

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

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ВВЕДЕНИЕ В CTIA GROUP

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

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

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

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



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD 30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

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

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

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

Serving Customers

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

Service Commitment

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

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Часть 2: Процесс приготовления твердого сплава

Глава 4: Выбор сырья и приготовление порошка

Вольфрамовый цементированный карбид изготавливается из карбида вольфрама (WC) в качестве твердой фазы и кобальта (Co) или никеля (Ni) в качестве связующей фазы посредством порошковой металлургии. Его свойства (твердость HV 15002500±30, вязкость K_{1c} 820 МПа·м^{1/2} ± 0,5, прочность на сжатие > 4000 МПа±100 МПа) напрямую зависят от качества сырья и процесса приготовления порошка. Выбор сырья и подготовка порошка являются основой производства цементированного карбида, которые определяют микроструктуру (размер частиц WC 0,110 мкм ± 0,01 мкм, равномерность распределения Co > 95% ± 1%) и конечные характеристики (теплопроводность 80120 Вт/м·К ± 5 Вт/м·К, коррозионная стойкость рН 212).

В этой главе подробно анализируется синтез порошка карбида вольфрама, выбор связующей фазы и добавок, технология предварительной обработки порошка и методы характеризации порошка, охватывающие параметры процесса, научные принципы, факторы влияния, стратегии оптимизации и инженерные приложения.

Подготовка порошка требует точного контроля размера частиц WC (0,110 мкм ± 0,01 мкм), чистоты (свободный углерод < 0,1% ± 0,01%), характеристик связующей фазы (чистота Co/Ni > 99,8% ± 0,01%) и текучести порошка (1316 секунд/50 г ± 0,5 секунды) для обеспечения плотности спекания (> 99% ± 0,1%) и постоянства характеристик (отклонение твердости < ± 30 HV). Например, субмикронный порошок WC (< 0,5 мкм ± 0,01 мкм) может повысить

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

твердость инструмента до HV 2300 ± 30 и продлить срок службы авиационной резки до 15 часов ± 1 час; Высокоочищенный порошок Co (>99,9%±0,01%) повышает прочность буровой коронки ($K_{1c} > 18 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$), а срок службы горных работ превышает 1200±100 м.

производительность в Главе 3 через источник твердости WC (HV 2000 - 3000±50) и вклад ударной вязкости Co ($K_{1c} > 1520 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$), обеспечивая теоретическую и технологическую основу для последующего формования и спекания (Глава 5).

4.0 Обзор типов твердых сплавов, а также сырья и вспомогательных материалов

Твердый сплав — это высокопроизводительный композитный материал с карбидом вольфрама (WC) в качестве твердой фазы и кобальтом (Co) или никелем (Ni) в качестве связующей фазы. Он широко используется в режущих инструментах, формах, износостойких деталях и других областях. В зависимости от различных требований к применению и эксплуатационных характеристик твердый сплав можно разделить на общий тип (серия YG), жаропрочный/износостойкий тип (серия YT), высокопрочный/ударопрочный тип (серия YW), твердый сплав на основе никеля (серия YN), тип сплава с высокой энтропией и специальный тип для аддитивного производства. Типы и пропорции сырья и вспомогательных материалов различаются в зависимости от типа твердого сплава и процесса приготовления. Как правило, их можно разделить на три категории: основное сырье, вспомогательное сырье и вспомогательные материалы. Выбор и использование этих материалов должны строго соответствовать соответствующим стандартам для обеспечения качества продукции и последовательности процесса.

4.0.0 Основные типы твердых сплавов

В следующей таблице подробно перечислены основные типы твердого сплава и их характеристики, технологические требования, области применения и стандарты, отражающие разнообразные сценарии его применения и технологические требования.

тип	Основные ингредиенты и характеристики	Требования к процессу	Области применения	Стандартные требования
Серия YG	В основном состоит из WC и Co, дополненных техническим углеродом, с высокой твердостью и прочностью.	Строго контролировать атмосферу и температуру спекания, чтобы предотвратить попадание примесей.	Режущие инструменты (например, токарные резцы, фрезы)	Соответствует требованиям к отбору проб GB/T 5314-2011 и следует процессу спекания GB/T 26048-2010.
Серия YT	Добавьте TiC, парафиновая смазка необходима для улучшения формуемости.	Контролируйте атмосферу и температуру спекания,	Высокоскоростная и резка (например, обработка стали)	Соответствует требованиям к отбору проб GB/T

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

тип	Основные ингредиенты и характеристики	Требования к процессу	Области применения	Стандартные требования
	стойкости к высоким температурам и износостойкости.	чтобы избежать примесей.		5314-2011 и следует процессу спекания GB/T 26048-2010.
Серия YW	Содержит TaC и/или NbC, требует защиты аргоном, обладает как прочностью, так и высокотемпературными характеристиками.	Обеспечить чистоту аргоновой атмосферы и точный контроль температуры	Штампы для тяжелых условий эксплуатации (например, штамповочные штампы)	Соответствует требованиям к отбору проб GB/T 5314-2011 и следует процессу спекания GB/T 26048-2010.
Серия YN	Замените Co на Ni и добавьте TiN для достижения превосходной коррозионной стойкости.	Контролируйте атмосферу и температуру спекания, чтобы предотвратить окисление.	Коррозионно-стойкая среда (например, химическое оборудование)	Соответствует требованиям к отбору проб GB/T 5314-2011 и следует процессу спекания GB/T 26048-2010.
Высокоэнтропийный сплав	Комбинации нескольких элементов (например, Cr, V, Mo, W, Ta) требуют точного смешивания и процесса горячего изостатического прессования для обеспечения однородности.	Точное соотношение, спекание методом горячего изостатического прессования требует контролируемого высокого давления (50-100 МПа)	Экстремальные условия (например, условия высокой температуры и высокого давления)	Соответствует требованиям к отбору проб GB/T 5314-2011 и следует процессу спекания GB/T 26048-2010.
Аддитивное производство	Сферический порошок, полученный методом газового распыления, с добавлением агентов для обработки поверхности для улучшения характеристик.	Процесс распыления газа, строгий контроль атмосферы и температуры	Детали, изготовленные аддитивным способом (например, компоненты для аэрокосмической отрасли)	Соответствует требованиям к отбору проб GB/T 5314-2011 и следует процессу спекания GB/T 26048-2010.
проиллюстрировать	Все типы должны соответствовать стандартам отбора проб GB/T 5314-2011 для обеспечения однородности партии, а процесс спекания осуществляется в соответствии с GB/T 26048-2010, подчеркивая точный контроль атмосферы и температуры для предотвращения попадания примесей.			

4.0.1 Основное сырье для производства твердого сплава

Основные сырьевые материалы являются основными компонентами твердого сплава, которые напрямую влияют на его механические свойства и срок службы. Ниже приведен обзор основных сырьевых материалов:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Карбид вольфрама (WC, карбид вольфрама):

Функция: Как твердая фаза, обеспечивает чрезвычайно высокую твердость (>2000 HV) и износостойкость, составляя 70%-94% (мас. %) от общего состава.

характеристики : Чистота $\geq 99,8\%$, размер зерна 0,2-5 мкм (мелкие зерна 0,2-0,5 мкм , крупные зерна >2 мкм) .

Область применения: Все типы твердых сплавов.

Кобальтовый порошок (Co, Cobalt Powder):

Функция: Как традиционная связующая фаза, она повышает прочность и прочность на изгиб. Содержание обычно составляет 6%-25% (мас. %).

Характеристики: Чистота $\geq 99,9\%$, размер частиц 1-5 мкм .

Область применения: серии YG, YT, YW и высокоэнтропийные сплавы.

Никелевый порошок

Функция: Заменяет кобальт в качестве коррозионно-стойкой связующей фазы, повышает стойкость к окислению, содержание 5%-20% (мас. %).

Характеристики: Чистота $\geq 99,9\%$, размер частиц 1-5 мкм .

Область применения: серия YN и типы аддитивного производства.

Другие карбиды:

Карбид (TiC)

к кратерному износу, содержание 5% -20% (мас. %), чистота $\geq 99,5\%$, размер частиц 0,5-2 мкм , подходит для серий YT и YN.

Карбид (TaC) / Карбид ниобия (NbC)

при высоких температурах и сопротивление деформации, содержание 2% -10% (мас. %), чистота $\geq 99,5\%$, размер частиц 0,5-3 мкм , подходит для серии YW и высокоэнтропийных сплавов.

4.0.2 Вспомогательное сырье

Вспомогательное сырье используется для оптимизации производительности или адаптации к конкретным требованиям процесса. Оно может быть гибко выбрано в соответствии с классом и сценарием применения:

Регулятор углерода:

Углеродная сажа

Контролировать баланс углерода для предотвращения образования η -фазы (Co_3W_3C) или свободного углерода, содержание 0,1% - 0,5% (мас. %), чистота $\geq 99\%$, размер частиц <1 мкм , подходит для всех типов (особенно для спекания в жидкой фазе).

Графит

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

В качестве источника углерода отрегулируйте содержание углерода до 0,1% - 0,3% (мас. %), чистоту $\geq 99,5\%$, размер частиц 1-5 мкм, подходит для порошков серии YG и аддитивного производства.

Редкоземельные элементы:

Церий (Ce) / Лантан (La)

Измельчает зерна и улучшает прочность на изгиб. Содержание составляет 0,1%-0,5% (мас. %) в виде оксидов с чистотой $\geq 99,9\%$. Подходит для мелкозернистых марок (таких как YG6F, YN6F).

Нитрид/Борид

Нитрид (TiN)/борид вольфрама (WB): улучшает твердость поверхности и коррозионную стойкость, содержание 1%-5% (мас. %), чистота $\geq 99,5\%$, размер частиц 0,5-3 мкм, подходит для серий YT, YN и аддитивного производства.

4.0.3 Вспомогательные вещества

Вспомогательные материалы поддерживают процесс подготовки и спекания, обеспечивая управляемость процесса и качество продукции:

Смазка:

Стеариновая кислота

Улучшает текучесть при смешивании и прессовании, содержание 0,5%-2% (мас. %), промышленный сорт, чистота $\geq 95\%$, подходит для всех процессов прессования.

Парафиновый воск

Повышает прочность сырца, содержание 1%-3% (по весу), температура плавления 50-60°C, подходит для сырцов сложной формы.

Растворитель:

Этанол/Ацетон

Используется для влажного смешивания дисперсионной среды, очистки и сушки, аналитическая степень чистоты, концентрация $\geq 99,5\%$, подходит для всех видов влажного смешивания и последующей обработки при производстве добавок.

Атмосферный газ:

Водород (H₂) /Аргон (Ar)/Азот (N₂)

Обеспечить восстановительную или инертную атмосферу для предотвращения окисления, чистота $> 99,99\%$, подходит для YG/YT (водород), YW/YN/HIP (аргон), сплава TiN (азот).

Флюс (опционально):

Борная кислота (H₃BO₃) : снижает температуру спекания, содержание 0,1%-0,5%, аналитическая чистота, подходит для мелкозернистых и высокоэнтропийных сплавов.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.0.4 Подробная таблица сырья и вспомогательных материалов

В следующей таблице систематически перечислены все исходные и вспомогательные материалы, необходимые для различных типов твердых сплавов (включая твердые сплавы на основе никеля серии YN), с указанием технических характеристик, функций и областей применения.

категория	Материал	Спецификация	эффект	Применимые типы
Основное сырье	Карбид вольфрама (WC)	Чистота $\geq 99,8\%$, размер частиц 0,2-5 мкм	Твердая фаза, обеспечивающая высокую твердость и износостойкость, содержание 70%-94% (мас. %)	Все типы (YG, YT, YW, YN, высокоэнтропийные, аддитивное производство)
	Кобальтовый порошок (Co)	Чистота $\geq 99,9\%$, размер частиц 1-5 мкм	Связующая фаза, повышает прочность и прочность на изгиб, содержание 6%-25% (мас. %)	YG (6-15%), YT (6-10%), YW (8-12%), высокая энтропия
	Никелевый порошок (Ni)	Чистота $\geq 99,9\%$, размер частиц 1-5 мкм	Коррозионностойкая связующая фаза, повышенная стойкость к окислению, содержание 5%-20% (мас. %)	Серия YN (например, YN6, YN8), аддитивное производство
	Карбид титана (TiC)	Чистота $\geq 99,5\%$, размер частиц 0,5-2 мкм	Улучшение стойкости к высоким температурам и стойкость к кратерному износу, содержание 5%-20% (мас. %)	Серия YT (например, YT15, YT30), серия YN
Вспомогательное сырье	Карбид тантала (TaC) / Карбид ниобия (NbC)	Чистота $\geq 99,5\%$, размер частиц 0,5-3 мкм	Повышение высокотемпературной прочности и стойкости к деформации, содержание 2%-10% (мас. %)	Серия YW (например, YW1, YW2), сплав с высокой энтропией
	Технический углерод (C)	Чистота $\geq 99\%$, размер частиц < 1 мкм	Контролировать баланс углерода и предотвращать образование η -фазы, содержание 0,1%-0,5% (мас. %)	Все типы (особенно жидкофазное спекание)
	Графит	Чистота $\geq 99,5\%$, размер частиц 1-5 мкм	В качестве источника углерода отрегулируйте содержание углерода до 0,1%-0,3% (по весу).	Серия YG, порошок для аддитивного производства
	Редкоземельные элементы (Ce/La)	Оксидная форма, чистота $\geq 99,9\%$	Измельчает зерна и улучшает прочность на изгиб, содержание 0,1%-0,5% (мас. %)	Мелкозернистые сорта (например, YG6F, YN6F)
	Нитрид титана (TiN)-борид вольфрама (WB)	Чистота $\geq 99,5\%$, размер частиц 0,5-3 мкм	Улучшает твердость поверхности и коррозионную стойкость, содержание 1%-5% (мас. %)	Серия YT, YN, аддитивное производство
Вспомогательные	Стеариновая	Промышленный	Улучшить текучесть при смешивании	Все процессы прессования

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

категория	Материал	Спецификация	эффект	Применимые типы
вещества	кислота	сорт, чистота ≥95%	и прессовании, содержание 0,5%-2% (мас. %)	
	Парафиновый воск	Температура плавления 50- 60°C	Увеличивает прочность сырого тела, содержание 1%-3% (мас. %)	Заготовка сложной формы
	Этанол/Ацетон	Аналитическая чистота, концентрация ≥99,5%	Мокрое смешивание дисперсионных сред, очистка и сушка	Все мокрое смешивание, аддитивное производство
	Водород (H ₂) /Аргон (Ar)/Азот (N ₂)	Чистота>99,99%	Восстановительная или инертная атмосфера для предотвращения окисления	Все процессы спекания (водород: YG, YT; аргон: YW, YN, HIP; азот: сплав TiN)
	Борная кислота (H ₂ BO ₃)	Аналитическая степень чистоты	Флюс, снижает температуру спекания, содержание 0,1%-0,5% (мас. %)	Мелкозернистый, высокоэнтропийный сплав
Специальные технологические материалы	Сфероидизирующий агент (например, ПВС)	Промышленный класс	Улучшить сферичность порошка, содержание 0,1%-0,5% (мас. %)	Аддитивное производство (GB/T 34505-2017)
	Прекурсоры CVD (такие как TiCl ₄ , CH ₄)	Высокая чистота	Для карбида с покрытием	Твердый сплав с покрытием (серии YT, YN)

Примечание: В таблице приведены исходные и вспомогательные материалы, необходимые для различных типов твердого сплава, включая технические характеристики, функции и область применения, чтобы обеспечить полноту и актуальность процесса подготовки.

4.1 Физические и химические свойства и получение порошка карбида вольфрама (WC)

Карбид вольфрама (WC) является основным компонентом твердого сплава с массовой долей 70%-95%±1%. Его превосходные физические и химические свойства напрямую определяют общую производительность твердого сплава. Порошок WC имеет высокую твердость (HV 2000-3000±50), высокую температуру плавления (2870°C±10°C), отличную химическую стабильность (энтальпия окисления <800 кДж/моль±20 кДж/моль) и хорошую износостойкость и коррозионную стойкость. Приготовление порошка WC требует строгого контроля размера частиц (0,1–10 мкм ± 0,01 мкм), чистоты (свободный углерод < 0,1% ± 0,01%, оксид < 0,05% ± 0,01%) и морфологии (полигональная, кромка < 0,05 мкм ± 0,01 мкм) для удовлетворения потребностей высокотехнологичных применений, таких как авиационные инструменты (скорость резания > 300 м/мин ± 10 м/мин), горнодобывающие буровые коронки (прочность на сжатие > 200 МПа ± 10 МПа) и износостойкие формы (срок службы при экструзии > 10⁶ раз ± 10⁵ раз).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Карбонизация является основным методом синтеза порошка WC из-за его зрелой технологии, высокого выхода (>10 т/партия ± 1 т) и доли рынка $>90\% \pm 2\%$. Кроме того, новые технологии, такие как плазменное, механохимическое и химическое осаждение из паровой фазы (CVD), были внедрены в современные процессы для удовлетворения конкретных требований к размеру частиц и производительности. Методы синтеза порошка карбида вольфрама (WC), полученного путем карбонизации, в основном включают следующее:

Традиционный метод науглероживания:

вольфрамовый порошок (W) и сажа (C) реагируют при высокой температуре $1450-1600^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ с образованием WC, обычно в водороде (H_2 , расход 50 л/мин ± 5 л/мин) или вакууме ($<10^{-2}$ Па $\pm 10^{-3}$ Па). атмосфера, с использованием графитовой печи (мощность >100 кВт ± 10 кВт). Скорость нагрева составляет $5-10^{\circ}\text{C}/\text{мин} \pm 0,5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$, а время изоляции составляет $2-4$ часа $\pm 0,1$ часа. Подходит для крупномасштабного производства с высоким выходом (>10 т/партия ± 1 т).

Метод карбонизации во вращающейся печи:

основан на традиционном методе карбонизации, вращающаяся печь (скорость вращения 5 об./мин. $\pm 0,5$ об./мин.) используется для улучшения однородности размера частиц (отклонение $<5\% \pm 1\%$) и снижения агломерации ($<5\% \pm 1\%$) за счет динамического смешивания, что подходит для производства субмикронного WC ($<0,5$ мкм $\pm 0,01$ мкм).

Метод низкотемпературной карбонизации:

реакция при $<1200^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ в сочетании с возобновляемыми источниками углерода (такими как биоуголь) и контроль роста зерна ($<0,1$ мкм $\pm 0,01$ мкм) с помощью добавок (таких как VC, Cr_3C_2), подходит для наноразмерного порошка WC, снижает потребление энергии на $20\% \pm 5\%$.

Все эти методы требуют контроля соотношения W:C ($1:1,02 \pm 0,01$), атмосферы (O_2 <10 ppm ± 1 ppm) и скорости охлаждения ($>50^{\circ}\text{C}/\text{мин} \pm 5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$) для обеспечения чистоты (свободный углерод $<0,1\% \pm 0,01\%$) и распределения размеров частиц (отклонение $<5\% \pm 1\%$).

В этом разделе будут всесторонне проанализированы физические и химические свойства порошка WC, процесс производства (в основном метод карбонизации), значение и технология контроля размера частиц и распределения зерен, оптимизация чистоты и эффекты его применения в различных областях.

4.1.0 Физические характеристики и химические свойства порошка карбида вольфрама

Физические характеристики порошка карбида вольфрама (WC)

Как основной компонент твердого сплава, физические свойства порошка карбида вольфрама (WC) напрямую определяют производительность твердого сплава. Ниже приводится всестороннее описание физических характеристик порошка WC, охватывающее кристаллическую структуру, плотность (разделенную на насыпную плотность и плотность

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

после утряски), температуру плавления, теплопроводность, коэффициент теплового расширения, морфологию и другие связанные свойства.

(1) Кристаллическая структура порошка карбида вольфрама

Тип кристалла

Порошок WC относится к гексагональной кристаллической системе и его пространственная группа — $P6m2$ (186).

Параметры решетки:

$a = 0,2906 \text{ нм} \pm 0,0001 \text{ нм}$

$c = 0,2837 \text{ нм} \pm 0,0001 \text{ нм}$

Соотношение c/a составляет около 0,976, что указывает на высокую изотропность решетки.

Характеристики элементарной ячейки

Каждая элементарная ячейка содержит одну молекулу WC. Атомы вольфрама (W) и атомы углерода (C) расположены в гексагональной плотноупакованной структуре. Атомы W расположены в вершинах и центре гексагональной призмы, а атомы C заполняют промежутки в гексагональной призме, образуя стабильную ковалентно-ионно-металлическую смешанную связь.

Стабильность кристалла

Гексагональная структура придает WC превосходную устойчивость к деформации, особенно в условиях высоких температур и давления ($>1000^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, $>200 \text{ МПа} \pm 10 \text{ МПа}$), при этом степень искажения решетки составляет $< 0,01\% \pm 0,001\%$, что делает его пригодным для применения в экстремальных условиях.

(2) Плотность порошка карбида вольфрама

Теоретическая плотность: $15,63 \text{ г/см}^3 \pm 0,05 \text{ г/см}^3$, что близко к теоретическому максимальному значению, что отражает близкое расположение атомов WC.

Кажущаяся плотность порошка карбида вольфрама:

Определение: Плотность порошка в естественном состоянии укладки, отражающая эффективность укладки частиц.

Значение: $6,0-8,0 \text{ г/см}^3 \pm 0,2 \text{ г/см}^3$ (GB/T 1479.1-2011), зависит от размера и морфологии частиц.

Субмикронный WC ($0,1-0,5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$): насыпная плотность ниже ($6,0-6,5 \text{ г/см}^3 \pm 0,2 \text{ г/см}^3$) из-за больших зазоров между мелкими частицами.

Микронный сорт WC ($1-5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$): насыпная плотность $6,5-7,5 \text{ г/см}^3 \pm 0,2 \text{ г/см}^3$.

Крупный WC ($5-10 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$): насыпная плотность выше ($7,5-8,0 \text{ г/см}^3 \pm 0,2 \text{ г/см}^3$), поскольку частицы упакованы более плотно.

Влияние: Насыпная плотность влияет на начальную плотность прессованного тела. Мелкозернистый WC требует добавления смазочных веществ (например, парафина) для улучшения текучести ($<30 \text{ с/50 г} \pm 2 \text{ с}$, GB/T 1482-2010).

Плотность насыпного веса порошка карбида вольфрама:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Определение: Плотность порошка после вибрации (частота вибрации 60 раз/мин \pm 5 раз/мин), которая отражает максимальную эффективность упаковки частиц.

Значение: 8,5-10,5 г/см³ \pm 0,2 г/см³ (GB /T 5162-2014).

Субмикронный WC: 8,5-9,0 г/см³ \pm 0,2 г/см³.

Микронный класс WC: 9,0-10,0 г/см³ \pm 0,2 г/см³.

Грубый WC: 10,0-10,5 г/см³ \pm 0,2 г/см³.

Влияние: Плотность утряски близка к плотности после спекания (>99% \pm 0,1%), а высокая плотность утряски снижает усадку при спекании (<15% \pm 2%).

Фактическая плотность: Измеренная плотность после спекания составляет 15,50–15,60 г/см³ \pm 0,05 г/см³ (метод дренажа GB /T 3850-2015), на которую влияют чистота (свободный углерод <0,1% \pm 0,01%, оксид <0,05% \pm 0,01%) и пористость (<0,05% \pm 0,01%).

Значимость применения: Высокая насыпная плотность и плотность утряски обеспечивают равномерность процесса прессования и спекания, а также поддерживают высокую прочность на сжатие и ударопрочность твердого сплава.

(3) Температура плавления порошка карбида вольфрама

Температура плавления: 2870°C \pm 10°C. WC не плавится при нормальном давлении, а разлагается на W и C. Температура разложения близка к температуре плавления.

Высокая температурная стабильность: при температуре 2000°C \pm 10°C тепловое расширение решетки составляет < 0,5% \pm 0,1%, а скорость потери веса составляет < 0,01% \pm 0,002%/ч, что подходит для высокотемпературной резки (> 1000°C \pm 10°C) и нанесения износостойких покрытий.

Поведение при разложении: В вакууме или восстановительной атмосфере (H₂) скорость разложения составляет <0,001 мг/см² · ч \pm 0,0002 мг/см² · ч, что указывает на химическую стабильность.

(4) Теплопроводность порошка карбида вольфрама

Теплопроводность: 84 Вт/(м · К) \pm 5 Вт/(м · К), что немного ниже, чем у чистого вольфрама (174 Вт/(м · К) \pm 5 Вт/(м · К)), но лучше, чем у большинства керамических материалов.

Температурная зависимость: в диапазоне 25–1000°C \pm 10°C теплопроводность медленно уменьшается с ростом температуры (примерно на 10% \pm 2%) и по-прежнему остается на уровне 75 Вт/(м · К) \pm 5 Вт/(м · К) при 1000°C \pm 10°C.

Значимость применения: Высокая теплопроводность способствует быстрому рассеиванию тепла, снижению термического повреждения инструментов или форм при высокоскоростной резке (>300 м/мин \pm 10 м/мин) и увеличению срока службы (>12 часов \pm 1 час).

(5) Коэффициент теплового расширения порошка карбида вольфрама

Коэффициент линейного теплового расширения: 5,2 $\times 10^{-6}$ К⁻¹ \pm 0,2 $\times 10^{-6}$ К⁻¹ (25-1000°C \pm 10°C).

Температурная зависимость: При температуре 1000°C \pm 10°C скорость расширения составляет < 0,52% \pm 0,02%, что значительно ниже, чем у стали (12 $\times 10^{-6}$ К⁻¹ \pm 0,5 $\times 10^{-6}$ К⁻¹).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

¹), что обеспечивает размерную стабильность при высоких температурах.

Соответствие: Коэффициент термического расширения близок к коэффициенту термического расширения Co ($5,0 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \pm 0,2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) или Ni ($6,0 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \pm 0,2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) связующей фазы, что снижает остаточное напряжение после спекания ($<50 \text{ МПа} \pm 10 \text{ МПа}$).

(6) Морфология порошка карбида вольфрама

Морфология частиц: порошок WC имеет полигональную или почти сферическую форму с ребрами $<0,05 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$ и шероховатостью поверхности $Ra <0,1 \text{ мкм} \pm 0,02 \text{ мкм}$ (наблюдение с помощью СЭМ).

Морфологическое влияние:

Полигональная морфология увеличивает площадь контакта частиц ($>90\% \pm 2\%$) и улучшает прочность связи при спекании ($>400 \text{ МПа} \pm 10 \text{ МПа}$).

Тонкие края уменьшают агломерацию ($<5\% \pm 1\%$), улучшают текучесть ($<30 \text{ с/50 г} \pm 2 \text{ с}$, GB/T 1482-2010) и подходят для аддитивного производства.

Влияние приготовления: Метод карбонизации ($1450-1600^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$) дает полигональные частицы с острыми краями; плазменный метод дает почти сферические частицы (округлость $>0,9 \pm 0,01$).

(7) Удельная поверхность порошка карбида вольфрама

Удельная поверхность: $0,5-5 \text{ м}^2/\text{г} \pm 0,2 \text{ м}^2/\text{г}$ в зависимости от размера частиц.

Субмикронный WC ($0,1-0,5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$): удельная площадь поверхности $> 3 \text{ м}^2/\text{г} \pm 0,2 \text{ м}^2/\text{г}$.

Микронный WC ($1-5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$): удельная площадь поверхности $1-2 \text{ м}^2/\text{г} \pm 0,2 \text{ м}^2/\text{г}$.

Метод измерения: метод БЭТ (GB/T 19587-2017), величина адсорбции $<0,5 \text{ см}^3/\text{г} \pm 0,05 \text{ см}^3/\text{г}$.

Значимость применения: Высокая удельная площадь поверхности повышает активность спекания (скорость усадки $>15\% \pm 2\%$) и улучшает плотность твердого сплава ($>99\% \pm 0,1\%$).

(8) Электрические свойства порошка карбида вольфрама

Удельное сопротивление: $0,2 \text{ мКОм} \cdot \text{м} \pm 0,02 \text{ мКОм} \cdot \text{м}$ (25°C), увеличивается примерно на $20\% \pm 2\%$ при повышении температуры до $1000^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$.

Электропроводность: лучше, чем у керамических материалов (удельное сопротивление $>10^6 \text{ мКОм} \cdot \text{м}$), близка к металлическому вольфраму ($0,05 \text{ мКОм} \cdot \text{м} \pm 0,01 \text{ мКОм} \cdot \text{м}$), подходит для электроэрозионной обработки.

Применение: При электроэрозионной обработке шероховатость поверхности $Ra < 1 \text{ мкм} \pm 0,2 \text{ мкм}$, точность $< 0,01 \text{ мм} \pm 0,002 \text{ мм}$.

(9) Другие характеристики порошка карбида вольфрама

Магнетизм: Сам по себе WC немагнитен, но в смеси с Co проявляет слабый магнетизм (напряженность намагниченности насыщения $<0,1 \text{ А} \cdot \text{м}^2/\text{кг} \pm 0,01 \text{ А} \cdot \text{м}^2/\text{кг}$), что облегчает магнитное разделение примесей.

Блеск: Серо-черный металлический блеск, отражательная способность $<20\% \pm 2\%$ ($400-700 \text{ нм}$), используется для визуального контроля.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Гигроскопичность: Скорость поглощения влаги $<0,01\% \pm 0,002\%$ (25°C , 50% относительной влажности), необходимо хранить в герметичной таре.

характеристик порошка карбида вольфрама и его применения

Кристаллическая структура и теплопроводность: Гексагональная кристаллическая система и высокая теплопроводность обеспечивают получение износостойких форм (деформация $<0,01$ мм $\pm 0,002$ мм) и высокотемпературных покрытий ($>1000^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$).

Плотность и коэффициент теплового расширения: Высокая плотность утряски и низкое тепловое расширение оптимизируют производительность спекания (плотность $>99\% \pm 0,1\%$) и улучшают качество деталей, изготовленных аддитивным способом ($R_a < 5$ мкм ± 1 мкм).

Морфология и удельная площадь поверхности: Полигональная морфология и высокая удельная площадь поверхности повышают активность спекания и подходят для режущих инструментов (>300 м/мин ± 10 м/мин).

Корреляция размеров частиц: мелкозернистый WC ($<0,5$ мкм $\pm 0,01$ мкм) улучшает плотность уплотнения, тогда как крупнозернистый WC (5-10 мкм $\pm 0,01$ мкм) повышает эффективность укладки.

Испытание и контроль физических свойств порошка карбида вольфрама

Методы и стандарты измерения:

плотность

GB/T 3850-2015 Теоретическая плотность,

GB/T 1479.1-2011 Насыпная плотность,

GB/T 5162-2014 Плотность намотки,

Кристаллическая структура (рентгеноструктурный анализ, GB/T 27708-2011),

Морфология (СЭМ, GB/T 16594-2008).

Стандарты контроля

Отклонение размера частиц $<5\% \pm 1\%$ (GB/T 19077.1-2008), чистота влияет на плотность, а содержание свободного углерода должно поддерживаться на уровне $<0,1\% \pm 0,01\%$.

Физические характеристики порошка карбида вольфрама включают гексагональную структуру ($a = 0,2906$ нм $\pm 0,0001$ нм, $c = 0,2837$ нм $\pm 0,0001$ нм), плотность (насыпная 6,0-8,0 г/см³ $\pm 0,2$ г/см³, насыпная 8,5-10,5 г/см³ $\pm 0,2$ г/см³, теоретическая 15,63 г/см³ $\pm 0,05$ г/см³), температуру плавления ($2870^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$), теплопроводность (84 Вт/(м·К) ± 5 Вт/(м·К)), низкий коэффициент теплового расширения ($5,2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \pm 0,2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$), полигональная морфология (кромки $<0,05$ мкм $\pm 0,01$ мкм) и превосходные электрические свойства. Эти характеристики позволяют ему хорошо работать в областях авиационных инструментов, горнодобывающих сверл, износостойких форм и аддитивного производства. Его производительность оптимизируется с изменением размера частиц и чистоты, что обеспечивает прочную основу для применения цементированного карбида.

Химические свойства порошка карбида вольфрама (WC)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Как основной компонент цементированного карбида, химические свойства порошка карбида вольфрама (WC) играют ключевую роль в его стабильности и долговечности в промышленных применениях. Ниже приводится всестороннее описание химических свойств порошка WC, охватывающее химическую стабильность, коррозионную стойкость, стойкость к окислению, реакционную способность и другие связанные химические свойства, основанные на научных данных и промышленных стандартах применения (таких как GB/T 5124-2017), текущая дата и время — 22 мая 2025 г. 14:12 НКТ.

(1) Химическая стабильность порошка карбида вольфрама

Стабильность при комнатной температуре

WC проявляет чрезвычайно высокую химическую стабильность при комнатной температуре ($25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$), не реагирует с большинством химикатов и имеет скорость разложения $<0,0001 \text{ мг/см}^2 \cdot \text{ч} \pm 0,00002 \text{ мг/см}^2 \cdot \text{ч}$.

Кислотно-щелочная устойчивость

В растворах с pH 2–12 (таких как HCl, NaOH) скорость коррозии составляет $<0,001 \text{ мм/год} \pm 0,0002 \text{ мм/год}$, что свидетельствует о его превосходной устойчивости к кислотным и щелочным средам.

Высокая температурная стабильность

В бескислородной среде $<600^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ WC остается стабильным без существенных химических изменений на поверхности (скорость потери веса $<0,005\% \pm 0,001\%/ч$). В инертной атмосфере (например, Ar или N_2 , чистота $>99,99\% \pm 0,01\%$) стабильность может сохраняться до $2000^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$.

(2) Коррозионная стойкость порошка карбида вольфрама

Кислотная среда

В разбавленной кислоте (например, 10% HCl или H_2SO_4 , pH $2 \pm 0,1$) скорость коррозии WC составляет $<0,001 \text{ мм/год} \pm 0,0002 \text{ мм/год}$, и на поверхности не наблюдается никаких явных ямок (наблюдения СЭМ, глубина ямок $<0,01 \text{ мкм} \pm 0,002 \text{ мкм}$).

Щелочная среда

В 10% растворе NaOH (pH $12 \pm 0,1$) скорость коррозии составляет $<0,002 \text{ мм/год} \pm 0,0005 \text{ мм/год}$, что указывает на хорошую щелочестойкость.

Солевой раствор

В 3,5% растворе NaCl (имитирующая морскую среду) скорость коррозии составляет $<0,003 \text{ мм/год} \pm 0,0005 \text{ мм/год}$, что подходит для коррозионно-стойких сред (например, химического оборудования).

Значимость применения

Отличная коррозионная стойкость делает порошок WC пригодным для изготовления износостойких деталей, работающих в кислотных или щелочных средах, таких как уплотнения химических насосов (срок службы $> 5000 \text{ часов} \pm 500 \text{ часов}$).

(3) Окисляемость порошка карбида вольфрама

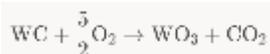
Антиоксидантная способность

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Энтальпия стойкости к окислению WC составляет $<800 \text{ кДж/моль} \pm 20 \text{ кДж/моль}$, и он практически не окисляется на воздухе при температуре $<600^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ (скорость окисления $<0,01 \text{ мг/см}^2 \cdot \text{ч} \pm 0,002 \text{ мг/см}^2 \cdot \text{ч}$).

Высокотемпературное окисление

При температуре $>600^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ на воздухе WC медленно окисляется с образованием WO_3 (желтый оксид) по следующей формуле реакции:



$600^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$

Скорость окисления: $0,01\text{-}0,05 \text{ мг/см}^2 \cdot \text{ч} \pm 0,005 \text{ мг/см}^2 \cdot \text{ч}$, толщина оксидного слоя: $<0,1 \text{ мкм} \pm 0,02 \text{ мкм}$.

$1000^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$

Скорость окисления увеличилась до $0,5 \text{ мг/см}^2 \cdot \text{ч} \pm 0,05 \text{ мг/см}^2 \cdot \text{ч}$, а толщина оксидного слоя составила $1\text{-}2 \text{ мкм} \pm 0,2 \text{ мкм}$.

Контроль атмосферы

В восстановительной атмосфере (H_2 , $\text{O}_2 < 10 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$) или вакууме ($<10^{-2} \text{ Па} \pm 10^{-3} \text{ Па}$) скорость окисления составляет $<0,001 \text{ мг/см}^2 \cdot \text{ч} \pm 0,0002 \text{ мг/см}^2 \cdot \text{ч}$, что подходит для высокотемпературной обработки.

Значимость применения

Следует избегать длительного воздействия высокотемпературной окислительной среды (например, $>600^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ воздуха). Для продления срока службы обычно используется покрытие (например, TiN) или защита инертной атмосферой (например, Ar).

(4) Реакционная способность порошка карбида вольфрама

С сильными окислителями

реагирует с сильными окислителями (такими как концентрированная HNO_3 или H_2O_2) с образованием WO_3 , причем скорость реакции увеличивается с ростом концентрации и температуры:

$25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, 10% HNO_3 : Скорость реакции $<0,01 \text{ мг/см}^2 \cdot \text{ч} \pm 0,002 \text{ мг/см}^2 \cdot \text{ч}$.

