что влияет на срок службы изделия.

Требования к заявке

Высокоплотный твердый сплав (например, >99,9%, спекание методом горячего изостатического прессования) подходит для изготовления глубоководных уплотнений и авиационных инструментов; средняя плотность (>98%) подходит для изготовления горных резцов.

2. Факторы, влияющие на плотность спекания твердого сплава

Характеристики порошка:

Размер зерна: Мелкие зерна (0,52 мкм) способствуют диффузии и увеличивают плотность на 12%; крупные зерна (>5 мкм) могут вызывать остаточные поры.

Гомогенность: Порошки однородно перемешаны (шаровая мельница в течение 1624 часов, D50 50150 мкм), с уменьшенной сегрегацией и отклонением плотности $\leq \pm 0,1 \text{ г/см}^3$.

Связующее: ПЭГ/парафин (0,52 мас. %), оптимизированный для компрессионного формования, с начальной плотностью на 510% выше.

Процесс прессования:

Давление: Холодное изостатическое прессование (200-300 МПа) увеличивает плотность заготовки (60-70%), а после спекания плотность увеличивается на 13%.

Матрица: равномерное распределение давления, снижение дефектов заготовок и увеличение однородности плотности на 10%.

Процесс спекания:

Температура: 1350-1500°C (вакуум/HIP), слишком низкая (<1300°C) приводит к недостаточной плотности (<95%), слишком высокая (>1550°C) приводит к росту зерна и снижению плотности на 0,51%.

Время изоляции: 24 часа (вакуум), 13 часов (HIP), плотность увеличивается на 0,2-0,5% при продлении на 1 час.

Атмосфера: H₂/ Ar (O₂ <510 ppm) для предотвращения окисления, плотность сплава на основе Ni/Co увеличена на 0,5%; вакуум ($10^{-4} \text{ } 10^{-5} \text{ Па}$) для удаления связующего, плотность увеличена на 1%.

Давление: горячее изостатическое прессование (100-150 МПа) устраняет микропоры и достигает плотности >99,9%; обычное спекание (0,1 МПа) достигает плотности 9899%.

Производительность печи для спекания:

Точность регулирования температуры: $\pm 35^\circ\text{C}$, однородность $\pm 510^\circ\text{C}$, отклонение плотности $< \pm 0,05 \text{ г/см}^3$.

Степень вакуума: 10^{-5} Па (вакуумная печь), эффективность депарафинизации >99,5%, остаточный углерод <0,05%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Скорость охлаждения: 520°C/мин, контролируемая термическая нагрузка, увеличение плотности на 5%.

3. Связь между плотностью спекания и процессом спекания

Вакуумное спекание:
Процесс: депарафинизация (200–600 °C, 10⁻² Па) → спекание (1350–1450 °C, 10⁻⁴ 10⁻⁵ Па) → охлаждение (1015 °C/мин).
Плотность: 9899,5% (YG8: 14,514,65 г/см³), пористость <0,01%.
Применимо к: горнодобывающим буровым коронкам, формам, низкая стоимость.

Горячее изостатическое прессование (ГИП):
Процесс: спекание (1350-1450°C, 100-150 МПа, Ar) → последующая обработка (1300-1350°C, 80-100 МПа) → охлаждение (1520°C/мин).
Плотность: >99,9% (YG8: 14,6514,7 г/см³), пористость <0,001%.
Применение: Авиационные инструменты, глубоководные тюлени, высокие требования к производительности.

Спекание в атмосфере:
Процесс: депарафинизация (200-500°C, H2 2050 л/мин) → спекание (1300-1400°C, H2/ Ar) → охлаждение (510°C/мин).
Плотность: 9899% (YG6: 14,414,5 г/см³), пористость <0,02%.
Применимо к: резке пикой, массовому производству, низкой стоимости.

4. Данные о плотности спеченного материала

Тип спекания	Бренд	Фактическая плотность (г/см ³)	Относительная плотность (теоретическая)	(% Пористость (%))	Твёрдость (HV)	Прочность (ГПа)	Типичные применения
Вакуумное спекание	YG8	14.514.65	98.699.7	<0,01	14001800	1.82.3	Горнодобывающие буровые коронки
спекание методом горячего изостатического прессования	YG6X	14.814.9	>99,9	<0,001	18002200	2.22.8	Авиационные инструменты
Спекание в атмосфере	YN10	14.414.5	98.099.0	<0,02	14001600	1.82.2	Химические уплотнения

Примеры:
Вакуумное спекание: сверло YG8 (Ø 20 × 330 мм), 1450°C, 10⁻⁴ Па, 12 часов, плотность 14,6 г/см³ (99,3 %), твердость 1400 HV.

Спекание методом HIP: инструмент YG6X ($\varnothing 12 \times 80$ мм), 1400°C, 120 МПа, 4 часа, плотность 14,9 г/см³ (> 99,9%), пористость <0,001%.

Спекание в атмосфере: уплотнение YN10 ($\varnothing 50$ мм), 1350°C, H₂ 30 л/мин, 12 часов, плотность 14,5 г/см³ (98,6 %), отличная коррозионная стойкость.

5. Предложения по оптимизации плотности спекания

Оптимизация пороха:

Выбирается средне-мелкозернистый WC (0,5-1,5 мкм), а плотность увеличивается на 12%.

Добавление Cr₃C₂ (0,2-0,5 мас. %) подавляет рост зерен и увеличивает плотность на 0,5%.

Процесс прессования:

При увеличении давления прессования (250-300 МПа) начальная плотность увеличилась на 5-10%.

Оптимизируйте форму, сократите количество дефектов заготовок и увеличьте плотность на 10%.

Процесс спекания:

Температура: контролировать 1400-1450°C (YG8/YG6X), избегать перегрева, увеличить плотность на 0,5%.

Атмосфера: чистота H₂>99,999%, O₂ <5 ppm, плотность сплава на основе Ni увеличена на 0,5%.

Горячее изостатическое прессование: 1350°C, 120 МПа, 2 часа, плотность >99,9%.

Оптимизация оборудования:

Улучшенный контроль температуры ($\pm 3^\circ\text{C}$), отклонение плотности $\leq \pm 0,05$ г/см³.

При использовании нагревательных элементов из молибдена/вольфрама загрязнение снижается на 30%, а плотность увеличивается на 0,2%.

Постобработка:

После обработки горячим изостатическим прессованием (1300°C, 100 МПа) пористость снизилась до <0,001%.

Полировка ($R_a < 0,2$ мкм) уменьшает дефекты поверхности и повышает износостойкость на 20%.

6. Стандарты

GB/T 38502015: Измерение плотности, отклонение $\leq \pm 0,1$ г/см³.

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

GB/T 51692013: Класс пористости A02B00C00.

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

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

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

7. Заключение

Плотность спекания твердого сплава является основным показателем для измерения качества спекания, которое напрямую влияет на твердость, прочность и долговечность продукта. Высокая плотность спекания (>99%) достигается путем оптимизации процессов порошка, прессования и спекания (таких как HIP 1350°C, 120 МПа), что обеспечивает пористость <0,001%, что подходит для высокопроизводительных применений (таких как глубоководные уплотнения, авиационные инструменты). Вакуумное спекание (9899,5%), HIP (>99,9%) и атмосферное спекание (9899%) удовлетворяют различным потребностям соответственно, и процесс необходимо выбирать в соответствии со сценарием применения.

приложение:

Что такое пористость карбида?

Введение в пористость твердого сплава

Пористость твердого сплава определяется процентом объема мелких пор (пор или пустот), остающихся внутри материала в процессе спекания твердого сплава (например, WC+ Co , WC+ Ni) к общему объему. Обычно выражается в процентах (например, <0,01%) или классифицируется как класс A, B или C в соответствии с национальным стандартом GB/T 5169-2013 (например, A02B00C00).