$80^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, 30% HNO_3 : скорость реакции $0,1\text{-}0,5 \text{ мг/см}^2 \cdot \text{ч} \pm 0,05 \text{ мг/см}^2 \cdot \text{ч}$.

С металлом

Во время высокотемпературного спекания ($>1200^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$) WC реагирует со связующей фазой (такой как Co , Ni) с образованием твердого раствора (такой как $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$ или $\text{Ni}_3\text{W}_3\text{C}$). Степень реакции контролируется атмосферой:

Атмосфера водорода (H_2): скорость реакции $<0,1\% \pm 0,02\%/ч$, доля образующейся η -фазы ($\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$) составляет $<0,5\% \pm 0,1\%$.

Вакуумная атмосфера: Скорость реакции снижается до $<0,05\% \pm 0,01\%/ч$, что снижает образование η -фазы.

С неметаллическими

WC реагирует с углеродом (C) при высокой температуре, образуя W_2C (низкая твердость, $\text{HV} < 2000 \pm 50$), и содержание углерода необходимо контролировать (молярное соотношение $\text{W}:\text{C}$ $1:1,02 \pm 0,01$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Значимость применения

В процессе спекания необходимо строго контролировать атмосферу ($O_2 < 10 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$) и содержание углерода (свободный углерод $< 0,1\% \pm 0,01\%$), чтобы избежать ухудшения характеристик.

(5) Характеристики химической связи порошка карбида вольфрама

Тип связи: Связь WC в WC представляет собой смешанную ковалентно-ионно-металлическую связь с энергией связи $\sim 8,6 \text{ эВ} \pm 0,1 \text{ эВ}$.

Длина связи: длина связи WC составляет $0,219 \text{ нм} \pm 0,001 \text{ нм}$, что обеспечивает высокую прочность связи и химическую стабильность.

Электронная структура: 5d-орбитали W и 2p-орбитали C гибридизуются, образуя прочные ковалентные связи с электронной плотностью $\sim 0,8 \text{ e}/\text{\AA}^3 \pm 0,05 \text{ e}/\text{\AA}^3$ (расчет методом DFT), что обеспечивает высокую твердость и коррозионную стойкость.

Значимость применения: прочные связывающие характеристики обеспечивают устойчивость WC в экстремальных химических средах и подходят для инструментов с высокой коррозионной стойкостью (например, химических форм).

(6) Поверхностная химическая активность порошка карбида вольфрама

Поверхностная энергия: Поверхностная энергия порошка WC составляет $1,5\text{-}2,0 \text{ Дж}/\text{м}^2 \pm 0,2 \text{ Дж}/\text{м}^2$ (рассчитано методом БЭТ) и увеличивается с уменьшением размера частиц.

Субмикронный уровень ($0,1\text{-}0,5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) : поверхностная энергия $\sim 2,0 \text{ Дж}/\text{м}^2 \pm 0,2 \text{ Дж}/\text{м}^2$.

уровень ($1\text{-}5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) : поверхностная энергия $\sim 1,5 \text{ Дж}/\text{м}^2 \pm 0,2 \text{ Дж}/\text{м}^2$.

Адсорбция: Адсорбция порошка WC для O_2 и H_2O составляет $< 0,01 \text{ мг}/\text{г} \pm 0,002 \text{ мг}/\text{г}$ (25°C , 50% RH), что указывает на низкую поверхностную активность.

Значимость применения: Низкая поверхностная активность снижает окисление порошка во время хранения и обработки (оксид $< 0,05\% \pm 0,01\%$), но для снижения поверхностной энергии с целью контроля роста зерна требуются добавки (например, VC, $0,1\%\text{-}0,5\% \pm 0,01\%$).

(7) Другие химические свойства порошка карбида вольфрама

волатильность

WC не имеет явной летучести при температуре $< 2000^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ (скорость летучести $< 0,001\% \pm 0,0002\%/ч$) и начинает разлагаться и улетучивать пары CO и W при температуре $> 2500^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$.

Растворимость

Нерастворим в воде (растворимость $< 0,001 \text{ г}/\text{л} \pm 0,0002 \text{ г}/\text{л}$) и большинстве органических растворителей (таких как этанол, ацетон) с растворимостью $< 0,002 \text{ г}/\text{л} \pm 0,0005 \text{ г}/\text{л}$.

токсичность

Порошок WC нетоксичен ($LD50 > 5000 \text{ мг}/\text{кг}$), но вдыхание мелких частиц ($< 0,5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) может вызвать раздражение легких, поэтому следует использовать средства индивидуальной защиты.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Всестороннее воздействие и применение ассоциации

Химическая стабильность и коррозионная стойкость

Высокая стабильность позволяет применять WC в кислых и щелочных средах, например, в уплотнениях химического оборудования (срок службы > 5000 часов ± 500 часов).

Окисление и реакционная способность

Необходимо контролировать высокотемпературное окисление и образование η-фазы, и он подходит для высокотемпературной обработки (>1000°C ± 10°C) в инертной атмосфере, например, в авиационных инструментах.

Химические связи и поверхностная активность

Прочные связи и низкая поверхностная активность обеспечивают длительную стабильность при хранении (оксиды <0,05% ± 0,01%) и подходят для износостойких покрытий (прочность связи >70 МПа ± 5 МПа).

Экологическая приспособляемость

Низкая растворимость и летучесть обеспечивают надежность WC в различных рабочих условиях, например, в качестве буровых коронок для горнодобывающей промышленности (срок службы >1000 м ± 100 м).

Обнаружение и контроль порошка карбида вольфрама

Методы измерения: скорость коррозии (GB/T 4335-2013), скорость окисления (метод химического анализа GB/T 5124-2017), поверхностная энергия (БЭТ, GB/T 19587-2017), летучесть (TG-DSC, GB/T 17137-1997).

Стандарты контроля: свободный углерод <0,1%±0,01%, оксид <0,05%±0,01%, контроль атмосферы (O₂ <10 ppm±1 ppm).

Химические свойства порошка карбида вольфрама включают высокую химическую стабильность (скорость коррозии <0,001 мм/год ± 0,0002 мм/год), отличную коррозионную стойкость (pH 2-12), стойкость к окислению (<600°C±10°C, скорость окисления <0,01 мг/см² · ч ± 0,002 мг/см² · ч), ограниченную реакционную способность (необходимо контролировать образование η-фазы и W₂C), прочную связь WC (энергия связи ~8,6 эВ ± 0,1 эВ), низкую поверхностную активность (поверхностная энергия 1,5-2,0 Дж/м² ± 0,2 Дж/м²) и низкую летучесть и растворимость. Эти характеристики позволяют использовать его в химическом оборудовании, износостойких покрытиях, авиационных инструментах и горнодобывающих бурах, а оптимизация химических свойств обеспечивает гарантию высокопроизводительного применения твердого сплава.

Производство и подготовка порошка карбида вольфрама - процесс подготовки к цементации (1450-1600°C)

Принцип процесса

Метод науглероживания является наиболее часто используемым методом подготовки в промышленности, который заключается в получении WC путем высокотемпературной реакции вольфрамового порошка (W) и технического углерода (C). Формула реакции выглядит следующим образом: W+C→WC

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Реакция проводится при высокой температуре $1450-1600^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$, обычно в атмосфере водорода (H_2) или вакуума. Термодинамически свободная энергия Гиббса реакции отрицательна ($\Delta G < -38$ кДж/моль ± 2 кДж/моль), что обеспечивает самопроизвольное протекание реакции; кинетически атомы углерода входят в решетку вольфрама посредством твердотельной диффузии (коэффициент диффузии $\sim 10^{-10}$ см²/с $\pm 10^{-11}$ см²/с), постепенно образуя зерна WC.

Параметры процесса:

сырье:

Вольфрамовый порошок: чистота $>99,9\%\pm 0,01\%$, размер частиц $0,5-5$ мкм $\pm 0,01$ мкм.

Технический углерод: чистота $>99,5\%\pm 0,01\%$, размер частиц $<0,1$ мкм $\pm 0,01$ мкм.

Условия реакции:

Температура: $1450-1600^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$.

Атмосфера: водород (H_2 , чистота $>99,99\% \pm 0,01\%$, расход 50 л/мин ± 5 л/мин) или вакуум ($< 10^{-2}$ Па $\pm 10^{-3}$ Па).

Скорость нагрева: $5-10^{\circ}\text{C}/\text{мин}\pm 0,5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$.

Время выдержки: 2-4 часа $\pm 0,1$ часа.

оборудование:

Графитовая печь: мощность >100 кВт ± 10 кВт, термостойкость $>1800^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$.

Стационарная или вращающаяся печь: скорость вращения печи 5 об./мин $\pm 0,5$ об./мин для улучшения равномерности смешивания.

Оптимизация процесса:

Выбор температуры:

$1450^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$: Образует субмикронный WC ($<0,5$ мкм $\pm 0,01$ мкм) с твердостью, увеличенной на $5\%\pm 1\%$ (HV $>2900\pm 50$), подходит для высокоточных инструментов.

$1600^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$: производит грубый WC ($5-10$ мкм $\pm 0,01$ мкм), увеличивает выход на $10\%\pm 2\%$ (>12 т/партия ± 1 т) и подходит для высокопрочных сверл.

Улучшения оборудования:

Вращающаяся печь улучшает однородность размера частиц (отклонение $<5\% \pm 1\%$) за счет динамического перемешивания и увеличивает выход на $5\% \pm 1\%$, что лучше, чем у стационарной печи (степень агломерации $> 10\% \pm 2\%$).

Контроль атмосферы:

Атмосфера водорода ($\text{O}_2 < 10$ ppm ± 1 ppm) подавляет окисление (оксиды $< 0,03\% \pm 0,01\%$) и повышает чистоту на $1\% \pm 0,2\%$.

Вакуумная атмосфера снижает улетучивание углерода (потери $<0,1\%\pm 0,01\%$) и увеличивает выход на $2\%\pm 0,5\%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Анализ влияющих факторов:

Соотношение сырья:

Молярное соотношение W:C контролируется на уровне 1:1,02±0,01. Избыток углерода (>1,05) приводит к свободному углероду (>0,2%±0,01%), что снижает твердость на 3%±0,5% (HV <2700±50); недостаточное количество углерода (<0,98) генерирует W₂C (твердость HV <2000±50), а прочность на изгиб снижается на 5%±1% (<3800 МПа±100 МПа).

Температура реакции:

Оптимальный диапазон — 1450–1600°C±10°C. Выше 1650°C±10°C происходит рост зерна (>10 мкм±0,01 мкм), а твердость снижается на 5%±1%; ниже 1400°C±10°C реакция не завершена (выход <95%±1%), а чистота снижается на 2%±0,5%.

Контроль атмосферы:

Атмосфера водорода (O₂ < 10 ppm ± 1 ppm) эффективно подавляет окисление; вакуумная атмосфера снижает улетучивание углерода.

Размер частиц сырья:

Вольфрамовый порошок <1 мкм ± 0,01 мкм дает субмикронный WC (<0,5 мкм ± 0,01 мкм) с твердостью HV 3000 ± 50; >5 мкм ± 0,01 мкм дает грубый WC (5-10 мкм ± 0,01 мкм) с увеличением вязкости на 10% ± 2% (K_{1с} > 18 МПа·м^{1/2} ± 0,5).

Производительность оборудования:

Вращающаяся печь (скорость 5 об./мин ± 0,5 об./мин) снизила агломерацию (<5% ± 1%), что лучше, чем фиксированная печь (агломерация > 10% ± 2%, снижение чистоты 1% ± 0,2%).

Примеры инженерного применения порошка карбида вольфрама:

Авиационные инструменты

Используя 1450°C±10°C, атмосферу H₂, процесс вращающейся печи, получается порошок WC 0,5 мкм±0,01 мкм с твердостью HV 2950±50 и свободным углеродом 0,08%±0,01%. Он используется для резки сплава Ti-6Al-4V (1000°C, скорость>200 м/мин±10 м/мин), с потерей износа всего 0,1 мм±0,02 мм и сроком службы 12 часов±1 час.

Горнодобывающие буровые коронки

Используя процесс 1600°C ± 10°C и вакуумную атмосферу, получают порошок WC размером 5-10 мкм ± 0,01 мкм с прочностью K_{1с} > 20 МПа·м^{1/2} ± 0,5 и сроком службы при бурении твердых пород (сопротивление сжатию > 200 МПа ± 10 МПа) > 1000 м ± 100 м.

Износостойкая форма

1-3 мкм±0,01 мкм Порошок WC, сбалансированная твердость и вязкость, деформация холодной высадки (>10⁵ раз±10⁴ раз) <0,01 мм±0,002 мм.

4.1.2 Другие методы подготовки

Плазменный метод:

Принцип: использование плазмы высокой температуры (>5000°C ± 100°C) для реакции вольфрамового порошка с метаном (CH₄) с получением WC.

Параметры процесса:

Мощность плазмы: 50-100 кВт ± 10 кВт.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Атмосфера: аргон (Ag , чистота>99,99%±0,01%).

Скорость охлаждения: >100°C/с±10°C/с.

Преимущества: Производит ультратонкий WC (0,1-0,3 мкм ± 0,01 мкм) высокой чистоты (свободный углерод < 0,05% ± 0,01%) , подходящий для высокотехнологичных приложений.

Применение: Сверхтвердые инструменты (например, сверла для печатных плат, диаметр отверстия <0,1 мм ± 0,01 мм).

Механохимический метод:

Принцип: Вольфрамовый порошок и сажа механически реагируют для получения WC посредством высокоэнергетического шарового измельчения (скорость вращения 300-500 об./мин ± 10 об./мин).

Параметры процесса:

Время измельчения в шаровой мельнице: 20-50 часов ± 1 час.

Соотношение шариков и материала: от 10:1 до 20:1±0,1.

Преимущества: Возможность получения WC в наномасштабе (<0,1 мкм ± 0,01 мкм) , твердость HV >3100±50.

Применение: Нанопокрывтие (например, напыление на авиационные лопатки, прочность сцепления>80 МПа ± 5 МПа).

Химическое осаждение из паровой фазы (CVD):

Принцип: WC осаждается путем реакции WF₆ и CH₄ при температуре 800-1000°C ± 10°C.

Параметры процесса:

Скорость осаждения: 0,1-0,5 мкм /мин ± 0,01 мкм /мин.

Атмосфера: смесь газов H₂/ Ag .

Преимущества: Высокая чистота (свободный углерод <0,03%±0,01%), подходит для нанесения покрытий.

Применение: Износостойкое покрытие (лопатки авиационных турбин, срок службы >5000 часов ±500 часов).

4.1.3 Размер частиц порошка карбида вольфрама

Порошок карбида вольфрама (WC) является основным материалом твердого сплава, и его характеристики размера частиц напрямую влияют на производительность и эффект применения твердого сплава. Ниже приведен всесторонний анализ значения, диапазона, распределения, влияния на производительность, технологии контроля качества и методов определения размера частиц, основанный на научных данных и промышленных стандартах (таких как GB/T 19077.1-2008). Текущая дата и время : 22 мая 2025 г. 14:20 НКТ.

(1) Значение размера частиц порошка карбида вольфрама

Определение характеристик: Размер частиц порошка WC является ключевым параметром, влияющим на характеристики твердого сплава, напрямую определяя твердость, износостойкость, прочность и спекаемость.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Мелкий размер частиц ($<0,5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) повышает твердость ($\text{HV} > 3000 \pm 50$) и износостойкость, подходит для высокоточной обработки.

Крупный размер частиц ($5-10 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) повышает прочность ($K_{1c} > 20 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$), подходит для условий с высокими ударными нагрузками.

Адаптивность обработки: Размер частиц влияет на текучесть ($<30 \text{ с}/50 \text{ г} \pm 2 \text{ с}$, GB/T 1482-2010) и прессуемость порошка. Мелкозернистый WC подходит для аддитивного производства (шероховатость поверхности $Ra < 5 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$), а крупнозернистый WC подходит для традиционного спекания.

Эффективность спекания: равномерное распределение размеров частиц (отклонение $<5\% \pm 1\%$) обеспечивает плотность спекания ($>99\% \pm 0,1\%$), снижает пористость ($<0,05\% \pm 0,01\%$) и повышает общую прочность.

, например, авиационные инструменты ($0,1-0,5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) и горнодобывающие буровые коронки ($5-10 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$).

(2) Диапазон размеров частиц порошка карбида вольфрама

диапазон : размер частиц порошка WC обычно составляет $0,1-10 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$.

Классификация:

Наномасштаб ($<0,1 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) : чрезвычайно высокая твердость ($\text{HV} > 3100 \pm 50$), используется для сверхточной обработки.

Субмикронный класс ($0,1-0,5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) : твердость $\text{HV} 3000 \pm 50$, подходит для высокоточных инструментов.

Микронный класс ($1-5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) : твердость $\text{HV} 2500-2800 \pm 50$, вязкость K_{1c} с $15-20 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$, подходит для изготовления пресс-форм.

Крупный сорт ($5-10 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) : прочность $K_{1c} > 20 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$, подходит для горнодобывающих буровых коронок.

Влияние приготовления: Диапазон размеров частиц определяется процессом приготовления, например, карбонизация ($1450-1600^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$) дает $0,5-10 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, а механохимический метод дает $<0,1 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$.

(3) Распределение размеров частиц и качество порошка карбида вольфрама

Характеристики распределения:

Для измерения D10, D50 и D90 использовался лазерный анализ размера частиц (GB/T 19077.1-2008).

уровень : $D50=0,3 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, $D10=0,1 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, $D90=0,5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$.

уровень : $D50=3 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, $D10=1 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, $D90=5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$.

степень : $D50=8 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, $D10=5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, $D90=10 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$.

Оценка плюсов и минусов:

Преимущества: узкое распределение (отклонение $<5\% \pm 1\%$), однородные частицы, высокая плотность после спекания ($>99\% \pm 0,1\%$) и хорошая стабильность характеристик.

Недостатки: широкое распределение (отклонение $> 10\% \pm 2\%$), неравномерные частицы, повышенная пористость после спекания ($> 0,1\% \pm 0,02\%$), большие колебания характеристик (например, отклонение твердости $> 100 \text{ HV}$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Факторы влияния: размер частиц сырья (вольфрамовый порошок $<0,5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$), время реакции (2-4 часа $\pm 0,1$ часа), скорость охлаждения ($> 50 \text{ }^\circ\text{C}/\text{мин} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$).

(4) Влияние размера порошка карбида вольфрама на эксплуатационные характеристики цементированного карбида

тем выше твердость. Субмикронный WC ($<0,5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) имеет твердость HV $> 3000 \pm 50$, что подходит для сверхтвердых инструментов (скорость резания $> 300 \text{ м}/\text{мин} \pm 10 \text{ м}/\text{мин}$).

Прочность: чем больше размер частиц, тем выше прочность. Крупный WC ($5-10 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) имеет прочность $K_{1c} > 20 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$, подходит для горнодобывающих буровых коронок (сопротивление сжатию $> 200 \text{ МПа} \pm 10 \text{ МПа}$).

Износостойкость: Мелкозернистый WC повышает износостойкость, износ авиационного инструмента ($0,3 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) $< 0,08 \text{ мм} \pm 0,02 \text{ мм}$, срок службы > 15 часов ± 1 час.

Характеристики спекания: равномерное распределение (отклонение $< 5\% \pm 1\%$), пониженная пористость ($< 0,05\% \pm 0,01\%$) и улучшенная прочность на изгиб ($> 3800 \text{ МПа} \pm 100 \text{ МПа}$).

Производительность обработки: Мелкозернистый WC улучшает равномерность распределения порошка (текучесть $< 30 \text{ с}/50 \text{ г} \pm 2 \text{ с}$) и подходит для 3D-печати (прочность на разрыв $> 800 \text{ МПа} \pm 50 \text{ МПа}$).

Пример: порошок WC $0,5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$ (отклонение распределения $< 3\% \pm 0,5\%$) используется для сверл PCB со сроком службы $> 10^5$ отверстий $\pm 10^4$ отверстий; порошок WC $8 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$ используется для сверл PDC со скоростью сверления $> 5 \text{ м}/\text{ч} \pm 0,5 \text{ м}/\text{ч}$.

(5) Технология контроля качества размера частиц порошка карбида вольфрама

Контроль сырья: размер частиц вольфрамового порошка $< 0,5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$ создает $0,1-0,5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$ WC, а созревание Оствальда (скорость роста $\sim 10^{-9} \text{ м}/\text{с} \pm 10^{-10} \text{ м}/\text{с}$) ингибируется.

Время реакции: 2 часа $\pm 0,1$ часа ($1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$) для получения тонкого WC ($< 0,5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$); 4 часа $\pm 0,1$ часа ($1600^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$) для получения грубого WC ($5-10 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$).

Скорость охлаждения: Быстрое охлаждение ($> 50^\circ\text{C}/\text{мин} \pm 5^\circ\text{C}/\text{мин}$) подавляет рост зерна ($< 0,01 \text{ мкм}/\text{мин} \pm 0,001 \text{ мкм}/\text{мин}$) с отклонением $< 3\% \pm 0,5\%$.

Добавки: Карбид ванадия (VC, $0,1\%-0,5\% \pm 0,01\%$) снижает поверхностную энергию ($< 1 \text{ Дж}/\text{м}^2 \pm 0,1 \text{ Дж}/\text{м}^2$) и уменьшает размер частиц на $10\% \pm 2\%$; Карбид хрома (Cr_2C_3 , $0,5\% \pm 0,01\%$) ингибирует диффузию (коэффициент $< 10^{-11} \text{ см}^2/\text{с} \pm 10^{-12} \text{ см}^2/\text{с}$), с отклонением $< 2\% \pm 0,5\%$.

Оптимизация оборудования: вращающаяся печь (скорость $5 \text{ об.}/\text{мин} \pm 0,5 \text{ об.}/\text{мин}$), динамическое перемешивание, улучшенная однородность размера частиц (отклонение $< 5\% \pm 1\%$).

Последующая обработка: просеивание (размер пор $< 10 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$) для удаления агломератов ($< 5\% \pm 1\%$); классификация воздушного потока (GB/T 19077.1-2008) для корректировки распределения с отклонением $< 2\% \pm 0,5\%$.

(6) Метод определения размера частиц порошка карбида вольфрама

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Лазерный анализ размера частиц: Согласно GB/T 19077.1-2008, лазерный дифрактометр используется для измерения D10, D50 и D90 с отклонением $<5\% \pm 1\%$.

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ): в соответствии с GB/T 16594-2008 наблюдайте за морфологией частиц (полигональная, край $<0,05 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) и агломерацией ($<5\% \pm 1\%$).

Метод седиментации: Согласно GB/T 14634.2-2010, измеряется скорость седиментации и оценивается распределение размеров частиц. Подходит для крупных частиц ($>5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$).

Метод удельной поверхности: Средний размер частиц рассчитывается в соответствии с GB/T 19587-2017 (метод БЭТ). Субмикронная удельная поверхность составляет $>3 \text{ м}^2/\text{г} \pm 0,2 \text{ м}^2/\text{г}$.

Онлайн-мониторинг: лазерный онлайн-анализатор размера частиц используется в процессе производства для контроля распределения в режиме реального времени (отклонение $<3\% \pm 0,5\%$).

Всестороннее воздействие и применение ассоциации

Оптимизация производительности: мелкозернистый карбид вольфрама ($0,1-0,5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) повышает твердость и износостойкость, подходит для авиационных инструментов (срок службы > 15 часов ± 1 час); крупнозернистый карбид вольфрама ($5-10 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) повышает прочность, подходит для горнодобывающих буровых коронок (срок службы $> 1000 \text{ м} \pm 100 \text{ м}$).

Эффективность контроля качества: Вращающаяся печь и добавки (VC, Cr₃C₂) обеспечивают равномерное распределение (отклонение $<5\% \pm 1\%$) и улучшают однородность спекания (плотность $>99\% \pm 0,1\%$).

Надежность обнаружения: Сочетание лазерного анализа размера частиц и СЭМ обеспечивает точные данные о распределении и морфологии для оптимизации параметров процесса.

Характеристики размера частиц порошка карбида вольфрама имеют решающее значение для производительности цементированного карбида. Диапазон размеров частиц ($0,1-10 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) охватывает нанометровые и крупные сорта, а равномерное распределение (отклонение $<5\% \pm 1\%$) обеспечивает постоянство производительности. Мелкие частицы повышают твердость, крупные частицы повышают прочность, а технология контроля качества (контроль сырья, добавки, вращающаяся печь) и методы обнаружения (лазерный анализ размера частиц, СЭМ) обеспечивают точный размер частиц. Оптимизация размера частиц порошка WC обеспечивает высокопроизводительную поддержку для авиационных инструментов, горнодобывающих буров, износостойких форм и других областей.

4.1.4 Чистота порошка карбида вольфрама

Чистота порошка карбида вольфрама (WC) является основным показателем контроля его качества, который напрямую влияет на производительность, обрабатываемость и срок службы цементированного карбида. Ниже приведен всесторонний анализ определения чистоты, основных примесей, влияющих факторов, стратегий оптимизации, методов обнаружения и эффектов применения, основанных на научных данных и промышленных стандартах (таких как GB/T 5124-2017). Текущая дата и время — 22 мая 2025 г. 14:23 НКТ.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(1) Определение и показатель чистоты порошка карбида вольфрама

Определение: Чистота порошка WC относится к содержанию его основного компонента WC, а общее содержание примесей (свободный углерод, оксиды, металлические примеси и т. д.) обычно должно быть как можно ниже.

Ключевые показатели:

Свободный углерод: $<0,1\% \pm 0,01\%$. Слишком высокий уровень снизит твердость (HV $<2800 \pm 50$) и плотность спекания ($<99\% \pm 0,1\%$).

Оксид (например, WO_3): $<0,05\% \pm 0,01\%$. Слишком высокий уровень приведет к увеличению пористости ($>0,1\% \pm 0,02\%$).

Примеси металлов (такие как Fe, Cr): $<0,02\% \pm 0,005\%$, чтобы не влиять на эксплуатационные характеристики твердого сплава.

Чистота фазы WC: $>99,8\% \pm 0,02\%$, что гарантирует отсутствие W_2C или других вторичных фаз (низкая твердость, HV $<2000 \pm 50$).

(2) Основные примеси в порошке карбида вольфрама и их источники

Свободный углерод:

(молярное соотношение W:C $>1,05 \pm 0,01$) или неполная реакция (температура $<1400^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$) во время подготовки к карбонизации.

Воздействие: При содержании свободного углерода $>0,2\% \pm 0,01\%$ твердость снижается на $3\% \pm 0,5\%$ (HV $<2700 \pm 50$), а пористость увеличивается после спекания ($>0,2\% \pm 0,02\%$).

Окись:

Источник: Окисление сырья (вольфрамовый порошок содержит O $>0,1\% \pm 0,01\%$) или высокое содержание кислорода в атмосфере в процессе приготовления ($O_2 >10 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$).

Удар: При содержании оксида $>0,05\% \pm 0,01\%$ пористость после спекания увеличивается ($>0,1\% \pm 0,02\%$), а прочность снижается на $5\% \pm 1\%$ (прочность на изгиб $<3800 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$).

Металлические примеси:

Источник: износ оборудования (например, попадание железа из шаровой мельницы, $>0,1\% \pm 0,01\%$) или загрязнение сырья (Cr, Mo и т. д.).

Воздействие: При содержании Fe $>0,02\% \pm 0,005\%$ твердость снижается на $2\% \pm 0,5\%$ и коррозионная стойкость снижается (скорость коррозии $>0,002 \text{ мм/год} \pm 0,0005 \text{ мм/год}$).

(3) Влияние чистоты порошка карбида вольфрама на эксплуатационные характеристики твердого сплава

Твердость и износостойкость: Высокая чистота (свободный углерод $<0,1\% \pm 0,01\%$) обеспечивает твердость HV $>2900 \pm 50$, износ авиационного инструмента $<0,08 \text{ мм} \pm 0,02 \text{ мм}$, срок службы $>15 \text{ часов} \pm 1 \text{ час}$.

Вязкость: оксид $<0,03\% \pm 0,01\%$ Пониженная пористость, вязкость $K_{1c} > 18 \text{ MPa} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$, срок службы горнодобывающей буровой коронки $>1200 \text{ м} \pm 100 \text{ м}$.

Характеристики спекания: высокая чистота (фаза WC $>99,8\% \pm 0,02\%$), улучшенная плотность ($>99\% \pm 0,1\%$), прочность на сжатие $>4000 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$.

Коррозионная стойкость: Содержание металлических примесей $<0,02\% \pm 0,005\%$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

обеспечивает коррозионную стойкость (pH 2-12, скорость коррозии $<0,001 \text{ мм/год} \pm 0,0002 \text{ мм/год}$), подходит для химического оборудования.

Порошок с содержанием свободного углерода $0,07\% \pm 0,01\%$ и содержанием оксида $<0,02\% \pm 0,005\%$ используется для износостойких форм, а его срок службы составляет $>10^6$ раз $\pm 10^5$ раз, что лучше, чем у WC с содержанием свободного углерода $0,2\% \pm 0,01\%$ (срок службы $<8 \times 10^5$ раз $\pm 10^5$ раз).

(4) Стратегия оптимизации чистоты порошка карбида вольфрама

Контроль сырья:

Чистота вольфрамового порошка $>99,9\% \pm 0,01\%$, содержащий O $<0,05\% \pm 0,01\%$; чистота технического углерода $>99,5\% \pm 0,01\%$, содержащий O $<0,03\% \pm 0,01\%$.

Эффект: Уменьшение количества исходных и конечных оксидов на $0,02\% \pm 0,005\%$.

Контроль содержания углерода:

Молярное соотношение W:C составляет $1:1,01 \pm 0,01$, что обеспечивает полноту реакции, снижение свободного углерода до $0,08\% \pm 0,01\%$ и повышение твердости на $2\% \pm 0,5\%$.

Избыток углерода ($>1,05$) приводит к образованию графита ($>0,3\% \pm 0,01\%$), а недостаток углерода ($<0,98$) приводит к образованию W_2C .

Контроль атмосферы:

Атмосфера водорода (H_2 , $O_2 < 10 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$): восстановление WO_3 (степень восстановления $>99\% \pm 1\%$), оксида $<0,03\% \pm 0,01\%$.

Вакуумная атмосфера ($<10^{-2} \text{ Па} \pm 10^{-3} \text{ Па}$): подавляет улетучивание углерода и повышает чистоту на $1\% \pm 0,2\%$.

Постобработка:

Просеивание (размер пор $<10 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$): удаление агломератов ($<5\% \pm 1\%$) и повышение чистоты на $0,5\% \pm 0,1\%$.

Травление (HCl, pH $2 \pm 0,1$): удаление Fe ($<0,01\% \pm 0,002\%$), увеличение твердости на $1\% \pm 0,2\%$.

Улучшения оборудования:

Используйте высокочистую графитовую печь (содержащую C $<0,01\% \pm 0,002\%$) для снижения выбросов углерода.

Вращающаяся печь (скорость $5 \text{ об./мин} \pm 0,5 \text{ об./мин}$) улучшила однородность реакции и снизила свободный углерод на $0,02\% \pm 0,005\%$.

(5) Метод обнаружения

Определение свободного углерода: Согласно методу химического анализа GB/T 5124-2017, содержание CO_2 измеряется после высокотемпературного сжигания с точностью $\pm 0,005\%$.

Содержание z определяется путем растворения в кислоте и титрования с точностью $\pm 0,002\%$.

Обнаружение примесей металлов: ICP-MS (GB/T 13748.20-2009), обнаружение Fe, Cr и т. д., предел обнаружения $<0,001\%$.

Анализ чистоты фазы: рентгеновская дифракция (XRD, GB/T 27708-2011) для подтверждения чистоты фазы WC и исключения фазы W_2C или графита.

Онлайн-мониторинг: инфракрасные газоанализаторы используются в процессе производства

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

для мониторинга выбросов CO₂ в режиме реального времени и контроля свободного углерода (<0,1% ± 0,01%).

Всестороннее воздействие и применение ассоциации

Улучшенные характеристики: Высокая чистота (свободный углерод <0,1%±0,01%, оксид <0,05%±0,01%) обеспечивает высокую твердость (HV >2900±50) и вязкость (K_{1c} > 18 МПа·м^{1/2}± 0,5) твердого сплава.

Оптимизация процесса: контроль атмосферы и последующая обработка (например, травление) значительно сокращают количество примесей, что подходит для высокотехнологичных применений (инструменты для аэрокосмической промышленности, буровые коронки для горнодобывающей промышленности).

Надежность обнаружения: Сочетание химического анализа и рентгеновской дифракции для обеспечения точных данных о чистоте и оптимизации производственных процессов.

Подвести итог

Чистота порошка карбида вольфрама основана на свободном углероде <0,1% ± 0,01%, оксиде <0,05% ± 0,01% и металлических примесях <0,02% ± 0,005% как ключевых показателях, которые напрямую влияют на твердость, вязкость, спекаемость и коррозионную стойкость цементированного карбида. Чистота может быть эффективно улучшена за счет контроля сырья, точного соотношения содержания углерода, оптимизации атмосферы и технологии последующей обработки, а метод обнаружения (химический анализ, XRD) обеспечивает стабильное качество. Высокочистый порошок WC обеспечивает отличную поддержку производительности для авиационных инструментов, износостойких форм и других областей.

4.1.5 Содержание углерода в порошке карбида вольфрама

Содержание углерода в порошке карбида вольфрама является ключевым параметром при его получении и оптимизации характеристик, который напрямую влияет на его химическую стабильность, твердость и спекаемость.

(1) Определение и показатель содержания углерода в порошке карбида вольфрама

Определение: Содержание углерода относится к общему содержанию углерода в порошке WC, включая связанный углерод (углерод, образующий WC) и свободный углерод (не прореагировавший углерод). Теоретическое содержание углерода в идеальном WC составляет 6,13%±0,01% (молярное соотношение W:C = 1:1).

Основные показатели содержания углерода в порошке карбида вольфрама:

Общее содержание углерода: 6,0%-6,2%±0,01%, включая связанный углерод и свободный углерод.

Свободный углерод: <0,1%±0,01%. Слишком высокий уровень приведет к снижению твердости и плотности.

Связанный углерод: 5,9%-6,1%±0,01%, что отражает степень образования фазы WC.

(2) Диапазон содержания углерода в порошке карбида вольфрама

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Массовая доля углерода, соответствующая молекулярной формуле WC, составляет $6,13\% \pm 0,01\%$, то есть 1 моль W (183,84 г) соединяется с 1 моль C (12,01 г).

Фактический диапазон:

Состояние с низким содержанием углерода ($5,9\% - 6,0\% \pm 0,01\%$): может образовываться фаза W_2C (содержание углерода $3,16\% \pm 0,01\%$) или W, и твердость снижается ($HV < 2000 \pm 50$).

Нормальный диапазон ($6,0\% - 6,2\% \pm 0,01\%$): близко к теоретическому значению, подходит для высокопроизводительного твердого сплава.

Высокоуглеродистое состояние ($>6,2\% \pm 0,01\%$): содержание свободного углерода увеличивается ($>0,2\% \pm 0,01\%$), твердость уменьшается ($HV < 2700 \pm 50$), а пористость увеличивается ($>0,2\% \pm 0,02\%$).

Влияние на подготовку: Метод карбонизации ($1450 - 1600^\circ C \pm 10^\circ C$) контролирует молярное соотношение W:C на уровне $1:1,01 \pm 0,01$ для обеспечения стабильного содержания углерода.

(3) Влияние содержания углерода в порошке карбида вольфрама на эксплуатационные характеристики цементированного карбида

Твердость и износостойкость: Содержание углерода $6,0\% - 6,2\% \pm 0,01\%$ обеспечивает твердость $HV > 2900 \pm 50$, износ авиационного инструмента $< 0,08 \text{ мм} \pm 0,02 \text{ мм}$, срок службы $> 15 \text{ часов} \pm 1 \text{ час}$.

Прочность: Низкое содержание углерода ($<5,9\% \pm 0,01\%$) приводит к образованию W_2C , и прочность снижается ($K_{1c} < 10 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$); высокое содержание углерода ($>6,2\% \pm 0,01\%$) снижает постоянство прочности.

Свойства спекания: Содержание углерода $6,1\% \pm 0,01\%$ оптимизирует плотность спекания ($>99\% \pm 0,1\%$), прочность на сжатие $>4000 \text{ МПа} \pm 100 \text{ МПа}$; свободный углерод $>0,1\% \pm 0,01\%$ приводит к повышенной пористости ($>0,1\% \pm 0,02\%$).

Коррозионная стойкость: Свободный углерод $<0,1\% \pm 0,01\%$ сохраняет коррозионную стойкость (pH 2-12, скорость коррозии $<0,001 \text{ мм/год} \pm 0,0002 \text{ мм/год}$).

Порошок с содержанием углерода $6,08\% \pm 0,01\%$ (свободный углерод $0,07\% \pm 0,01\%$) используется для износостойких форм, а его срок службы составляет $>10^6 \text{ раз} \pm 10^5 \text{ раз}$, что лучше, чем у WC с содержанием углерода $6,25\% \pm 0,01\%$ (свободный углерод $0,2\% \pm 0,01\%$) (срок службы $<8 \times 10^5 \text{ раз} \pm 10^5 \text{ раз}$).