Пористость является ключевым показателем для оценки качества спекания твердого сплава, который напрямую влияет на плотность материала (14,5-15,0 г/см³), твердость (1400-2200 HV), прочность (1,8-2,8 ГПа), износостойкость и коррозионную стойкость. Низкая пористость (<0,001%, например, спекание HIP) обеспечивает высокую производительность и подходит для высокотребовательных применений, таких как авиационные инструменты и глубоководные уплотнители; более высокая пористость (0,01-0,02%, например, спекание в атмосфере) подходит для чувствительных к стоимости горнодобывающих отмычек.

В данной статье объединены национальные стандарты (такие как GB/T 183762014, GB/T 51692013) и отраслевая практика, чтобы подробно представить определение, измерение, факторы влияния и меры оптимизации пористости твердого сплава.

1. Определение пористости твердого сплава

Пористость

Отношение объема внутренних пор к общему объему твердого сплава обычно рассчитывается косвенно с помощью микроскопического наблюдения (металлографический анализ, GB/T 5169-2013) или измерения плотности (метод Архимеда, GB/T 3850-2015).

Формула: Пористость (%) = (1 фактическая плотность/теоретическая плотность) × 100.

Например, теоретическая плотность YG8 составляет 14,7 г/см³, фактическая плотность — 14,65 г/см³, а пористость — ≈ 0,34%.

Тип пористости:

Поры типа A: диаметр <10 мкм, мелкие поры, влияющие на прочность.

Поры типа B: диаметр 10-25 мкм, более крупные поры, пониженная износостойкость.

Поры типа C: поры, образованные скоплениями или включениями карбидов, которые влияют на коррозионную стойкость.

Стандарт качества (GB/T 51692013):

A02: Поры класса A <0,02 мм²/см².

B00: Нет пор класса B.

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

C00: Поры типа C отсутствуют.

Значение пористости твердого сплава

Влияние на производительность

Высокая пористость ($>0,1\%$) приводит к снижению плотности ($<98\%$), твердости (5–10%), прочности (10–20%) и износостойкости (увеличение износа на 20–30%), что может легко привести к усталостному разрушению или коррозии.

Контроль качества

Пористость отражает эффективность процесса спекания (например, температуру, давление и атмосферу). Низкая пористость ($<0,001\%$) указывает на достаточное спекание и плотный материал.

Требования к заявке

Высокопроизводительные применения (аэрокосмические приборы, глубоководные уплотнители): пористость $<0,001\%$ (спекание HIP), отсутствие микропор, высокая стойкость к давлению/коррозии.

Общее применение (горные кирки, формы): пористость $<0,02\%$ (спекание в атмосфере), что обеспечивает баланс между стоимостью и производительностью.

2. Метод измерения пористости

Металлографический анализ (GB/T 51692013):

шаг:

: резка и полировка ($Ra < 0,2 \text{ мкм}$) .

Микроскопическое наблюдение: оптический микроскоп ($100\times$), подсчет количества и площади пор типа A/B/C.

Классификация и рейтинг: A02, B00 и другие марки определяются в зависимости от диаметра и распределения пор.

Преимущества: интуитивно понятный, позволяет различать типы пор.

Ограничения: Наблюдается только поверхность, требуется несколько точек отбора проб.

Измерение плотности (GB/T 38502015):

шаг:

Измерение фактической плотности: метод Архимеда (взвешивание в воде, точность $\pm 0,01 \text{ г/см}^3$) .

Рассчитайте пористость: $(1 \text{ фактическая плотность} / \text{теоретическая плотность}) \times 100$.

Плюсы: Быстрая, комплексная оценка.

Ограничения: невозможно различить типы пор.

Другие методы:

Рентгеновская компьютерная томография: 3D неразрушающий контроль, точность $\pm 0,001\%$, подходит для высокоточных применений.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ультразвуковой контроль: обнаруживает крупные поры (>25 мкм) , используется для крупногабаритных изделий.

3. Факторы, влияющие на пористость твердого сплава

Характеристики порошка:

Размер зерна: мелкие зерна ($0,52$ мкм) способствуют диффузии и уменьшают пористость на 50% ; крупные зерна (>5 мкм) склонны к образованию остаточных пор .

Гомогенность: Неравномерное смешивание порошка (ненадлежащее измельчение в шаровой мельнице <16 часов) привело к появлению локальных пор, а пористость увеличилась на $0,1-0,2\%$.

Связующее: Избыточное количество ПЭГ/парафина ($0,52$ мас. %) привело к неполной депарафинизации и увеличению пористости на $0,05-0,1\%$.

Процесс прессования:

Давление: Холодное изостатическое прессование ($200-300$ МПа) увеличивает плотность заготовки ($60-70\%$) и снижает пористость на $0,1-0,2\%$.

Дефекты: Износ формы или неравномерное давление приводят к появлению трещин в заготовке, а пористость увеличивается на $0,2-0,5\%$.

Процесс спекания:

Температура: $1350-1500^{\circ}\text{C}$ (вакуум/НП), слишком низкая ($<1300^{\circ}\text{C}$) пористость $>0,1\%$, слишком высокая ($>1550^{\circ}\text{C}$) зерна растут и пористость увеличивается на $0,05\%$.

Время изоляции: 24 часа (вакуум), 13 часов (НП), пористость уменьшается на $0,01-0,02\%$ при увеличении на 1 час.

Атмосфера: H_2/Ar ($\text{O}_2 < 510$ ppm) для предотвращения окисления, пористость снижена на $0,02\%$; вакуум (10^{-4} 10^{-5} Па) для тщательной депарафинизации, пористость снижена на $0,05\%$.

Давление: ГИП ($100-150$ МПа) устраняет микропоры, и пористость составляет $<0,001\%$; обычное спекание ($0,1$ МПа) имеет пористость $0,01-0,02\%$.

Производительность печи для спекания:

Точность регулирования температуры: $\pm 35^{\circ}\text{C}$, однородность $\pm 510^{\circ}\text{C}$, отклонение пористости $<\pm 0,005\%$.

Степень вакуума: 10^{-5} Па, эффективность депарафинизации $>99,5\%$, остаточный углерод $<0,05\%$, снижение пористости $0,02\%$.

Скорость охлаждения: $520^{\circ}\text{C}/\text{мин}$, контролируемая термическая нагрузка, увеличение пористости на 10% .

4. Связь между пористостью и процессом спекания

Вакуумное спекание:

Процесс: депарафинизация ($200-600^{\circ}\text{C}$, 10^{-2} Па) $\rightarrow$ спекание ($1350-1450^{\circ}\text{C}$, 10^{-4} 10^{-5} Па) $\rightarrow$ охлаждение ($1015^{\circ}\text{C}/\text{мин}$).

Пористость: $<0,01\%$ (A02B00), плотность YG8 $14,514,65$ г/см³ .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Применение: Горнодобывающие буровые коронки, формы, средняя пористость.

Горячее изостатическое прессование (ГИП):

Процесс: спекание (1350-1450°C, 100-150 МПа, Ar) → последующая обработка (1300-1350°C, 80-100 МПа) → охлаждение (1520°C/мин).

Пористость: <0,001% (A00B00), плотность YG6X 14,814,9 г/см³.

Применение: авиационные ножи, глубоководные тюлени, высокая производительность.

Спекание в атмосфере:

Процесс: депарафинизация (200-500°C, H₂ 2050 л/мин) → спекание (1300-1400°C, H₂/ Ar) → охлаждение (510°C/мин).

Пористость: <0,02% (A04B02), плотность YN10 14,414,5 г/см³.

Применение: Химические уплотнения, отмычки, низкая стоимость.

5. Данные о пористости

Тип спекания	Бренд	Пористость (%)	Класс GB/T 5169	Плотность (г/см³)	Твёрдость (HV)	Прочность (ГПа)	Типичные применения
Вакуумное спекание	YG8	<0,01	A02B00C00	14.514.65	14001800	1.82.3	Горнодобывающие буровые коронки
спекание методом горячего изостатического прессования	YG6X	<0,001	A00B00C00	14.814.9	18002200	2.22.8	Авиационные инструменты
Спекание в атмосфере	YN10	<0,02	A04B02C00	14.414.5	14001600	1.82.2	Химические уплотнения

Примеры:

Вакуумное спекание: сверло YG8 (Ø 20 × 330 мм), 1450°C, 10⁻⁴ Па, 12 часов, пористость <0,01%, плотность 14,6 г/см³, твердость 1400 HV.

Спекание НР: инструмент YG6X (Ø 12 × 80 мм), 1400°C, 120 МПа, 4 часа, пористость <0,001%, плотность 14,9 г/см³, прочность 2,3 ГПа.

Спекание в атмосфере: уплотнение YN10 (Ø 50 мм), 1350°C, H₂ 30 л/мин, 12 часов, пористость <0,02%, плотность 14,5 г/см³, отличная коррозионная стойкость.

6. Рекомендации по оптимизации пористости

Оптимизация пороха:

Выберите мелкозернистый WC (0,5-1,5 мкм), и пористость уменьшится на 50%.

Увеличение времени измельчения в шаровой мельнице (1624 часа) увеличило однородность на 10% и снизило пористость на 0,1%.

Контролируйте связующее вещество (ПЭГ /парафин <1,5 мас. %) и остаточный углерод <0,05%.

Процесс прессования:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

При увеличении давления (250-300 МПа) плотность заготовки увеличилась на 5-10%, а пористость уменьшилась на 0,1%.

Оптимизируйте форму, уменьшите количество трещин и уменьшите пористость на 0,2%.

Процесс спекания:

Температура: 1400-1450°C (YG8/YG6X), пористость уменьшается на 0,01-0,02%.

Атмосфера: чистота H₂ >99,999%, O₂ <5 ppm, пористость снижена на 0,02%.

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

Оптимизация оборудования:

Регулировка температуры ($\pm 3^{\circ}\text{C}$), отклонение пористости $< \pm 0,005\%$.

Вакуум (10^{-5} Па), полная депарафинизация, пористость снижена до 0,02%.

При использовании нагревательных элементов из молибдена/вольфрама загрязнение снижается на 30%, а пористость уменьшается на 0,01%.

Постобработка:

После обработки горячим изостатическим прессованием (1300°C, 100 МПа) пористость снизилась до <0,001%.

Полировка ($R_a < 0,2$ мкм) снижает пористость поверхности и повышает коррозионную стойкость на 20%.

7. Стандарты

GB/T 51692013: Класс пористости A02B00C00 (высокоэффективная), A04B02C00 (общая).

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

GB/T 38502015: Измерение плотности, отклонение $< \pm 0,1$ г/см³.

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

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

8. Заключение

Пористость твердого сплава является основным показателем качества спекания, которое влияет на плотность, твердость, прочность и долговечность. Низкая пористость (<0,001%) достигается путем оптимизации процессов порошка, прессования и спекания (таких как HIP 1350°C, 120 МПа), что подходит для авиационных инструментов и глубоководных уплотнений; средняя пористость (<0,02%) соответствует потребностям горнодобывающих киров и т. д. Вакуумное спекание (<0,01%), HIP (<0,001%) и атмосферное спекание (<0,02%) подходят для различных сценариев, и процесс необходимо выбирать в соответствии с применением.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

Коррозионная стойкость и оценка твердого сплава

Твердый сплав (например, WC+ Co , WC+ Ni) широко используется в горнодобывающих инструментах, авиационных инструментах, глубоководных уплотнениях и химических насосах благодаря своей высокой твердости (1400-2200 HV), высокой прочности (1,8-2,8 ГПа) и превосходной износостойкости. Однако в агрессивных средах (таких как кислота, щелочь, солевой раствор, H₂S, CO₂, морская вода) коррозионная стойкость твердого сплава становится ключевым показателем производительности, который напрямую влияет на его срок службы и надежность. Коррозионная стойкость в основном определяется составом материала, микроструктурой (например, пористостью <0,01%), процессом спекания и обработкой поверхности и должна соответствовать национальным стандартам (таким как GB/T 183762014, NACE MR0175).

В сочетании с отраслевой практикой в данной статье подробно излагаются механизм коррозионной стойкости, факторы влияния, методы оценки и меры оптимизации твердого сплава, а также даются соответствующие рекомендации по производственным возможностям CTIA GROUP LTD в области коррозионно-стойких уплотнений из твердого сплава на основе никеля, корпусов насосов и т. д.

1. Определение коррозионной стойкости твердого сплава

Коррозионная стойкость твердого сплава определяется способностью материала противостоять химической или электрохимической эрозии в агрессивных средах (таких как кислота, щелочь, солевой раствор, H₂S, CO₂, морская вода), которая обычно выражается скоростью коррозии (мм/год), потерей массы (мг/см² · ч) или изменением морфологии поверхности.

Соответствующие стандарты:

NACE MR0175: Устойчив к коррозии H₂S/CO₂, подходит для нефтегазовых сред.

ISO 12944: Устойчивость к морским/промышленным агрессивным средам.

GB/T 183762014: Пористость <0,01%, что обеспечивает коррозионную стойкость.

Механизм коррозии коррозионной стойкости цементированного карбида

Электрохимическая коррозия: карбид цемента состоит из твердой фазы (WC, устойчив к коррозии) и связующей фазы (Co/Ni, легко корродирует). Он образует микробатарею в электролите (например, морская вода, кислотный раствор). Связующая фаза корродирует в первую очередь, заставляя частицы WC отслаиваться.

Например: скорость растворения Co в HCl составляет >0,1 мм/год, тогда как скорость растворения Ni составляет всего 0,01–0,05 мм/год.

Химическая коррозия: Сильные кислоты (например, H₂SO₄) и сильные основания (например,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

NaOH) напрямую растворяют связующую фазу, а материалы с высокой пористостью ($>0,1\%$) ускоряют коррозию.

Синергия эрозии и коррозии: в жидкостях, содержащих частицы (например, в химических насосах), износ обнажает новые поверхности, ускоряя электрохимическую коррозию, а скорость коррозии увеличивается на 20–50%.

Показатели коррозионной стойкости:

Отлично: скорость коррозии WC+Ni (Ni 815%) в H₂S (>1000 ppm), морской воде (pH 39) и H₂SO₄ (50%) составляет $<0,01$ мм/год.

Средя: Скорость коррозии WC+Co (Co 612%) в HCl (30%) составляет 0,050,1 мм/год.

Плохо: Материалы с пористостью $> 0,1\%$ или высоким содержанием Co ($> 15\%$) имеют скорость коррозии $> 0,2$ мм/год в сильной кислоте.

2. Факторы, влияющие на коррозионную стойкость твердого сплава

Состав материала:

Фаза связывания:

На основе Ni: Ni (815%) более устойчив к коррозии, вызываемой H₂S, CO₂ и морской водой, чем Co, а скорость коррозии снижается на 50-70% (NACE MR0175).

На основе кобальта: кобальт (612%) легко растворяется в кислых средах (HCl, H₂SO₄), при этом скорость коррозии увеличивается в 25 раз.

добавка:

Cr₃C₂ (0,52 мас. %): образует пленку оксида Cr, повышающую кислотостойкость на 20–30%.

Mo (0,51 мас. %): улучшает стойкость к точечной коррозии и увеличивает стойкость к коррозии Cl⁻ на 25%.

Размер зерна WC: Мелкие зерна (0,52 мкм) уменьшают воздействие фазы связи и увеличивают коррозионную стойкость на 10–15 %; крупные зерна (>5 мкм) увеличивают путь коррозии.

Микроструктура:

Пористость (GB/T 5169-2013):

Низкая пористость ($<0,001\%$, спекание методом горячего изостатического прессования): снижает проникновение агрессивных сред и повышает коррозионную стойкость на 30-50%.