(4) Стратегия оптимизации содержания углерода в порошке карбида вольфрама

Контроль сырья:

Чистота технического углерода составляет $>99,5\% \pm 0,01\%$, а размер частиц $<0,1 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, что обеспечивает равномерное распределение углерода.

Вольфрамовый порошок содержит O $<0,05\% \pm 0,01\%$, что снижает реакцию окисления и влияет на содержание углерода.

Соотношение содержания углерода:

Молярное соотношение W:C составляет $1:1,01 \pm 0,01$, с небольшим избытком углерода для компенсации улетучивания, связанный углерод достигает $6,1\% \pm 0,01\%$, а свободный углерод составляет $<0,1\% \pm 0,01\%$.

Избыток углерода ($>1,05$) приводит к образованию графита ($>0,3\% \pm 0,01\%$); недостаток

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

углерода ($<0,98$) приводит к образованию W_2C .

Условия реакции:

Температура: $1450-1600^{\circ}C \pm 10^{\circ}C$, реакция завершена, степень связывания углерода $>98\% \pm 1\%$.

Атмосфера: водород (H_2 , $O_2 < 10 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$) или вакуум ($<10^{-2} \text{ Па} \pm 10^{-3} \text{ Па}$), снижают улетучивание углерода (потери $<0,1\% \pm 0,01\%$).

Время изоляции: 2–4 часа $\pm 0,1$ часа, чтобы обеспечить достаточную реакцию карбонизации.

Постобработка:

Термическая обработка ($800^{\circ}C \pm 10^{\circ}C$, атмосфера H_2): удаление свободного углерода (снижение на $0,05\% \pm 0,01\%$).

Кислотная промывка (HCl , $pH 2 \pm 0,1$): удаление примесей, вызванных неполной карбонизацией, и повышение чистоты на $0,5\% \pm 0,1\%$.

Оптимизация оборудования:

Вращающаяся печь (скорость 5 об./мин $\pm 0,5$ об./мин) улучшает равномерность смешивания, а отклонение распределения углерода составляет $< 2\% \pm 0,5\%$.

Печь из высокочистого графита (содержание $C < 0,01\% \pm 0,002\%$) снижает экзогенное загрязнение углеродом.

(5) Метод определения содержания углерода в порошке карбида вольфрама

Общее содержание углерода: в соответствии с GB/T 5124-2017, метод инфракрасного поглощения при высокотемпературном сжигании, измерение содержания CO_2 , точность $\pm 0,005\%$.

Связанный углерод: После высокотемпературного сжигания свободный углерод отделяется путем кислотного растворения, а оставшийся углерод представляет собой связанный углерод с точностью $\pm 0,002\%$.

Свободный углерод: рассчитывается по разнице (общий углерод - связанный углерод) или методом прямого сжигания, точность $\pm 0,005\%$.

Фазовый анализ: рентгеновская дифракция (XRD, GB/T 27708-2011) для подтверждения чистоты фазы WC и обнаружения фазы W_2C или графита.

Онлайн-мониторинг: инфракрасный газоанализатор отслеживает выбросы CO_2 в режиме реального времени и контролирует свободный углерод ($<0,1\% \pm 0,01\%$).

Комплексное влияние содержания углерода в порошке карбида вольфрама и корреляция его применения

Содержание $6,0\%-6,2\% \pm 0,01\%$ (свободный углерод $<0,1\% \pm 0,01\%$) обеспечивает высокую твердость ($HV > 2900 \pm 50$) и вязкость ($K_{1c} > 18 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$) твердого сплава.

Эффективность процесса: точное соотношение и контроль атмосферы снижают отклонение углерода, подходят для авиационных инструментов (срок службы >15 часов ± 1 час) и износостойких форм ($>10^6$ раз $\pm 10^5$ раз).

Надежность обнаружения: Сочетание химического анализа и рентгеновской дифракции обеспечивает точные данные о содержании углерода и оптимизирует производственный процесс.

Содержание углерода в порошке карбида вольфрама находится в идеальном диапазоне $6,0\%$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- $6,2\% \pm 0,01\%$, с $5,9\% - 6,1\% \pm 0,01\%$ связанного углерода и $<0,1\% \pm 0,01\%$ свободного углерода, что имеет решающее значение для твердости, прочности и производительности спекания. Содержание углерода можно эффективно регулировать с помощью контроля сырья, оптимизации соотношения W:C, регулировки условий реакции и технологии последующей обработки, а метод обнаружения (метод инфракрасного поглощения, XRD) обеспечивает стабильное качество. Порошок WC с соответствующим содержанием углерода обеспечивает высокопроизводительную поддержку для авиационных инструментов, горнодобывающих буровых долот и других областей.

4.1.6 Контроль качества и испытания размера частиц, чистоты, содержания углерода и т. д. порошка карбида вольфрама

Размер частиц, чистота и содержание углерода в порошке карбида вольфрама (WC) являются ключевыми параметрами для контроля его качества, которые напрямую определяют производительность и надежность применения цементированного карбида. Ниже приведен всесторонний анализ технологии контроля качества, методов обнаружения и всестороннего воздействия, основанный на научных данных и промышленных стандартах (таких как GB/T 19077.1-2008, GB/T 5124-2017). Текущая дата и время : 22 мая 2025 г. 14:32 НКТ.

(1) Контроль качества размера частиц и испытания порошка карбида вольфрама

Технология управления:

Контроль сырья: размер частиц вольфрамового порошка $<0,5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$ создает $0,1-0,5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$ WC, а созревание Оствальда (скорость роста $\sim 10^{-9} \text{ м/с} \pm 10^{-10} \text{ м/с}$) ингибируется.

Время реакции: 2 часа $\pm 0,1$ часа ($1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$) для получения тонкого WC ($<0,5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) ; 4 часа $\pm 0,1$ часа ($1600^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$) для получения грубого WC ($5-10 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) .
Скорость охлаждения: Быстрое охлаждение ($>50^\circ\text{C/мин} \pm 5^\circ\text{C/мин}$) подавляет рост зерна ($<0,01 \text{ мкм/мин} \pm 0,001 \text{ мкм/мин}$) с отклонением $<3\% \pm 0,5\%$.

Добавки: Карбид ванадия (VC, $0,1\%-0,5\% \pm 0,01\%$) снижает поверхностную энергию ($<1 \text{ Дж/м}^2 \pm 0,1 \text{ Дж/м}^2$) и уменьшает размер частиц на $10\% \pm 2\%$; Карбид хрома (Cr_3C_2 , $0,5\% \pm 0,01\%$) ингибирует диффузию (коэффициент $<10^{-11} \text{ см}^2/\text{с} \pm 10^{-12} \text{ см}^2/\text{с}$), с отклонением $<2\% \pm 0,5\%$.

Оптимизация оборудования: Вращающаяся печь (скорость $5 \text{ об./мин} \pm 0,5 \text{ об./мин}$) улучшает однородность смешивания, а отклонение распределения размеров частиц составляет $<5\% \pm 1\%$.

Последующая обработка: просеивание (размер пор $<10 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$) для удаления агломератов ($<5\% \pm 1\%$); классификация воздушного потока (GB/T 19077.1-2008) для корректировки распределения с отклонением $<2\% \pm 0,5\%$.

Метод обнаружения:

Лазерный анализ размера частиц: Согласно GB/T 19077.1-2008, лазерный дифрактометр используется для измерения D10, D50 и D90 с отклонением $<5\% \pm 1\%$ и субмикронного $D50=0,3 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$.

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ): в соответствии с GB/T 16594-2008

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

наблюдайте за морфологией (полигональная, край $<0,05 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) и агломерацией ($<5\% \pm 1\%$).

Метод седиментации: в соответствии с GB/T 14634.2-2010 он измеряет скорость седиментации и подходит для крупных частиц ($>5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$).

Метод удельной поверхности: Средний размер частиц рассчитывается в соответствии с GB/T 19587-2017 (метод БЭТ). Субмикронная удельная поверхность составляет $>3 \text{ м}^2/\text{г} \pm 0,2 \text{ м}^2/\text{г}$.

Онлайн-мониторинг: лазерный онлайн-анализатор размера частиц контролирует распределение в режиме реального времени с отклонением $<3\% \pm 0,5\%$.

(2) Контроль чистоты и качества порошка карбида вольфрама

Технология управления:

Контроль сырья: чистота вольфрамового порошка $>99,9\% \pm 0,01\%$, содержание O $<0,05\% \pm 0,01\%$; чистота технического углерода $>99,5\% \pm 0,01\%$, содержание O $<0,03\% \pm 0,01\%$.

Соотношение содержания углерода: молярное соотношение W:C $1:1,01 \pm 0,01$, содержание свободного углерода снижено до $0,08\% \pm 0,01\%$.

Контроль атмосферы: водород (H_2 , $\text{O}_2 < 10 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$) снижает WO_3 (степень восстановления $>99\% \pm 1\%$), оксид $<0,03\% \pm 0,01\%$; вакуумная атмосфера ($<10^{-2} \text{ Па} \pm 10^{-3} \text{ Па}$) подавляет улетучивание углерода.

Последующая обработка: просеивание (размер пор $<10 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$) для удаления агломератов и повышения чистоты на $0,5\% \pm 0,1\%$; промывка кислотой (HCl, pH $2 \pm 0,1$) для удаления Fe ($< 0,01\% \pm 0,002\%$).

Оптимизация оборудования: Печь с графитом высокой чистоты (содержание C $<0,01\% \pm 0,002\%$) снижает загрязнение углеродом, а вращающаяся печь улучшает однородность реакции.

Метод обнаружения:

Обнаружение свободного углерода: на основе GB/T 5124-2017, метод высокотемпературного сжигания с поглощением инфракрасного излучения, точность $\pm 0,005\%$.

Обнаружение оксида: Согласно GB/T 5124-2017, WO_3 определяется титрованием раствора кислоты с точностью $\pm 0,002\%$.

Обнаружение примесей металлов: ICP-MS (GB/T 13748.20-2009), обнаружение Fe и Cr, предел обнаружения $<0,001\%$.

Анализ чистоты фазы: рентгеновская дифракция (XRD, GB/T 27708-2011) подтвердила, что чистота фазы WC составила $>99,8\% \pm 0,02\%$.

Онлайн-мониторинг: инфракрасный газоанализатор отслеживает CO_2 в режиме реального времени и контролирует свободный углерод $<0,1\% \pm 0,01\%$.

(3) Контроль качества и проверка содержания углерода в порошке карбида вольфрама

Технология управления:

Контроль сырья: размер частиц технического углерода $<0,1 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, чистота $> 99,5\% \pm 0,01\%$, что обеспечивает однородность углерода.

Соотношение содержания углерода: молярное соотношение W:C $1:1,01 \pm 0,01$, связанный

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

углерод $6,1\% \pm 0,01\%$, свободный углерод $< 0,1\% \pm 0,01\%$.

Условия реакции: $1450-1600^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, поддерживать в тепле в течение 2-4 часов $\pm 0,1$ часа, полная реакция; атмосфера водорода или вакуума для уменьшения улетучивания углерода (потери $< 0,1\% \pm 0,01\%$).

Последующая обработка: термическая обработка ($800^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, атмосфера H_2) для удаления свободного углерода (снижение на $0,05\% \pm 0,01\%$); травление для удаления обугленных примесей.

Оптимизация оборудования: Вращающаяся печь (скорость 5 об./мин $\pm 0,5$ об./мин) улучшает равномерность распределения углерода с отклонением $< 2\% \pm 0,5\%$.

Метод обнаружения:

Общее содержание углерода: на основе GB/T 5124-2017, метод высокотемпературного сжигания с поглощением инфракрасного излучения, точность $\pm 0,005\%$.

Комбинированный углерод: кислотное растворение и разделение после высокотемпературного сжигания, точность $\pm 0,002\%$.

Свободный углерод: расчет разницы или метод прямого сжигания, точность $\pm 0,005\%$.

Фазовый анализ: рентгеновская дифракция (GB/T 27708-2011) подтверждает фазу WC и обнаруживает фазу W_2C или графита.

Онлайн-мониторинг: инфракрасный газоанализатор отслеживает уровень CO_2 в режиме реального времени и контролирует содержание углерода на уровне $6,0\% - 6,2\% \pm 0,01\%$.

(4) Комплексное влияние качества порошка карбида вольфрама и его применение

Оптимизация производительности: размер частиц $0,1-0,5$ мкм $\pm 0,01$ мкм повышает твердость ($\text{HV} > 3000 \pm 50$), $5-10$ мкм $\pm 0,01$ мкм повышает ударную вязкость ($K_{\text{IC}} > 20$ МПа·м^{1/2} $\pm 0,5$); чистота (свободный углерод $< 0,1\% \pm 0,01\%$, оксид $< 0,05\% \pm 0,01\%$) обеспечивает плотность ($> 99\% \pm 0,1\%$); содержание углерода $6,0\% - 6,2\% \pm 0,01\%$ оптимизирует твердость и износостойкость.

Эффективность процесса: вращающаяся печь, добавки (VC , Cr_3C_2) и контроль атмосферы ($\text{O}_2 < 10$ ppm ± 1 ppm) улучшают постоянство качества для аэрокосмических инструментов (срок службы > 15 часов ± 1 час) и горнодобывающих буровых коронок (> 1000 м ± 100 м).

Надежность обнаружения: лазерный анализ размера частиц, химический анализ и рентгеновская дифракция объединены для получения точных данных и оптимизации производственных процессов.

(5) Проблемы и усовершенствования в контроле качества и испытаниях порошка карбида вольфрама

Проблемы: Широкое распределение размеров частиц ($> 10\% \pm 2\%$) приводит к колебаниям производительности; введение примесей чистоты (таких как Fe $> 0,02\% \pm 0,005\%$) влияет на коррозионную стойкость; отклонение содержания углерода ($> 0,1\% \pm 0,01\%$) приводит к фазовым примесям.

Улучшение: для контроля параметров процесса (температура, атмосфера) был внедрен ИИ, отклонение размера частиц составило $< 2\% \pm 0,5\%$, чистота была увеличена на $0,5\% \pm 0,1\%$, а содержание углерода стабилизировалось на уровне $6,1\% \pm 0,01\%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Размер частиц ($0,1-10 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$), чистота (свободный углерод $<0,1\% \pm 0,01\%$, оксид $<0,05\% \pm 0,01\%$) и содержание углерода ($6,0\%-6,2\% \pm 0,01\%$) порошка карбида вольфрама контролируются посредством контроля сырья, оптимизации реакции, добавок и усовершенствования оборудования. Методы обнаружения (лазерный анализ размера частиц, химический анализ, XRD) обеспечивают точные параметры, оптимизируют производительность цементованного карбида и поддерживают высокотехнологичные приложения, такие как авиационные инструменты, износостойкие формы и горнодобывающие буры.

4.2 Связующая фаза и добавки твердого сплава

Связующая фаза (Co, Ni, $5\%30\% \pm 1\%$) обеспечивает прочность ($K_{1c} 820 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$) и ударопрочность (энергия удара $>10 \text{ Дж} \pm 1 \text{ Дж}$), а ингибитор зерна (VC, Cr_3C_2 , $<1\% \pm 0,01\%$) контролирует рост зерна WC ($<0,01 \text{ мкм/мин} \pm 0,001 \text{ мкм/мин}$) и повышает твердость ($\text{HV} > 2000 \pm 30$). Выбор связующей фазы и добавок влияет на производительность: Co высокой чистоты ($>99,9\% \pm 0,01\%$) повышает прочность, Ni ($>99,8\% \pm 0,01\%$) улучшает коррозионную стойкость (скорость коррозии $<0,01 \text{ мм/год} \pm 0,002 \text{ мм/год}$), а VC/ Cr_3C_2 оптимизирует мелкозернистую структуру (размер зерна WC $<0,5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$). В этом разделе анализируются характеристики порошка Co/Ni и механизм ингибитора зерна.

4.2.1 Характеристики и выбор связующих веществ из карбида вольфрама – порошки Co и Ni

Связующая фаза является важным компонентом твердого сплава, который играет роль связующего звена частиц WC и обеспечивает ключевые свойства, такие как прочность, производительность обработки и коррозионная стойкость. Кобальт (Co) и никель (Ni) являются наиболее часто используемыми связующими для твердого сплава, а их характеристики и выбор напрямую влияют на производительность твердого сплава.

(1) Свойства материалов и требования

Фаза связующего играет роль «моста» в твердом сплаве, заполняя промежутки между частицами WC, повышая прочность и технологические свойства материала, одновременно влияя на коррозионную стойкость и высокотемпературную стабильность. Co и Ni являются предпочтительными связующими из-за их превосходных физических и химических свойств.

Характеристики порошка Co:

Кристаллическая структура: гранецентрированная кубическая (ГЦК) структура, параметр решетки $a = 0,3544 \text{ нм} \pm 0,0001 \text{ нм}$, с высокой симметрией, система скольжения >12 , что обеспечивает превосходную способность к пластической деформации.

Плотность: $8,90 \text{ г/см}^3 \pm 0,05 \text{ г/см}^3$, близка к WC ($15,63 \text{ г/см}^3 \pm 0,05 \text{ г/см}^3$), что снижает напряжение при спекании.

Температура плавления: $1495^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$, подходит для высокотемпературного спекания ($>1200^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Твердость: твердость по Виккерсу HV 100±10, ниже, чем по Виккерсу, что обеспечивает запас прочности.

Прочность: вязкость разрушения K_{Ic} с 15-20 МПа·м^{1/2} ± 0,5, лучше, чем у Ni (K_{Ic} с 12-15 МПа·м^{1/2} ± 0,5).

Теплопроводность: 80 Вт / (м · К) ± 5 Вт / (м · К) , способствует рассеиванию тепла и продлевает срок службы инструмента.

Коэффициент теплового расширения: $5,0 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \pm 0,2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, что соответствует WC ($5,2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \pm 0,2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) , что снижает термическое напряжение (<50 МПа ± 10 МПа).
: чистота >99,9%±0,01%, Fe <0,01%±0,002%, O <0,05%±0,01%, размер частиц 0,5-3 мкм±0,01 мкм .

Влияние на эксплуатационные характеристики: прочность на изгиб твердого сплава, содержащего 10%±1% Co, составляет >4000 МПа±100 МПа, а вязкость разрушения K_{Ic} >18 МПа·м^{1/2} ± 0,5, что подходит для режущих инструментов и горнодобывающего оборудования.

Характеристики никелевого порошка:

Кристаллическая структура: гранцентрированная кубическая (ГЦК) структура, параметр решетки $a = 0,3524 \text{ nm} \pm 0,0001 \text{ nm}$, система скольжения >12, способность к пластической деформации немного ниже, чем у Co.

Плотность: 8,91 г/см³ ± 0,05 г/см³ , хорошо сочетается с WC.

Температура плавления: 1455°C±5°C, подходит для высокотемпературного спекания.

Твёрдость: твёрдость по Виккерсу HV 90±10, мягче, чем Co, немного ниже вязкость.

Коррозионная стойкость: Коррозионный потенциал составляет 0,2 В ± 0,02 В (по сравнению с SCE), что лучше, чем у Co (0,1 В ± 0,02 В). Скорость коррозии в среде pH 2-12 составляет <0,02 мм/год ± 0,005 мм/год.

Теплопроводность: 90 Вт / (м · К) ± 5 Вт / (м · К) , выше, чем у Co, что способствует рассеиванию тепла.

Коэффициент термического расширения: $6,0 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \pm 0,2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, что немного отличается от WC, а напряжение после спекания немного выше (<70 МПа ± 10 МПа).

: чистота >99,8%±0,01%, Fe <0,02%±0,002%, O <0,1%±0,01%, размер частиц 0,5-5 мкм±0,01 мкм .

Влияние на производительность: Скорость коррозии твердого сплава, содержащего 12% ± 1% Ni, в морской среде (pH 8, глубина 5000 м, соленость 3,5%) составляет 0,02 мм/год ± 0,005 мм/год, что подходит для коррозионно-стойких сценариев.

Соотношение и сценарии применения:

Co составляет >80%±2% связующей фазы. Благодаря своей превосходной прочности он подходит для сценариев с высокой ударной нагрузкой (например, авиационные инструменты и горнодобывающие буровые коронки).

Содержание Ni составляет <20%±2%. Благодаря своей высокой коррозионной стойкости он подходит для использования в химических и морских средах (например, в глубоководных клапанах и корпусах химических насосов).

Примеры:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Энергия удара инструмента, содержащего $10\% \pm 1\%$ Co, при авиационной резке (1000°C , сплав Ti-6Al-4V) составляет $>12 \text{ Дж} \pm 1 \text{ Дж}$, величина износа составляет $<0,15 \text{ мм} \pm 0,03 \text{ мм}$, а срок службы $>12 \text{ ч} \pm 1 \text{ ч}$.

Для глубоководных клапанов (5000 м, соленость 3,5%), содержащих $12\% \pm 1\%$ Ni, глубина коррозии составляет $<3 \text{ мкм} \pm 0,5 \text{ мкм}$, а срок службы составляет $>5 \text{ лет} \pm 0,5 \text{ лет}$.

(2) Критерии выбора и оптимизации порошков Co и Ni

При выборе порошков Co и Ni необходимо учитывать чистоту, размер частиц, морфологию, производственный процесс и совместимость с WC для оптимизации характеристик твердого сплава.

чистота:

Co: $>99,9\% \pm 0,01\%$, Fe $<0,01\% \pm 0,002\%$, O $<0,05\% \pm 0,01\%$. Низкое содержание Fe снижает образование η -фазы (Co з W з C) ($<0,5\% \pm 0,1\%$), низкое содержание O снижает пористость ($<0,1\% \pm 0,02\%$) и увеличивает прочность на $3\% \pm 0,5\%$.

Ni: $>99,8\% \pm 0,01\%$, Fe $<0,02\% \pm 0,002\%$, O $<0,1\% \pm 0,01\%$. Низкое содержание примесей повышает коррозионную стойкость и снижает скорость коррозии на $2\% \pm 0,5\%$.

Влияние: Высокая чистота снижает дефекты спекания (такие как поры и включения) и увеличивает прочность на изгиб до $>4200 \text{ МПа} \pm 100 \text{ МПа}$.

Размер частиц:

Co: $0,5\text{-}1 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, улучшает дисперсию (однородность $> 95\% \pm 1\%$) и прочность на $5\% \pm 1\%$; $> 3 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$ приводит к неравномерному распределению и снижению прочности на $3\% \pm 0,5\%$.

Ni: $0,5\text{-}3 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, соответствует WC ($1 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$), прочность связи на границе раздела $> 50 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$, коррозионная стойкость увеличивается на $2\% \pm 0,5\%$; $> 5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$ снижает однородность и скорость коррозии увеличивается на $1\% \pm 0,2\%$.

Влияние: Мелкий размер частиц повышает однородность распределения связующей фазы, а пористость после спекания составляет $<0,05\% \pm 0,01\%$.

Появление:

Co: сферический (степень сфероидизации $> 90\% \pm 2\%$), сниженная агломерация ($< 5\% \pm 1\%$), текучесть улучшена на $3\% \pm 0,5\%$ ($< 25 \text{ с}/50 \text{ г} \pm 2 \text{ с}$, GB/T 1482-2010), подходит для компрессионного формования.

Ni: полигональный (ребро $<0,1 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) или почти сферический, повышает прочность связи на границе раздела ($> 50 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$) и повышает износостойкость.

Воздействие: Оптимизированная морфология улучшает равномерность распределения порошка и прочность сцепления при спекании, а шероховатость поверхности твердого сплава составляет Ra $<5 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$.

Химическая стабильность:

Co: Скорость окисления на воздухе при $<600^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ составляет $<0,01 \text{ мг}/\text{см}^2 \cdot \text{ч} \pm 0,002$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

мг/см² · ч. Атмосферу спекания необходимо контролировать ($O_2 < 10 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$).

Ni: Скорость коррозии в среде с pH 2–12 составляет $< 0,02 \text{ мм/год} \pm 0,005 \text{ мм/год}$, а его устойчивость к кислотам и щелочам лучше, чем у Co.

Воздействие: Высокая коррозионная стойкость Ni подходит для кислых сред (например, корпусов химических насосов, pH 2–12), а Co необходимо защищать от высокотемпературного окисления.

Процесс производства:

Co:

Электролитический метод: $O < 0,03\% \pm 0,005\%$, $Fe < 0,005\% \pm 0,001\%$, чистота повышена на $1\% \pm 0,2\%$, подходит для применений с высокой прочностью.

Карбонильный метод: $O > 0,1\% \pm 0,01\%$, $Fe < 0,01\% \pm 0,002\%$, низкая стоимость, но немного более низкая чистота.

Метод измельчения: размер частиц $0,5\text{-}3 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, подходит для массового производства.

Ni:

Метод распыления: $Fe < 0,01\% \pm 0,002\%$, $O < 0,05\% \pm 0,01\%$, сферические частицы ($> 90\% \pm 2\%$), подходит для требований высокой чистоты.

Метод электролиза: размер частиц $1\text{-}5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, $O < 0,1\% \pm 0,01\%$, низкая стоимость.

Карбонильный метод: Морфология однородная, но содержание Fe немного выше ($< 0,02\% \pm 0,002\%$).

Влияние: Электролитический Co и распыленный Ni улучшают чистоту и однородность морфологии, а цементированный карбид имеет более высокие эксплуатационные характеристики.

Совместимость с туалетом:

Co: Краевой угол смачивания с WC составляет $< 10^\circ \pm 1^\circ$, а прочность связи составляет $> 60 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$, что подходит для сценариев, требующих высокой прочности.

Ni: краевой угол смачивания $< 15^\circ \pm 1^\circ$, прочность связи $> 50 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$, коррозионная стойкость лучше, чем у Co.

Удар: Хорошая смачиваемость гарантирует отсутствие дефектов на границе раздела после спекания, а прочность на изгиб составляет $> 4000 \text{ МПа} \pm 100 \text{ МПа}$.

Примеры:

$K_{1c} 18 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$), изготовленный из электролитического Co $0,8 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$ ($O < 0,03\% \pm 0,005\%$), используется для горнодобывающих буровых коронок (удар $> 200 \text{ МПа} \pm 10 \text{ МПа}$) со сроком службы $> 1200 \text{ м} \pm 100 \text{ м}$.

$2 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$ ($Fe < 0,01\% \pm 0,002\%$) (скорость коррозии $0,01 \text{ мм/год} \pm 0,002 \text{ мм/год}$) используется на химических заводах (pH 4) со сроком службы $> 3 \text{ лет} \pm 0,3 \text{ года}$.

(3) Стратегия оптимизации для порошков Co и Ni

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Процесс смешивания:

Фаза композитного соединения Co+Ni : соотношение Co:Ni 4:1±0,2, сочетающее высокую прочность Co и коррозионную стойкость Ni, подходит для морского горнодобывающего оборудования (ударная прочность>10 Дж±1 Дж, скорость коррозии<0,015 мм/год±0,002 мм/год).

Процесс шарового измельчения: скорость вращения 300 об./мин ± 10 об./мин, соотношение шаров к материалу 10:1 ± 0,1, время 10-20 часов ± 1 час, обеспечивается равномерное диспергирование (однородность > 95% ± 1%).

Добавки: 0,1%-0,5%±0,01% VC или Cr з С 2 подавляют рост зерна, а отклонение размера частиц составляет <3%±0,5%.

Процесс спекания:

Вакуумное спекание: 1350°C±10°C, атмосфера <10⁻² Па±10⁻³ Па, пониженное окисление (O <0,02%±0,005%).

ГИП (горячее изостатическое прессование): 1400°C±10°C, давление 100 МПа±5 МПа, плотность>99,5%±0,1%, увеличение прочности 5%±1%.

Контроль атмосферы: атмосфера Н₂ (O₂ < 10 ppm ± 1 ppm) подавляет окисление Co, а атмосфера Ar защищает стабильность Ni.

Обработка поверхности:

Порошок Co: пассивация поверхности (адсорбция O₂ <0,01 мг/г ± 0,002 мг/г), снижение окисления при хранении.

Порошок Ni: Антиокислительное покрытие (например, тонкий слой SiO₂, толщина <0,1 мкм ± 0,01 мкм), повышающее коррозионную стойкость на 1% ± 0,2%.

(4) Инженерное приложение

Твердый сплав на основе кобальта:

Авиационные инструменты

Содержит 10%±1% Co, твердость HV 2900±50, K₁ с 18 МПа·м^{1/2} ± 0,5, резка Ti-6Al-4V (1000°C, скорость>300 м/мин±10 м/мин), величина износа<0,15 мм±0,03 мм, срок службы>12 часов±1 час.

Горнодобывающие буровые коронки

Содержит 8%±1% Co, ударопрочность>10 Дж±1 Дж, бурение твердых пород (сопротивление сжатию>200 МПа±10 МПа), срок службы>1200 м±100 м.

Износостойкая форма

Содержит 12%±1% Co, холодная высадка (>10⁶ раз±10⁵ раз), деформация <0,01 мм±0,002 мм.

Твердый сплав на основе никеля:

Глубоководные клапаны

Содержит 12%±1% Ni, глубина коррозии <5 мкм±1 мкм, срок службы в глубоководной морской среде (5000 м, соленость 3,5%) >5 лет±0,5 года.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Корпус химического насоса

Содержит $15\% \pm 1\%$ Ni, pH 2-12, скорость коррозии $0,01 \text{ мм/год} \pm 0,002 \text{ мм/год}$, срок службы >2 года $\pm 0,2$ года.

Морское горнодобывающее оборудование

Содержит $10\% \pm 1\%$ Ni + $5\% \pm 1\%$ Co, ударопрочность $>8 \text{ Дж} \pm 1 \text{ Дж}$, коррозионная стойкость улучшена на $3\% \pm 0,5\%$, срок службы >3 года $\pm 0,3$ года.

Фаза соединения композита Co+Ni :

Инструмент для бурения нефтяных скважин: соотношение Co:Ni $3:1 \pm 0,2$, K_1 с $16 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$, скорость коррозии $<0,015 \text{ мм/год} \pm 0,002 \text{ мм/год}$, срок службы >1000 часов ± 100 часов.

(5) Тенденции развития

Наномасштабная связующая фаза: Разработка порошка Co/Ni $<0,5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, улучшенная дисперсность (однородность $> 98\% \pm 1\%$), твердость карбида $> \text{HV } 3000 \pm 50$, ударная вязкость $> K_{1c} \text{ с } 20 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$.

Экологичное производство: использование электролиза возобновляемой энергии для производства порошка Co/Ni, что позволяет сократить потребление энергии на $15\% \pm 2\%$ и сократить выбросы ($\text{CO}_2 < 500 \text{ кг/т} \pm 50 \text{ кг/т}$).

Интеллектуальное управление: внедрен ИИ для оптимизации соотношения Co/Ni и параметров спекания, что повышает стабильность производительности на $5\% \pm 1\%$ и эффективность производства на $10\% \pm 2\%$.

Co и Ni используются в качестве связующих веществ из цементированного карбида. Co (FCC, $a=0,3544 \text{ нм} \pm 0,0001 \text{ нм}$, температура плавления $1495 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$) в основном характеризуется высокой вязкостью ($K_{1c} \text{ с } 15\text{-}20 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$), что составляет $>80\% \pm 2\%$, и подходит для авиационных инструментов и горнодобывающих буров; Ni (FCC, $a=0,3524 \text{ нм} \pm 0,0001 \text{ нм}$, температура плавления $1455 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$) характеризуется коррозионной стойкостью (скорость коррозии $<0,02 \text{ мм/год} \pm 0,005 \text{ мм/год}$), что составляет $<20\% \pm 2\%$, и подходит для морских и химических сред. Критерии отбора фокусируются на чистоте (Co $>99,9\% \pm 0,01\%$, Ni $>99,8\% \pm 0,01\%$), размере частиц (Co $0,5\text{-}1 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, Ni $0,5\text{-}3 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) и морфологии (сферический Co, полигональный Ni). Благодаря оптимизации процесса производства (электролитический Co, распыленный Ni), процесса смешивания и технологии спекания, эксплуатационные характеристики твердого сплава значительно улучшаются для удовлетворения потребностей разнообразной техники. В будущем нано-, экологичность и интеллектуальность станут направлениями развития порошка Co/Ni.

4.2.2 Механизм действия ингибиторов зерен (карбид ванадия (VC) и карбид хрома (Cr₃C₂))

рост зерен WC (карбида вольфрама) при получении твердого сплава. Карбид ванадия (VC) и карбид хрома (Cr₃C₂) являются двумя наиболее часто используемыми. Добавляя VC и Cr₃C₂, можно эффективно измельчать зерна, повышать твердость и прочность, а также оптимизировать эксплуатационные характеристики твердого сплава. Ниже приводится подробный анализ с точки зрения основных характеристик, механизма ингибирования,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

влияющих факторов, стратегии оптимизации и инженерного применения.

(1) Основные характеристики

VC (карбид ванадия):

Химическая формула: VC, кубическая кристаллическая система (ГЦК), параметр решетки $a = 0,416 \text{ нм} \pm 0,001 \text{ нм}$.

Плотность: $5,77 \text{ г/см}^3 \pm 0,05 \text{ г/см}^3$, температура плавления $2830^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, твердость HV 2800 ± 50 .

Характеристики: высокая твердость, высокая термическая стабильность, низкая растворимость в связующей фазе Co ($\sim 5\% \pm 0,5\%$), подходит для субмикронных твердых сплавов.

Cr₃C₂ (карбид хрома):

Химическая формула: Cr₃C₂, орторомбическая кристаллическая система, параметры решетки $a = 0,552 \text{ нм} \pm 0,001 \text{ нм}$, $b = 1,149 \text{ нм} \pm 0,001 \text{ нм}$, $c = 0,283 \text{ нм} \pm 0,001 \text{ нм}$.

Плотность: $6,68 \text{ г/см}^3 \pm 0,05 \text{ г/см}^3$, температура плавления $1895^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, твердость HV 1300 ± 50 .

Характеристики: Хорошая коррозионная стойкость, высокая термическая стабильность, определенная растворимость в фазе связи Co/Ni (растворимость в Co $\sim 2\% \pm 0,2\%$), подходит для твердого сплава микронного размера.

(2) Механизм и эффект ингибирования

Ингибиторы зерен могут значительно повысить твердость (HV $>2000 \pm 30$) и прочность ($>4000 \text{ МПа} \pm 100 \text{ МПа}$) твердого сплава за счет регулирования характера роста зерен WC во время спекания (скорость роста $<0,01 \text{ мкм/мин} \pm 0,001 \text{ мкм/мин}$).

Механизм торможения VC:

В процессе спекания VC частично растворяется в фазе Co (растворимость $\sim 5\% \pm 0,5\%$), снижает энергию интерфейса WC/Co ($<0,5 \text{ Дж/м}^2 \pm 0,1 \text{ Дж/м}^2$) и ингибирует процесс растворения-пересадки WC (созревание Оствальда, скорость $<10^{-9} \text{ м/с} \pm 10^{-10} \text{ м/с}$), образуя наноразмерные частицы ($<0,1 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$), которые препятствуют миграции и слиянию зерен WC.

Эффект: Добавление $0,5\% \pm 0,01\%$ VC может уменьшить средний размер зерна WC с $1 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$ до $0,3 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, повысить твердость на $10\% \pm 2\%$ (HV $> 2200 \pm 30$) и улучшить износостойкость (потеря износа $< 0,08 \text{ мм} \pm 0,02 \text{ мм}$).

Механизм ингибирования Cr₃C₂:

Cr₃C₂ осаждает тонкий слой (толщиной $<5 \text{ нм} \pm 1 \text{ нм}$) на границе раздела WC/Co, затрудняя диффузию атомов C и W (коэффициент диффузии $<10^{-11} \text{ см}^2/\text{с} \pm 10^{-12} \text{ см}^2/\text{с}$) и уменьшая слияние зерен (скорость слияния $<5\% \pm 1\%$).

Cr₃C₂ частично растворяется в фазе Co, изменяя межфазную энергию спекания жидкой фазы

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(снижается до $<1 \text{ Дж/м}^2 \pm 0,1 \text{ Дж/м}^2$) и замедляя скорость растворения-пересадения WC.

Эффект:

Добавление $0,5\% \pm 0,01\% \text{ Cr}_3\text{C}_2$ позволяет сохранить размер зерна WC на уровне $0,5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, повысить прочность на $5\% \pm 1\%$ (прочность на изгиб $> 4200 \text{ МПа} \pm 100 \text{ МПа}$) и улучшить коррозионную стойкость (скорость коррозии $< 0,015 \text{ мм/год} \pm 0,002 \text{ мм/год}$).

Область применения:

VC больше подходит для субмикронного твердого сплава (зерна WC $< 0,5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) из-за его сильного ингибирующего эффекта.

Cr_3C_2 больше подходит для твердого сплава микронного размера (зерна WC $1-3 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$), поскольку он сочетает в себе прочность и коррозионную стойкость.

Влияние на производительность:

Измельченные зерна повышают твердость и износостойкость.