Высокая пористость ($>0,1\%$, спекание в атмосфере): Пористость ускоряет электрохимическую коррозию, увеличивая скорость коррозии в 23 раза.

Граница зерен: Равномерная граница зерен (шаровая мельница в течение 1624 часов) снижает локальную коррозию и увеличивает коррозионную стойкость на 10%.

Остаточный углерод: Остаточный углерод $<0,05\%$ (тщательная депарафинизация), что предотвращает растворение карбида и увеличивает коррозионную стойкость на 5–10%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Процесс спекания:

Вакуумное спекание (1350-1450°C, 10^{-4} – 10^{-5} Па): пористость <0,01%, равномерное распределение связующей фазы, средняя коррозионная стойкость.

Спекание методом горячего изостатического прессования (1350-1450°C, 100-150 МПа): пористость <0,001%, плотность >99,9%, отличная коррозионная стойкость.

Спекание в атмосфере (1300-1400°C, H₂/ Ar , O₂ <5 ppm): пористость <0,02%, подходит для сплавов на основе никеля, с несколько худшей коррозионной стойкостью.

Депарафинизация: вакуум + H₂ (10^{-2} Па, 515 л/мин), остаточный углерод <0,05%, коррозионная стойкость повышена на 10%.

Обработка поверхности:

Полировка (Ra <0,2 мкм) : уменьшение дефектов поверхности и повышение коррозионной стойкости на 15–20%.

покрытие:

Электролитическое покрытие Ni/Cr: кислотостойкость увеличилась на 20%, коррозионная стойкость Cl⁻ увеличилась на 30%.

Покрывание PTFE/DLC: коэффициент трения снижен на 20%, устойчивость к эрозии и коррозии увеличена на 30-50%.

Пассивация: образуется оксидная пленка, повышающая стойкость к точечной коррозии на 25%.

Использовать среду:

Среда: скорость коррозии H₂SO₄ (50%) <0,01 мм/год (на основе Ni); скорость коррозии HCl (30%) 0,05-0,1 мм/год (на основе Co).

Температура: 50-300°C, скорость коррозии увеличивается на 10-20% при каждом повышении температуры на 50°C.

Жидкостная эрозия: Жидкости, содержащие частицы (твердые частицы <20%), ускоряют коррозию, увеличивая ее скорость на 2050%.

3. Метод оценки коррозионной стойкости твердого сплава

Лабораторные тесты:

Испытание погружением (ASTM G31):

Процедура: Образец погружают в коррозионную среду (например, H₂SO₄, HCl, NaCl) при постоянной температуре (25±0,5°C) на период 24720 часов.

Показатели: потеря массы (мг/см² · ч) , скорость коррозии (мм/год).

Пример: Скорость коррозии WC+10%Ni в 50% H₂SO₄ (80°C) составляет <0,01 мм/год.

Электрохимический тест (ASTM G59/G61):

Процедура: Используйте электрохимическую рабочую станцию для измерения потенциала разомкнутой цепи (OCP), кривой поляризации, потенциала коррозии (E_{corr}) и плотности

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

тока (Icorr).

Показатель: Icorr <1 мкА /см² указывает на отличную коррозионную стойкость.

Пример: WC+Ni в 3,5% NaCl, Icorr ≈ 0,5 мкА /см² , лучше, чем WC+Co (2 мкА /см²) .

Испытание на стойкость к соляному туману (ASTM B117):

Процедура: Образцы подвергались распылению 5% NaCl (35°C) в течение 961 000 часов.

Показатели: количество точек поверхностной коррозии, скорость потери веса.

Пример: WC+Ni+Cr3C2 не имеет явных пятен коррозии после 1000 часов.

Полевые испытания:

Воздействие окружающей среды: Твердосплавные детали (например, уплотнения и корпуса насосов) помещаются в реальные рабочие условия (например, на глубоководных объектах и химических заводах) и работают в течение 6–12 месяцев.

Индикаторы: морфология поверхности (наблюдение с помощью СЭМ), изменение размеров (±0,01 мм), ухудшение характеристик (например, снижение твердости <5%).

Пример: уплотнения WC+Ni работали в морской воде (pH 8, 15 000 фунтов на кв. дюйм) в течение 12 месяцев с глубиной коррозии <0,005 мм.

Микроскопический анализ:

СЭМ/ЭДС: наблюдайте за морфологией коррозии и распределением элементов, а также определите, растворилась ли связующая фаза или отслаивается WC.

XPS: Анализ поверхностной оксидной пленки и оценка механизма коррозионной стойкости.

Пример: WC+Ni образует защитную пленку NiS в H2S , и коррозионная стойкость увеличивается на 20%.

Стандартная оценка:

см² в среде H2S (>1000 ppm).

GB/T 183762014: Пористость <0,01%, поры типа В/С отсутствуют (A02B00C00).

ISO 12944: C5M Скорость коррозии в морской среде <0,01 мм/год.

4. Данные по коррозионной стойкости

Бренд	Фаза связывания	среда	Скорость коррозии (мм/год)	Icorr (мкА / см ²)	Пористость (%)	Типичные применения
YG8	Co (8%)	HCl (30%)	0.050.1	25	<0,01	Горнодобывающие буровые коронки
YG6X	Co (6 %) + Cr3C2	H2SO4 (50%)	0.020.05	12	<0,001	Авиационные инструменты
YN10	Никель (10%)	Морская вода (pH 8)	<0,01	0,51	<0,01	Глубоководные тюлени
YN12+Пн	Никель (12 %) + Mo	H2S (1000 частей на миллион)	<0,005	0.30.5	<0,001	Корпус химического насоса

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

Примеры:

YG8 (вакуумное спекание): горнодобывающее буровое долото, выдержка в HCl (30%, 80°C) в течение 720 часов, скорость коррозии 0,08 мм/год, пористость <0,01%, падение твердости <5%.

YG6X (спекание HIP): авиационные инструменты, испытание H₂SO₄ (50%, 60°C), скорость коррозии 0,03 мм/год, I_{corr} 1,5 мкА /см², пористость <0,001%.

YN10 (спекание HIP): глубоководные уплотнения, морская вода (15 000 фунтов на кв. дюйм, 12 месяцев), глубина коррозии <0,005 мм, пористость <0,001%, отличная коррозионная стойкость.

YN12+Mo (спекание HIP): Корпус химического насоса, H₂S (1000 ppm, 200°C), скорость коррозии <0,005 мм/год, отсутствие точечной коррозии на поверхности.

5. Предложения по оптимизации коррозионной стойкости

Материал:

Фаза связывания: предпочтительнее Ni (10–15%), а коррозионная стойкость к сероводороду/морской воде увеличивается на 50–70%.

Добавки: Cr₃C₂ (0,52 мас. %) + Mo (0,51 мас. %), кислотостойкость повышена на 20–30%.

Размер зерна WC: мелкое зерно (0,5–1,5 мкм), снижает воздействие связующей фазы и увеличивает коррозионную стойкость на 15%.

Процесс спекания:

Спекание методом горячего изостатического прессования: 1350°C, 120 МПа, 2 часа, пористость <0,001%, коррозионная стойкость повышена на 30%.

Депарафинизация: вакуум (10⁻² Па) + H₂ (10 л/мин), остаточный углерод <0,05%, коррозионная стойкость повышена на 10%.

Атмосфера: чистота H₂ >99,999%, O₂ <5 ppm, предотвращает окисление, повышает коррозионную стойкость на 10%.

Обработка поверхности:

Полировка (Ra <0,2 мкм): снижает начальную точку коррозии и увеличивает коррозионную стойкость на 15–20%.

Покрытие: гальваническое покрытие Ni/Cr или PTFE/DLC, стойкость к эрозии и коррозии повышена на 30–50%.

Пассивация: образование оксидной пленки Cr/Ni повышает стойкость к точечной коррозии на 25%.

Оптимизация оборудования:

Регулировка температуры: ±3°C, однородность ±5°C, отклонение пористости <±0,005%, коррозионная стойкость увеличена на 5%.

Степень вакуума: 10⁻⁵ Па, полная депарафинизация, коррозионная стойкость повышена на 10%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Компоненты из молибдена/вольфрама: загрязнение снижается на 30%, а коррозионная стойкость увеличивается на 5%.

Адаптация к окружающей среде:

Кислотная среда: выбирайте сплав YN10+Cr3C2, устойчивый к коррозии H2SO4/HCl.

Океан/Нефть и газ: используйте YN12+Mo, устойчивый к H2S/CO2/морской воде.

Жидкости, содержащие частицы: покрытие DLC, устойчивость к эрозии и коррозии увеличена на 30%.

6. Стандарты

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

GB/T 51692013: Класс пористости A02B00C00 (высокоэффективная), A04B02C00 (общая).

GB/T 38502015: Отклонение плотности $\leq \pm 0,1$ г/см³.

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

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

NACE MR0175: Потеря массы в среде H2S/CO2 <0,1 мг/см².

ISO 12944: Скорость коррозии в среде C5M <0,01 мм/год.

ASTM G31/G59: Скорость коррозии <0,01 мм/год, Icorr <1 мкА /см².

7. Заключение

Коррозионная стойкость твердого сплава определяется фазой связывания (Ni лучше, чем Co), пористостью (<0,001% лучше), процессом спекания (HIP лучше, чем вакуум/атмосфера) и обработкой поверхности. Твердый сплав на основе Ni (YN10/YN12) хорошо работает в морской воде, H2S и кислых средах со скоростью коррозии <0,01 мм/год, подходит для глубоководных уплотнений и корпусов химических насосов; Сплавы на основе Co (YG8/YG6X) подходят для умеренно коррозионных сред. Методы оценки включают испытания погружением (ASTM G31), электрохимические испытания (ASTM G59) и полевое воздействие, которые необходимо всесторонне оценить в сочетании со стандартами (например, NACE MR0175). Оптимизация процессов (например, HIP 1350°C, 120 МПа) и поверхностных покрытий (PTFE/DLC) может значительно улучшить коррозионную стойкость.

8. Специальная рекомендация

Компания CTIA GROUP LTD использует технологию горячего изостатического спекания и передовую технологию нанесения покрытий при производстве коррозионно-стойких уплотнений, корпусов насосов и клапанов из цементированного карбида на основе никеля, предлагая решения с высокой коррозионной стойкостью, соответствующие требованиям суровых условий, таких как глубоководная промышленность и химическая промышленность.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

Спеченный и полированный твердый сплав

Твердый сплав (например, WC+ Co , WC+ Ni) широко используется в горнодобывающих инструментах, авиационных инструментах, глубоководных уплотнениях и корпусах химических насосов благодаря своей высокой твердости (1400-2200 HV), высокой прочности (1,8-2,8 ГПа) и превосходной износостойкости. Характеристики твердого сплава зависят не только от спеченного состояния, образованного в процессе спекания, но и от последующей полировки. Спеченное состояние определяет внутренние свойства материала (такие как плотность, пористость, микроструктура), в то время как процесс полировки оптимизирует качество поверхности (такое как шероховатость Ra <0,2 мкм) , улучшая коррозионную стойкость, износостойкость и уплотнительные свойства.

В данной статье объединены национальные стандарты (такие как GB/T 183762014, GB/T 51692013) и отраслевые практики, чтобы подробно представить процесс, влияние на производительность и меры оптимизации спекания и полировки твердосплавных деталей, а также дать соответствующие рекомендации по производственным возможностям CTIA GROUP LTD в области уплотнений из твердого сплава на основе никеля, корпусов насосов и т. д.

1. Спеченный цементированный карбид

2.

Спеченное состояние относится к состоянию твердого сплава после высокотемпературного спекания (1350-1500°C) без последующей механической обработки. Оно имеет определенную микроструктуру и свойства и пригодно для непосредственного использования или дальнейшей обработки (например, полировки).

1.1 Процесс и параметры спекания

Вакуумное спекание :

Применение : Производство горных резцов, форм , уплотнений (например, Ø 5150 мм).

Процесс :

Депарафинизация: 200–600 °C, скорость нагрева 25 °C/мин, степень вакуума 10^{-2} Па, расход H₂ 515 л/мин, 24 часа, степень депарафинизации >99,5%.

Спекание : 1350-1450°C, скорость нагрева 510°C/мин, степень вакуума 10^{-4} 10^{-5} Па, поддержание тепла в течение 24 часов.

Охлаждение : 1015°C/мин (принудительное охлаждение Ar), до 100°C.

Свойства : плотность 14,514,9 г/ см³, пористость <0,01% (A02B00C00, GB / T 5169-2013), твердость 14001800 HV, шероховатость поверхности Ra 1,63,2 мкм .

Горячее изостатическое прессование (ГИП) :

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

Применение : авиационные инструменты, глубокоководные уплотнители, корпуса химических насосов (например, Ø 100-500 мм).

Процесс :

Спекание : 1350-1450°C, скорость нагрева 58°C/мин, давление 100-150 МПа (Ar), выдержка в тепле 13 часов.

Последующая обработка : 1300-1350°C, 80-100 МПа, 12 часов, пористость снижена до <0,001%.

Охлаждение : 1520°C/мин (Ag высокого давления) до 200°C.

Свойства : плотность>99,9% (14,815,0 г/см³) , пористость<0,001% (A00B00C00), твердость 18002200 HV, шероховатость поверхности Ra 0,81,6 мкм .

Спекание в атмосфере :

Применение : большое количество уплотнений, уплотнений (например, механических уплотнительных колец).

Процесс :

Депарафинизация : 200-500°C, скорость нагрева 35°C/мин, поток H₂ 2050 л/мин, O₂ <10 ppm, 35 часов.

Спекание : 1300-1400°C, скорость нагрева 510°C/мин, атмосфера H₂/ Ar , поддержание тепла в течение 35 часов.

Охлаждение : 510°C/мин (защита N₂), до 100°C.

Свойства : плотность 14,414,8 г/ см³, пористость <0,02% (A04B02C00), твердость 14001600 HV, шероховатость поверхности Ra 2,04,0 мкм .

1.2 Свойства спеченного материала

Микроструктура :

Зерна WC : мелкие зерна (0,52 мкм , ГИП) или средне - крупные зерна (25 мкм , атмосферное спекание), равномерные границы зерен (шаровая мельница в течение 1624 часов) .

Фаза связывания : Co/Ni (615%), равномерно распределенная, коррозионная стойкость на основе Ni лучше, чем у Co (NACE MR0175).

Пористость : ГИП <0,001%, вакуум <0,01%, атмосфера <0,02%, низкая пористость увеличивает прочность на 1020%.

производительность :

Плотность : 14,415,0 г/см³ (GB /T 38502015), отклонение ±0,05 г/см³ .

Твердость : 1400-2200 HV (GB/T 79972017), отклонение ±3050 HV.

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

Коррозионная стойкость : скорость коррозии на основе Ni (YN10) в морской воде/H₂S составляет <0,01 мм/год; скорость коррозии на основе Co (YG8) в HCl составляет 0,05-0,1 мм/год.

Поверхность : Спеченная поверхность шероховатая (Ra 0,84,0 мкм) , с микропорами/следами спекания и средней износостойкостью.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ограничения :

Высокая шероховатость поверхности ($Ra > 0,8$ мкм) может легко вызвать концентрацию напряжений и снизить коррозионную стойкость на 10–20%.

Микропоры ($> 0,001\%$) могут ускорить коррозию и повлиять на эффективность уплотнения (скорость утечки $> 10^{-6}$ мбар·л /с).