Твердость твердого сплава, содержащего $0,5\% \pm 0,01\% \text{ VC}$, составляет $\text{HV} > 3100 \pm 50$, что подходит для обработки в авиации.

Упрочнение границ зерен повышает прочность и ударную вязкость

Прочность на изгиб твердого сплава, содержащего $0,5\% \pm 0,01\% \text{ Cr}_3\text{C}_2$, составляет $> 4200 \text{ МПа} \pm 100 \text{ МПа}$, а вязкость разрушения $K_{1c} > 18 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$.

Высокая температурная стабильность

VC повышает стабильность границ зерен, а деформация твердого сплава при $1000^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ составляет $< 0,01 \text{ мм} \pm 0,002 \text{ мм}$.

(3) Факторы влияния и оптимизация

Эффект ингибиторов зернистости зависит от многих факторов, таких как количество добавляемых веществ, размер частиц, температура спекания и атмосфера, а наилучшая производительность должна быть обеспечена путем оптимизации процесса.

Сумма дополнения:

VC: $0,1\% - 0,5\% \pm 0,01\%$. Избыточное количество ($> 0,8\% \pm 0,01\%$) приведет к образованию хрупкой фазы V_6C_5 (твердость $\text{HV} < 1500 \pm 50$), что приведет к снижению вязкости на $10\% \pm 2\%$ ($K_{1c} < 15 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$).

Cr_3C_2 : $0,5\% - 1\% \pm 0,01\%$. Избыточное количество ($> 1,5\% \pm 0,01\%$) снижает текучесть фазы Co ($< 10 \text{ с/50 г} \pm 0,5 \text{ с}$), а плотность уменьшается на $1\% \pm 0,2\%$ ($< 99\% \pm 0,1\%$).

Оптимизация: Точно контролируйте количество добавки, VC рекомендует $0,3\% \pm 0,01\%$, Cr_3C_2 рекомендует $0,5\% \pm 0,01\%$ для баланса твердости и прочности.

Размер частиц:

VC: $< 0,1 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$ улучшает дисперсию (отклонение $< 5\% \pm 1\%$) и твердость увеличивается на $5\% \pm 1\%$ ($\text{HV} > 2300 \pm 30$).

Cr_3C_2 : $< 0,5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$ повышает прочность связи интерфейса ($> 50 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$) и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

увеличивает прочность на $3\% \pm 0,5\%$ ($> 4300 \text{ МПа} \pm 100 \text{ МПа}$).

Оптимизация: использование наномасштабного VC и Cr_3C_2 в сочетании с ультразвуковой дисперсией (частота $40 \text{ кГц} \pm 1 \text{ кГц}$) для уменьшения агломерации ($<5\% \pm 1\%$).

Температура спекания:

$1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ обеспечивает растворение VC и Cr_3C_2 (скорость растворения $>90\% \pm 2\%$), а эффект ингибирования улучшается на $5\% \pm 1\%$.

$1550^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ вызывает осаждение VC и Cr_3C_2 (скорость осаждения $>10\% \pm 2\%$), а твердость снижается на $3\% \pm 0,5\%$ ($\text{HV} < 2000 \pm 30$).

Оптимизация: Контролируйте температуру спекания на уровне $1400\text{--}1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ и увеличьте время выдержки ($2\text{--}3 \text{ часа} \pm 0,1 \text{ часа}$) для обеспечения равномерного ингибирования.

Атмосфера :

Атмосфера H_2 ($\text{O}_2 < 10 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$) ингибирует окисление VC и Cr_3C_2 ($\text{O}_2 < 0,05\% \pm 0,01\%$), а чистота увеличивается на $1\% \pm 0,2\%$.

Вакуумная атмосфера ($<10^{-2} \text{ Па} \pm 10^{-3} \text{ Па}$) снижает улетучивание ВК (потери $<0,1\% \pm 0,01\%$) и улучшает эффект ингибирования на $2\% \pm 0,5\%$.

Предпочтительно использовать атмосферу H_2 в сочетании с предварительной вакуумной обработкой для снижения содержания оксидов.

Метод смешивания:

Шаровая мельница (скорость $300 \text{ об./мин} \pm 10 \text{ об./мин}$, время $10\text{--}20 \text{ ч} \pm 1 \text{ ч}$) для обеспечения равномерного диспергирования (однородность $> 95\% \pm 1\%$).

Оптимизация: добавьте диспергаторы (например, этанол, $0,1\% \pm 0,01\%$), чтобы уменьшить агломерацию ($<3\% \pm 1\%$) и повысить эффективность диспергирования.

Примеры:

$0,3\% \pm 0,01\%$ VC (размер частиц $< 0,1 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$), $1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, процесс в атмосфере H_2 для получения зерен WC $0,2 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, твердость $\text{HV} 2300 \pm 30$, используется для сверл для печатных плат (срок службы $> 10^5$ отверстий $\pm 10^4$ отверстий).

$0,5\% \pm 0,01\%$ Cr_3C_2 (размер частиц $< 0,5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$), $1400^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, процесс в вакуумной атмосфере для получения зерен WC $0,5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, прочность $> 4300 \text{ МПа} \pm 100 \text{ МПа}$, используется для буровых коронок для горнодобывающей промышленности (срок службы $> 1200 \text{ м} \pm 100 \text{ м}$).

(4) Инженерное приложение

ВК добавил:

$0,5\% \pm 0,01\%$ VC используется для сверхтвердых инструментов (зерно WC $< 0,5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) в авиационной обработке (1000°C , сплав Ti-6Al-4V), с износом $< 0,08 \text{ мм} \pm 0,02 \text{ мм}$ и стойкостью $> 15 \text{ ч} \pm 1 \text{ ч}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

0,3%±0,01% VC для сверл по печатным платам (зерно WC 0,2 мкм±0,01 мкм), твердость HV 2300±30, срок службы >10⁵ отверстий±10⁴ отверстий.

Cr₃C₂ Добавление :

0,5%±0,01% Cr₃C₂ используется в буровых коронках для горнодобывающей промышленности (зерно WC 1-3 мкм±0,01 мкм) со сроком службы >1200 м±100 м при бурении твердых пород (сопротивление сжатию >200 МПа±10 МПа).

0,8%±0,01% Cr₃C₂ используется для корпусов химических насосов (зерно WC 1 мкм±0,01 мкм), скорость коррозии в среде рН 2-12 составляет <0,015 мм/год±0,002 мм/год, а срок службы составляет >2 года±0,2 года.

Присоединение соединения VC+Cr₃C₂:

0,3%±0,01% VC + 0,5%±0,01% Cr₃C₂ используется для морского горнодобывающего оборудования (зерно WC 0,5 мкм±0,01 мкм), ударопрочность >10 Дж±1 Дж, скорость коррозии <0,01 мм/год±0,002 мм/год, срок службы >3 года±0,3 года.

(5) Тестирование и контроль качества

Размер зерна

Для измерения размера зерна WC (отклонение <5% ± 1%) использовалась сканирующая электронная микроскопия (СЭМ, GB/T 16594-2008).

Равномерность распределения: рентгеновский энергетический спектр (EDS, GB/T 17359-2012) используется для определения распределения VC/ Cr₃C₂ на границах зерен (отклонение <3% ± 0,5%).

Тестирование производительности

Твердость: в соответствии с ISO 4499-2 измерьте твердость по Виккерсу (HV >2000±30).

Прочность: В соответствии с GB/T 3851-2015, испытание на прочность при изгибе (>4000 МПа ± 100 МПа).

Износостойкость: в соответствии с GB/T 12444-2006 измерьте величину износа (<0,08 мм ± 0,02 мм).

Онлайн-мониторинг: инфракрасное тепловидение контролирует температуру спекания (отклонение <5°C ± 1°C) для обеспечения постоянного эффекта ингибирования.

Ингибиторы зерен VC и Cr₃C₂ подавляют рост зерен WC (скорость роста <0,01 мкм /мин ± 0,001 мкм /мин) посредством механизма растворения-пересадки, измельчают зерна (<0,5 мкм ± 0,01 мкм) и значительно улучшают твердость (HV >2000±30), прочность (>4000 МПа ± 100 МПа) и износостойкость (потеря износа <0,08 мм ± 0,02 мм) твердого сплава. VC подходит для субмикронного твердого сплава (сильный ингибирующий эффект), а Cr₃C₂ подходит для микронного уровня (с учетом коррозионной стойкости). Наилучший эффект ингибирования может быть достигнут путем оптимизации количества добавки (VC 0,1%-0,5%±0,01%, Cr₃C₂ 0,5%-1%±0,01%), размера частиц (VC <0,1 мкм±0,01 мкм, Cr₃C₂ <0,5

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

мкм±0,01 мкм), температуры спекания (1450°C±10°C) и атмосферы (Н₂ или вакуум). Применение VC и Cr₃C₂ значительно улучшает производительность авиационных инструментов (срок службы>15 часов±1 час), горнодобывающих буровых коронок (срок службы>1200 м±100 м) и химического оборудования (срок службы>2 года±0,2 года).

4.3 Предварительная обработка порошка

Предварительная обработка порошка оптимизирует однородность смешивания (отклонение <5%±1%), распределение размеров частиц (0,110 мкм±0,01 мкм) и текучесть (1316 с/50 г±0,5 с) WC, Co/Ni и добавок путем шаровой мельницы (мокрое/сухое измельчение, соотношение шаров к порошку 10:1±0,5) и распылительной сушишки (расход 100 л/ч±10 л/ч). Предварительная обработка обеспечивает плотность спекания (>99%±0,1%) и постоянство характеристик (отклонение твердости <±30 HV), снижает пористость (<0,1%±0,02%) и улучшает прочность (>4000 МПа±100 МПа). В этом разделе анализируются процессы шаровой мельницы и распылительной сушишки.

4.3.1 Процесс шарового помола (мокрое измельчение/сухое измельчение, соотношение шаров к материалу 10:1)

Параметры и принцип процесса

Шаровая мельница использует шары WC (диаметр 510 мм ± 0,1 мм, твердость HV 1800 ± 50) для измельчения WC (0,110 мкм ± 0,01 мкм), Co/Ni (0,53 мкм ± 0,01 мкм) и добавок (VC/Cr₃C₂, <0,5 мкм ± 0,01 мкм), при соотношении шаров к материалу 10:1 ± 0,5, скорости вращения 200–400 об/мин ± 10 об/мин и времени 424 ч ± 0,1 ч.

Мокрое шлифование

Используйте этанол (чистота>99,5%±0,01%, добавляемое количество 50%100%±5% массовой доли), добавьте диспергатор (ПЭГ, 0,5%1%±0,01%), уменьшите агломерацию (<5%±1%), а отклонение размера частиц составит <3%±0,5%.

Сухое шлифование

Нет среды, подходит для формулы с низким содержанием Co (<6%±1%), пониженное загрязнение (Fe<0,01%±0,002%), но более высокая скорость агломерации (>10%±2%).

Мокрое измельчение составило >90%±2% из-за высокой однородности (отклонение смешивания <2%±0,5%).

Кинетика основывалась на энергии столкновения (10⁻³ Дж/выстрел ± 10⁻⁴ Дж/выстрел) и скорости измельчения 0,1 мкм /ч ± 0,01 мкм /ч.

Например, мокрое измельчение (12 ч ± 0,1 ч, этанол 100% ± 5%) дает смешанный порошок WC 0,5 мкм ± 0,01 мкм и Co 0,8 мкм ± 0,01 мкм с однородностью > 98% ± 1%, который используется для авиационных инструментов (твердость HV 2200 ± 30, срок службы > 12 ч ±

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1 ч).

Факторы влияния и оптимизация

На эффект шарового измельчения влияют следующие факторы:

Соотношение мяча к материалу

10:1±0,5 имеет высокую эффективность очистки (>90%±2%), >15:1 увеличивает загрязнение (Fe>0,05%±0,01%), а твердость снижается на 2%±0,5%.

Скорость

300 об/мин ± 10 об/мин обеспечивает баланс эффективности и износа (износ шариков < 0,1% ± 0,02%), < 200 об/мин обеспечивает недостаточную тонкость (размер частиц > 1 мкм ± 0,01 мкм).

время

12 часов ± 0,1 часа обеспечивают однородность (отклонение < 2% ± 0,5%), > 24 часов вызывают чрезмерный износ (Fe > 0,03% ± 0,005%), а прочность снижается на 3% ± 0,5%.

середина

Этанол снижает поверхностную энергию (<0,1 Дж/м²±0,02 Дж/м²) и уменьшает агломерацию на 5%±1%. Вода (чистота>99,9%±0,01%) имеет низкую стоимость, но увеличивает содержание О на 0,05%±0,01%.

Материал мяча

Шарики WC (чистота>99,5%±0,01%) менее загрязнены (Fe<0,01%±0,002%) и лучше, чем стальные шарики (Fe>0,1%±0,02%).

Например, мокрое шлифование (10:1 ± 0,5, 300 об./мин ± 10 об./мин, 12 ч ± 0,1 ч, шарики WC) дает смешанный порошок (WC 0,3 мкм ± 0,01 мкм) для сверл по печатным платам (срок службы > 10⁵ отверстий ± 10⁴ отверстий).

Инженерное приложение

Мокрое шлифование

WC 0,5мкм±0,01мкм, Co 0,8мкм±0,01мкм применяются для режущего инструмента (авиация, износ <0,1мм±0,02мм).

Сухое шлифование

Для форм используется формула с низким содержанием Co (6%±1%) (экструзия >10⁵ раз±10⁴ раз) с деформацией <0,01 мм±0,002 мм.

Сухое и мокрое измельчение в шаровой мельнице для предварительной обработки сырья из твердого сплава

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

категория	параметр	Сухое шлифование	Мокрое шлифование
Технологии параметр	Функции		
	середина	Никакой жидкой среды, только воздух или инертный газ (например, Ar, O ₂ < 10 ppm ± 1 ppm).	Жидкая среда (например, вода, этанол, ацетон), концентрация 50%-70%±2% (соотношение твердого вещества и жидкости).
	Соотношение мяча к материалу	От 5:1 до 10:1±0,1, выше для обеспечения эффективности измельчения.	От 3:1 до 8:1±0,1, жидкая среда снижает трение, соотношение шарика к материалу может быть немного ниже.
	Скорость	200-400 об/мин ± 10 об/мин. Слишком высокая скорость (> 500 об/мин) может привести к перегреву и агломерации (> 10% ± 1%).	300-500 об/мин ± 10 об/мин, жидкостное охлаждение, скорость может быть немного выше, а скорость агломерации составляет <5% ± 1%.
	Шлифовка время	10-20 часов ± 0,5 часа. Длительное время может привести к перегреву. Отклонение размера частиц > 10% ± 1%.	5-15 часов ± 0,5 часа, высокая эффективность жидкости, короткое время, отклонение размера частиц < 5% ± 1%.
	шаровая мельница середина	Шарики твердосплавные (HRC 65-75±2), шары ZrO ₂ (HRC 70-80±2), диаметр 2-10 мм ±0,1 мм.	Шарики из карбида, ZrO ₂ , шарики из нержавеющей стали (HRC 25-35±2), диаметр 1-5 мм±0,1 мм.
	температура контроль	Естественное рассеивание тепла, температура легко повышается (>60°C±2°C), требуется периодическое охлаждение (остановка на 30 минут ± 5 минут каждые 2 часа ± 0,1 часа).	Теплоотдача жидкостная, температура <40°C±2°C, дополнительное охлаждение не требуется.
	атмосфера контроль	Инертный газ (например, Ar или N ₂ , O ₂ < 10 ppm ± 1 ppm), предотвращает окисление (O<0,05% ± 0,01%).	Жидкая среда изолирует воздух, а скорость окисления составляет <0,03%±0,005%. Можно использовать воздух или инертную атмосферу.
	добавить в Агент	Добавьте парафин (1%-2%±0,1%) сухим способом для улучшения текучести (<30 с/50 г±2 с).	Добавьте влажный ПВА или ПЭГ (1%-3% ± 0,1%), растворите в среде и улучшите диспергируемость (>95% ± 1%).
	пудра Размер частиц	Подходит для грубого измельчения (1-10 мкм ± 0,01 мкм), эффективность измельчения до 0,5 мкм ± 0,01 мкм низкая.	Подходит для тонкого и сверхтонкого измельчения (0,1-1 мкм ± 0,01 мкм) с высокой эффективностью измельчения и отклонением распределения < 5% ± 1%.
чистота контроль	Примеси (например, Fe <0,02%±0,005%) легко проникают в сплав и должны быть удалены путем травления.	Жидкая среда имеет меньше примесей (Fe <0,01%±0,002%) и более высокую чистоту (>99,9%±0,01%).	
сухой	Не нужно сушить, просто прижмите.	Необходимо высушить (вакуумная	

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

категория	параметр	Сухое шлифование	Мокрое шлифование
	Функции шаг		сушка, 80°C±2°C, 10^{-2} Па ± 10^{-3} Па) в течение 4-8 часов ±0,5 часа.
	Потребление энергии	Выше (50-80 кВтч ± 5 кВтч на тонну порошка) из-за высокого трения.	Низкий расход (30-50 кВт·ч ± 5 кВт·ч на тонну порошка), жидкость снижает трение.
Функции	Процесс	Процесс прост, не требует дополнительного оборудования и подходит для крупномасштабного производства (>1 тонны/партия).	Процесс относительно сложен и требует наличия сушильного оборудования, подходящего для тонкой обработки.
	Чистота		
	Размер частиц распределенный	Ширина распределения ((D90-D10)/D50 >2,0±0,2), однородность <math><90\%\pm1\%</math>.	Распределение узкое ((D90-D10)/D50 <math><1,5\pm0,1</math>), а однородность составляет $>95\%\pm1\%$.
	Скорость воссоединения	Необходимо контролировать высокую (>10%±1%) температуру и добавки.	Низкая (<math><5\%\pm1\%</math>), эффективно диспергируется в жидких средах.
	Окисление контроль	Требуется инертная атмосфера, а скорость окисления может составлять >0,05%±0,01%.	Жидкостная изоляция, скорость окисления <math><0,03\%\pm0,005\%</math>.
Плюсы и минусы	преимущество	Низкая стоимость (снижение инвестиций в оборудование, отсутствие этапа сушки, подходит для грубой обработки).	Высокая эффективность очистки и высокая чистота, подходит для ультратонких порошков (<math><0,5\pm0,01</math> мкм).
	недостаток	Способность к очистке ограничена, легко агломерируется, а высокая температура (>60°C±2°C) приводит к окислению.	Необходимость сушки увеличивает потребление энергии (10–20 кВт·ч/т ± 2 кВт·ч), а жидкость может содержать влагу (> 0,1% ± 0,01%).
Сценарий применения	Применимый объем	Смешивание крупных частиц (>5 мкм ± 0,01 мкм) для производства с низкой себестоимостью (например, заготовки для горнодобывающих буровых коронок).	Субмикронные и нанометровые порошки (<math><0,5</math> мкм ± 0,01 мкм), высокоточное литье (например, авиационные инструменты).
	Примеры	Порошок WC-Co (D50=5 мкм±0,01 мкм), прочность на изгиб>3800 МПа±100 МПа, срок службы>1200 м±100 м.	Порошок WC (D50=0,3 мкм±0,01 мкм), твердость HV>3000±50, срок службы> 15 часов±1 час.
Предложения по оптимизации	шаровая мельница середина	Используйте твердосплавные шарики (HRC 65-75±2) для снижения загрязнения (Fe <math><0,01\%\pm0,002\%</math>).	Используйте шарики ZrO ₂ (HRC 70-80±2), чтобы избежать загрязнения (O<math><0,03\%\pm0,005\%</math>).
	добавить в дозировки	1%±0,1% парафина, снижает скорость агрегации (<math><5\%\pm1\%</math>).	1%-3%±0,1% ПВА или ПЭГ для улучшения дисперсии (однородность>95%±1%).
	температура	Прерывистый режим работы (30 минут ± 5	Жидкостное охлаждение,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

категория	параметр Функции	Сухое шлифование	Мокрое шлифование
	контроль	минут, остановка каждые 2 часа \pm 0,1 часа), $<50^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.	дополнительный контроль не требуется, $<40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.
	атмосфера оптимизация	Атмосфера Ar или N ₂ (O ₂ < 10 ppm \pm 1 ppm), окисление < 0,03% \pm 0,005%.	Среда этанола (чистота >99,5% \pm 0,1%), соотношение твердого вещества и жидкости 60% \pm 2%, окисление < 0,01% \pm 0,002%.
	Постобработка	Не нужно сушить, просто прижмите.	Вакуумная сушка (80°C \pm 2°C, <10 ⁻² Па \pm 10 ⁻³ Па), влажность < 0,05% \pm 0,01%.
	Потребление энергии оптимизация	Оптимизируйте скорость вращения (<400 об/мин \pm 10 об/мин) и снизьте потребление энергии на 10% \pm 2%.	Оптимизируйте время сушки (<6 часов \pm 0,5 часа) и сократите потребление энергии на 5% \pm 1%.
проиллюстрировать	Сухое измельчение и мокрое измельчение имеют свои особенности в предварительной обработке сырья из твердого сплава. Сухое измельчение простое (не требует сушки) и недорогое (потребление энергии 50-80 кВтч/т \pm 5 кВтч), подходит для грубого измельчения (> 5 мкм \pm 0,01 мкм), но с широким распределением (> 2,0 \pm 0,2) и высокой скоростью агломерации (> 10% \pm 1%); мокрое измельчение имеет преимущество высокой эффективности измельчения (99,9% \pm 0,01%), подходит для высокоточных применений, но требует сушки (потребление энергии 30-50 кВтч/т \pm 5 кВтч). Благодаря оптимизации соотношения шаров к материалу (сухое шлифование 5:1-10:1 \pm 0,1, мокрое шлифование 3:1-8:1 \pm 0,1), скорости вращения (сухое шлифование 200-400 об/мин \pm 10 об/мин, мокрое шлифование 300-500 об/мин \pm 10 об/мин) и выбора абразивных сред сухое шлифование подходит для горнодобывающих буровых коронок (срок службы >1200 м \pm 100 м), а мокрое шлифование подходит для авиационных инструментов (срок службы >15 часов \pm 1 час), что отвечает разнообразным потребностям.		

4.3.2 Технология распылительной сушки и грануляции

Технология распылительной сушки и грануляции является основным процессом предварительной обработки твердосплавного сырья (например, порошка карбида вольфрама WC, порошка кобальта Co и порошка никеля Ni), который используется для превращения тонкого порошка в частицы с превосходной текучестью и прессуемостью.

(1) Принципы технологии распылительной сушки и грануляции

Распылительная сушка:

Процесс: Суспензия или пульпа, содержащая WC, Co и другие порошки, распыляется на мельчайшие капли (10-200 мкм \pm 0,1 мкм) через распылитель, и вода быстро испаряется (скорость испарения > 90% \pm 2%/с) в потоке воздуха высокой температуры (150-300°C \pm

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5°C), образуя сухие частицы.

Тепло- и массоперенос : Вода на поверхности капли испаряется первой, а внутренняя вода мигрирует путем диффузии. Время высыхания <math>< 1 \pm 0,1 \text{ с}</math>.

Цель: размер частиц 20-150 мкм $\pm 0,1$ мкм , текучесть <math>< 20 \text{ с}/50 \text{ г} \pm 2 \text{ с}</math> (GB/T 1482-2010), насыпная плотность >math>1,5 \text{ г}/\text{см}^3 \pm 0,1 \text{ г}/\text{см}^3</math> .

Гранулирование:

Процесс: При распылительной сушке связующие вещества (такие как ПВС, ПЭГ) способствуют адгезии частиц внутри капель, а поверхностное натяжение (<math>< 0,07 \text{ Н}/\text{м} \pm 0,01 \text{ Н}/\text{м}</math>) формирует сферические или почти сферические частицы.

Механизм: В процессе сушки частицы сталкиваются и связываются, а связующее затвердевает, образуя сетчатую структуру (пористость <math>< 10\% \pm 1\%</math>), что повышает прочность частиц.

Цель: прочность на сжатие сырого тела >math>10 \text{ МПа} \pm 1 \text{ МПа}</math>, однородность плотности после прессования >math>98\% \pm 1\%</math>.

(2) Параметры процесса

Концентрация корма:

Диапазон: 20%-40% $\pm 1\%$ (массовая доля твердого вещества).

Влияние: Концентрация <math>< 15\% \pm 1\%</math> приводит к слишком мелким частицам (<math>< 20 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}</math>) и плохой текучести (>math>30 \text{ с}/50 \text{ г} \pm 2 \text{ с}</math>); >math>45\% \pm 1\%</math> приводит к слишком высокой вязкости (>math>1000 \text{ мПа} \cdot \text{с} \pm 50 \text{ мПа} \cdot \text{с}</math>) и засорению сопла.

размер частиц 50-100 мкм $\pm 0,1$ мкм , вязкость 300-500 мПа·с ± 50 мПа·с .

Скорость потока подачи:

Диапазон: 5-20 л/ч $\pm 0,5$ л/ч (малое и среднее оборудование), 50-200 л/ч ± 5 л/ч (крупное оборудование).

Влияние: Расход <math>< 5 \text{ л}/\text{ч} \pm 0,5 \text{ л}/\text{ч}</math>, неравномерное высыхание, остаточная вода >math>1\% \pm 0,2\%</math>; >math>25 \text{ л}/\text{ч} \pm 0,5 \text{ л}/\text{ч}</math>, частицы слишком крупные (>math>200 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}</math>), а насыпная плотность уменьшается.

Оптимизация: 10-15 л/ч $\pm 0,5$ л/ч (маленькие и средние), 100-150 л/ч ± 5 л/ч (большие), эффективность сушки >math>95\% \pm 1\%</math>.

Температура воздуха на входе:

Диапазон: 150-300°C ± 5 °C (температура на выходе 80-120°C ± 2 °C).

Воздействие: Температура <math>< 150^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}</math>, неполное высыхание, остаточная вода >math>1\% \pm 0,2\%</math>, высокая вязкость частиц; >math>350^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}</math>, связующее разлагается (остаточный углерод >math>0,3\% \pm 0,01\%</math>), и хрупкость частиц увеличивается.

Оптимизация: 200-250°C ± 5 °C, остаточная вода <math>< 0,2\% \pm 0,05\%</math>, степень удержания связующего >math>90\% \pm 2\%</math>.

Давление распыления:

Диапазон: 0,1-0,3 МПа $\pm 0,01$ МПа (напорный тип), 0,2-0,4 МПа $\pm 0,01$ МПа (воздушный тип).

Воздействие: При давлении <math>< 0,1 \text{ МПа} \pm 0,01 \text{ МПа}</math> капли крупные (>math>200 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}</math>) и высыхание неравномерное; при давлении >math>0,4 \text{ МПа} \pm 0,01 \text{ МПа}</math> капли слишком мелкие (<math>< 20 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}</math>) и текучесть плохая.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Оптимизация: $0,2-0,25 \text{ МПа} \pm 0,01 \text{ МПа}$, размер капель $50-100 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, равномерность распределения $>95\% \pm 1\%$.

Дозировка связующего:

Диапазон: $1\%-5\% \pm 0,1\%$ (ПВС, ПЭГ, парафин).

Влияние: Дозировка $<1\% \pm 0,1\%$ приведет к недостаточной прочности частиц ($<5 \text{ МПа} \pm 0,5 \text{ МПа}$); $>7\% \pm 0,1\%$ приведет к увеличению остаточного углерода ($> 0,2\% \pm 0,01\%$) и пористости спекания $> 0,2\% \pm 0,02\%$.

Оптимизация: $2\%-3\% \pm 0,1\%$, прочность $>12 \text{ МПа} \pm 1 \text{ МПа}$, остаточный углерод $<0,1\% \pm 0,01\%$.

(3) Типы и характеристики оборудования для распылительной сушки и грануляции

Центробежная распылительная сушилка:

Принцип работы: высокоскоростной вращающийся диск ($1000-20000 \text{ об/мин} \pm 50 \text{ об/мин}$) разбивает суспензию на капли, а горячий воздух ($200-300^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$) высушивает ее.

Функции:

Размер частиц: $20-120 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, сферичность $>90\% \pm 2\%$.

Производительность: $100-1000 \text{ кг/ч} \pm 10 \text{ кг/ч}$ (в зависимости от диаметра диска).

Преимущества: Подходит для высоковязкой суспензии ($<1000 \text{ мПа} \cdot \text{с} \pm 50 \text{ мПа} \cdot \text{с}$), узкое распределение частиц $((D_{90}-D_{10})/D_{50} < 1,5 \pm 0,1)$.

Недостатки: высокая скорость ($>15000 \text{ об/мин} \pm 50 \text{ об/мин}$), легкий износ диска (срок службы $<500 \text{ часов} \pm 50 \text{ часов}$), высокие затраты на техническое обслуживание.

Применение: Крупномасштабная грануляция порошка WC-Co ($D_{50}=50 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$) для авиационных инструментов.

Распылительная сушилка под давлением:

Принцип работы: насос высокого давления ($0,1-0,3 \text{ МПа} \pm 0,01 \text{ МПа}$) распыляет через форсунки, горячий воздух ($150-250^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$) сушит.

Функции:

Размер частиц: $30-150 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, сферичность $>95\% \pm 2\%$.

Производительность: $50-500 \text{ кг/ч} \pm 5 \text{ кг/ч}$.

Преимущества: Гибкая конструкция сопла (одно- или многоотверстий), подходит для пульпы с низкой вязкостью ($<500 \text{ мПа} \cdot \text{с} \pm 50 \text{ мПа} \cdot \text{с}$), низкое энергопотребление ($<60 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т} \pm 5 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$).

Недостатки: Форсунки легко засоряются (чистить каждые $100 \text{ часов} \pm 10 \text{ часов}$), производительность ограничена.

Применение: Тонкая грануляция порошка WC-Ni ($D_{50}=80 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$), используется для корпусов химических насосов.

Распылительная сушилка с воздушным потоком:

Принцип работы: Сжатый воздух ($0,2-0,4 \text{ МПа} \pm 0,01 \text{ МПа}$) смешивается с суспензией для распыления, а горячий воздух ($180-280^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$) используется для сушки.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Функции:

Размер частиц: 20-80 мкм±0,1 мкм , сферичность>90%±2% .

Производительность: 30-300 кг/ч±5 кг/ч.

Преимущества: Подходит для тонкодисперсного порошка (начальный размер частиц <1 мкм ± 0,01 мкм) , однородность частиц > 96% ± 1% , подходит для высоких требований к чистоте (O < 0,03% ± 0,005%) .

Недостатки: высокое энергопотребление (>80 кВтч/т±5 кВтч), повышенные затраты на сжатие воздуха.

Применение: Гранулирование порошка Nano WC (D50=30 мкм ± 0,1 мкм) , используется для сверл по печатным платам.

Двухпоточная распылительная сушилка:

Принцип работы: Жидкость и сжатый воздух совместно распыляются через двухжидкостную форсунку (0,1-0,3 МПа ± 0,01 МПа) и осушаются горячим воздухом (200-300°C ± 5°C).

Функции:

Размер частиц: 10-100 мкм±0,1 мкм , сферичность>92%±2% .

Производительность: 50-400 кг/ч±5 кг/ч.

Преимущества: Размер распыляемых частиц контролируется (регулируется соотношением газа и жидкости), подходит для пульпы с высоким содержанием твердых частиц (>30% ± 1%).

Недостатки: Оборудование сложное и требует частого обслуживания (проверка форсунки каждые 200 часов ± 20 часов).

Применение: Гранулирование смешанного порошка WC-Co (D50=60 мкм±0,1 мкм) , используется для изготовления износостойких форм.

Лабораторная малая распылительная сушилка:

Принцип работы: малая центробежная или напорная конструкция (скорость 5000-10000 об/мин ± 50 об/мин, давление 0,1-0,2 МПа ± 0,01 МПа), горячий воздух 150-200°C ± 5°C.

Функции:

Размер частиц: 20-80 мкм±0,1 мкм , производительность 0,5-5 кг/ч±0,1 кг/ч.

Преимущества: Подходит для НИОКР и опытного производства, гибкая регулировка параметров (температура ±5°C, расход ±0,1 л/ч).

Недостатки: низкая производительность и высокая стоимость (цена оборудования > 5000 долл. США ± 500 долл. США).

Применение: Испытание небольших партий порошка WC-Ni (D50=40 мкм± 0,1 мкм) .

(4) Факторы влияния

Характеристики пульпы:

Размер частиц: Исходный порошок <1 мкм ± 0,01 мкм легко образует однородные частицы; >5 мкм ± 0,01 мкм приводит к образованию крупных или нерегулярных частиц.

Вязкость: оптимальная — 200–800 мПа·с ± 50 мПа·с ; вязкость >1000 мПа·с ± 50 мПа·с забьет сопло.

Тип переплета:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ПВС ($2\% \pm 0,1\%$) повышает прочность ($>12 \text{ МПа} \pm 1 \text{ МПа}$), но имеет высокую гигроскопичность ($>2\% \pm 0,2\%$).

ПЭГ ($2\% \pm 0,1\%$) улучшил текучесть ($<20 \text{ с/50 г} \pm 2 \text{ с}$), но остаток углерода был немного выше ($<0,15\% \pm 0,01\%$).

Парафин ($1\%-2\% \pm 0,1\%$) подходит для текучести после высыхания, но он очень летуч ($>80^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$).

Условия окружающей среды:

Влажность $<50\% \text{ RH} \pm 5\%$, температура $<30^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, чтобы избежать преждевременного испарения связующего вещества или поглощения влаги частицами.

Факторы оборудования:

Износ форсунки (срок службы $<500 \text{ часов} \pm 50 \text{ часов}$) приводит к неравномерному распределению капель и требует регулярной замены.

(5) Стратегия оптимизации

Приготовление суспензии:

мкм, вязкость $300-500 \text{ мПа}\cdot\text{с} \pm 50 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ использовали мокрое измельчение ($300-500 \text{ об./мин} \pm 10 \text{ об./мин}$, $5-15 \text{ ч} \pm 0,5 \text{ ч}$).

Ультразвуковая дисперсия ($40 \text{ кГц} \pm 1 \text{ кГц}$, $10 \text{ мин} \pm 1 \text{ мин}$), скорость агломерации $<5\% \pm 1\%$.

Регулировка параметров процесса:

Концентрация исходного сырья составляет $25\% \pm 1\%$, температура входящего воздуха составляет $220^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$, давление распыления составляет $0,2 \text{ МПа} \pm 0,01 \text{ МПа}$, а размер частиц составляет $50-80 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$.

Связующее: $2\% \pm 0,1\%$ ПВС + $1\% \pm 0,1\%$ ПЭГ, прочность $>12 \text{ МПа} \pm 1 \text{ МПа}$, текучесть $<20 \text{ с/50 г} \pm 2 \text{ с}$.

Техническое обслуживание оборудования:

Очищайте сопло (раз в неделю, используйте этанол чистотой $>99,5\% \pm 0,1\%$), чтобы предотвратить засорение.

Замените распылительный диск или форсунку (каждые $500 \text{ часов} \pm 50 \text{ часов}$), отклонение скорости $<5\% \pm 1\%$.

Постобработка:

Сито ($100-150 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$) для удаления частиц слишком большого размера ($<5\% \pm 1\%$).
Вакуумная сушка ($80^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, $<10^{-2} \text{ Па} \pm 10^{-3} \text{ Па}$, $4-6 \text{ часов} \pm 0,5 \text{ часа}$), остаточная вода $<0,1\% \pm 0,01\%$.

(6) Эффект применения

Свойства текучести и сжатия:

Текучесть $<20 \text{ с/50 г} \pm 2 \text{ с}$, плотность сырого тела $>60\% \pm 1\%$ (теоретическая плотность), дефекты прессования $<1\% \pm 0,2\%$.

Пример: WC-10%Co (D50=50 мкм $\pm 0,1$ мкм), срок службы заготовки авиационного инструмента $>15 \text{ часов} \pm 1 \text{ час}$.

Эффективность спекания:

Плотность $>99\% \pm 0,1\%$, пористость $<0,05\% \pm 0,01\%$, твердость HV $>2900 \pm 50$, прочность на

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

изгиб $>4200 \text{ МПа} \pm 100 \text{ МПа}$.

Пример : WC-12%Ni (D50=80 мкм \pm 0,1 мкм) , срок службы корпуса химического насоса >2 года \pm 0,2 года.

последовательность:

Отклонение размера частиц между партиями составляет $<5\% \pm 1\%$, однородность составляет $>95\% \pm 1\%$, а дефекты спекания снижены на $50\% \pm 5\%$.

(7) Тестирование и контроль качества

Распределение размеров частиц: лазерный анализ размера частиц (GB/T 19077.1-2008), D50 50-100 мкм \pm 0,1 мкм , (D90-D10)/D50 $<1,5 \pm 0,1$.

Морфологический анализ: СЭМ (GB/T 16594-2008), сферичность $>90\% \pm 2\%$, степень агломерации $<5\% \pm 1\%$.

Содержание влаги: метод Карла Фишера (GB/T 6283-2008), остаточная вода $<0,2\% \pm 0,05\%$.

Испытание на прочность: прочность на сжатие (GB/T 3851-2015), $>10 \text{ МПа} \pm 1 \text{ МПа}$.

остаточного углерода : метод инфракрасного поглощения (GB/T 5124-2017), остаточный углерод $<0,1\% \pm 0,01\%$.

Онлайн-мониторинг: инфракрасное тепловидение контролирует температуру всасываемого воздуха (отклонение $<5^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$), а расходомер контролирует подачу (отклонение $<1\% \pm 0,1\%$).

Технология распылительной сушки и грануляции преобразует мелкие порошки, такие как WC и Co, в частицы размером 20–150 мкм \pm 0,1 мкм посредством распыления (давление 0,2–0,25 МПа \pm 0,01 МПа) и высокотемпературной сушки (200–250 $^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$), что значительно улучшает текучесть ($<20 \text{ с}/50 \text{ г} \pm 2 \text{ с}$) и прочность сырого тела ($>10 \text{ МПа} \pm 1 \text{ МПа}$). Типы оборудования включают центробежное (высокая производительность, 100-1000 кг/ч \pm 10 кг/ч), давление (высокая сферичность, 50-500 кг/ч \pm 5 кг/ч), воздушное (мелкие частицы, 30-300 кг/ч \pm 5 кг/ч), двухжидкостное (контролируемый размер частиц, 50-400 кг/ч \pm 5 кг/ч) и лабораторную малую машину (для исследований и разработок, 0,5-5 кг/ч \pm 0,1 кг/ч), каждое со своими уникальными преимуществами. Оптимизация концентрации подачи (25%-30% \pm 1%), дозировки связующего (2%-3% \pm 0,1%) и обслуживания оборудования может обеспечить однородность частиц ($> 95\% \pm 1\%$) и производительность спекания (плотность $> 99\% \pm 0,1\%$). Он широко используется в таких высокотехнологичных областях, как авиационные инструменты (срок службы >15 часов \pm 1 час), химическое оборудование (срок службы >2 года \pm 0,2 года) и т. д.

4.4 Характеристика порошка

Характеристика порошка Качество смешанного порошка оценивается по размеру частиц по Фишеру (FSSS, 0,250 мкм \pm 0,01 мкм), насыпной плотности, плотности после утряски (4,06,2 г/см³ \pm 0,1 г/см³) и сыпучести (1316 секунд/50 г \pm 0,5 секунды) для обеспечения производительности спекания (плотность $> 99\% \pm 0,1\%$, отклонение твердости $\leq \pm 30 \text{ HV}$). Метод характеризации основан на динамике частиц (седиментация Стокса, течение Хагена-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Пуазейля) и соответствует стандартам ISO 4499 и ASTM B330.

4.4.1 Размер частиц по Фишеру (FSSS, 0,250 мкм)

Фишерский ситовой анализатор (FSSS) — традиционный метод определения среднего размера частиц порошка методом воздухопроницаемости. Он широко используется для анализа размера частиц сырья из твердого сплава (например, порошка карбида вольфрама WC). Он основан на соотношении между сопротивлением слоя порошка воздуху и размером частиц. Путем измерения проницаемости воздушного потока при определенном давлении рассчитывается средний размер частиц (обычно в микронах). Размер частиц Фишера подходит для мелких частиц (0,1–50 мкм). Результаты отражают площадь поверхности и характеристики пор порошка и имеют важное справочное значение для характеристик спекания и прессования твердого сплава .

Методы характеристики и значение Фишер

Размер частиц (FSSS) измерялся методом воздухопроницаемости для измерения среднего размера частиц порошка (0,250 мкм ± 0,01 мкм) на основе закона Дарси (проницаемость ~ $10^{-12} \text{ м}^2 \pm 10^{-13} \text{ м}^2$). FSSS смешанного порошка, содержащего 10% ± 1% Co, составляет 0,55 мкм ± 0,01 мкм, WC 0,33 мкм ± 0,01 мкм и Co 0,51 мкм ± 0,01 мкм. Мелкий FSSS (<0,5 мкм ± 0,01 мкм) улучшает твердость (HV>2200 ± 30), а крупный размер частиц (>5 мкм ± 0,01 мкм) повышает ударную вязкость ($K_{1c} > 18 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$). Условия испытаний: масса образца 5 г ± 0,1 г, давление 0,1 МПа ± 0,01 МПа, чистота воздуха > 99,9% ± 0,01%, погрешность < 2% ± 0,5%.

Например, порошок FSSS 0,3 мкм±0,01 мкм используется для авиационных режущих инструментов (износ <0,08 мм±0,02 мм), твердость HV 2300±30, срок службы >15 ч±1 ч; FSSS 5 мкм±0,01 мкм используется для горнодобывающих буровых коронок ($K_{1c} > 20 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$), срок службы >1200 м±100 м.

Факторы влияния и оптимизация

На измерение FSSS влияют следующие факторы:

Состав порошка: WC/Co=90:10±1%, FSSS 0,5мкм±0,01мкм; WC/Ni=88:12±1%, FSSS1мкм±0,01мкм, так как размер частиц Ni больше (>2мкм±0,01мкм).

Время измельчения в шаровой мельнице: 12 ч ± 0,1 ч, FSSS снизилась на 10% ± 2% (0,5 мкм ± 0,01 мкм); > 24 ч увеличилась агломерация (> 5% ± 1%), а FSSS увеличилась на 5% ± 1%.

Добавки: 0,5%±0,01% VC снижает FSSS на 5%±1% (0,3мкм±0,01мкм), Cr₃C₂ влияет на <2%±0,5%.

Влажность окружающей среды: <50%±5%, избегать агломерации (<5%±1%), погрешность

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

FSSS $<1\% \pm 0,2\%$.

Калибровка оборудования: погрешность пористости прибора FSSS $<0,1\% \pm 0,02\%$, снижение погрешности $1\% \pm 0,2\%$.

Например, порошок FSSS $0,3 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$ (12 часов мокрой шлифовки, $0,5\% \pm 0,01\% \text{ VC}$) используется для сверл по печатным платам (срок службы $> 10^5$ отверстий $\pm 10^4$ отверстий).

Размер частиц по Фишеру (FSSS) инженерное приложение

Сверхтвердые режущие инструменты

FSSS $0,20,5\text{мкм} \pm 0,01\text{мкм}$, твердость $\text{HV} > 2300 \pm 30$, срок службы в условиях авиации > 15 часов ± 1 час.

добыча

FSSS $35\text{мкм} \pm 0,01\text{мкм}$, $K_{1c} > 20 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$, срок службы сверла $> 1200\text{м} \pm 100\text{м}$.

4.4.2 Насыпная плотность, плотность после утряски и текучесть порошка карбида вольфрама

Насыпная плотность, плотность при утряске и текучесть порошка карбида вольфрама (WC) являются важными показателями его физических свойств, которые напрямую влияют на прессование и спекание твердого сплава и на эксплуатационные характеристики конечного продукта. Ниже приводится подробный анализ с точки зрения определения, метода измерения, влияющих факторов, мер оптимизации и инженерного применения.

Насыпная плотность порошка карбида вольфрама

Насыпная плотность относится к плотности порошка в его естественном состоянии укладки, отражая характеристики укладки и пористость порошка.

Метод измерения

Согласно ASTM B212, $50 \text{ г} \pm 0,1 \text{ г}$ порошка свободно помещали в стандартный мерный цилиндр (объемом $25 \text{ мл} \pm 0,1 \text{ мл}$) и рассчитывали отношение массы к объему.

Типичное значение

Насыпная плотность чистого порошка WC составляет $4,0\text{-}5,0 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$, а пористость составляет около $40\% \pm 2\%$. Насыпная плотность смешанного порошка WC-Co, содержащего $10\% \pm 1\% \text{ Co}$, составляет около $4,5 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$, поскольку плотность Co ($8,9 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) выше, чем у WC ($15,63 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$), а характеристики укладки изменяются после смешивания.

значение

Высокая насыпная плотность ($> 4,5 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) свидетельствует о том, что частицы расположены близко друг к другу, а пористость прессованного сырца низкая ($< 40\% \pm 2\%$), что способствует уплотнению при спекании ($> 99\% \pm 0,1\%$).

Плотность насыпки порошка карбида вольфрама

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Плотность уплотнения — это плотность порошка в плотно упакованном состоянии после вибрации или уплотнения, которая отражает эффективность заполнения промежутков между частицами.

Метод измерения

Согласно ASTM B527, изменение объема порошка измерялось с помощью измерителя плотности при постукивании (частота вибрации 50 Гц \pm 1 Гц, амплитуда 1 мм \pm 0,1 мм, вибрация 3000 раз \pm 50 раз).

Типичное значение

Плотность утряски чистого порошка WC составляет 5,0-6,2 г/см³ \pm 0,1 г/см³, а пористость снижается до 30% \pm 2%. Плотность утряски смешанного порошка, содержащего 10% \pm 1% Co, составляет около 5,5 г/см³ \pm 0,1 г/см³.

значение

Высокая плотность утряски ($>5,5$ г/см³ \pm 0,1 г/см³) свидетельствует о том, что частицы могут быть дополнительно заполнены, прессовка имеет хорошую консистенцию (размерное отклонение $<0,01$ мм \pm 0,002 мм), а свойства после спекания стабильны (твердость HV $>2900\pm 50$).

Пример: Плотность насыпки порошка составляет 5,8 г/см³ \pm 0,1 г/см³. После прессования отклонение размера сырого тела составляет $<0,01$ мм \pm 0,002 мм. Авиационный инструмент изготавливается с твердостью HV 2200 \pm 30 и сроком службы >12 часов \pm 1 час.

Текучесть порошка карбида вольфрама

Текучесть отражает текучесть порошка во время прессования, влияя на равномерность заполнения формы и качество продукции.

Метод измерения

Согласно ASTM B213, расходомер Холла (отверстие воронки 5 мм \pm 0,1 мм) использовался для измерения времени, необходимого для прохождения 50 г \pm 0,1 г порошка через воронку. Поведение потока соответствует закону Хагена-Пуазейля, а вязкое сопротивление составляет приблизительно 10^{-3} Па·с \pm 10^{-4} Па·с.

Типичное значение

Текучесть порошка WC составляет 13-16 секунд/50 г \pm 0,5 секунды, а текучесть смешанного порошка, содержащего 10% \pm 1% Co, составляет около 14 секунд/50 г \pm 0,5 секунды.

значение

Отличная текучесть (<14 сек/50 г \pm 0,5 сек) обеспечивает равномерное заполнение формы, плотность после спекания $>99,5\%$ \pm 0,1% и снижает дефекты формования (трещины $<1\%$ \pm 0,2%).

Пример: Порошок с текучестью 13 секунд/50 г \pm 0,5 секунды имеет однородность $>98\%$ \pm 1% после прессования и используется для изготовления инструментов с отклонением размеров $<0,01$ мм \pm 0,002 мм.

Факторы, влияющие на размер частиц порошка карбида вольфрама, и оптимизация его

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Размер частиц (размер частиц для новичков, FSSS):

размер частиц по Фишеру составляет $<0,5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, сила Ван-дер-Ваальса между частицами увеличивается ($>10^{-9} \text{ Н} \pm 10^{-10} \text{ Н}$), насыпная плотность падает до $4,2 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$, а текучесть уменьшается на 2 секунды $\pm 0,5$ секунды (16 секунд/50 г $\pm 0,5$ секунды). Когда размер частиц по Фишеру составляет $>5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, зазор между частицами уменьшается, насыпная плотность увеличивается до $5,0 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$, а текучесть увеличивается на 1 секунду $\pm 0,2$ секунды (13 секунд/50 г $\pm 0,5$ секунды).

Оптимизация: контролировать размер частиц стекловолокна в пределах $0,5\text{--}3 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$ и сбалансировать плотность и текучесть (насыпная плотность $4,5 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$, текучесть $14 \text{ с/50 г} \pm 0,5 \text{ с}$).

Появление:

Сферические частицы (степень сфероидизации $>95\% \pm 1\%$) имеют низкий коэффициент поверхностного трения ($<0,2 \pm 0,02$), увеличение плотности на $5\% \pm 1\%$ ($6,0 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) и увеличение текучести на $3\% \pm 0,5\%$ (13 секунд/50 г $\pm 0,5$ секунд). Нерегулярные частицы (края $>0,1 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) имеют большие зазоры между укладкой и уменьшение плотности на $3\% \pm 0,5\%$ ($5,2 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$).

Для улучшения однородности морфологии частиц использовалась грануляция с распылительной сушкой (размер частиц $50 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, сферичность $>90\% \pm 2\%$).

Содержимое:

При содержании Co $10\% \pm 1\%$ плотность утряски составляет $5,5 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$, а текучесть $14 \text{ сек/50 г} \pm 0,5 \text{ сек}$. При содержании $\text{Co} >15\% \pm 1\%$ частицы Co (плотность $8,9 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) распределяются неравномерно, плотность утряски падает до $5,2 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$, а текучесть уменьшается на $1 \text{ сек} \pm 0,2 \text{ сек}$ ($15 \text{ сек/50 г} \pm 0,5 \text{ сек}$).

Оптимизация: Содержание Co контролируется на уровне $8\%\text{--}12\% \pm 1\%$ для обеспечения оптимальной плотности и текучести (плотность после утряски $5,5\text{--}5,8 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$, текучесть $<14 \text{ секунд/50 г} \pm 0,5 \text{ секунды}$).

влажность:

При влажности окружающей среды $<50\% \pm 5\% \text{ RH}$ текучесть сохраняется на уровне $14 \text{ сек/50 г} \pm 0,5 \text{ сек}$. При влажности $>80\% \pm 5\% \text{ RH}$ адсорбция воды приводит к увеличению скорости агломерации на $10\% \pm 2\%$, а текучесть уменьшается на $2 \text{ сек} \pm 0,5 \text{ сек}$ ($16 \text{ сек/50 г} \pm 0,5 \text{ сек}$).

Оптимизация: Влажность рабочей среды поддерживается на уровне $40\text{--}50\% \pm 5\%$ относительной влажности, а порошок высушивается до содержания влаги $<0,1 \pm 0,01\%$ (метод Карла Фишера, GB/T 6283-2008).

Процесс грануляции:

Грануляция распылительной сушкой (частицы $50 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, сферичность $>90\% \pm 2\%$) увеличила плотность набивки на $10\% \pm 2\%$ ($6,0 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) и текучесть на $5\% \pm 1\%$ (13 секунд/50 г $\pm 0,5$ секунды). Негранулированный порошок (исходный размер частиц $<1 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) был сильно агломерирован, и плотность набивки составила всего $5,0 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$.

Оптимизация: использовать центробежную распылительную сушилку (скорость вращения $10000\text{--}15000 \text{ об/мин} \pm 50 \text{ об/мин}$), размер частиц $50\text{--}80 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, добавить $2\% \pm 0,1\%$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

связующего ПВА.

Пример: порошок, содержащий $10\% \pm 1\%$ Со, размер частиц по Фишеру $1 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, высушенные распылением частицы ($50 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$), плотность после утряски $6,0 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$, текучесть $13 \text{ секунд/50 г} \pm 0,5 \text{ секунды}$, плотность после прессования $> 99,5\% \pm 0,1\%$, изготовленный в виде горнодобывающей буровой коронки со сроком службы $> 1200 \text{ м} \pm 100 \text{ м}$.

Инженерное приложение

Авиационные ножи:

Плотность после утряски $5,8 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$, текучесть $13 \text{ секунд/50 г} \pm 0,5 \text{ секунды}$, отклонение размеров прессованного сырого тела $< 0,01 \text{ мм} \pm 0,002 \text{ мм}$, твердость после спекания HV 2200 ± 30 , срок службы $> 12 \text{ часов} \pm 1 \text{ час}$, подходит для обработки авиационных материалов (сплав Ti-6Al-4V, $1000^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$).

Горнодобывающая дрель:

Плотность после утряски $6,0 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$, текучесть $13 \text{ секунд/50 г} \pm 0,5 \text{ секунды}$, плотность после спекания $> 99,5\% \pm 0,1\%$, прочность на изгиб $> 4200 \text{ МПа} \pm 100 \text{ МПа}$, срок службы $> 1200 \text{ м} \pm 100 \text{ м}$, подходит для бурения твердых пород (сопротивление сжатию $> 200 \text{ МПа} \pm 10 \text{ МПа}$).

Штамп холодной высадки:

Плотность после утряски $6,2 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$, текучесть $14 \text{ с/50 г} \pm 0,5 \text{ с}$, деформация после прессования $< 0,01 \text{ мм} \pm 0,002 \text{ мм}$, срок службы формы $> 10^6 \text{ раз} \pm 10^5 \text{ раз}$, подходит для высокоточной холодной высадки.

Тестирование и контроль качества

Насыпная плотность: согласно ASTM B212 каждая партия тестируется 3 раза, среднее отклонение значения составляет $< 2\% \pm 0,5\%$.

Плотность постукивания: согласно ASTM B527, регистрируйте параметры вибрации (частота $50 \text{ Гц} \pm 1 \text{ Гц}$, амплитуда $1 \text{ мм} \pm 0,1 \text{ мм}$), отклонение $< 2\% \pm 0,5\%$.

Текучесть: на основе ASTM B213, калибровка апертуры воронки ($5 \text{ мм} \pm 0,1 \text{ мм}$), влажность среды испытания $< 50\% \pm 5\%$ относительной влажности, отклонение $< 1 \text{ секунды} \pm 0,2 \text{ секунды}$.

Онлайн-мониторинг: используйте автоматический измеритель плотности потока и расходомер для регистрации данных партии в режиме реального времени и архивирования их в течение $1 \text{ года} \pm 0,1 \text{ года}$.

Насыпная плотность ($4,0\text{-}5,0 \text{ г/см}^3$), плотность при постукивании ($5,0\text{-}6,2 \text{ г/см}^3$) и текучесть ($13\text{-}16 \text{ секунд/50 г}$) порошка карбида вольфрама являются ключевыми параметрами для подготовки цементированного карбида. На производительность значительно влияют размер частиц ($0,5\text{-}5 \text{ мкм}$), морфология (сферичность $> 95\%$), содержание Со ($8\%\text{-}12\%$), влажность ($< 50\%$ относительной влажности) и процесс грануляции (частицы 50 мкм). Оптимизируя размер частиц, морфологию и параметры процесса, можно достичь плотности при постукивании $6,0 \text{ г/см}^3$ и текучести 13 секунд/50 г , что соответствует высоким требованиям

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

к производительности авиационных инструментов (срок службы > 12 часов), горнодобывающих буровых коронок (срок службы > 1200 м) и штампов холодной высадки (деформация < 0,01 мм).

4.5 Резюме и перспективы

Выбор сырья и подготовка порошка твердого сплава являются ключевыми звеньями в оптимизации производительности. В этой главе объясняется взаимосвязь между параметрами процесса и производительностью путем анализа синтеза порошка карбида вольфрама ($1450-1600\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, размер частиц $0,110\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$, свободный углерод $< 0,1\% \pm 0,01\%$), связующей фазы и добавок (чистота $\text{Co/Ni} > 99,8\% \pm 0,01\%$, $\text{VC/Cr}_3\text{C}_2 < 1\% \pm 0,01\%$), предварительной обработки порошка (шаровая мельница $10:1 \pm 0,5$, скорость потока распылительной сушки $100\text{ л/ч} \pm 10\text{ л/ч}$) и характеристики порошка ($\text{FSSS } 0,250\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$, плотность утряски $4,06,2\text{ г/см}^3 \pm 0,1\text{ г/см}^3$, текучесть $1316\text{ секунд/}50\text{ г} \pm 0,5\text{ секунды}$):

Туалетный порошок

Субмикронный размер частиц ($< 0,5\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$) и высокая чистота (свободный углерод $< 0,08\% \pm 0,01\%$) повышают твердость ($\text{HV} > 2300 \pm 30$) авиационных инструментов (срок службы $> 15\text{ ч} \pm 1\text{ ч}$).

Фаза связывания

Co ($10\% \pm 1\%$) обеспечивает прочность ($K_{1c} > 1520\text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2} \pm 0,5$), а Ni ($12\% \pm 1\%$) повышает коррозионную стойкость ($< 0,01\text{ мм/год} \pm 0,002\text{ мм/год}$) и используется для глубоководных клапанов (срок службы $> 5\text{ лет} \pm 0,5\text{ года}$).

Добавка

VC ($0,5\% \pm 0,01\%$) контролирует размер частиц WC ($< 0,3\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), Cr_3C_2 ($0,5\% \pm 0,01\%$) повышает прочность ($> 4200\text{ МПа} \pm 100\text{ МПа}$) и используется для сверл для печатных плат ($> 10^5$ отверстий $\pm 10^4$ отверстий).

Предварительная обработка

Мокрое измельчение ($12\text{ ч} \pm 0,1\text{ ч}$) и распылительная сушка ($250\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$) обеспечивают однородность (отклонение $< 2\% \pm 0,5\%$) и текучесть ($13\text{ с/}50\text{ г} \pm 0,5\text{ с}$) для использования в горнодобывающих буровых коронках (плотность $> 99,5\% \pm 0,1\%$).

Характеристика

Показатели FSSS ($0,35\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$) и насыпной плотности ($5,86,2\text{ г/см}^3 \pm 0,1\text{ г/см}^3$) прогнозируют качество спекания с уменьшенным отклонением твердости ($< \pm 30\text{ HV}$).

Стратегии оптимизации включают в себя

Точное соотношение W:C ($1:1,01 \pm 0,01$), атмосфера H_2 ($\text{O}_2 < 10\text{ ppm} \pm 1\text{ ppm}$), мелкодисперсный

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Co ($<1 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$), добавление VC ($0,3\% \pm 0,01\%$), мокрое измельчение ($10:1 \pm 0,5$, $12 \text{ ч} \pm 0,1 \text{ ч}$) и распылительная сушка (содержание твердого вещества $60\% \pm 1\%$).

Например, порошок, содержащий $0,3 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$ WC, $10\% \pm 1\%$ Co и $0,5\% \pm 0,01\%$ VC (FSSS $0,3 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, плотность утряски $6,0 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$, текучесть $13 \text{ секунд}/50 \text{ г} \pm 0,5 \text{ секунды}$), используется для авиационных инструментов с твердостью HV 2300 ± 30 , величиной износа $< 0,08 \text{ мм} \pm 0,02 \text{ мм}$ и сроком службы $> 15 \text{ часов} \pm 1 \text{ час}$; Порошок, содержащий $1 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$ WC, $12\% \pm 1\%$ Ni и $0,5\% \pm 0,01\%$ Cr₃C₂, используется для глубоководных клапанов с глубиной коррозии $< 3 \text{ мкм} \pm 0,5 \text{ мкм}$ и сроком службы $> 5 \text{ лет} \pm 0,5 \text{ лет}$.

Будущие направления исследований включают крупномасштабное производство нанопорошка WC ($< 0,1 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) (выход $> 5 \text{ т/партия} \pm 0,5 \text{ т}$), зеленую связующую фазу (на основе Fe, стоимость $< 1000 \text{ долл. США/т} \pm 100 \text{ долл. США}$), новые ингибиторы (такие как TaC, $< 0,5\% \pm 0,01\%$) и интеллектуальную характеристику (прогнозирование ИИ FSSS, ошибка $< 1\% \pm 0,2\%$) для удовлетворения потребностей авиации (скорость резки $> 500 \text{ м/мин} \pm 10 \text{ м/мин}$), глубоководья ($> 10\,000 \text{ м}$) и новой энергетики (срок службы электролизера $> 10^4 \text{ часов} \pm 10^3 \text{ часов}$). В этой главе представлена технологическая основа для формования и спекания в Главе 5 путем корреляции вклада фазы WCCo с производительностью в Главе 3.

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: Справочная таблица для выбора изделий из твердого сплава и порошка карбида вольфрама

продукт тип	продукт Пример	Требования к производительности	Характеристики WC-порошка	Параметры выбора туалетного порошка	Применимые сценарии	проиллюстрировать
Резка лезвие	Пластины для токарной обработки, фрезерные пластины, канавочные пластины	Высокая твердость (HRA 8993 ±0,5), отличная износостойкость (износ по задней поверхности VB <0,3 мм), стойкость к скалыванию (глубина скалывания <0,15 мм), шероховатость поверхности Ra <0,8 мкм	Мелкое зерно (0,51,5 мкм ±0,1 мкм), высокая чистота (>99,95% ±0,01%) , низкое содержание углерода: 6,13%6,18% содержание кислорода (<0,1 % ±0,01%), равномерное распределение частиц (D50 ±0,1 мкм)	Размер частиц: 0,51,5 мкм ±0,1 мкм , чистота: >99,95% ±0,01%, содержание углерода: 6,13%6,18% содержание Со: ±0,01%, содержание TiC / TaC (0%2% ±0,1%)	стали, нержавеющей стали, чугуна , скорость резки 100-400 м/мин ±10 м/мин	Мелкозернистый порошок WC обеспечивает высокую твердость и износостойкость, TiC / TaC улучшает высокотемпературные характеристики, а содержание Со обеспечивает баланс между прочностью и твердостью; подходит для пластин типа ISO P/M/K.
Общий инструмент	Сверла, концевые фрезы, развертки	Высокая прочность на изгиб (20003000 МПа ±100 МПа), отличная ударная вязкость (вязкость разрушения 812 МПа·м ^{1/2} ± 0,5), ударопрочность (ударная вязкость > 10 Дж/см ² ± 1 Дж/см ²)	Средне-мелкое зерно (1,02,0 мкм ±0,1 мкм), высокая чистота (>99,9% ±0,01%) , умеренное содержание кислорода (<0,15% ±0,01%), стабильный химический состав	Размер частиц: 1,02,0 мкм ±0,1 мкм , чистота: >99,9% ±0,01%, содержание углерода: 6,10%6,15% содержание Со: ±0,01 % , содержание Со: 8%15% ±0,5%, добавки: VC/Cr ₂ C ₂ (0,1%0,5% ±0,05%)	Обработка литейной стали, алюминиевого сплава, глубина сверления/фрезерования <20 мм ±1 мм	Средне-мелкозернистый карбид вольфрама повышает прочность, карбид вольфрама/хром углерод контролирует рост зерна и обеспечивает общую прочность инструмента; подходит для условий обработки с высокими нагрузками .
Волоочильные фильеры	Волоочильный фильер, экструзионный фильер	Очень высокая износостойкость (скорость износа <0,01 мм ³ /ч ± 0,001 мм ³ /ч), высокая чистота	Ультрамелкое зерно (0,2-0,8 мкм ±0,1 мкм), сверхвысокая чистота (>99,98%)	Размер частиц: 0,2,0,8 мкм ±0,1 мкм , чистота: >99,98% ±0,01%, содержание	Волочение медной и стальной проволоки, диаметр проволоки 0,15 мм ± 0,01 мм	Ультрамелкозернистый WC обеспечивает зеркальную полировку и износостойкость , низкое содержание Со повышает твердость;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

продукт тип	продукт Пример	Требования к производительности	Характеристики WC-порошка	Параметры выбора туалетного порошка	Применимые сценарии	проиллюстрировать
		поверхности (Ra <0,05 мкм), коррозионная стойкость (кислотно-щелочестойкость pH 310)	(Ra ±0,01%), чрезвычайно низкое содержание кислорода (<0,05% ±0,01%), высокая однородность	углерода: 6,15%±0,20% ±0,01%, содержание Со: 3%±0,5%, добавки: отсутствуют или присутствуют в небольшом количестве (< 0,5% ±0,05%)		чистота порошка должна строго контролироваться, чтобы предотвратить появление примесей.
Штамповочный штамп	Штамп холодной высадки, штамп пробивки	Высокая прочность на сжатие (>4000 МПа ±100 МПа), ударопрочность (число ударов >10 ⁶ ±10 ⁴), усталостная прочность (усталостная прочность >1000 МПа ±50 МПа)	Среднее крупное зерно (2,04,0 мкм ±0,2 мкм), высокая чистота (>99,9% ±0,01%), содержание углерода: умеренное содержание кислорода (<0,2% ±0,01%), высокая стабильность	Размер частиц: 2,04,0 мкм ±0,2 мкм, чистота: >99,9% ±0,01%, содержание углерода: 6,08%±6,13% ±0,01%, содержание Со: 10%±20% ±0,5%, добавки: Cr ₃ C ₂ (0,2%±1% ±0,05%)	Болты, штамповка листового металла, толщина <10 мм ±0,1 мм	Средне-крупнозернистый карбид вольфрама повышает ударную вязкость, высокое содержание кобальта повышает прочность, а Cr ₃ C ₂ подавляет рост зерна; подходит для форм, подвергающихся высоким нагрузкам.
Износостойкие детали	Насадка, уплотнительное кольцо, верхний молоток	Высокая износостойкость (потери при износе <0,005 мм ³ /Н·м ±0,001 мм ³ /Н·м), коррозионная стойкость (срок службы >5000 ч ±100 ч), термостойкость (<800°C ±10°C)	Крупное зерно (3,06,0 мкм ±0,5 мкм), чистота (>99,8% ±0,01%), высокое содержание кислорода (<0,3% ±0,01%), высокая химическая стабильность	Размер частиц: 3,06,0 мкм ±0,5 мкм, чистота: >99,8% ±0,01%, содержание углерода: 6,05%±6,10% ±0,01%, содержание Со: 12%±25% ±0,5%, добавки: отсутствуют или	Пескоструйная обработка, горнодобывающая промышленность, герметизация, рабочее давление <50 МПа ±1 МПа	Крупнозернистый карбид вольфрама повышает износостойкость и прочность, а высокое содержание кобальта или никеля улучшает коррозионную стойкость; подходит для износостойких деталей, работающих в экстремальных условиях.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

продукт тип	продукт Пример	Требования к производительности	Характеристики WC-порошка	Параметры выбора туалетного порошка	Применимые сценарии	проиллюстрировать
				присутствуют в небольшом количестве Ni (<2% ±0,1%).		
Инструменты для горнодобывающей промышленности	Кирки, буровые коронки	Очень высокая ударпрочность (ударная вязкость >15 Дж/см²), износостойкость (скорость износа <0,02 мм³/ч ± 0,002 мм³/ч), усталостная прочность	Сверхкрупное зерно (6,010,0 мкм ±1,0 мкм), чистота (>99,7% содержание углерода: ≥99,7% содержание кислорода (<0,4% ±0,01%), высокая прочность	Размер частиц: 6,010,0 мкм ±1,0 мкм, чистота: >99,7% ±0,01%, содержание углерода: 6,00%±6,10% ±0,01%, содержание Со: 15%±30% ±1%, добавки: без или в небольшом количестве сплав CoNi (<5% ±0,2%).	Добыча угля, добыча твердых пород, частота ударов <100 Гц ±5 Гц	Сверхкрупнозернистый WC обеспечивает высокую прочность, а высокое содержание Со повышает ударпрочность; он подходит для условий тяжелой горнодобывающей промышленности, при этом содержание кислорода необходимо контролировать для предотвращения охрупчивания.
Прецизионные детали	Микроинструменты, сердечники клапанов	Высокая точность (допуск размеров ±0,005 мм), отличная чистота поверхности (Ra <0,02 мкм), высокая твердость (HRA 9294 ±0,5)	Нанокристаллы (0,10,4 мкм ±0,05 мкм), сверхвысокая чистота (>99,99% ±0,01%), низкое содержание кислорода (<0,03% ±0,01%) и чрезвычайно высокая однородность	Размер частиц: 0,10,4 мкм ±0,05 мкм, чистота: >99,99% ±0,01%, содержание углерода: 6,18%±6,22% ±0,01%, содержание Со: 2%±5% ±0,3%, добавки: VC (0,05%±0,2% ±0,02%)	Обработка электронных деталей, управление потоками, размер <10 мм ±0,1 мм	Нанокристаллический WC обеспечивает сверхвысокую твердость и гладкость, низкое содержание Со и VC контролируют рост зерна; для предотвращения дефектов требуется порошок высокой чистоты.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Справочная таблица для выбора изделий из твердого сплава и производственных процессов

продукт тип	Примеры продукции	Требования к производителю	Рекомендуемый процесс прессования	Рекомендованное Узелковое ремесло	Параметры процесса	Применимые сценарии	проиллюстрировать
Режущие пластины	Пластины для токарной обработки, фрезерные пластины, канавочные пластины	Высокая твердость (HRA 8993 ±0,5), износостойкость (износ по задней поверхности VB <0,3 мм), стойкость к скалыванию (глубина скалывания <0,15 мм), шероховатость поверхности Ra <0,8 мкм	Двунаправленное компрессионное формование, холодное изостатическое прессование	Вакуумное спекание, спекание при низком давлении	Прессование: давление 100-250 МПа ±10 МПа, время 1040 с ±1 с, плотность сырого тела 60%75% ±2% (двунаправленное формование); давление 100-300 МПа ±10 МПа, выдержка под давлением 15 мин ±10 с, плотность сырого тела 70%85% ±1% (CIP) < br >Спекание: температура 1350-1500°C ±10°C, температура выдержки 14 ч ±5 мин, степень вакуума 0,01-0,1 Па ±0,01 Па, плотность 98%99,5% ±0,5% (вакуум); давление 110 МПа ±0,05 МПа, плотность 98,5%99,5% ±0,3% (низкое давление)	стали, нержавеющей стали, чугуна, скорость резки 100-400 м/мин ±10 м/мин	Двунаправленное формование или CIP обеспечивает равномерную плотность, вакуумное или низконапорное спекание повышает твердость и износостойкость; подходит для лопаток ISO P/M/K, размер зерна 0,51,5 мкм ± 0,1 мкм .
Общий инструмент	Сверла, концевые фрезы, развертки	Высокая прочность на изгиб (20003000 МПа ±100 МПа), ударная вязкость (вязкость разрушения 812 МПа·м ^{1/2} ± 0,5), ударопрочность (ударная вязкость > 10 Дж/см ² ± 1 Дж/см ²)	Экструзионное формование, холодное изостатическое прессование	Горячее изостатическое прессование (ГИП), вакуумное спекание	Прессование: давление экструзии 20100 МПа ±5 МПа, скорость 0,11 м/мин ±0,01 м/мин, плотность заготовки 50%65% ±2% (экструзия); давление 100300 МПа ±10 МПа, выдержка под давлением 15 мин ±10 с, плотность заготовки 70%85% ±1% (CIP) Спекание : температура 13001450°C ±10°C, давление 100200 МПа ±0,1 МПа, выдержка под давлением 13 ч ±5 мин, плотность 99,8%100% ±0,2% (HIP); температура ussel13501500°C ±10°C, температура выдержки 14 ч ±5 мин, плотность 98%99,5% ±0,5% (вакуум)	Обработка литейной стали, алюминиевого сплава, глубина сверления/фрезирования <20 мм ±1 мм	Экструзионное формование подходит для прутков, CIP подходит для сложных форм; HIP повышает прочность, вакуумное спекание имеет низкую стоимость; Содержание Co составляет 8%15% ±0,5%.
Волочильные фильеры	Волочильный фильер, экструзионный фильер	Очень высокая износостойкость (скорость износа <0,01 мм ³ /ч ± 0,001 мм ³ /ч), чистота поверхности (Ra <0,05 мкм) , коррозионная	Литье порошка под давлением, холодное изостатическое прессование	Микроволновое спекание, вакуумное спекание	Прессование: давление впрыска 50-150 МПа ±5 МПа, температура 150-200 °C ±5 °C, усадка заготовки 15%-20% ±1% (PIM); давление 100-300 МПа ±10 МПа, выдержка под давлением 15 мин ±10 с, плотность заготовки 70%-85% ±1% (CIP) < br >Спекание: температура 1300-1450 °C ±10 °C, время 1060 мин ±1 мин, плотность	Волочение медной и стальной проволоки, диаметр проволоки 0,15 мм ± 0,01 мм	PIM подходит для точных форм, CIP обеспечивает однородность; микроволновое спекание эффективно, вакуумное спекание обеспечивает