1.3 Спеченное применение

Прямое применение : горнодобывающие кирки, формы, низкие требования к шероховатости поверхности ($Ra 1,64,0$ мкм) .

Необходимо полировать : глубоководные уплотнения, корпуса химических насосов, механические уплотнительные кольца, $Ra < 0,2$ мкм , коррозионная стойкость увеличилась на 1520%.

2. Полировка карбида

Полировка — это механическая обработка (например, шлифовка и полировка) спеченного твердого сплава для уменьшения шероховатости поверхности ($Ra < 0,2$ мкм) , устранения дефектов поверхности и повышения коррозионной стойкости и износостойкости. Она особенно подходит для высокоточных уплотнений, инструментов и корпусов насосов.

2.1 Процесс и параметры полировки

грубый помол :

Инструменты : Алмазный шлифовальный круг (зернистость 100-200 мкм , смоляная/керамическая связка) .

параметр :

Скорость вращения: 1000-2000 об/мин.

Скорость подачи: 0,01-0,05 мм/проход.

Охлаждающая жидкость: эмульсия на водной основе, расход 510 л/мин.

Эффект : Следы спеченной поверхности ($Ra 4,0 0,8$ мкм) удаляются , а шероховатость снижается до $Ra 0,4 0,8$ мкм .

Время : 510 минут на квадратный сантиметр.

тонкое измельчение :

Инструменты : Алмазный шлифовальный круг (зернистость 2050 мкм , металлическая связка).

параметр :

Скорость вращения: 1500-3000 об/мин.

Скорость подачи: 0,005-0,01 мм/проход.

Охлаждающая жидкость: на масляной или водной основе, расход 815 л/мин.

Эффект : Шероховатость снижается до $Ra 0,2 0,4$ мкм , а плоскостность поверхности составляет $< 0,005$ мм.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Время : 1015 минут на квадратный сантиметр.

полировка :

Инструменты : Алмазная полировальная паста (размер частиц 15 мкм) + войлочный/полиуретановый полировальный диск .

параметр :

Скорость вращения: 500-1000 об/мин.

Давление: 0,10,5 МПа.

Полировальная жидкость: на водной или спиртовой основе, расход 25 л/мин.

Эффект : Шероховатость снижена до $Ra < 0,2$ мкм (зеркальная поверхность), поверхность не имеет царапин, а плоскостность составляет $< 0,002$ мм.

Время : 1530 минут на квадратный сантиметр.

Сверхточная полировка (опционально) :

Инструменты : Наноалмазная суспензия (размер частиц 0,10,5 мкм) + мягкая полировальная губка.

параметр :

Скорость вращения: 200500 об/мин.

Давление: 0,050,2 МПа.

Полировальная жидкость: деионизированная вода, расход 13 л/мин.

Эффект : Шероховатость $Ra < 0,05$ мкм , подходит для высокоточных уплотнений (например, скорость утечки $< 10^{-6}$ мбар · л /с).

Время : 3060 минут на квадратный сантиметр.

2.2 Характеристики полировки

Качество поверхности :

Шероховатость : $Ra 0,050,2$ мкм (после полировки), по сравнению со спеченным состоянием ($Ra 0,840$ мкм) снижается на 80-95%.

Плоскостность : $< 0,002$ мм, подходит для высокоточных уплотнительных поверхностей.

Дефекты : Удалить спеченные микропоры/трещины и снизить концентрацию поверхностного напряжения на 50%.

Улучшения производительности :

Коррозионная стойкость : снижает начальные точки коррозии (например, микропоры) и снижает скорость коррозии на 15–20 % в морской воде/ H_2SO_4 (ASTM G31).

Износостойкость : коэффициент трения снижается на 20–30 % (увеличивается на 50 % после нанесения покрытия PTFE/DLC), потери на износ $< 0,05$ мм³/ч (ASTM G65) .

Эффективность уплотнения : скорость утечки $< 10^{-6}$ мбар · л /с (испытание гелием, 15 000 фунтов на кв. дюйм), динамический срок службы уплотнения увеличен на 30–50%.

Усталостная долговечность : поверхностное напряжение равномерное, а сопротивление усталостному разрушению увеличивается на 20-30%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ограничения :

Высокая стоимость: полировка стоит 520 юаней за квадратный сантиметр, а сверхточная полировка стоит 2050 юаней.

Сложность обработки: Твердый сплав имеет высокую твердость (>1400 HV), требует использования алмазного инструмента и имеет низкую эффективность обработки (0,10,5 мм³/мин).

Термическое воздействие: Чрезмерная шлифовка может привести к образованию микротрещин и снижению коррозионной стойкости на 5–10 %.

2.3 Нанесение полировки

Глубоководные тюлени

Уплотнительное кольцо (Ø 5200 мм), Ra < 0,2 мкм , устойчиво к H2S/морской воде, срок службы > 1000 соединений .

Корпус химического насоса

Механическое уплотнительное кольцо (Ø 10150 мм), Ra < 0,1 мкм, устойчиво к H2SO4 (50%), срок службы > 5000 часов.

Авиационные инструменты

Режущая кромка (Ra < 0,05 мкм) , износостойкость увеличена на 30%, срок службы режущей кромки увеличен на 20% .

3. Сравнение спеченного и полированного

характеристика	Спеченный	Полировка
Шероховатость поверхности (Ra)	0,84,0 мкм	<0,050,2 мкм
Пористость	<0,001%0,02% (HIP/атмосфера)	Никаких изменений, поверхностные микропоры уменьшены
Устойчивость к коррозии	Средний (морская вода <0,01 мм/год, на основе Ni)	Увеличено на 1520% (скорость коррозии снизилась)
Износостойкость	Скорость износа 0,10,2 мм³/ч	Увеличено на 2050% (потери на износ <0,05 мм³/ч)
Эффективность уплотнения	Скорость утечки>10 ⁻⁶ мбар·л /с	<10 ⁻⁶ мбар·л /с
расходы	Низкий (спекание 0,52 кВтч/кг)	Высокая (полировка 550 юаней/см²)
приложение	Медальоны, плашки	Уплотнения, корпуса насосов, режущие инструменты

Примеры :

Спеченное состояние : пика YG8 (Ø 20 × 330 мм), вакуумное спекание (1450 °C, 10⁻⁴ Па), Ra 2,0 мкм , пористость <0,01%, скорость коррозии HCl (30%) 0,08 мм/год, подходит для горнодобывающей промышленности.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Полировка : уплотнение YN10 (Ø 50 мм), спекание HIP (1400 ° C, 120 МПа) + полировка (Ra <0,1 мкм) , пористость <0,001%, скорость коррозии в морской воде <0,005 мм/год, скорость утечки <10⁻⁶ мбар·л /с, подходит для использования на больших глубинах.

4. Предложения по оптимизации спекания и полировки

Оптимизация состояния спекания :

Порошок : мелкозернистый WC (0,5-1,5 мкм) , пористость снижена на 50%, коррозионная стойкость повышена на 10%.

Прессование : Холодное изостатическое прессование (250-300 МПа), плотность заготовки увеличивается на 5-10%, усадка при спекании равномерная.

спекание :

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

Вакуум (10⁻⁵ Па, H2O2 <5 ppm): остаточный углерод <0,05%, коррозионная стойкость увеличена на 10%.

Регулировка температуры : ±3°C, однородность ±5°C, отклонение плотности <±0,05 г/см³ .

Оптимизация процесса полировки :

Инструменты : используйте высококонцентрированную алмазную полировальную пасту (15 мкм) , чтобы увеличить эффективность полировки на 20%.

Параметры : низкое давление (0,1-0,5 МПа) + низкая скорость (500-1000 об/мин) для предотвращения микротрещин.

Охлаждение : полировальная жидкость на водной основе (расход 510 л/мин), снижение термического воздействия на 30%.

Последующая обработка : покрытие PTFE/DLC, коэффициент трения снижен на 20%, устойчивость к эрозии и коррозии увеличена на 30-50%.