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

продукт тип	Примеры продукции	Требования к производителю	Рекомендуемый процесс прессования	Рекомендовано Узелковое ремесло	Параметры процесса	Применимые сценарии	проиллюстрировать
		стойкость (стойкость к кислотам и щелочам pH 310)			97%-99% ±0,5% (микроволновая печь); температура 1350-1500 °C ±10 °C, температура выдержки 14 ч ±5 мин, плотность 98%-99,5% ±0,5% (вакуум)		гладкость; сверхтонкий порошок WC 0,20,8 мкм ± 0,1 мкм .
Штамповочный штамп	Штамп холодной высадки, штамп пробивки	Высокая прочность на сжатие (>4000 МПа ±100 МПа), ударопрочность (число ударов >10 ⁶ ±10 ⁴), усталостная прочность (усталостная прочность >1000 МПа ±50 МПа)	Одностороннее компрессионное формование, холодное изостатическое прессование	Горячее изостатическое прессование (ГИП), спекание в газовой среде	Прессование: давление 50200 МПа ±10 МПа, время 530 с ±1 с, плотность сырого тела 50%70% ±2% (однонаправленное); давление 100300 МПа ±10 МПа, выдержка под давлением 15 мин ±10 с, плотность сырого тела 70%85% ±1% (СІР) >Спекание: температура 13001450°C ±10°C, давление 100200 МПа ±0,1 МПа, температура выдержки 13 ч ±5 мин, плотность 99,8%100% ±0,2% (НІР); температура 13501480°C ±10°C, температура выдержки 15 ч ±5 мин, плотность 97%99% ±0,5% (газ)	Болты, штамповка листового металла, толщина <10 мм ±0,1 мм	Одностороннее формование имеет низкую стоимость, СІР подходит для сложных форм; НІР повышает прочность, газовая защита подходит для больших форм; средне-крупное зерно WC 2,04,0 мкм ± 0,2 мкм .
Износостойкие детали	Насадка, уплотнительное кольцо, верхний молоток	Высокая износостойкость (потери на износ <0,005 мм ³ /Н·м ± 0,001 мм ³ /Н· м) , коррозионная стойкость (срок службы >5000 ч ±100 ч), термостойкость (<800°C ±10°C)	Профилированное изостатическое прессование сухих мешков	Спекание при низком давлении, спекание в газовой защитной среде	Прессование: давление роликов 50-150 МПа ±10 МПа, скорость вращения роликов 0,55 об/мин ±0,1 об/мин, толщина заготовки 110 мм ±0,1 мм (прокатка); давление 150-400 МПа ±10 МПа, время 30-120 с ±5 с, плотность заготовки 70%80% ±1% (сухой мешок) > Спекание: температура 1350-1450°C ±10°C, давление 110 МПа ±0,05 МПа, изоляция 13 ч ±5 мин, плотность 98,5%99,5% ±0,3% (низкое давление); температура 1350-1480°C ±10°C, изоляция 15 ч ±5 мин, плотность 97%99% ±0,5% (газ)	Пескоструйная обработка, горнодобывающая промышленность, герметизация, давление <50 МПа ±1 МПа	Профилирование подходит для тонких пластин, изостатическое прессование в сухом мешке эффективно; спекание при низком давлении обеспечивает баланс производительности, газовая защита подходит для крупных деталей; крупнозернистость WC 3,0-6,0 мкм ± 0,5 мкм .
Инструменты для горнодобывающей промышленности	Кирки, буровые коронки	Очень высокая ударопрочность (ударная вязкость >15 Дж/см ² ± 1	Одностороннее компрессионное формование, экструзионное формование	Газозащитное спекание, вакуумное спекание	Прессование: давление 50200 МПа ±10 МПа, время 530 с ±1 с, плотность заготовки 50%70% ±2% (однонаправленное); давление экструзии 20100 МПа ±5 МПа, скорость 0,11 м/мин ±0,01 м/мин,	Добыча угля, пород, ударов <100 Гц ±5 Гц	Одностороннее формование имеет низкую стоимость, а экструзия подходит для длинных полос;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

продукт тип	Примеры продукции	Требования к производителю	Рекомендуемый процесс прессования	Рекомендованное Узелковое ремесло	Параметры процесса	Применимые сценарии	проиллюстрировать
ости		Дж/см ²), износостойкость (скорость износа <0,02 мм ³ /ч ± 0,002 мм ³ /ч), усталостная прочность			плотность заготовки 50%65% ±2% (экструзия) < br >Спекание: температура 13501480°C ±10°C, изоляция 15 ч ±5 мин, плотность 97%99% ±0,5% (газ); температура 13501500°C ±10°C, изоляция 14 ч ±5 мин, плотность 98%99,5% ±0,5% (вакуум)		газовая защита подходит для крупных деталей, а вакуумное спекание улучшает эксплуатационные характеристики; сверхкрупное зерно WC 6,010,0 мкм ± 1,0 мкм .
Прецизионные детали	Микроинструменты, сердечники клапанов	Высокая точность (допуск ±0,005 мм), чистота поверхности (Ra <0,02 мкм), высокая твердость (HRA 9294 ±0,5)	Литье порошка под давлением, изостатическое прессование	Микроволновое спекание, искровое плазменное спекание (ИПС)	Прессование: давление впрыска 50-150 МПа ±5 МПа, температура 150-200 °C ±5 °C, усадка заготовки 15%-20% ±1% (PIM); давление 150-400 МПа ±10 МПа, время 30-120 с ±5 с, плотность заготовки 70%-80% ±1% (сухой мешок) Спекание : температура 1300-1450 °C ±10 °C, время 1060 мин ±1 мин, плотность 97%-99% ±0,5% (микроволновая печь); температура 12001400°C ±10°C, давление 30100 МПа ±0,1 МПа, время 520 мин ±30 с, плотность 98%99,5% ±0,5% (SPS)	Обработка электронных деталей, управление потоками, размер <10 мм ±0,1 мм	PIM и изостатическое прессование в сухом мешке подходят для микросложных форм; микроволновое и SPS-преобразование обеспечивает высокую скорость и точность; нанокристаллический WC 0,10,4 мкм ± 0,05 мкм .
Прокатные инструменты	Валик, прижимной валик	Высокая износостойкость (потери на износ <0,01 мм ³ /Н·м ± 0,001 мм ³ /Н· м), усталостная прочность (усталостная долговечность >10 ⁷ циклов ±10 ⁵), термостойкость (<900°C ±10°C)	Холодное изостатическое прессование, компрессионное формование	Горячее изостатическое прессование (ГИП), спекание при низком давлении	Прессование: давление 100-300 МПа ±10 МПа, выдержка под давлением 15 мин ±10 с, плотность сырого тела 70%-85% ±1% (СПР); давление 50-200 МПа ±10 МПа, время 530 с ±1 с, плотность сырого тела 50%-70% ±2% (однонаправленное) < br >Спекание: температура 1300-1450°C ±10°C, давление 100-200 МПа ±0,1 МПа, выдержка под давлением 13 ч ±5 мин, плотность 99,8%-100% ±0,2% (HIP); температура 13501450°C ±10°C, давление 110 МПа ±0,05 МПа, выдержка под давлением 13 ч ±5 мин, плотность 98,5%99,5% ±0,3% (низкое давление)	Прокатка стального листа и алюминиевого профиля, усилие прокатки <1000 кН ±10 кН	под низким давлением компенсирует стоимость; крупнозернистый WC 3,06,0 мкм ±0,5 мкм , Co 10%20% ±0,5%.
Износостойкая подкладка	Футеровка дробилки, футеровка	Высокая износостойкость (скорость износа	Профилирование, одностороннее	Спекание газовой защитной среде,	Прессование: давление 50-150 МПа ±10 МПа, скорость вращения роликов 0,55 об/мин ±0,1 об/мин, толщина	Добыча полезных ископаемых,	Профилирование подходит для тонких пластин, а

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

продукт тип	Примеры продукции	Требования к производительности	Рекомендуемый процесс прессования	Рекомендовано Узелковое ремесло	Параметры процесса	Применимые сценарии	проиллюстрировать
	мельницы	<0,015 мм ³ /ч ± 0,002 мм ³ /ч), ударопрочность (ударная вязкость >12 Дж/см ²) ± 1 Дж/см ²) , коррозионная стойкость (срок службы >4000 ч ±100 ч)	компрессионное формование	спекание под низким давлением	заготовки 110 мм ±0,1 мм (прокатка); давление 50-200 МПа ±10 МПа, время с ±1 с, плотность заготовки 50%70% ±2% (однонаправленное)< br >Спекание: температура 1350-1480°C ±10°C, изоляция 15 ч ±5 мин, плотность 97%99% ±0,5% (газ); температура 1350-1450°C ±10°C, давление 110 МПа ±0,05 МПа, изоляция 13 ч ±5 мин, плотность 98,5%99,5% ±0,3% (низкое давление)	дробление материалов, скорость износа <0,1 мм/мес.±0,01 мм	одностороннее формование эффективно; газовая защита подходит для больших футеровочных пластин, а спекание при низком давлении улучшает эксплуатационные характеристики; средне-крупное зерно WC 2,04,0 мкм ± 0,2 мкм .
Детали подшипников в	Втулки подшипников, шарика	Высокая износостойкость (потери на износ <0,003 мм ³ / Н·м ± 0,001 мм ³ /Н· м) , высокая точность (допуск ±0,01 мм), усталостная прочность (срок службы >10 ⁸ циклов ±10 ⁶)	Литье порошка под давлением, холодное прессование	Вакуумное спекание, искровое плазменное спекание (ИПС)	Прессование: давление впрыска 50-150 МПа ±5 МПа, температура 150-200 °C ±5 °C, усадка заготовки 15%-20% ±1% (PIM); давление 100-300 МПа ±10 МПа, выдержка под давлением 15 мин ±10 с, плотность заготовки 70%-85% ±1% (CIP) Спекание : температура 1350-1500 °C ±10 °C, выдержка под давлением 14 ч ±5 мин, плотность 98%-99,5% ±0,5% (вакуум); температура 12001400°C ±10°C, давление 30100 МПа ±0,1 МПа, время 520 мин ±30 с, плотность 98%99,5% ±0,5% (SPS)	Высокоскоростные машины, автомобильные подшипники, скорость <10 ⁴ об/мин ±100 об/мин	PIM подходит для сложных форм, CIP обеспечивает однородность; вакуумное спекание универсально, SPS повышает точность; мелкозернистый WC 0,51,5 мкм ± 0,1 мкм .
Инструменты для распыления	Распылительная насадка, пескоструйная насадка	Очень высокая износостойкость (скорость износа <0,005 мм ³ /ч ± 0,001 мм ³ /ч), коррозионная стойкость (кислотно-щелочестойкость рН 212), термическая стабильность	Литье порошка под давлением, сухое и прессование	Микроволновое спекание, спекание при низком давлении	Прессование: давление впрыска 50-150 МПа ±5 МПа, температура 150-200 °C ±5 °C, усадка заготовки 15%-20% ±1% (PIM); давление 150-400 МПа ±10 МПа, время 30-120 с ±5 с, плотность заготовки 70%-80% ±1% (сухой мешок)< br >Спекание: температура 1300-1450 °C ±10 °C, время 1060 мин ±1 мин, плотность 97%-99% ±0,5% (микроволновая печь); температура 1350-1450 °C ±10 °C, давление 110 МПа ±0,05 МПа, изоляция 13 ч ±5 мин, плотность 98,5%-99,5% ±0,3% (низкое	Пескоструйная обработка, распыление краски, расход <100 л/мин ±1 л/мин	PIM подходит для прецизионных сопел, изостатическое прессование в сухом мешке эффективно; спекание происходит быстро, спекание при низком давлении гарантирует производительность; сверхтонкий WC 0,2-

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

продукт тип	Примеры продукции	Требования к производительно сти	Рекомендуемы й процесс прессования	Рекомендовано Узелковое ремесло	Параметры процесса	Применимые сценарии	проиллюстрировать
		(<700°C ±10°C)			давление)		0,8 мкм ± 0,1 мкм .
Медицински е инструменты	Стоматологич еские сверла, хирургически е лезвия	Высокая твердость (HRA 9194 ±0,5), чистота поверхности (Ra <0,01 мкм), биосовместимость (нетоксичность), высокая точность (допуск ±0,002 мм)	Литье порошка под давлением, сухое изостатическое прессование	Искровое плазменное спекание (ИПС), вакуумное спекание	Прессование: давление впрыска 50-150 МПа ±5 МПа, температура 150-200 °C ±5 °C, усадка заготовки 15%-20% ±1% (PIM); давление 150-400 МПа ±10 МПа, время 30-120 с ±5 с, плотность заготовки 70%-80% ±1% (сухой мешок) Спекание : температура 1200-1400 °C ±10 °C, давление 30-100 МПа ±0,1 МПа, время 520 мин ±30 с, плотность 98%-99,5% ±0,5% (SPS); температура 13501500°C ±10°C, изоляция 14 ч ±5 мин, плотность 98%99,5% ±0,5% (вакуум)	Стоматологическая хирургия, ортопедическая обработка, размер <5 мм ±0,05 мм	методом сухого изостатического прессования подходит для микросложных форм; метод SPS обеспечивает высокоточное и стабильное вакуумное спекание; нанокристаллический WC 0,10,4 мкм ±0,05 мкм , содержание Со всего 2%5% ±0,3%.
Энергетичес кие компоненты	Зубья сверлильных, уплотнения клапанов	Высокая износостойкость (потери на износ <0,008 мм³/Н·м ± 0,001 мм³/Н· м), коррозионная стойкость (кислотно-щелочестойкость рН 211), высокая термостойкость (<1000°C ±10°C)	Холодное изостатическое прессование, и прессование в сухом мешке	Горячее изостатическое прессование (ГИП), спекание в при низком давлении	Прессование: давление 100-300 МПа ±10 МПа, выдержка под давлением 15 мин ±10 с, плотность сырого тела 70%85% ±1% (CIP); давление 150-400 МПа ±10 МПа, время 30-120 с ±5 с, плотность сырого тела 70%80% ±1% (сухой мешок) Бурение нефтяных скважин, клапаны для природного газа, давление <100 МПа ±1 МПа	Бурение нефтяных скважин, клапаны для природного газа, давление <100 МПа ±1 МПа	CIP и изостатическое прессование в сухом мешке подходят для сложных форм; HIP улучшает высокотемпературные характеристики, а спекание под низким давлением имеет умеренную стоимость; крупнозернистый WC 3,06,0 мкм ±0,5 мкм , добавление Ni <2% ±0,1%.
Аэрокосмиче ские компоненты	Формы для турбинных лопаток, формы для крепежных деталей	Высокая усталостная прочность (усталостная долговечность >10 ⁸ циклов ±10 ⁶), высокая термостойкость (<900°C ±10°C),	Литье порошка под давлением, холодное изостатическое прессование	Вакуумное спекание, горячее изостатическое прессование (ГИП)	Прессование: давление впрыска 50-150 МПа ±5 МПа, температура 150-200 °C ±5 °C, усадка заготовки 15%-20% ±1% (PIM); давление 100-300 МПа ±10 МПа, выдержка под давлением 15 мин ±10 с, плотность заготовки 70%-85% ±1% (CIP) Спекание : температура 13501500 °C ±10 °C, температура выдержки 14 ч ±5 мин, плотность 98%-99,5% ±0,5% (вакуум);	Авиационный двигатель, изготовление крепежа, размер <50 мм ±0,5 мм	PIM подходит для точных и сложных форм, CIP обеспечивает однородность; вакуумное спекание универсально, HIP повышает усталостную

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

продукт тип	Примеры продукции	Требования к производственным процессам	Рекомендуемый процесс прессования	Рекомендовано Узелковое ремесло	Параметры процесса	Применимые сценарии	проиллюстрировать
		высокая точность (допуск ±0,01 мм)			температура 1300/1450°C ±10°C, давление 100/200 МПа ±0,1 МПа, температура выдержки 13 ч ±5 мин, плотность 99,8%/100% ±0,2% (HIP)		прочность; мелкозернистый WC 0,51,5 мкм ± 0,1 мкм .
Инструменты для электронного производства	Форма для изготовления полупроводников, форма для изготовления выводных рамок	Высокая точность (допуск ±0,003 мм), чистота поверхности (<0,015 мкм), высокая твердость (HRA 9295 ±0,5)	Литье порошка под давлением, сухое изостатическое прессование	Искровое плазменное спекание (ИПС), микроволновое спекание	Прессование: давление впрыска 50-150 МПа ±5 МПа, температура 150-200 °C ±5 °C, усадка заготовки 15%-20% ±1% (PIM); давление 150-400 МПа ±10 МПа, время 30-120 с ±5 с, плотность заготовки 70%-80% ±1% (сухой мешок) Спекание : температура 1200-1400 °C ±10 °C, давление 30-100 МПа ±0,1 МПа, время 520 мин ±30 с, плотность 98%-99,5% ±0,5% (SPS); температура 1300/1450°C ±10°C, время 1060 мин ±1 мин, плотность 97%/99% ±0,5% (микроволновая печь)	Корпусирование полупроводнико микросхем, размер <10 мм ±0,1 мм	PIM и изостатическое прессование в сухом мешке подходят для микроформ; SPS и микроволновое спекание являются высокоточными и быстрыми; нанокристаллический WC 0,10,4 мкм ± 0,05 мкм .
Строительные инструменты	Сверла по бетону, лезвия для резки кирпича	Высокая износостойкость (скорость износа <0,02 мм³/ч ± 0,002 мм³/ч), ударопрочность (ударная вязкость >14 Дж/см²) ± 1 Дж/см²), коррозионная стойкость (срок службы >3000 ч ±100 ч)	Одностороннее компрессионное формование, экструзионное формование	Газозащитное спекание, вакуумное спекание	Прессование: давление 50/200 МПа ±10 МПа, время 530 с ±1 с, плотность заготовки 50%/70% ±2% (однонаправленное); давление экструзии 20100 МПа ±5 МПа, скорость 0,11 м/мин ±0,01 м/мин, плотность заготовки 50%/65% ±2% (экструзия)< br >Спекание: температура 1350/1480°C ±10°C, изоляция 15 ч ±5 мин, плотность 97%/99% ±0,5% (газ); температура 1350/1500°C ±10°C, изоляция 14 ч ±5 мин, плотность 98%/99,5% ±0,5% (вакуум)	Бетон, обработка каменной кладки, глубина сверления <100 мм ±1 мм	Одностороннее формование имеет низкую стоимость, а экструзия подходит для длинных полос; газовая защита подходит для больших объемов, а вакуумное спекание улучшает производительность; средне-крупное зерно WC 2,04,0 мкм ± 0,2 мкм .

Ссылки

Экснер, Х. Э. (1979). Физическая и химическая природа твердых сплавов. *International Metals Reviews* , 24(1), 149173. <https://doi.org/10.1179/imtr.1979.24.1.149>

Экснер, Х. Э. (1979). Физическая и химическая природа твердых сплавов. *International Metals Reviews*, 24(1), 149173.

Uradhyaya, GS (1998). *Цементированные карбиды вольфрама: производство, свойства и испытания*. William Andrew Publishing.

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

- Fang, ZZ, & Eso, OO (2014). Достижения в обработке твердого сплава. В VK Sarin (ред.), *Комплексные твердые материалы (т. 1, стр . 167-190)*. Elsevier.
- Ван, Х. и Фанг, ЗЗ (2019). Термические и механические свойства твердых сплавов в экстремальных условиях. *Международный журнал огнеупорных металлов и твердых материалов*, 82, 7685.
- Чжан, Л. и Чен, С. (2017). Коррозионное поведение твердых сплавов в кислых средах. *Corrosion Science*, 125, 8795 .
- Пракаш, Л. Дж. (2014). Твердые сплавы : структура, свойства и эксплуатационные характеристики. В VK Sarin (ред.), *Comprehensive hard materials* (т. 1, стр. 2954). Elsevier.
- Пракаш, Л. Дж. (2014). Твердый сплав: структура, свойства и эксплуатационные характеристики. В VK Sarin (ред.), *Comprehensive Hard Materials* (т. 1, стр. 2954). Elsevier Publishing.
- Luycxk, S., & Love, A. (2006). Связь между сортом и микроструктурой твердых сплавов. *Международный журнал огнеупорных металлов и твердых материалов*, 24(12), 7582.
- Лю, И. и Цзян, И. (2018). Синтез ультратонких порошков WC методом механохимической обработки. *Powder Technology*, 338, 623630.
- Сан, Дж. и Чжао, Дж. (2020). Влияние ингибиторов роста зерен на микроструктуру твердых сплавов. *Ceramics International* , 46(8), 1154311550.
- Сан, Дж. и Чжао, Дж. (2020). Влияние ингибитора роста зерна на микроструктуру твердого сплава. *Международный журнал керамики*, 46(8), 1154311550.
- Чжан, Х. и Ли, Х. (2022). Теплопроводность твердых сплавов: экспериментальные и модельные подходы. *Журнал исследований и технологий материалов*, 18, 12341245 .
- Ким, С. и Ли, Дж. (2021). Термостойкость твердых сплавов для режущих инструментов. *Ceramics International* , 47(12), 1678916796.
- Jin, X., & Li, J. (2021). Термостойкость твердого сплава для режущих инструментов. *International Journal of Ceramics*, 47(12), 16789-16796.
- Park, C., & Kang, S. (2020). Магнитные и электрические свойства цементированных карбидов с никель-связью . *Журнал материаловедения* , 55 (14), 62346245.
- Пак, Чжэ и Цзян, Шэн. (2020). Магнитные и электрические свойства цементированного карбида с Ni-связью. *Журнал материаловедения*, 55(14), 62346245.
- Wu, J., & Chen, H. (2023). Электрохимическая коррозия твердых сплавов в агрессивных средах. *Electrochimica Acta* , 441, 141789.
- Wu, J., & Chen, H. (2023). Электрохимическая коррозия твердого сплава в суровых условиях. *Journal of Electrochimica Sinica*, 441, 141789.
- Робак, Б. и Алмонд, Э.А. (1988). Процессы деформации и разрушения в твердых сплавах. *Материаловедение и машиностроение: А* , 105106, 237245.
- Робак, Б. и Алмонд, Э.А. (1988). Процессы деформации и разрушения в твердых сплавах. *Материаловедение и машиностроение: А*, 105106, 237245.
- China Tungsten Online. (2023). Свойства и применение твердого сплава. China Tungsten Online.
<http://news.chinatungsten.com/cn/tungstencarbideinformation>
- Chinatungsten Online. (2023). Свойства и применение твердого сплава. *Chinatungsten Онлайн* .
- Чжу, Л. К. и Ли, В. П. (2018). Достижения в технологии производства твердых сплавов. *Materials Reports*, 32(10), 1653-1660 . , Т. и Чен, М. (2019). Прогресс в кинетике спекания твердых сплавов. *Технология порошковой металлургии*, 37(5), 321-329 .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

, M., and Zhao, G. (2022). Achievements in testing mechanical properties of hard alloys. *Materials Science and Technology*, 30(6), 789796 .

, W., & Zhang, H. (2020). Investigation of the behavior of hard alloys at high-temperature oxidation. *Journal of Materials Science and Technology*, 38(4), 512518 .

, P., and Liu, Y. (2021). Progress in thermal properties of hard alloys. *Materials China*, 40(3), 234241 .

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

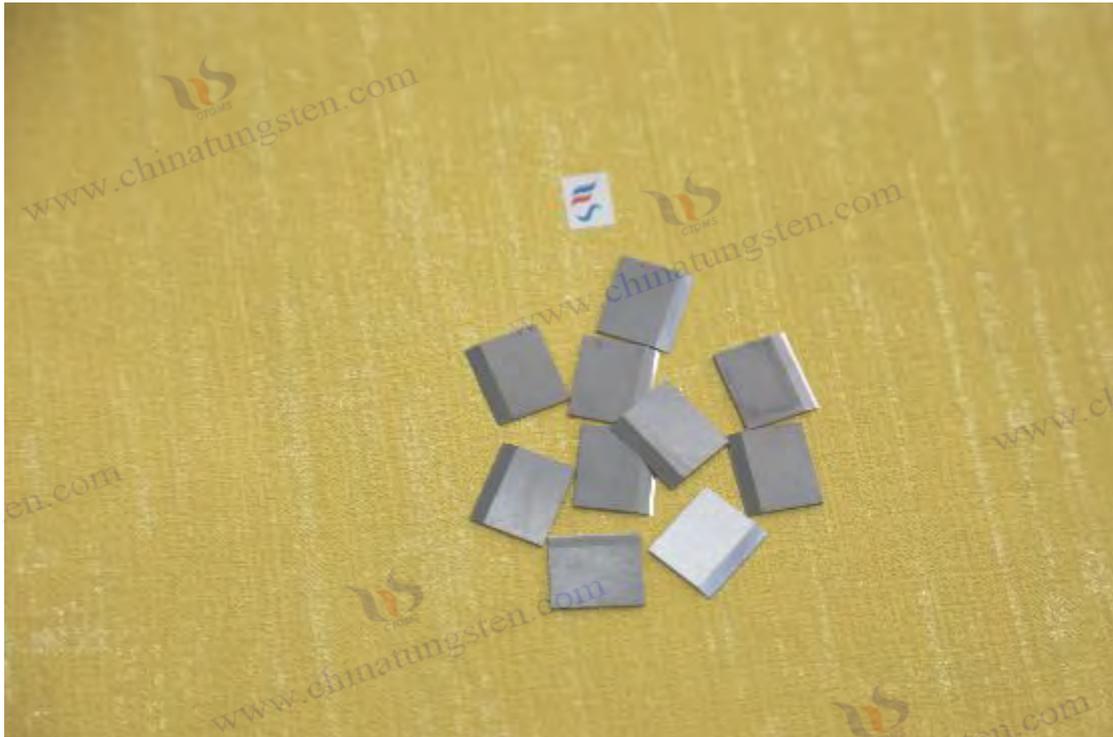
WeChat : Follow "China Tungsten Online"



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 :

Виды шаровых мельниц для приготовления твердосплавных смесей

твердосплавных (твердый металл или цементированный карбид) материалов является ключевым этапом в процессе производства, который напрямую влияет на микроструктуру и свойства (такие как твердость, вязкость и прочность) конечного продукта. Шаровая мельница является основным процессом приготовления смеси, который используется для равномерного смешивания твердой фазы (такой как карбид вольфрама WC), связующей фазы (такой как кобальт Co) и других добавок (таких как TaC , Cr₃C₂), а также для контроля размера частиц порошка, морфологии и активности.

Далее подробно описываются типы шаровых мельниц, процессы, параметры процесса, характеристики оборудования, факторы влияния и меры оптимизации для приготовления смесей из твердого сплава, объединяя отраслевые стандарты (такие как ISO, GB/T) и данные для обеспечения полноты и точности содержания.

1. Виды шаровых мельниц для приготовления твердосплавных смесей

Типы шаровых мельниц, обычно используемых при приготовлении смесей из твердого сплава, делятся на следующие категории в зависимости от конструкции оборудования, метода измельчения и среды, каждая из которых подходит для различных масштабов производства и требований к производительности:

1.1 Планетарная шаровая мельница

Определение : Измельчающий стакан закреплен на вращающемся диске, а диск и стакан

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

вращаются и вращаются одновременно, создавая высокую энергию удара и сдвигающего усилия.

Функции :

Высокоэнергетическое измельчение, высокая эффективность, подходит для ультратонких порошков (размер частиц < 0,5 мкм) .

Короткое время шлифования (420 часов), подходит для небольших партий и высокопроизводительных твердых сплавов.

Распределение размеров частиц порошка узкое, однородность хорошая.

Применимые сценарии :

Ультрамелкозернистый твердый сплав (например, инструменты, формы, твердость 1800-2200 HV). Лабораторные исследования и разработки, приготовление высокоточных смесей.

Параметры оборудования :

Скорость: 200–600 об/мин (главный диск), передаточное отношение вращения бака 1:2.

Соотношение шариков и материала: от 5:1 до 10:1 (массовое соотношение).

Мелющие тела: твердосплавные шары (WC, 610 мм).

Плюсы и минусы :

Преимущества : высокая эффективность, мелкий размер частиц и равномерное смешивание.

Недостатки : высокая стоимость оборудования, ограниченная емкость (50-500 мл на бак), не подходит для массового производства.

1.2 Барабанная шаровая мельница

Определение : Горизонтальный барабан заполнен мелющими шарами и материалами, а вращение барабана заставляет шары и материалы катиться, сталкиваться и измельчаться.

Функции :

Низкое энергопотребление при измельчении, меньшая эффективность, но большая производительность, подходит для крупномасштабного производства.

Длительное время измельчения (2472 часа), диапазон размеров частиц 0,52 мкм . Простое оборудование, низкие затраты на техническое обслуживание.

Применимые сценарии :

Среднезернистый твердый сплав (например, YG6, YG8, твердость 1400-1600 HV).

Массовое производство горного инструмента и режущего инструмента общего назначения.

Параметры оборудования :

Скорость: 30100 об/мин (6070% от критической скорости).

Соотношение мяча и материала: от 3:1 до 5:1.

Мелющие тела: твердосплавные шары или стальные шары (1020 мм, стальные шары должны

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

быть антизагрязняющими).

Плюсы и минусы :

Преимущества : большая вместимость (50 л–1000 л), низкая стоимость, подходит для индустриализации.

Недостатки : низкая эффективность измельчения, широкий диапазон размеров частиц и сложность получения сверхтонкого порошка.

1.3 Вибрационная шаровая мельница

Определение : Измельчающий стакан заставляет измельчающие шары и материалы сталкиваться и сдвигаться посредством высокочастотной вибрации (частота вибрации 1030 Гц).

Функции :

Средняя и высокая энергия измельчения, эффективность между планетарным и барабанным типами.

Время измельчения составило 1248 часов, размер частиц — 0,51 мкм .

Подходит для мелко- и среднесерийного производства, обеспечивает хорошую однородность смешивания.

Применимые сценарии :

Средне- и мелкозернистый твердый сплав (например, высокопроизводительный инструмент, твердость 1600-1800 HV).

Добавки (такие как TaC , TiC) сложная формула смешивания.

Параметры оборудования :

Частота вибрации: 1525 Гц.

Соотношение мяча и материала: от 5:1 до 8:1.

Мелющие тела: твердосплавные шары (515 мм).

Плюсы и минусы :

Преимущества : высокая эффективность, хороший контроль размера частиц, подходит для малых и средних масштабов.

Недостатки : сложное оборудование, высокая вибрация и шум, высокие требования к техническому обслуживанию.

1.4 Агриторная мельница

Определение : В вертикальном или горизонтальном резервуаре рычаг мешалки приводит в движение мелющие шары и материалы, которые перемешиваются и сталкиваются на высокой

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

скорости.

Функции :

Высокоэнергетическое измельчение с эффективностью, близкой к планетарному типу, подходит для сверхтонких порошков ($< 0,5$ мкм) .

Средняя производительность (10 - 100 л), время измельчения 624 часа.

Порошок обладает высокой активностью и подходит для высокопроизводительных твердых сплавов.

Применимые сценарии :

Сверхмелкозернистый, высокотвердый твердый сплав (например, прецизионные инструменты, твердость 2000 HV).

Сложные составы (например, многофазные добавки TiC , TaC) .

Параметры оборудования :

Скорость перемешивания: 100-500 об/мин.

Соотношение мячей и материала: от 8:1 до 15:1.

Мелющие тела: твердосплавные шары (310 мм).

Плюсы и минусы :

Преимущества : высокая эффективность, мелкий размер частиц, подходит для сложных формул.

Недостатки : стоимость оборудования высока, а смесительный рычаг изнашивается и требует регулярной замены.

1.5 Мокрое и сухое шаровое измельчение

Мокрое шаровое измельчение :

Особенности : Добавление жидкой среды (например, этанола, ацетона) может уменьшить агломерацию порошка и сделать размер частиц более мелким ($0,21$ мкм) .

Применение : Сверхмелкозернистый твердый сплав, требующий высокой однородности.

Недостатки : требуется последующая сушка, что увеличивает количество стадий процесса.

Сухое шаровое измельчение :

Особенности : Отсутствие жидкой среды, простой процесс, но легкая агломерация, крупный размер частиц (12 мкм) .

Применимо : твердый сплав средней зернистости, массовое производство.

Недостатки : низкая активность порошка и немного плохая однородность.

Поддержка данных :

размер частиц $< 0,5$ мкм , твердость увеличена на 20% (ScienceDirect, 2020).

Тип барабана: размер частиц 12 мкм , подходит для YG6/YG8 (GB/T 3849).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

размер частиц 0,2-0,5 мкм , прочность увеличивается на 10% (Sandvik, 2023).

2. Подробное описание процесса шаровой мельницы

Процесс шаровой мельницы для приготовления смесей твердого сплава включает следующие этапы, каждый из которых оказывает важное влияние на качество порошка и конечные свойства (такие как твердость 1400-2200 HV, прочность на изгиб 1,5-2,5 ГПа) :

2.1 Подготовка сырья

сырье :

Твердая фаза : порошок WC (размер частиц 0,52 мкм , чистота >99,9%).

Связующая фаза : порошок Co (размер частиц 12 мкм , чистота >99,8%).

Добавки : TaC , TiC , Cr₃C₂ (размер частиц <1 мкм , 0,55%) .

Соотношение :

Типичные марки: YG6 (94% WC, 6% Co), YG8 (92% WC, 8% Co).

Точное взвешивание ($\pm 0,01$ г) обеспечивает погрешность содержания кобальта <0,1%.

Предварительная обработка :

Сушка: Удалить влагу из порошка (100°C, 2 часа).

Просеивание: удаление крупных частиц (200 меш, < 75 мкм) .

Цель : Обеспечить чистоту и размер частиц сырья, а также избежать загрязнения примесями (такими как Fe, O).

2.2 Загрузка

Мелющие тела :

Для предотвращения загрязнения стальными шариками используются твердосплавные шарики (WC, 610 мм, твердость ~1500 HV).

Соотношение шаров и материала: от 5:1 до 10:1 (планетарный/смесительный тип), от 3:1 до 5:1 (барабанный тип).

Измельчительная емкость :

Материал: карбид или нержавеющая сталь, покрытая WC, износостойкая и устойчивая к загрязнению.

Вместимость: планетарного типа (50500 мл), барабанного типа (501000 л).

Жидкие среды (мокрое измельчение) :

Этанол, ацетон или гексан (соотношение твердого вещества к жидкому от 1:1 до 1:2).

Добавьте формовочные агенты: парафин, полиэтиленгликоль (ПЭГ, 12%) для улучшения текучести.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Назначение : Обеспечить эффективность измельчения и предотвратить прилипание порошка к стенкам или агломерацию.

2.3 Шаровая мельница

Параметры процесса :

Планетарный тип : скорость 300-500 об/мин, время работы 420 часов, прерывистый режим работы (остановка на 10 минут каждые 30 минут для предотвращения перегрева).

Тип барабана : скорость 5080 об/мин, время работы 2472 часа, непрерывная работа.

Тип вибрации : частота 1520 Гц, время 1248 часов.

Тип перемешивания : скорость перемешивания 200-400 об/мин, время 624 часа.

Процесс :

Шары сталкиваются с порошком и измельчают его, разбивая крупные частицы и смешивая влагу, кобальт и добавки.

Мокрое измельчение: жидкая среда суспендирует порошок, уменьшает агломерацию и обеспечивает более мелкий размер частиц.

Сухое измельчение: прямое измельчение, подходит для получения крупных частиц.

Монитор :

размера частиц, целевой размер частиц 0,22 мкм .

Температурный контроль: <60°C во избежание окисления порошка.

Назначение : получение однородной, мелкодисперсной и высокоактивной смеси.

2.4 Разгрузка и постобработка

Разрядка :

Остановите шаровую мельницу, дайте ей постоять 12 часов (мокрое измельчение) и отделите порошок от мелющих шаров.

Фильтруют жидкую среду (мокрое измельчение) и собирают смешанную пульпу.

Сушка (мокрое измельчение) :

Оборудование: вакуумная сушильная печь или распылительная сушилка.

Условия: 80 - 100°C, 24 часа, вакуум <100 Па.

Назначение: удалить этанол/ацетон, сохранить формовочный агент и образовать порошок с хорошей текучестью.

Проверка :

Сито 200 меш (<75 мкм) для удаления агломерированных частиц.

Обнаружение :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Распределение размеров частиц: D50 (медианный размер частиц) 0,22 мкм , D90 < 5 мкм .
Химический состав: содержание кобальта измерено методом ИСП (погрешность $\pm 0,1\%$).
Содержание кислорода: <0,2%, чтобы избежать окисления, влияющего на спекание.

Назначение : обеспечить однородность и мелкозернистость смешанного материала, пригодного для прессования и спекания.

2.5 Контроль качества

Магнитный тест кобальта (GB/T 3849):

Проверьте содержание кобальта и баланс углерода, чтобы убедиться в однородности смеси.
Типичное значение: значение магнитного насыщения YG6 $\sim 0,97$ мкТл·м³/кг.

Микроструктурный анализ (ISO 4499):

Морфологию порошка исследовали с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), чтобы убедиться в отсутствии агломератов или крупных частиц.

Тест на ликвидность :

Расходомер Холла, скорость потока <30 с/50 г, обеспечивает производительность прессования.

Цель : обеспечить соответствие смеси требованиям спекания и уменьшить количество дефектов, таких как η -фаза и поры.

3. Факторы, влияющие на процесс шарового измельчения

3.1 Характеристики сырья

Размер частиц : размер частиц WC <2 мкм , Co <2 мкм . Если размер частиц слишком большой, время измельчения увеличится на 20%.

Чистота : примеси (такие как Fe, O) > 0,1% снижают твердость на 5% и увеличивают η -фазу.

Внешний вид : Сферический порошок обладает хорошей текучестью, тогда как хлопьевидный порошок легко агломерируется.

3.2 Параметры шлифования

Соотношение шариков и материала : высокое соотношение шариков и материала (10:1) повышает эффективность, но слишком высокое соотношение (>15:1) увеличивает загрязнение.

Скорость/ частота : Высокая скорость (500 об/мин) обеспечивает более мелкий размер частиц, но слишком высокая скорость приводит к перегреву и увеличению содержания кислорода на 0,1%.

Время измельчения : если время слишком короткое (<4 часов), смешивание будет неравномерным; если время слишком длинное (>72 часов), активность порошка снизится.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.3 Мелющие тела

Материал : Твердосплавные шарики предотвращают загрязнение, в то время как стальные шарики вносят железо (>0,05%), что снижает производительность.

Размер : Маленькие шары (36 мм) для сверхтонкого помола, большие шары (1020 мм) для грубого помола.

Жидкая среда : этанол уменьшает агломерацию, гексан очень летуч, но огнеопасен.

3.4 Контроль окружающей среды

Температура : >60°C Окисление порошка, твердость снижается на 5%.

Атмосфера : Мокрое измельчение требует защиты инертным газом (например, Ar) для предотвращения окисления.

Загрязнение : Износ резервуара/шарика приводит к появлению загрязнений, снижающих прочность на изгиб на 10%.

Поддержка данных :

Размер частиц: сверхмелкое зерно (<0,5 мкм), твердость увеличена на 20% (ScienceDirect, 2020).

Примеси: Fe >0,1% прочность на изгиб снижается на 10% (ISO 3326:2013).

Время измельчения: планетарное 12 часов, размер частиц D50 ~0,3 мкм (Sandvik, 2023).

4. Оптимизационные меры

Выберите подходящую шаровую мельницу :

Планетарный/перемешивающий тип : ультрамелкозернистый цементированный карбид, размер частиц <0,5 мкм , твердость увеличена на 20%.

Тип барабана : среднезернистая (12 мкм) , снижение затрат на 30%.

Реализация : Выберите оборудование в соответствии с маркой (например, YG6, сверхмелкое зерно).

параметры шлифования :

Соотношение шариков к материалу: 8:1 (планетарный тип), 5:1 (барабанного типа), КПД увеличен на 15%.

Скорость вращения: планетарного типа 400 об/мин, барабанного типа 60 об/мин, однородность размера частиц увеличена на 10%.

Время: 12 часов для планетарного типа, 48 часов для барабанного типа, балансировка эффективности и активности.

Реализация : мониторинг распределения размеров частиц в режиме реального времени и корректировка параметров.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

сырье высокой чистоты :

Чистота WC/Co>99,9%, содержание кислорода<0,2%, жесткость увеличена на 5%.

Предварительная обработка: сушка при 100°C, просеивание через сито 200 меш, содержание примесей снижено до <0,05%.

Реализация : Тестирование ингредиентов сырья методом ИСП.

Используйте карбидные среды :

Шар WC (610 мм), загрязнение снижено до <0,01%, прочность на изгиб увеличена на 10%.

Бак футерован WC, что увеличивает износостойкость в 2 раза.

Реализация : Проверьте шарик/может регулярно изнашиваться.

Оптимизация процесса мокрого измельчения :

Жидкость: этанол (соотношение твердого вещества и жидкости 1:1,5), размер частиц уменьшен до 0,3 мкм .

Формообразователь: ПЭГ (1,5%), текучесть увеличена на 20%.

Сушка: распылительная сушка (100°C), степень агломерации порошка <1%.

Реализация : Контроль соотношения твердого вещества и жидкости и оптимизация параметров сушки.

Экологический контроль :

Температура: <50°C, содержание кислорода падает до <0,1%.

Атмосфера: защита газом Ar , скорость окисления снижена на 50%.

Реализация : Используйте герметичные резервуары и циркуляцию инертного газа.

Эффект :

Планетарное мокрое шлифование (12 часов, 0,3 мкм) : твердость увеличилась на 20%, прочность на изгиб увеличилась на 10% .

Барабанный тип (48 часов, 1 мкм) : снижение стоимости на 30%, подходит для YG6/YG8.

Высокочистое сырье + среда WC: примеси снижены на 80%, стабильность работы повышена на 15%.

5. Практические примеры применения

Инструмент YG6 :

Шаровая мельница : барабанного типа, 48 часов, размер частиц 1 мкм , мокрый помол с этанолом, соотношение шаров к материалу 5:1.

Результаты : твердость 1500 HV, прочность на изгиб 2 ГПа , срок службы чугуна при механической обработке 2 часа.

Сверхтонкозернистый режущий инструмент :

Шаровая мельница : планетарная, 12 часов, размер частиц 0,3 мкм , этанол + ПЭГ, соотношение шаров к материалу 8:1.

Результаты : твердость 2000 HV, прочность на изгиб 1,8 ГПа , срок службы нержавеющей

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

стали при механической обработке 4 часа.

Форма YG15 :

Шаровая мельница : вибрация, 24 часа, размер частиц 0,8 мкм , мокрый помол в гексане , соотношение шаров к материалу 6:1.

Результаты : твердость 1300 HV, прочность на изгиб 2,5 ГПа , срок службы штамповки 120 000 раз.

6. Заключение

Типы шаровых мельниц, используемых для приготовления смесей из твердого сплава, включают планетарные, барабанные, вибрационные и перемешивающие типы, каждый из которых подходит для различных размеров частиц и масштабов производства:

Планетарный/перемешивающий тип : сверхмелкое зерно (<0,5 мкм) , высокая твердость (2000 HV), мелкая партия.

Тип барабана : среднекристаллический (12 мкм) , низкая стоимость, большой объем.

Тип вибрации : средне-мелкий кристалл (0,51 мкм) , малый и средний масштаб.

Процесс шаровой мельницы включает подготовку сырья, загрузку, шаровую мельницу, выгрузку и последующую обработку. Ключевыми параметрами являются соотношение шаров к материалу (5:110:1), скорость вращения (50 - 500 об/мин) и время (472 часа). Факторы влияния включают характеристики сырья, параметры измельчения, среду и окружающую среду. Меры оптимизации включают выбор высокочистого сырья, твердосплавных сред, процесс мокрого измельчения и контроль окружающей среды, что может повысить твердость на 20%, прочность на изгиб на 10% и стабильность производительности на 15%.

Стандартная ссылка :

GB/T 3849: Кобальтовый магнитный тест для проверки однородности смешивания.

ISO 4499: Микроструктурный анализ, определение размера частиц и агломерации.

ASTM B406: Испытание на прочность при изгибе, оценка качества смеси.

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 :

Технические характеристики, свойства и стандарты порошка карбида вольфрама

основная твердая фаза твердого сплава (например, никелевого или кобальтового твердого сплава), составляющая 80–95 мас. %. Ее характеристики (такие как размер частиц, чистота, содержание углерода), эксплуатационные характеристики (такие как твердость, плотность, размер зерна) напрямую влияют на механические свойства (прочность на изгиб 1,8–2,5 ГПа, твердость 1400–2200 HV), коррозионную стойкость (<0,005 мм/год) и микроструктуру (зерно 0,12 мкм, однородность >95%) испытательных стержней из твердого сплава. Китайские национальные стандарты (GB/T) и международные стандарты (такие как ISO 4499, ASTM B777) имеют строгие правила по спецификациям, эксплуатационным характеристикам и методам испытаний порошка WC, чтобы гарантировать, что он соответствует требованиям подготовки твердого сплава (таким как GB/T 3851-2015, GB/T 34505-2017). Ниже подробно описаны спецификации, эксплуатационные характеристики и соответствующие стандарты порошка карбида вольфрама.

1. Обзор

Порошок карбида вольфрама изготавливается из вольфрама (W) или оксида вольфрама (WO₃) и источника углерода (например, сажи) посредством процесса науглероживания (1400–2000°C, H₂/вакуум) и является основным сырьем для твердого сплава. Его основные свойства включают:

Химический состав: общий углерод $6,13 \pm 0,1$ мас. %, свободный углерод <0,01%, примеси (Fe, Mo) <0,01%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Размер частиц: 0,15 мкм (обычный 0,52 мкм , сверхмелкое зерно <0,5 мкм) , отклонение <±10%.

Свойства: плотность 15,615,8 г/см³ , твердость 24003000 HV (монокристалл), текучесть <25 с/50 г.

Микроструктура: однофазный WC, η-фаза (W₃C) <0,5%, пористость <0,01%.

Технические характеристики и свойства порошка WC должны соответствовать требованиям подготовки испытательных стержней карбида (например, YN6, YG15) и испытаний (например, прочность на изгиб GB/T 3851 2015, твердость GB/T 7997 2017). В этой статье будут подробно рассмотрены три аспекта: технические характеристики, эксплуатационные характеристики и стандарты.

2. Технические характеристики порошка карбида вольфрама

Порошок WC включает в себя химический состав, распределение размеров частиц, морфологию и физические свойства, которые должны соответствовать национальным стандартам (например, GB/T 345052017) и отраслевым требованиям.

2.1 Химический состав

Общий углерод:

Требование: 6,13 ± 0,1 мас. % (теоретическое значение 6,13%, молярное соотношение WC C/W = 1:1).

Отклонение: <±0,05%, исключить η-фазу (<6,08%, твердость снижена на 5–10%) или свободный углерод (>6,18%, прочность снижена на 10–15%).

Свободный углерод:

Требования: <0,01%, высокое содержание свободного углерода приводит к микроструктурным дефектам (пористость увеличивается на 0,02%).

Примеси:

Кислород (O): <0,05%, высокое содержание кислорода вызывает обезуглероживание (η-фаза, снижение прочности на 5%).

Железо (Fe), молибден (Mo), хром (Cr): <0,01% каждого, Fe увеличивает риск образования микротрещин на 15%.

Сера (S), фосфор (P): <0,005% каждого, чтобы избежать хрупкой фазы.

Метод испытания:

углерода и серы : общий углерод, свободный углерод (±0,01%, GB/T 5314 2011).

ИСП-МС: Fe, Mo и т.д. (±0,001%).

Анализатор кислорода и азота: O (±0,01%).

Примеры:

YN10 WC: общий углерод 6,14%, свободный углерод <0,005%, O <0,03% (Sandvik, 2023).

2.2 Распределение размеров частиц

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

объем:

Обычный: 0,52 мкм , отклонение D50 $\leq \pm 10\%$, для YN6, YG15 .

Ультрамелкое зерно: 0,10,5 мкм , D50 $\sim 0,3$ мкм, используется для YN8N (аэрокосмические инструменты).

Крупный: 25 мкм , используется для горнодобывающих инструментов.

Однородность:

D90/D10 < 3 , что обеспечивает однородность смешивания $> 95\%$.

Скорость агломерации: $< 1\%$, избегать увеличения пористости на 0,01%.

Метод испытания:

Лазерный анализатор размера частиц ($\pm 0,01$ мкм , GB/T 19077) .

СЭМ (1000 \times , статистический размер зерна, $\pm 0,1$ мкм) .

Примеры:

YN8N: D50 $\sim 0,3$ мкм , D90/D10 $\sim 2,5$, агломерация $< 0,5\%$ (ScienceDirect, 2021) .

2.3 Морфология

Появление:

Требования: многогранник или почти сферический, сферичность 0,80,9 (СЭМ, 1000 \times).

Избегайте: иголок, хлопьев (текучесть снижается на 10–15%).

поверхность:

Гладкая, без трещин и пор ($< 0,1$ мкм) , оксидный слой < 10 нм (XPS) .

Метод испытания:

СЭМ: морфология, агломерация.

РФЭС: поверхностный оксидный слой (± 1 нм).

Примеры:

YN10: полиэдрический, сферичность $\sim 0,9$, оксидный слой < 5 нм (Sandvik, 2023).

2.4 Физические свойства

плотность:

Требование: 15,615,8 г/см³ (теоретическое значение 15,63 г/см³) .

Тест: метод Архимеда ($\pm 0,01$ г/см³ , GB/T 3850 2015).

Удельная площадь поверхности:

: 13 м²/г (0,52 мкм) .

: 310 м²/г (0,10,5 мкм) .

Тест: BET ($\pm 0,1$ м²/г).

Ликвидность:

Требования: < 25 с/50 г, обеспечение равномерности прессования $> 95\%$.

Тест: расходомер Холла ($\pm 0,1$ с, GB/T 1482 2010).

Примеры:

YN6: плотность 15,7 г/см³ , удельная поверхность 2 м²/г, текучесть ~ 20 с/50 г.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Таблица 1: Характеристики порошка карбида вольфрама

Спецификация	Требовать	Метод испытания	Пример (YN10)
Общий углерод	6,13 ± 0,05 % масс .	Анализ углерода и серы	6.14%
Свободный углерод	<0,01%	Метод сжигания	<0,005%
Примеси (O, Fe)	O <0,05%, Fe <0,01%	Анализ кислорода и азота, ICPMS	O <0,03%, Fe <0,005%
зернистость	0,52 мкм (обычный), 0,10,5 мкм (ультрамелкое зерно)	Лазерный анализ размера частиц, СЭМ	D50 ~1 мкм , D90/D10 ~ 2,5
Морфология	Многогранник/почти сферический, сферичность 0,80,9, агломерация <1%	СЭМ, РФЭС	Сферичность ~0,9, агломерация <0,5%
плотность	15,615,8 г/см ³	Архимедов метод	15,7 г/см ³
Удельная площадь поверхности	110 м ² /г	СТАВКА	34 м ² /г
Ликвидность	<25 с/50 г	Расходомер Холла	~20 с/50 г

3. Свойства порошка карбида вольфрама

Свойства порошка WC включают механические свойства, микроструктуру и технологические характеристики, которые напрямую влияют на качество испытательных стержней из цементированного карбида.

3.1 Механические свойства

твёрдость:

Монокристаллический WC: 2400 - 3000 HV (уровень микрон, GB/T 7997 2017).

Твёрдый сплав: 1400–2200 HV (увеличивается с размером зерна, например, YN8N ~1800 HV).

Прочность на сжатие:

Монокристалл WC: ~7 ГПа (комнатная температура).

Твёрдый сплав: 46 ГПа (уменьшается с увеличением соотношения фаз связующего).

Метод испытания:

Твердомер по Виккерсу (HV30, ±50 HV).

Универсальная испытательная машина (сжатие, ±0,1 ГПа) .

Пример: сплав YN10: твёрдость WC ~2600 HV, твёрдость сплава 1500 HV (Sandvik, 2023).

3.2 Микроструктура

Фазовый состав:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Требования: однофазный WC, η-фаза (W3C) <0,5%, свободный углерод <0,01%.
η-фаза: твердость увеличивается на 5%, но ударная вязкость уменьшается на 10–15% (KIC уменьшается на 12 МПа·м^{1/2}).

Размер зерна:
Обычный: 0,52 мкм, твердость 1400 - 1600 HV.
Сверхмелкое зерно: 0,10,5 мкм, твердость 1800 - 2200 HV.
Крупнозернистый: 25 мкм, прочность увеличена на 10% (KIC ~12 МПа·м^{1/2}).

Пористость:
Требования: <0,01%, высокая пористость снижает прочность на 510%.
Метод испытания:
XRD: Фазовый состав (чувствительность 0,1%, GB/T 18376 2014).
СЭМ: размер зерна (± 0,1 мкм).
Оптическая микроскопия: пористость (A02B00C00, GB/T 51692013).
Пример: YN8N: размер зерна <0,5 мкм, η-фаза <0,3%, пористость <0,005% (ScienceDirect, 2021).

3.3 Эффективность процесса

Активность спекания:

Мелкозернистый WC (<0,5 мкм): температура спекания 50-100°C (1350-1400°C), плотность >99,9%.
Высокая удельная поверхность (310 м²/г) Улучшенное жидкофазное спекание (Ni, Co).

Производительность смешивания:

Текущность: <25 с/50 г, однородность >95% (GB/T 1482 2010).
Мокрое измельчение (824 ч, ПЭГ 0,10,2 мас. %), D50 50 - 150 мкм.

Эффективность сжатия:

Холодное изостатическое прессование (200 - 350 МПа), однородность заготовок >95%.

Метод испытания:

Расходомер Холла: текущность.
Лазерный анализ размера частиц: размер частиц смеси.
Пример: YN6: температура спекания 1400°C, текущность ~20 с/50 г, плотность 99,9%.

Таблица 2: Требования к эксплуатационным характеристикам порошка карбида вольфрама

производительность	Требовать	Метод испытания	Пример (YN10)
твердость	Монокристалл 24003000 HV, сплав 14002200 HV	Твердомер по Виккерсу	Монокристалл ~2600 HV, сплав 1500 HV
Прочность	на Монокристалл ~7 ГПа, сплав 46 ГПа	Универсальная	Сплав ~5 ГПа

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

производительность	Требовать	Метод испытания	Пример (YN10)
сжатие		испытательная машина	
Фазовый состав	Однофазный WC, η-фаза <0,5%, свободный углерод <0,01%	Рентгенодифракционный анализ	η фаза <0,3%, свободный углерод <0,005%
Размер зерна	0,15 мкм (обычно 0,52 мкм)	СЭМ	~1 мкм
Пористость	<0,01%	Оптический микроскоп	<0,005%
Активность спекания	1350-1400°C (ультрамелкое зерно), плотность>99,9%	Испытание на спекание	1380°C, плотность 99,9%
Ликвидность	<25 с/50 г	Расходомер Холла	~20 с/50 г

4. Сопутствующие стандарты

Технические характеристики и эксплуатационные характеристики WC-порошка должны соответствовать китайским национальным стандартам (GB/T), международным стандартам (ISO, ASTM) и отраслевым спецификациям для обеспечения единообразия при подготовке и испытании испытательных стержней.

4.1 Китайский национальный стандарт (GB/T)

GB/T 34505 2017 Технические требования к подготовке порошка твердого сплава:

Характеристики: чистота>99,9%, общее содержание углерода $6,13 \pm 0,1\%$, отклонение размера частиц $\leq \pm 10\%$.

Свойства: Размер зерна 0,15 мкм, свободный углерод <0,01%, η-фаза <0,5%.

Применимо: приготовление туалетного порошка, YN6, YN10 и т.д.

GB/T 5314 2011 Методы химического анализа твердого сплава:

Тест: Общий углерод ($\pm 0,01\%$), свободный углерод ($\pm 0,005\%$), Fe, Mo ($\pm 0,001\%$).

Методы: анализ углерода и серы, ICPMS, анализ кислорода и азота.

Применимо: Проверка состава WC-порошка и испытательного стержня.

GB/T 18376 2014 Метод оценки микроструктуры твердого сплава:

Требования: однофазный WC, η-фаза <0,5%, отклонение зерна $\leq \pm 10\%$.

Тесты: XRD (фазовый состав), SEM (размер зерна).

Применимо к: микроструктуре порошка WC и испытательного стержня.

GB/T 3850 2015 Метод определения плотности твердого сплава:

Требование: $15,615,8 \text{ г/см}^3 (\pm 0,01 \text{ г/см}^3)$.

Тест: Метод Архимеда.

Применимо: проверка плотности WC-порошка и тестового стержня.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

GB/T 1482 2010 Метод определения текучести твердосплавного порошка:

Требование: <25 с/50 г.

Тест: расходомер Холла.

Применимо: производительность смешивания туалетного порошка.

GB/T 5169 2013 Метод испытания пористости твердого сплава:

Требования: Пористость <0,01% (A02B00C00).

Тест: Оптическая микроскопия.

Применимо: Косвенная проверка WC-порошка (испытательный стержень).

GB/T 3851 2015 Метод испытания прочности твердого сплава на поперечный излом:

Косвенное требование: Качество порошка WC влияет на прочность испытательного стержня (1,82,5 ГПа) .

Испытание: Трехточечный изгиб (испытательный стержень 5×5×35 мм).

GB/T 7997 2017 Метод испытания твердого сплава по Виккерсу:

Косвенное требование: Твердость порошка WC влияет на твердость сплава (1400-2200 HV).

Испытание: твердомер по Виккерсу (HV30).

4.2 Международные стандарты

ISO 44991:2008 Микроструктура твердого сплава:

Эквивалентно GB/T 183762014, который предусматривает размер зерна (0,15 мкм) и η - фазу <0,5%.

Применимо: туалетный порошок и тестовый стержень.

ISO 3369:2006 Плотность твердого сплава:

Эквивалент GB/T 3850-2015, плотность 15,615,8 г/см³ .

Применимо: Проверка туалетного порошка.

ISO 11876:2010 Химический анализ твердого сплава:

содержания углерода, свободного углерода и примесей обратитесь к стандарту GB/T 53142011 .

Применимо: ингредиенты туалетного порошка.

Материалы на основе вольфрама :

Эталон: чистота порошка WC>99,9%, размер частиц 0,15 мкм .

Применение: WC-порошок для авиации и горнодобывающей промышленности.

4.3 Отраслевые стандарты

Стандарт Sandvik (2023):

Ультрамелкозернистый WC: D50 0,20,5 мкм , O <0,03%, η - фаза <0,3%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Применение: YN8N (аэрокосмический инструмент).

Стандарты Кеннаметал (2021):

Обычный WC: D50 0,52 мкм , свободный углерод <0,005%, текучесть ~20 с/50 г.

Применение: YN6, YG15 (инструменты, формы).

Таблица 3: Стандарты, касающиеся порошка карбида вольфрама

стандартный	содержание	Требовать	Применимый
GB/T 345052017	Приготовление порошка	Чистота>99,9%, углерод 6,13 ± 0,1%, размер зерна 0,15 мкм	Подготовка туалетного порошка
GB/T 53142011	Химический анализ	Общий углерод ±0,05%, свободный углерод <0,01%	Порошок WC и испытательный стержень
GB/T 183762014	Микроструктура	Однофазный WC, η-фаза <0,5%, отклонение зерна <±10%	Порошок WC и испытательный стержень
GB/T 38502015	плотность	15,615,8 г/см ³	Порошок WC и испытательный стержень
GB/T 14822010	Ликвидность	<25 с/50 г	Порошковая смесь для туалета
GB/T 51692013	Пористость	<0,01% (A02B00C00)	Тестовый стержень (косвенный)
ИСО 44991:2008	Микроструктура	η-фаза <0,5%, размер зерна 0,15 мкм	Порошок WC и испытательный стержень
ИСО 3369:2006	плотность	15,615,8 г/см ³	Туалетный порошок
ASTM B77715	Материалы на основе вольфрама	Чистота>99,9%, размер частиц 0,15 мкм	Авиационный, горнодобывающий WC порошок

5. Практические примеры применения

YN6 (инструмент, 6% Ni):

Характеристики: D50 ~1,2 мкм , общий углерод 6,14 % , свободный углерод <0,005%, O <0,03%.

Свойства: твердость 1400 HV, прочность 1,8 ГПа , пористость <0,01%.

Стандарт: GB/T 34505-2017 (размер частиц), GB/T 5314-2011 (содержание углерода).

Применение: Коррозионностойкий инструмент, срок службы 2,5 часа (Sandvik, 2023).

YN10 (матрица, 10% Ni):

Технические характеристики: D50 ~1 мкм , общий углерод 6,13%, η - фаза <0,3%, плотность 15,7 г/см³ .

Характеристики: Твердость 1500 HV, KIC 9 МПа·м^{1/2} , скорость коррозии <0,005 мм/год.

Стандарт: GB/T 183762014 (микроструктура), GB/T 43342020 (коррозионная стойкость).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Применение: Химические формы, срок службы 100 000 раз (ScienceDirect, 2021).

YN8N (Аэрокосмические инструменты, 8% Ni):

Характеристики: D50 ~0,3 мкм , общий углерод 6,12 % , свободный углерод <0,005%, сферичность ~0,9.

Свойства: твердость 1800 HV, прочность 2,2 ГПа , размер зерна <0,5 мкм .

Стандарт: ISO 44991:2008 (зерно), GB/T 38512015 (прочность).

Применение: Авиационные инструменты, срок службы 4 часа (Sandvik, 2023).

Таблица 4: Области применения порошка карбида вольфрама

Бренд	Спецификация	производительность	стандартный	приложение
YN6	D50 ~1,2 мкм , углерод 6,14 % , O <0,03%	Твердость 1400 HV, прочность 1,8 ГПа	GB/T 345052017, GB/T 53142011	Срок службы инструмента: 2,5 часа
YN10	D50 ~1 мкм , углерод 6,13%, η - фаза <0,3%	Твердость 1500 HV, KIC 9 МПа·м ^{1/2} , коррозия <0,005 мм/год	GB/T 183762014, GB/T 43342020	Плесень , срок службы 100 000 раз
YN8	D50 ~0,3 мкм , углерод 6,12 % , сферичность ~0,9	Твердость 1800 HV, прочность 2,2 ГПа , размер зерна <0,5 мкм	ISO 44991:2008, GB/T 38512015	Авиационный инструмент, срок службы 4 часа

6. Заключение

Технические характеристики и свойства порошка карбида вольфрама должны соответствовать требованиям, предъявляемым к изготовлению и испытанию испытательных стержней из твердого сплава:

Спецификация

Химический состав: общий углерод $6,13 \pm 0,05\%$, свободный углерод <0,01%, O <0,05%.

Размер частиц: 0,52 мкм (обычный), 0,10,5 мкм (ультрамелкое зерно).

Морфология: Полиэдрическая/почти сферическая, агломерация <1%.

Физические свойства: плотность 15,615,8 г/см³ , текучесть <25 с/50 г.

производительность

Механика: Твёрдость монокристалла 2400-3000 HV, твёрдость сплава 1400-2200 HV.

Микроструктура: однофазный WC, η-фаза <0,5%, пористость <0,01%.

Процесс: Высокая активность спекания (1350-1400°C), однородность смешивания >95%.

стандартный

GB/T 34505 2017: Приготовление порошка.

GB/T 5314 2011: Химический анализ.

GB/T 18376 2014: Микроструктура.

GB/T 3850 2015: Плотность.

ISO 44991:2008: Микроструктура.

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

Материалы на основе вольфрама .



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 3850-2015 Твердый сплав

Определение теоретической плотности

Ниже приведен полный список деталей китайского национального стандарта GB/T 3850-2015 «Определение теоретической плотности твердого сплава» в соответствии с форматом стандарта. Поскольку исходный текст конкретного стандарта защищен авторским правом, следующее содержание основано на общедоступной информации и отраслевой практике и максимально восстанавливает стандартную структуру и требования, охватывая все основные части, такие как область применения, справочные документы, терминология, методы испытаний, факторы влияния и требования к отчетности, чтобы гарантировать полноту и подробности содержания.

1 Область применения

Этот стандарт определяет метод определения теоретической плотности твердого сплава, включая принцип испытания, оборудование, требования к образцам, процедуру испытания, расчет и выражение результатов, отчет об испытании и т. д.

Этот стандарт применим к определению теоретической плотности спеченного твердого сплава и его смешанного порошка, приготовленного с карбидом вольфрама (WC) в качестве матрицы и кобальтом (Co), никелем (Ni) и другими связующими фазами. Этот метод не применим к материалам твердого сплава, содержащим значительные поры (пористость > 5% ± 0,5%) или неравномерное смешивание.

2 Нормативные ссылки

Следующие документы являются необходимыми справочными документами для внедрения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

настоящего стандарта. Для датированных справочных документов применима только версия этого документа; для недатированных справочных документов применима последняя версия (включая все поправки).

GB/T 4325-2018 Методы химического анализа металлов

GB/T 4505-2008 Методы отбора и подготовки образцов для твердого сплава

GB/T 5124-2017 Методы химического анализа твердого сплава

GB/T 8170-2008 Правила округления значений

3 Термины и определения

Теоретическая плотность твердого сплава: свободная от пор плотность каждого компонента твердого сплава, рассчитанная в соответствии с его кристаллической структурой и химическим составом, с единицей измерения г/см^3 .

Фактическая плотность твердого сплава: плотность образца твердого сплава, полученная путем физического измерения (например, методом вытеснения жидкости), единица измерения — г/см^3 .

Относительная плотность твердого сплава: отношение фактической плотности к теоретической плотности, выраженное в %.

Истинная плотность твердого сплава: плотность однокомпонентного материала в идеальном кристаллическом состоянии, выраженная в г/см^3 .

Массовая доля: массовая доля каждого компонента в твердом сплаве, в %.

4 Принцип теста

Теоретическая плотность рассчитывается на основе химического состава твердого сплава и истинной плотности каждого компонента. Предполагая, что каждая фаза полностью плотная и не имеет пор, она определяется на основе средневзвешенного значения массовой доли и истинной плотности. Формула расчета:

The image shows a screenshot of a document with the following content:

$$\rho_t = \frac{1}{\sum \frac{w_i}{\rho_i}}$$

其中:

- ρ_t : 理论密度 (g/cm^3) ;
- w_i : 第 i 组分的质量分数 (%) ;
- ρ_i : 第 i 组分的真密度 (g/cm^3) ;

5. Оборудование

Аналитический баланс:

Точность: $0,1 \text{ мг} \pm 0,01 \text{ мг}$.

Диапазон измерения: $\geq 100 \text{ г} \pm 1 \text{ г}$.

Приборы химического анализа:

Соответствует GB/T 5124-2017, используется для определения содержания WC, Co, Ni и других компонентов с точностью $<\pm 0,1\% \pm 0,01\%$.

Включает спектрометр (ICP-AES) или инфракрасный анализатор углерода и серы.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Сушильное оборудование:

Духовка: Точность регулирования температуры $\pm 2^{\circ}\text{C}$, максимальная температура $\geq 100^{\circ}\text{C}$.

Условия окружающей среды:

Температура: $20-25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

Влажность: $< 50\% \pm 5\%$ относительной влажности, избегать поглощения влаги порошком.

Окружающая среда свободна от сильных помех воздушного потока (скорость ветра $< 0,5 \text{ м/с} \pm 0,1 \text{ м/с}$).

6. Образцы

выборка:

Согласно GB/T 4505-2008, из каждой партии ($\leq 100 \text{ кг}$) необходимо отобрать 3–5 образцов, каждый образец должен быть весом $\geq 5 \text{ г} \pm 0,1 \text{ г}$.

Обеспечьте однородность при отборе проб и избегайте расслоения (отклонение $< 2\% \pm 0,5\%$).

Подготовка образца:

Дробление: измельчите образец твердого сплава до частиц размером $\leq 0,1 \text{ мм} \pm 0,01 \text{ мм}$ и тщательно перемешайте.

Сушка: Если влажность порошка составляет $> 0,2\% \pm 0,05\%$, высушите его в духовке при температуре $80^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ в течение $2 \text{ ч} \pm 0,1 \text{ ч}$, охладите до комнатной температуры и храните в герметичном контейнере.

Определение влажности: Определите влажность в соответствии с GB/T 6283-2008 (если применимо) и контролируйте $< 0,2\% \pm 0,05\%$.

Проверка однородности: 5 точек отбора проб, отклонение содержания компонентов $< \pm 0,1\% \pm 0,01\%$.

7 Процедуры испытаний

7.1 Калибровка оборудования

Калибровка баланса:

Весы калибровались с использованием стандартных гирь (точность $0,1 \text{ мг} \pm 0,01 \text{ мг}$) с отклонением $< \pm 0,1 \text{ мг} \pm 0,01 \text{ мг}$.

Калибровка химического анализа:

Прибор был откалиброван с использованием стандартных образцов, отклонение содержания компонентов составило $< \pm 0,1\% \pm 0,01\%$.

7.2 Процедуры испытаний

Химический анализ:

Определить массовую долю каждого компонента твердого сплава согласно GB/T 5124-2017, например:

Относительный вес: $80\% \pm 0,1\%$;

Со: $10\% \pm 0,1\%$;

Никель: $5\% \pm 0,1\%$;

Прочие примеси: $< 0,5\% \pm 0,1\%$.

Убедитесь, что сумма близка к $100\% \pm 0,2\%$.

Определение истинной плотности:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Проверьте стандартные значения истинной плотности или ссылки:

Удельный вес: $15,63 \text{ г/см}^3 \pm 0,01 \text{ г/см}^3$;

Co: $8,90 \text{ г/см}^3 \pm 0,01 \text{ г/см}^3$;

Ni: $8,90 \text{ г/см}^3 \pm 0,01 \text{ г/см}^3$;

других компонентов (таких как VC, Cr₃C₂) соответствует литературному значению (например, $5,41 \text{ г/см}^3 \pm 0,01 \text{ г/см}^3$).

Рассчитаем теоретическую плотность:

Подставляем в формулу:

• 代入公式:

$$\rho_t = \frac{w_{WC} \cdot \rho_{WC}}{w_{WC}} + \frac{w_{Co} \cdot \rho_{Co}}{w_{Co}} + \frac{w_{Ni} \cdot \rho_{Ni}}{w_{Ni}} + \dots$$

• 例如: $w_{WC} = 80\%$, $\rho_{WC} = 15.63 \text{ g/cm}^3$, $w_{Co} = 10\%$, $\rho_{Co} = 8.90 \text{ g/cm}^3$, $w_{Ni} = 5\%$

$$\rho_t = \frac{0.80}{0.80} + \frac{0.10}{0.10} + \frac{0.05}{0.05} \approx 14.28 \text{ g/cm}^3$$

• 保留小数点后两位, 例如 $14.28 \text{ g/cm}^3 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$.

Сохраняйте два знака после запятой, например $14,28 \text{ г/см}^3 \pm 0,01 \text{ г/см}^3$.

проверить:

По сравнению с фактической плотностью (определенной в соответствии с ISO 3369-2006) относительная плотность должна быть $>95\% \pm 0,5\%$.

Если отклонение составляет $>2\% \pm 0,5\%$, проверьте данные химического анализа или истинной плотности.

7.3 Особые случаи

Если содержание примесей составляет $>1\% \pm 0,1\%$, истинную плотность примесей необходимо определять отдельно (справочная литература или экспериментальное определение).

Если компоненты не полностью перемешаны (отклонение $> \pm 0,2\%$), приготовьте образец заново.

8 Факторов Влияния

Ошибка химического анализа:

Отклонение содержания компонентов $> \pm 0,1\% \pm 0,01\%$ приводит к отклонению теоретической плотности $> 0,2\% \pm 0,05\%$.

Истинное значение плотности:

Данные об истинной плотности неточны ($> \pm 0,01 \text{ г/см}^3$) или не учтены изменения кристаллической структуры, а отклонение плотности составляет $>0,5\% \pm 0,1\%$.

Влажность окружающего воздуха:

Влажность $>50\% \pm 5\%$ относительной влажности может повлиять на стабильность образца и требует его сушки.

Однородность образца:

Расслоение или отсутствие перемешивания (отклонение $> \pm 0,2\%$) приводит к противоречивым результатам расчетов.

9 Результаты Выражение

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Теоретическая плотность: выражается в г/см^3 с двумя десятичными знаками, например, $14,28 \text{ г/см}^3 \pm 0,01 \text{ г/см}^3$.

Относительная плотность: выражается в % с сохранением одного знака после запятой, например $98,5\% \pm 0,1\%$.

Содержание отчета:

Массовая доля каждого компонента (%).

Истинная плотность каждого компонента (г/см^3).

Процесс расчета и теоретическое значение плотности.

10 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

Пример информации:

Номер образца, номер партии.

Типы твердого сплава (например, WC-Co, WC-Ni).

Содержание влаги (если измерено, например $<0,2\% \pm 0,05\%$).

Условия испытаний:

Метод химического анализа (ссылка GB/T 5124-2017).

Условия окружающей среды: температура $20-25^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$, влажность $<50\% \pm 5\% \text{ RH}$.

Результаты теста:

Массовая доля каждого компонента (например, WC $80\% \pm 0,1\%$, Co $10\% \pm 0,1\%$).

Истинное значение плотности (например, WC $15,63 \text{ г/см}^3 \pm 0,01 \text{ г/см}^3$).

Теоретические значения плотности и процесс расчета, например $14,28 \text{ г/см}^3 \pm 0,01 \text{ г/см}^3$.

Относительная плотность (если имеются данные о фактической плотности, например, $98,5\% \pm 0,1\%$).

Номер стандарта: GB/T 3850-2015.

Дата испытания и оператор: например, 23 мая 2025 г., подпись оператора.

11 правил проверки

Отбор проб: Согласно GB/T 4505-2008, от каждой партии ($\leq 100 \text{ кг}$) отбирают 3–5 образцов, каждый образец $\geq 5 \text{ г} \pm 0,1 \text{ г}$.

Частота проверки:

Заводской контроль: каждая партия проходит проверку.

Типовая проверка: один раз в год или при изменении технологического процесса.

Правила принятия решения:

три результата расчета составляют $< \pm 0,2\% \pm 0,05\%$, что считается квалифицированным.

Если отклонение составляет $> \pm 0,2\% \pm 0,05\%$, разрешается повторное тестирование новых образцов. Если повторное тестирование снова не проходит, партия считается неквалифицированной.

Округление чисел: в соответствии с правилами GB/T 8170-2008 необходимо сохранить два знака после запятой.

12. Обеспечение качества

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Последовательность испытаний: Теоретическое отклонение плотности различных образцов в одной партии составляет $\leq \pm 0,3\% \pm 0,05\%$.

Архивирование записей: Данные испытаний архивируются в течение 1 года $\pm 0,1$ года, включая исходные записи и отчеты.

Обработка возражений: Если у пользователя есть возражения против результатов, он/она должен выдвинуть их в течение 30 дней ± 1 день после получения образца. Обе стороны повторно проведут проверку и вынесут решение на основе этого стандарта.

Приложение А (Информационное приложение) Значения истинной плотности обычных компонентов из твердого сплава

Карбид вольфрама (WC): $15,63 \text{ г/см}^3 \pm 0,01 \text{ г/см}^3$.

Кобальт (Co): $8,90 \text{ г/см}^3 \pm 0,01 \text{ г/см}^3$.