Техническое обслуживание оборудования :

Печь для спекания : нагревательные элементы из молибдена/вольфрама обслуживаются каждые 4000 часов, загрязнение снижается на 30%, а пористость уменьшается на 0,01%.

Полировальный станок : регулярно калибруйте шпиндель (отклонение <0,01 мм), и плоскостность увеличится на 10%.

Интеграция процессов :

Спекание + полировка : спекание HIP (пористость <0,001%) + сверхточная полировка (Ra <0,05 мкм) , коррозионная стойкость повышена на 20%, эффективность уплотнения повышена на 50%.

Контроль качества : наблюдение дефектов поверхности с помощью СЭМ, измерение шероховатости (точность ±0,01 мкм) для обеспечения Ra <0,2 мкм .

5. Стандарты

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

GB/T 51692013 : Класс пористости A02B00C00 (вакуум), A00B00C00 (HIP).

GB/T 38502015 : Отклонение плотности $\leq \pm 0,1$ г/см³.

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

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

NACE MR 0175 : стойкость к H₂S/CO₂, скорость коррозии <0,01 мм/год.

ISO 4287 : Шероховатость поверхности Ra <0,2 мкм (полированная).

6. Заключение

Спеченный цементированный карбид образует микроструктуру с высокой плотностью (>99%) и низкой пористостью (<0,001%) посредством вакуумного, HIP или атмосферного спекания, закладывая основу для износостойкости и коррозионной стойкости, и подходит для применения на грубых поверхностях, таких как горные кирки. Полировка снижает шероховатость поверхности до Ra <0,2 мкм, значительно улучшая коррозионную стойкость (увеличение на 1520%), износостойкость (увеличение на 2050%) и уплотнительные характеристики (скорость утечки <10⁻⁶ мбар·л / с), подходит для глубоководных уплотнений, корпусов химических насосов и авиационных инструментов. Оптимизация процесса спекания (например, HIP 1350°C, 120 МПа) и параметров полировки (например, полировка при низком давлении) может дополнительно улучшить производительность.

Рекомендация : CTIA GROUP LTD применяет технологию горячего изостатического спекания и сверхточной полировки (Ra <0,1 мкм) при производстве уплотнений из цементированного карбида на основе никеля, корпусов насосов и клапанов, чтобы обеспечить превосходную коррозионную стойкость и эффективность уплотнения, соответствующие требованиям суровых условий, таких как глубоководная и химическая промышленность.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

Сходства и различия между СІР и НІР при прессовании и спекании твердого сплава

1. История производства твердосплавных изделий

Твердый сплав (WC-Co) основан на карбиде вольфрама (WC) и кобальте (Co) в качестве связующей фазы. Он обладает высокой твердостью (HV1000–1800), высокой износостойкостью и превосходными характеристиками при высоких температурах. Он широко используется в режущих инструментах, горных кирках и военных компонентах (таких как бронебойные пули). Процесс его производства включает подготовку порошка, прессование, спекание и последующую обработку, среди которых прессование и спекание являются ключевыми этапами для определения плотности, микроструктуры и характеристик материала. Холодное изостатическое прессование (СІР) и горячее изостатическое прессование (НІР) являются обычно используемыми технологиями изостатического прессования в производстве твердого сплава. Они устраняют внутренние дефекты за счет равномерного давления и улучшают плотность и механические свойства материала. В этой статье подробно анализируются принципы, процессы, преимущества и недостатки СІР и НІР и их влияние на характеристики твердого сплава.

2. Принципы холодного изостатического прессования (ХІП) и горячего изостатического прессования (ГІП)

2.1 Холодное изостатическое прессование (ХІП)

Холодное изостатическое прессование (СІР) — это технология прессования, которая использует жидкую среду (например, воду или масло) для приложения равномерного трехмерного давления к порошку или преформам при комнатной температуре или низкой температуре (обычно $<100^{\circ}\text{C}$). СІР передает давление на частицы порошка через гибкую форму (например, резину или полиуретан), способствуя перераспределению частиц и первоначальному уплотнению для формирования «зеленого компакта» с определенной прочностью. Ее основным принципом является принцип Паскаля, то есть, когда жидкость передает давление в закрытом контейнере, оно одинаково во всех направлениях.

Технологический процесс холодного изостатического прессования (СІР):

Смешанный порошок WC-Co загружается в гибкую форму и герметизируется.

Поместите его в емкость высокого давления оборудования СІР и введите жидкую среду.

Подайте высокое давление (100–400 МПа) и поддерживайте его в течение нескольких минут.

После сброса давления сырое тело извлекается и подготавливается к последующему спеканию.

Цель: сформировать однородное и плотное сырое тело, уменьшить дефекты прессования (такие как растрескивание слоев и расслоение), а также обеспечить хорошую основу для спекания.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

2.2 Горячее изостатическое прессование (ГИП)

Горячее изостатическое прессование (ГИП) — это процесс, в котором инертный газ (например, аргон) прикладывает трехмерное изостатическое давление к спеченной заготовке из цементированного карбида при высокой температуре (обычно 1000–2000 °C) и высоком давлении (50–200 МПа). ГИП обычно используется в качестве этапа постобработки после спекания. Благодаря синергетическому эффекту высокой температуры и высокого давления устраняются микропоры, трещины и остаточное напряжение внутри материала, а также дополнительно улучшаются плотность и механические свойства.

Технологический процесс горячего изостатического прессования (ГИП):

Предварительно спеченная или спеченная в вакууме заготовка из твердого сплава помещается в закрытый контейнер установки ГИП.

После откачки воздуха вводится инертный газ (например, аргон).

Температура повышается до целевой температуры, при этом применяется высокое давление, которое поддерживается в течение нескольких часов.

Охладите и сбросьте давление, затем достаньте готовый продукт.

Цель: Оптимизировать микроструктуру, устранить внутренние дефекты и повысить прочность, ударную вязкость и износостойкость твердого сплава.

3. Сравнение параметров процесса СІР и НІР

Параметры процессов СІР и НІР при производстве твердого сплава существенно различаются, что влияет на сценарии их применения и эффекты:

температура:

СІР: комнатная температура или низкая температура (<100°C), нагрев не требуется, подходит для стадии прессования.

ГИП: Высокая температура (1200–1450 °C для WC-Co), близкая к температуре спекания, способствует атомной диффузии и залечиванию дефектов.

давление:

СІР: 100–400 МПа, более высокое давление обеспечивает плотную упаковку частиц порошка.

ГИП: 50–200 МПа, более низкого давления в сочетании с высокой температурой достаточно для устранения микропор.

середина:

СІР: Жидкость (вода, масло), давление передается через гибкую форму.

ГИП: инертный газ (аргон, азот) воздействует непосредственно на заготовку.

Стадия обработки:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CIP: Стадия компрессионного формования, воздействующая на порошковые или преформованные заготовки.

HIP: Стадия обработки после спекания, воздействующая на спеченную заготовку.

Засеките время:

CIP: Несколько минут, быстрое прессование и формование.

HIP: 1–4 часа, достаточно времени для устранения дефектов.

4. Требования к оборудованию для CIP и HIP

Оборудование для безразборной мойки:

Конструкция: сосуд высокого давления, гидравлический насос, гибкая форма (резина или полиуретан).

Особенности: нет необходимости выдерживать высокие температуры, низкая стоимость оборудования (около 1–5 миллионов юаней), но требуется конструкция, устойчивая к высокому давлению.

Техническое обслуживание: жидкую среду необходимо регулярно заменять, а форма подвержена износу.

Безопасность: Работа с жидкостями под высоким давлением требует строгой защиты от утечек.

Оборудование HIP:

Конструкция: высокотемпературный и высоконапорный контейнер, система сжатия газа, нагревательная печь.

Особенности: Необходимость выдерживать высокую температуру и высокое давление, высокая стоимость оборудования (около 10–30 миллионов юаней) и сложная технология.

Техническое обслуживание: Требования к чистоте газа высоки, и систему герметизации необходимо регулярно проверять.

Безопасность: При работе с газами высокой температуры и высокого давления необходимы меры взрывобезопасности.

5. Сценарии применения CIP и HIP

Применение CIP:

Прессование: используется для сырой подготовки твердосплавных инструментов (например, фрез, сверл), резцов и деталей сложной формы (например, сопел).

Преимущества: подходит для массового производства, равномерное формование, подходит для сложных геометрических форм.

Ограничения: обеспечивает только первоначальное уплотнение, для дальнейшего увеличения плотности требуется последующее спекание.

Приложения HIP:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Обработка после спекания: используется для устранения дефектов и оптимизации производительности высокопроизводительных твердых сплавов (например, лопаток авиационных двигателей и прецизионных инструментов).

Преимущества: Значительное повышение плотности (близко к 100% теоретической плотности), повышение прочности и ударной вязкости.

Ограничения: Высокая стоимость, подходит для изделий с высокой добавленной стоимостью, не подходит для деталей низкого качества.

6. Преимущества и недостатки CIP и HIP

6.1 Преимущества и недостатки CIP

преимущество:

Равномерное давление делает его пригодным для формования сложных форм и снижает вероятность растрескивания слоев и дефектов расслоения.

Расходы на оборудование и эксплуатацию низкие, что делает его пригодным для крупномасштабного производства.

Операция проста, а время процесса невелико (несколько минут).

недостаток:

Обеспечивается только начальное уплотнение, а плотность сырца низкая (60–70% от теоретической плотности).

Микроскопические поры устранить невозможно, требуется последующее спекание.

Высокие требования к текучести порошка, неравномерное распределение частиц могут привести к нестабильной плотности.

6.2 Преимущества и недостатки HIP

преимущество:

Синергетический эффект высокой температуры и высокого давления доводит плотность почти до 100%, значительно улучшая твердость (+5–10%), прочность (+10–20%) и ударную вязкость.

Устраняет микропоры и трещины, улучшает микроструктуру и продлевает срок службы деталей (+20–50%).

Подходит для высокопроизводительного твердого сплава и отвечает строгим требованиям авиации, военной промышленности и т. д.

недостаток:

Расходы на оборудование и эксплуатацию высоки, а время процесса продолжительно (несколько часов).

Первоначальное качество заготовки высокое, и дефекты предварительного спекания могут повлиять на эффект ГИП.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Высокое энергопотребление и большое воздействие на окружающую среду (потребление газа, потребление тепловой энергии).

7. Влияние CIP и HIP на свойства твердого сплава

Влияние CIP:

Плотность: плотность сырого тела CIP достигает 60-70% от теоретической плотности, при этом наблюдается высокая однородность, что обеспечивает хорошую основу для последующего спекания.

Микроструктура: уменьшает дефекты прессования (например, поры, трещины), но не может оптимизировать размер зерна или распределение фаз связующего.

Эксплуатационные характеристики: косвенно влияет на конечные эксплуатационные характеристики, в основном за счет улучшения качества сырого тела и снижения неравномерной усадки при спекании (<2%).

Влияние HIP:

Плотность: После ГИП плотность твердого сплава близка к 100% теоретической плотности, а пористость снижается до <0,1%.

Микроструктура: измельченные зерна (размер частиц WC 0,5–1 мкм), оптимизированное распределение фазы кобальта и сниженное остаточное напряжение.

Эксплуатационные характеристики: твердость увеличилась на 5–10% (HV1600–1800), прочность на изгиб увеличилась на 10–20% (2000–2500 МПа), износостойкость и усталостная долговечность значительно увеличились.

8. Синергия между CIP и HIP в производстве твердого сплава

При производстве твердого сплава методы CIP и HIP обычно используются в сочетании, образуя технологический маршрут «CIP-прессование + вакуумное спекание + последующая обработка HIP»:

CIP: Обеспечивает равномерную плотность сырых изделий на этапе прессования, снижая усадку и дефекты при спекании.

Вакуумное спекание: Благодаря высокотемпературному (1350–1450°C) жидкофазному спеканию заготовка достигает 90–95% от теоретической плотности.

HIP: В качестве последующей обработки он дополнительно устраняет микропоры и трещины, оптимизирует микроструктуру и соответствует высоким требованиям к производительности. Этот синергетический процесс значительно улучшает качество цементированного карбида. Например, усталостная прочность деталей WC-Co, используемых для лопаток авиационных турбин, повышается на 30%, а срок службы увеличивается на 50% после процесса CIP+HIP.

9. Сводная таблица: сходства и различия между CIP и HIP

В следующей таблице обобщены сходства и различия между CIP и HIP при производстве

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

твердого сплава:

проект	Холодное изостатическое прессование (ХИП)	Горячее изостатическое прессование (ГИП)
принцип	Жидкая среда комнатной температуры передает равномерное трехмерное давление	высокой температуры и высокого давления оказывает трехмерное давление
температура	Комнатная температура или низкая температура (<100°C)	Высокая температура (1200–1450°C)
давление	100–400 МПа	50–200 МПа
среда	Жидкость (вода, масло)	Инертный газ (аргон)
Стадия обработки	Пресс-форма (зеленая)	Обработка после спекания (готовый продукт)
Стоимость оборудования	Ниже (1–5 миллионов юаней)	Выше (10–30 миллионов юаней)
Время обработки	Несколько минут	1–4 часа
Сценарий применения	Резаки, кирки, сложные формы	Авиационные и военные детали с высокими эксплуатационными характеристиками
преимущество	Равномерное формование, низкая стоимость, подходит для больших объемов.	Высокая плотность, отличные характеристики, мало дефектов
недостаток	Ограниченная плотность, требует последующего спекания	Высокая стоимость и высокое потребление энергии
Влияние на производительность	Улучшить качество сырого тела и косвенно улучшить производительность	Значительно улучшить плотность, твердость, прочность и ударную вязкость
Типичные продукты	Фрезы, сверла, насадки	Турбинные лопатки, прецизионные инструменты

проиллюстрировать:

Принцип: СІР основан на принципе Паскаля, а НІР сочетает в себе высокотемпературную атомную диффузию.

Параметры процесса: температура, давление и среда определяют стадию применения.

Оборудование и стоимость: отражают техническую сложность и экономическую целесообразность.

Влияние на производительность: СІР оптимизирует сырые детали, в то время как НІР улучшает качество готовой продукции.

Источник данных: На основе стандартов производства твердосплавных изделий и отчета USGS 2024 ? web:9,23 ? .

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

10. Заключение

Холодное изостатическое прессование (CIP) и горячее изостатическое прессование (HIP) являются взаимодополняющими технологиями изостатического прессования в производстве твердого сплава, играя ключевую роль на этапах прессования и спекания после обработки соответственно. CIP формирует однородное сырое тело через жидкую среду высокого давления при комнатной температуре, что является недорогим и высокоэффективным, подходит для массового производства деталей сложной формы, но плотность ограничена и требует последующей оптимизации спекания. HIP использует высокотемпературный и высоконапорный газ для устранения микропор и трещин, значительно улучшая плотность, твердость и прочность твердого сплава и подходит для высокопроизводительных авиационных и военных применений, но стоимость высока, а процесс сложен. В реальном производстве CIP используется в сочетании с HIP. Благодаря процессу «прессование CIP + вакуумное спекание + постобработка HIP» производительность твердого сплава может быть максимизирована для соответствия строгим требованиям режущих инструментов, горных кирок и прецизионных деталей. В будущем, с развитием нанотвердосплавных технологий и технологий зеленого производства, оптимизация процессов CIP и HIP (например, снижение энергопотребления HIP и повышение долговечности форм CIP) будет способствовать дальнейшему прогрессу отрасли по производству твердеющих сплавов.

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