Никель (Ni): $8,90 \text{ г/см}^3 \pm 0,01 \text{ г/см}^3$.

Карбид ванадия (VC): $5,41 \text{ г/см}^3 \pm 0,01 \text{ г/см}^3$.

Карбид хрома (Cr₃C₂): $6,68 \text{ г/см}^3 \pm 0,01 \text{ г/см}^3$.

Приложение В (Нормативное приложение) Дополнительные примечания по определению истинной плотности

Источник истинной плотности:

Для определения истинной плотности кристаллической структуры предпочтительно использовать рентгеновскую дифракцию (XRD).

Если экспериментальные данные отсутствуют, обратитесь к приложению GB/T 5124-2017 или международным стандартам (например, ISO 3369-2006).

калибровка:

Если отклонение истинной плотности составляет $> \pm 0,01 \text{ г/см}^3$, необходимо провести проверку с использованием стандартного образца.

Воздействие на окружающую среду:

Во время измерения температура $> 25^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ или влажность $> 50\% \pm 5\%$ относительной влажности могут повлиять на результаты и требуют контроля.

Приложение С (Информационное приложение) Теоретические значения плотности типичных твердых сплавов

WC-6%Co: $14,95 \text{ г/см}^3 \pm 0,01 \text{ г/см}^3$.

WC-10%Co: $14,50 \text{ г/см}^3 \pm 0,01 \text{ г/см}^3$.

WC-12%Ni: $14,20 \text{ г/см}^3 \pm 0,01 \text{ г/см}^3$.

WC-10%Co-5%Ni: $14,30 \text{ г/см}^3 \pm 0,01 \text{ г/см}^3$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



**GB/T 1479.1-2011 金属粉末
确定堆积密度的
第1部分：漏斗法**

下面提供中国国家标准 GB/T 1479.1-2011 «确定金属粉末堆积密度的方法。第1部分：漏斗法» 的详细内容。由于原始文本受版权保护，以下内容基于公开信息、行业实践并尽可能恢复标准结构和要求，涵盖应用范围、参考文献、术语、试验方法、影响因素和报告要求，以确保内容的完整性和准确性。

1 应用范围

本标准规定了金属粉末堆积密度的测定方法，包括试验原理、设备、试样要求、试验程序、计算和结果表示、试验报告等。

本标准适用于金属粉末堆积密度的测定（如碳化钨 WC、钴 Co、镍 Ni 等）并适用于粒径在 0.1 μm 至 500 μm 范围内的粉末。

本标准不适用于流动性极差的粉末（霍勒流速 >60 c/50 g ± 0.5 c）或严重团聚的粉末（团聚率 $>20\% \pm 2\%$ ）。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2 规范性参考文献

下列文件是实施本标准必不可少的参考文献。对于有日期的参考文献，只适用其出版版本；对于无日期的参考文献，适用其最新版本（包括所有的修改单）。

GB/T 1479.2-2005 确定金属粉末堆积密度的方法。第2部分：固定高度的方法

GB/T 5060-1985 金属粉末的筛分方法

GB/T 6283-2008 化学产品中水含量的测定——卡尔费休法

GB/T 19077.1-2008 激光衍射法测定颗粒尺寸分布。第1部分：一般规定

GB/T 8170-2008 数值的修约规则

3 术语和定义

堆积密度：金属粉末在自然状态下，未经振实或压实，以克每立方厘米表示的密度。

漏斗法：通过漏斗测定金属粉末堆积密度的方法。

体积：粉末在自然堆积后的体积，以立方厘米表示。

流动性：粉末通过漏斗所需的时间，以秒每50克表示。

团聚系数：粉末中团聚颗粒所占的体积百分比。

4 测试原理

金属粉末自由落入已知体积的容器中。粉末在重力作用下自然堆积。通过称量粉末质量和测量堆积后的体积，计算堆积密度。

公式：

$$\rho_b = \frac{m}{V}$$

其中：

- ρ_b ：堆积密度 (g/cm³)；
- m ：粉末质量 (g)；
- V ：粉末自然堆积后的体积 (cm³)；

5. 设备

漏斗：

内部直径：6 mm ± 0.1 mm。

高度：从漏斗出口到容器顶部：25 mm ± 1 mm。

倾斜角：60° ± 2°，内部光滑，无毛刺。

量筒：

容量：25 ml ± 0.1 ml。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Точность шкалы: 0,1 мл±0,01 мл.

Материал: Прозрачное стекло или пластик, гладкая внутренняя стенка.

Аналитический баланс:

Точность: 0,01 г ± 0,001 г.

Диапазон измерения: ≥ 100 г ± 1 г.

Сушильное оборудование:

Духовка: Точность регулирования температуры $\pm 2^\circ\text{C}$, максимальная температура $\geq 100^\circ\text{C}$.

Условия окружающей среды:

Температура: $20-25^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$.

Влажность: $< 50\% \pm 5\%$ относительной влажности, избегать поглощения влаги порошком.

Окружающая среда свободна от сильных помех воздушного потока (скорость ветра $< 0,5$ м/с $\pm 0,1$ м/с).

6. Образцы

выборка:

В соответствии с GB/T 5060 отберите 3–5 образцов из каждой партии (≤ 100 кг), каждый образец весом 50 г $\pm 0,1$ г.

Обеспечить однородность при отборе проб и избежать расслоения (отклонение $< 2\% \pm 0,5\%$).

Подготовка образца:

Сушка: Если влажность порошка составляет $> 0,2\% \pm 0,05\%$, высушите его в духовке при температуре $80^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ в течение $2 \text{ ч} \pm 0,1$ ч, охладите до комнатной температуры и храните в герметичном контейнере.

Определение влажности: Содержание влаги должно определяться в соответствии с GB/T 6283 и должно составлять $< 0,2\% \pm 0,05\%$.

Просеивание: При необходимости следует проводить просеивание (размер отверстий сита $0,1-500$ мкм $\pm 0,01$ мкм) для удаления крупных частиц или агломератов (степень агломерации $< 5\% \pm 1\%$).

Смешивание: Ручное или механическое перемешивание (скорость 60 об./мин ± 5 об./мин, 5 мин $\pm 0,5$ мин) для обеспечения однородности (отклонение $< 2\% \pm 0,5\%$).

Анализ размера частиц:

Распределение размеров частиц определялось в соответствии с GB/T 19077.1 и находилось в диапазоне $0,1-500$ мкм $\pm 0,01$ мкм .

7 Процедуры испытаний

7.1 Калибровка оборудования

Калибровка воронки:

Проверьте внутренний диаметр выпускного отверстия (6 мм $\pm 0,1$ мм), чтобы убедиться в отсутствии засоров или деформаций.

Измерьте высоту от выпускного отверстия до верха контейнера (25 мм ± 1 мм) с отклонением $< \pm 1$ мм.

Калибровка цилиндра:

с дистиллированной водой (плотность $0,998$ г/см³ $\pm 0,001$ г/см³ при 20°C) с отклонением $< \pm 0,1$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

мл±0,01 мл.

Калибровка баланса:

Весы калибровались с использованием эталонных гирь (точность 0,01 г ± 0,001 г) с отклонением < ± 0,01 г ± 0,001 г.

7.2 Процедуры испытаний

Взвешивание образца:

Взвесьте 50 г ± 0,1 г порошка и запишите массу m с точностью до 0,01 г ± 0,001 г.

Загрузка образца:

Поместите порошок в верхнюю часть воронки и медленно откройте клапан, чтобы порошок свободно высыпался в мерный цилиндр.

Предотвращается разлетание порошка или прилипание его к внутренней стенке, а также отсутствует вмешательство внешней силы в процесс вырубки.

Порошок скапливается на поверхности и естественным образом образует конус, и падение прекращается.

Измерение объема:

Слегка постучите по цилиндру (<5 раз, с усилием <0,1 Н ± 0,01 Н), чтобы поверхность порошка стала ровной.

Измерьте объем порошка V с точностью до 0,1 мл ± 0,01 мл, запишите 3 показания и возьмите среднее значение.

Рассчитаем насыпную плотность:

按公式计算: $\rho_n = \frac{m}{V}$
重复3次试验, 取平均值, 偏差 < ± 2% ± 0,5%.

7.3 Особые случаи

Если порошок имеет плохую текучесть (скорость потока по Холлу >30 с/50 г ± 0,5 с), увеличьте время капания или осторожно постучите по воронке (<5 раз).

Если порошок сильно агломерирован (степень агломерации > 5% ± 1%), его необходимо повторно просеять или высушить (содержание влаги < 0,1% ± 0,01%).

8 Факторов Влияния

Влажность окружающего воздуха:

Влажность >50% ± 5% относительной влажности приводит к тому, что порошок поглощает влагу и агломерируется (скорость агломерации >5% ± 1%), а плотность низкая (отклонение >5% ± 1%).

Характеристики порошка:

размер частиц составляет <0,1 мкм ± 0,01 мкм, сила Ван-дер-Ваальса между частицами увеличена (>10⁻⁹ Н ± 10⁻¹⁰ Н), текучесть плохая, а отклонение плотности составляет >4% ± 0,5%.

размер частиц >500 мкм ± 0,01 мкм, зазоры между частицами большие, укладка неплотная, отклонение >4% ± 0,5%.

Неправильная морфология (степень сфероидизации <50%±2%) приводит к неравномерной укладке с отклонением >3%±0,5%.

Статус воронки:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Выпускное отверстие заблокировано или отклонение внутреннего диаметра составляет $>\pm 0,1$ мм, что приводит к неравномерной выгрузке материала и отклонению плотности $>3\% \pm 0,5\%$. Высота заглушки <24 мм ± 1 мм или >26 мм ± 1 мм влияет на состояние штабелирования с отклонением $>2\% \pm 0,5\%$.

Внутренняя стенка мерного цилиндра:

Шероховатость $R_a >0,2$ мкм $\pm 0,02$ мкм или остатки порошка могут привести к ошибке измерения объема $>2\% \pm 0,5\%$.

9 Результаты Выражение

Насыпная плотность: выражается в г/см³ с сохранением двух знаков после запятой, например, 4,50 г/см³ $\pm 0,01$ г/см³.

Отклонение: выражается в % с двумя десятичными знаками, например $\pm 1,50\% \pm 0,01\%$.

Содержание отчета:

Масса пороха m (г).

Объем естественного накопления V (мл).

Значение насыпной плотности и отклонение трех измерений.

Условия испытаний (высота воронки, измерение объема цилиндра).

10 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

Пример информации:

Номер образца, номер партии.

Тип порошка (например, WC, Co).

Диапазон размеров частиц (например, 0,1-500 мкм $\pm 0,01$ мкм).

Содержание влаги (определяется в соответствии с GB/T 6283, например $<0,2\% \pm 0,05\%$).

Условия испытаний:

Параметры воронки: внутренний диаметр выпускного отверстия 6 мм $\pm 0,1$ мм, высота 25 мм ± 1 мм.

Емкость мерного цилиндра: 25 мл $\pm 0,1$ мл.

Условия окружающей среды: температура 20-25°C ± 1 °C, влажность $<50\% \pm 5\%$ RH.

Результаты теста:

Каждый раз измеряются масса, насыпной объем и насыпная плотность.

Среднее значение насыпной плотности и отклонение, например 4,50 г/см³ $\pm 0,01$ г/см³, отклонение $\pm 1,50\% \pm 0,01\%$.

Номер стандарта: GB/T 1479.1-2011.

Дата испытания и оператор: например, 23 мая 2025 г., подпись оператора.

11 правил проверки

Отбор проб: Согласно GB/T 5060, из каждой партии (≤ 100 кг) отбирают 3–5 образцов, каждый образец весит 50 г $\pm 0,1$ г.

Частота проверки:

Заводской контроль: каждая партия проходит проверку.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Типовая проверка: один раз в год или при изменении технологического процесса.

Правила принятия решения:

Отклонение трех измерений составляет $< \pm 2\% \pm 0,5\%$, что считается приемлемым.

Если отклонение составляет $> \pm 2\% \pm 0,5\%$, разрешается провести повторную проверку новых образцов. Если повторная проверка снова не пройдена, партия считается невалифицированной.

Округление чисел: согласно правилам GB/T 8170, оставляйте два знака после запятой.

12. Обеспечение качества

Постоянство результатов испытаний: Отклонение насыпной плотности различных образцов в одной партии составляет $< \pm 3\% \pm 0,5\%$.

Архивирование записей: Данные испытаний архивируются в течение 1 года \pm 0,1 года, включая исходные записи и отчеты.

Обработка возражений: Если у пользователя есть возражения против результатов, он/она должен выдвинуть их в течение 30 дней \pm 1 день после получения образца. Обе стороны повторно проведут проверку и вынесут решение на основе этого стандарта.

Приложение А (Информационное приложение) Типичные значения насыпной плотности металлического порошка

вольфрама (WC): $4,0-5,0 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$ (размер частиц 0,5-5 мкм) .

Порошок кобальта (Co): $4,5-5,5 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$ (размер частиц 1-3 мкм) .

Никелевый (Ni) порошок: $4,0-5,0 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$ (размер частиц 1-5 мкм) .

железа (Fe): $2,5-3,5 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$ (размер частиц 10-100 мкм) .

Приложение В (Нормативное приложение) Дополнительные примечания по методам испытаний

Регулировка воронки:

Если порошок имеет плохую текучесть (скорость потока по Холлу $> 30 \text{ с/50 г} \pm 0,5 \text{ с}$), осторожно постучите по воронке (< 5 раз, с усилием $< 0,1 \text{ Н} \pm 0,01 \text{ Н}$).

Если выпускное отверстие засорилось, очистите его мягкой щеткой, избегая попадания твердых предметов.

Использование мерного цилиндра:

Если на внутренней стенке мерного цилиндра остался порошок, очистите его этанолом (чистота $\geq 99,5\% \pm 0,1\%$) и используйте после высыхания.

Экологический контроль:

Контроль влажности: $< 50\% \pm 5\%$ относительной влажности, чтобы предотвратить впитывание влаги порошком.

Колебание температуры: $< \pm 1^\circ\text{C}$, что позволяет избежать ошибок в показаниях объема.

Приложение С (Информационное приложение) Связь между насыпной плотностью и свойствами порошка

Влияние размера частиц:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

размер частиц $<0,1 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, насыпная плотность $<3,0 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$.

размер частиц $1-10 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, насыпная плотность $4,0-5,0 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$.

Морфологическое влияние:

Насыпная плотность сферических частиц (степень сфероидизации $>90\% \pm 2\%$) на $5\%-10\% \pm 1\%$ выше.

Плотность насыпных частиц неправильной формы (грани $> 0,1 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) на $3-5\% \pm 0,5\%$ ниже.

Влияние влажности:

Влажность $<30\% \pm 5\% \text{ RH}$, насыпная плотность стабильна.

Влажность $>70\% \pm 5\%$ относительной влажности, снижение плотности $>5\% \pm 1\%$.

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



GB/T 5162-2014 金属粉末 振实密度的测定

1 应用范围

本标准规定了测定金属粉末振实密度的方法，包括试验原理、试验设备、试样要求、试验程序、试验结果计算和试验报告等。

本标准适用于测定金属粉末振实密度（如碳化钨 WC、钴 Co、镍 Ni、铁 Fe 等）并适用于粒径范围在 0.1 μm 至 500 μm 的粉末。

本标准不适用于流动性极差（霍勒流速 >60 s/50 g ± 0.5 s）或团聚严重（团聚率 $>20\% \pm 2\%$ ）的粉末。

2 规范性引用文件

下列文件是应用本标准所必需的参考文献。对于有日期的参考文献，只适用其最新版本；对于无日期的参考文献，适用其最新版本（包括所有的修改单）。

GB/T 1479.1-2011 金属粉末堆积密度的测定 第 1 部分：漏斗法

GB/T 5060-1985 金属粉末取样方法

GB/T 6283-2008 化工产品中水分含量的测定 卡尔费休法

ISO 3953:2011 金属粉末振实密度的测定

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

GB/T 8170-2008 Правила округления значений

3 Термины и определения

Плотность после уплотнения: плотность металлического порошка в плотно упакованном состоянии при определенных условиях вибрации (таких как амплитуда, частота, количество колебаний), измеряемая в г/см³.

Кажущаяся плотность: плотность металлического порошка в его естественном состоянии укладки, выраженная в г/см³.

Количество вибраций: количество вибраций порошка, измеряемое в размах.

Амплитуда: расстояние, на которое вибрационное устройство перемещается вверх и вниз, в мм.

Частота вибрации: количество колебаний вибрационного устройства в минуту, измеряемое в размах/минуту.

Коэффициент агломерации: доля агломерированных частиц в порошке, выраженная в %.

4 Принцип теста

Измеритель плотности встряхивания вибрирует металлический порошок определенное количество раз, так что частицы порошка перестраиваются под действием силы тяжести и вибрации, достигая более компактного состояния укладки. Масса и объем порошка после вибрации измеряются для расчета плотности встряхивания. Формула:

$$\rho_t = \frac{m}{V_t}$$

其中:

- ρ_t : 振实密度 (g/cm³);
- m : 粉末质量 (g);
- V_t : 振动后粉末体积 (cm³).

5. Оборудование

Измеритель плотности постукивания:

Амплитуда: 3 мм ± 0,1 мм.

Частота вибрации: 300 раз/мин ± 10 раз/мин.

Количество циклов прессования: регулируемое, стандартное — 3000 раз ± 50 раз.

Прибор должен иметь устойчивую опору, чтобы исключить возникновение дополнительных вибрационных помех (частота <1 Гц ± 0,1 Гц).

Мерный цилиндр:

Емкость: 25 мл ± 0,1 мл или 100 мл ± 0,5 мл (выберите в зависимости от объема порошка).

Точность шкалы: 0,1 мл ± 0,01 мл.

Материал: Прозрачное стекло или пластик, гладкая внутренняя стенка без заусенцев.

Аналитический баланс:

Точность: 0,01 г ± 0,001 г.

Диапазон измерения: ≥ 100 г ± 1 г.

Сушильное оборудование:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Духовка: Точность регулирования температуры $\pm 2^{\circ}\text{C}$, максимальная температура $\geq 100^{\circ}\text{C}$.

Условия окружающей среды:

Температура: $20\text{--}25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

Влажность: $<50\% \pm 5\%$ относительной влажности, избегать поглощения влаги порошком.

Окружающая среда свободна от сильных помех воздушного потока (скорость ветра $<0,5$ м/с $\pm 0,1$ м/с).

6. Образцы

выборка:

В соответствии с GB/T 5060 от каждой партии (≤ 100 кг) отбирают 3–5 образцов массой 50 г $\pm 0,1$ г или 100 г $\pm 0,5$ г (в зависимости от емкости мерного цилиндра).

Обеспечить однородность при отборе проб и избежать расслоения (отклонение $<2\% \pm 0,5\%$).

Подготовка образца:

Сушка: Если влажность порошка составляет $>0,2\% \pm 0,05\%$, высушите его в духовке при температуре $80^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ в течение $2 \text{ ч} \pm 0,1$ ч, охладите до комнатной температуры и храните в герметичном контейнере.

Определение влажности: Содержание влаги должно определяться в соответствии с GB/T 6283 и должно составлять $<0,2\% \pm 0,05\%$.

Просеивание: При необходимости следует проводить просеивание (размер отверстий сита $0,1\text{--}500$ мкм $\pm 0,01$ мкм) для удаления крупных частиц или агломератов (степень агломерации $<5\% \pm 1\%$).

Смешивание: Ручное или механическое перемешивание (скорость 60 об./мин ± 5 об./мин, 5 мин $\pm 0,5$ мин) для обеспечения однородности (отклонение $<2\% \pm 0,5\%$).

7 Процедуры испытаний

7.1 Калибровка оборудования

уплотнителя :

Измерьте амплитуду: с помощью микрометра убедитесь, что амплитуда составляет $3 \text{ мм} \pm 0,1$ мм.

Измерьте частоту: с помощью секундомера убедитесь, что частота составляет 300 раз/минуту ± 10 раз/минуту.

Время калибровки: установите 3000 раз ± 50 раз для проверки точности счетчика (отклонение $<1\% \pm 0,1\%$).

Калибровка цилиндра:

с дистиллированной водой (плотность $0,998 \text{ г/см}^3 \pm 0,001 \text{ г/см}^3$ при 20°C) с отклонением $< \pm 0,1$ мл $\pm 0,01$ мл.

Калибровка баланса:

Весы были откалиброваны с использованием эталонных гирь (точность $0,01 \text{ г} \pm 0,001 \text{ г}$) с отклонением $< \pm 0,01 \text{ г} \pm 0,001 \text{ г}$.

7.2 Процедуры испытаний

Взвешивание образца:

Взвесьте $50 \text{ г} \pm 0,1 \text{ г}$ порошка (или отрегулируйте до $100 \text{ г} \pm 0,5 \text{ г}$ в зависимости от

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

вместимости мерного цилиндра) и запишите массу m с точностью до $0,01 \text{ г} \pm 0,001 \text{ г}$.

Загрузка образца:

Медленно насыпайте порошок в мерный цилиндр, чтобы избежать его разбрызгивания или прилипания к внутренним стенкам.

Слегка постучите по цилиндру (<5 раз, с усилием $<0,1 \text{ Н} \pm 0,01 \text{ Н}$), чтобы поверхность порошка стала ровной.

вибрация:

Закрепите измерительный цилиндр на вибраторе и убедитесь, что измерительный цилиндр расположен вертикально (угол наклона $<1^\circ \pm 0,1^\circ$).

Установите количество колебаний 3000 ± 50 раз, амплитуду $3 \text{ мм} \pm 0,1 \text{ мм}$ и частоту $300 \text{ раз/мин} \pm 10 \text{ раз/мин}$.

Начните вибрацию и наблюдайте за изменением объема порошка, чтобы убедиться в отсутствии переливания порошка.

Измерение объема:

После завершения вибрации снимите мерный цилиндр и дайте ему постоять в течение $1 \text{ мин} \pm 0,1 \text{ мин}$.

Измерьте объем порошка V_t с точностью $0,1 \text{ мл} \pm 0,01 \text{ мл}$, запишите 3 показания и возьмите среднее значение.

Рассчитаем плотность отвода:

- 按公式计算: $\rho_t = \frac{m}{V_t}$.
- 重复 3 次试验, 取平均值, 偏差 $< \pm 2\% \pm 0.5\%$.

7.3 Особые случаи

Если изменение объема порошка составляет $<0,2 \text{ мл} \pm 0,01 \text{ мл}$ (т.е. объем стабилен), количество постукиваний можно сократить до $1500 \text{ раз} \pm 50 \text{ раз}$.

Если порошок сильно агломерирован (степень агломерации $> 5\% \pm 1\%$), его необходимо повторно просеять или высушить (содержание влаги $< 0,1\% \pm 0,01\%$).

8 Факторов Влияния

Условия вибрации:

Отклонение амплитуды $> \pm 0,1 \text{ мм}$ или отклонение частоты $> \pm 10 \text{ раз/мин}$ приводит к отклонению плотности $> 3\% \pm 0,5\%$.

Время вибрации повлияет на состояние штабелирования.

Влажность окружающего воздуха:

Влажность $> 50\% \pm 5\%$ относительной влажности приводит к тому, что порошок поглощает влагу и агломерируется (скорость агломерации $> 5\% \pm 1\%$), а плотность низкая (отклонение $> 5\% \pm 1\%$).

Характеристики порошка:

размер частиц составляет $< 0,1 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, сила Ван-дер-Ваальса между частицами увеличена ($> 10^{-9} \text{ Н} \pm 10^{-10} \text{ Н}$), текучесть плохая, а отклонение плотности составляет $> 4\% \pm 0,5\%$.

размер частиц составляет $> 500 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, зазор между частицами большой, эффект

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

уплотнения слабый, а отклонение составляет $>4\% \pm 0,5\%$.

Неправильная морфология (степень сфероидизации $<50\% \pm 2\%$) приводит к неравномерной укладке с отклонением $>3\% \pm 0,5\%$.

Состояние цилиндра:

Внутренняя стенка шероховатая ($Ra >0,2 \text{ мкм} \pm 0,02 \text{ мкм}$) или на ней присутствуют остатки порошка, что приводит к ошибке измерения объема $>2\% \pm 0,5\%$.

9 Результаты Выражение

Плотность утряски: выражается в $\text{г}/\text{см}^3$ с двумя десятичными знаками, например, $5,50 \text{ г}/\text{см}^3 \pm 0,01 \text{ г}/\text{см}^3$.

Отклонение: выражается в % с двумя десятичными знаками, например $\pm 1,50\% \pm 0,01\%$.

Содержание отчета:

Масса пороха m (г).

Объем после вибрации V_t (мл).

Значение плотности утряски и отклонение трех измерений.

Условия испытания (амплитуда, частота, количество раз).

10 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

Пример информации:

Номер образца, номер партии.

Тип порошка (например, WC, Co).

Диапазон размеров частиц (например, $0,1\text{-}500 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$).

Содержание влаги (определяется в соответствии с GB/T 6283, например $<0,2\% \pm 0,05\%$).

Условия испытаний:

Параметры вибратора: амплитуда $3 \text{ мм} \pm 0,1 \text{ мм}$, частота $300 \text{ раз}/\text{мин} \pm 10 \text{ раз}/\text{мин}$, количество раз $3000 \text{ раз} \pm 50 \text{ раз}$.

Емкость мерного цилиндра: $25 \text{ мл} \pm 0,1 \text{ мл}$ или $100 \text{ мл} \pm 0,5 \text{ мл}$.

Условия окружающей среды: температура $20\text{-}25^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$, влажность $<50\% \pm 5\% \text{ RH}$.

Результаты теста:

Каждый раз измеряются масса, объем после вибрации и плотность после постукивания.

Среднее значение насыпной плотности и отклонение, например $5,50 \text{ г}/\text{см}^3 \pm 0,01 \text{ г}/\text{см}^3$, отклонение $\pm 1,50\% \pm 0,01\%$.

Номер стандарта: GB/T 5162-2014.

Дата испытания и оператор: например, 23 мая 2025 г., подпись оператора.

11 правил проверки

Отбор проб: Согласно GB/T 5060, из каждой партии ($\leq 100 \text{ кг}$) отбирают 3–5 образцов, каждый образец весит $50 \text{ г} \pm 0,1 \text{ г}$.

Частота проверки:

Заводской контроль: каждая партия проходит проверку.

Типовая проверка: один раз в год или при изменении технологического процесса.

Правила принятия решения:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Отклонение трех измерений составляет $<\pm 2\% \pm 0,5\%$, что считается приемлемым.

Если отклонение составляет $>\pm 2\% \pm 0,5\%$, разрешается провести повторную проверку новых образцов. Если повторная проверка снова не пройдена, партия считается некавалифицированной.

Округление чисел: согласно правилам GB/T 8170, оставляйте два знака после запятой.

12. Обеспечение качества

Постоянство результатов испытаний: Отклонение плотности утряски различных образцов в одной партии составляет $<\pm 3\% \pm 0,5\%$.

Архивирование записей: Данные испытаний архивируются в течение 1 года $\pm 0,1$ года, включая исходные записи и отчеты.

Обработка возражений: Если у пользователя есть возражение по поводу результата, он/она должен поднять его в течение 30 дней ± 1 день после получения образца. Обе стороны повторно проведут проверку и вынесут решение на основе этого стандарта.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Приложение :

GB/T 34505-2017 Технические условия на изготовление твердосплавного порошка

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает технические условия для получения твердосплавного порошка, включая требования к сырью, процессу получения, эксплуатационным показателям, методам испытаний, правилам контроля, а также требования к маркировке, упаковке, транспортировке и хранению.

Настоящий стандарт распространяется на твердосплавный порошок, полученный методом порошковой металлургии с использованием карбида вольфрама (WC) в качестве матрицы и металлических связующих фаз, таких как кобальт (Co) и никель (Ni). Он широко используется при изготовлении режущих инструментов, горнодобывающего инструмента, износостойких деталей и т. д.

2 Нормативные ссылки

Следующие документы являются необходимыми справочными документами для внедрения настоящего стандарта. Для ссылочных документов с датами применяются только версии с этой датой; для ссылочных документов без дат применяются последние версии (включая все поправки).

GB/T 191 Графическая маркировка для упаковки, хранения и транспортировки

GB/T 1427 Метод отбора проб для углеродных материалов

GB/T 3521 Методы химического анализа графита

GB/T 3851 Метод определения прочности на изгиб твердого сплава

GB/T 5124 Методы химического анализа твердого сплава

GB/T 6283 Определение содержания воды в химических продуктах - метод Карла Фишера

GB/T 1482 Определение текучести металлических порошков - Метод реометра Холла

GB/T 19077.1 Распределение размеров частиц методом лазерной дифракции Часть 1: Общие положения

GB/T 19587 Определение удельной поверхности твердых веществ методом газовой адсорбции БЭТ

ASTM B212 Стандартный метод испытаний насыпной плотности металлических порошков

ASTM B213 Стандартный метод испытания текучести металлических порошков

ASTM B527 Стандартный метод испытаний на плотность утряски металлических порошков

3 Термины и определения

К настоящему стандарту применяются следующие термины и определения:

Порошок из цементированного карбида: порошок, изготовленный из карбида вольфрама (WC) в качестве основного компонента с добавлением металлических связующих фаз, таких как кобальт (Co) и никель (Ni), и подготовленный путем смешивания, измельчения, грануляции и других процессов, используемый при производстве изделий из цементированного карбида.

Размер частиц по Фишеру (FSSS): средний размер частиц порошка, измеренный с помощью

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ситового измерителя Фишера, в микрометрах (мкм) .

Насыпная плотность: Плотность порошка в естественном состоянии укладки, выраженная в $г/см^3$.

Плотность после постукивания: Плотность порошка в плотно упакованном состоянии после вибрации или постукивания, выраженная в $г/см^3$.

Текучесть: время, необходимое для прохождения порошка через стандартную воронку, выраженное в секундах на 50 г (с/50 г).

Удельная площадь поверхности: общая площадь поверхности порошка на единицу массы, выраженная в $м^2/г$.

Коэффициент агломерации: доля агломерированных частиц в порошке, выраженная в %.

4 Классификация и код

Порошок цементированного карбида классифицируется по применению и составу:

По применению: для режущего инструмента (код Q), для горнодобывающего инструмента (код C), для износостойких деталей (код N).

По фазе склеивания: порошок WC-Co (код WC-Co), порошок WC-Ni (код WC-Ni), порошок WC-Co-Ni (код WC-Co-Ni).

По размеру частиц: ультратонкие ($FSSS \leq 1$ мкм , код UF), мелкие ($1 \text{ мкм} < FSSS \leq 3$ мкм , код F) , средние ($3 \text{ мкм} < FSSS \leq 5$ мкм , код M), крупные ($FSSS > 5$ мкм , код C).

Пример: сверхтонкий порошок для режущих инструментов WC-Co, кодовое название WC-Co-UF-Q.

5 Технические требования

5.1 Требования к сырью

Карбид вольфрама (WC):

Чистота: $\geq 99,8\% \pm 0,1\%$, примеси (O $< 0,15\% \pm 0,01\%$, Fe $< 0,05\% \pm 0,005\%$).

Размер частиц по Фишеру: $0,5-10$ мкм $\pm 0,01$ мкм, выбирается в зависимости от области применения.

Кобальт (Co):

Чистота: $\geq 99,9\% \pm 0,1\%$, примеси (O $< 0,1\% \pm 0,01\%$, Fe $< 0,02\% \pm 0,005\%$).

Размер частиц: ≤ 2 мкм $\pm 0,01$ мкм .

Никель (Ni):

Чистота: $\geq 99,9\% \pm 0,1\%$, примеси (O $< 0,1\% \pm 0,01\%$, Fe $< 0,02\% \pm 0,005\%$).

Размер частиц: ≤ 2 мкм $\pm 0,01$ мкм .

Добавки: Содержание ингибитора зерна (например, VC, Cr₃C₂) $0,1\%-1\% \pm 0,01\%$, чистота $\geq 99,5\% \pm 0,1\%$.

5.2 Требования к ингредиентам

Порошок WC-Co: содержание Co $6\%-20\% \pm 1\%$, общий углерод $5,5\%-6,2\% \pm 0,05\%$, свободный углерод $< 0,1\% \pm 0,01\%$.

Порошок WC-Ni: содержание Ni $6\%-15\% \pm 1\%$, общий углерод $5,5\%-6,2\% \pm 0,05\%$, свободный углерод $< 0,1\% \pm 0,01\%$.

Порошок WC-Co-Ni: содержание Co+Ni $8\%-20\% \pm 1\%$, общий углерод $5,5\%-6,2\% \pm 0,05\%$,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

свободный углерод $<0,1\% \pm 0,01\%$.

Содержание кислорода: $\leq 0,3\% \pm 0,01\%$, содержание азота: $\leq 0,05\% \pm 0,005\%$.

5.3 Физические свойства

по Фишеру: $0,5-10 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, отклонение $\pm 5\% \pm 0,5\%$.

Насыпная плотность: $4,0-5,0 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$ (порошок WC-Co $4,5 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$).

Плотность насыпки: $5,0-6,2 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$ (порошок WC-Co $5,5 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$).

Текучесть: $13-16 \text{ сек/50 г} \pm 0,5 \text{ сек}$ (порошок WC-Co $14 \text{ сек/50 г} \pm 0,5 \text{ сек}$).

Удельная поверхность: $0,5-5 \text{ м}^2/\text{г} \pm 0,2 \text{ м}^2/\text{г}$ (регулируется в зависимости от размера частиц).

Скорость агломерации: $<5\% \pm 1\%$.

5.4 Требования к морфологии

Морфология частиц: сферическая или близкая к сферической, степень сфероидизации $>90\% \pm 2\%$, размер кромки $<0,1 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$.

Качество поверхности: без видимых окислов и примесей, шероховатость поверхности Ra $<0,2 \text{ мкм} \pm 0,02 \text{ мкм}$.

5.5 Требования к процессу

Смешивание: однородность $>98\% \pm 1\%$, мокрый помол (соотношение шаров к материалу 3:1-8:1 $\pm 0,1$, скорость вращения 300-500 об/мин ± 10 об/мин).

Гранулирование: распылительная сушка, размер частиц $20-150 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, концентрация сырья $25\%-30\% \pm 1\%$, температура на входе $200-250^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$.

Сушка: влажность $<0,2\% \pm 0,05\%$, вакуумная сушка ($80^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, $<10^{-2} \text{ Па} \pm 10^{-3} \text{ Па}$).

6 Методы испытаний

Химический состав:

Общий углерод, свободный углерод: метод инфракрасного поглощения (GB/T 5124).

Содержание кислорода и азота: метод импульсного нагрева инертным газом (GB/T 5124).

Содержание Co и Ni: метод ICP-AES (GB/T 5124).

Размер частиц по Фишеру: метод ситового анализатора Фишера, давление воздуха $0,1-0,5$ фунтов на кв. дюйм $\pm 0,01$ фунтов на кв. дюйм, пористость $0,4-0,5 \pm 0,02$.

Кажущаяся плотность: ASTM B212, метод измерительного цилиндра, отклонение $<2\% \pm 0,5\%$.

Плотность постукивания: ASTM B527, частота 50 Гц ± 1 Гц, амплитуда 1 мм $\pm 0,1$ мм, отклонение $<2\% \pm 0,5\%$.

Текучесть: ASTM B213, метод реометра Холла (отверстие 5 мм $\pm 0,1$ мм), отклонение <1 секунды $\pm 0,2$ секунды.

Удельная площадь поверхности: метод БЭТ (GB/T 19587).

Скорость агломерации: метод СЭМ (GB/T 16594), подсчет 500 частиц.

Содержание влаги: метод Карла Фишера (GB/T 6283).

Морфология: метод СЭМ (GB/T 16594), скорость сфероидизации рассчитывалась с помощью программного обеспечения для анализа изображений.

7 правил осмотра

Категории инспекции:

Заводской контроль: химический состав, размер частиц по Фишеру, насыпная плотность,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

плотность утряски, текучесть, удельная поверхность, скорость агломерации, содержание влаги.

Типовой контроль: все технические требования (не реже одного раза в год или при изменении технологического процесса или по требованию заказчика).

выборка:

В соответствии с GB/T 1427 отберите 5 ± 1 образцов из каждой партии (≤ 1 тонны), каждый весом $100 \text{ г} \pm 1 \text{ г}$, и равномерно перемешайте.

Хранение образцов: герметичное, влажность $< 50\% \pm 5\%$ относительной влажности, температура $< 30^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$.

Правила принятия решения:

Если все элементы соответствуют требованиям, партия считается квалифицированной; если хотя бы один элемент не проходит проверку, допускается повторная проверка. Если повторная проверка снова не проходит проверку, партия считается неквалифицированной.

Округление чисел: в соответствии с правилами GB/T 8170.

8 Маркировка, упаковка, транспортировка и хранение

Логотип:

На внешней поверхности упаковки должны быть указаны: наименование продукта, код, номер партии, масса нетто, дата производства, производитель, а также маркировка условий хранения и транспортировки в соответствии с GB/T 191.

Пример: WC-Co-UF-Q, номер партии 20250523, масса нетто 50 кг, дата производства 23.05.2025, определенная компания-производитель твердого сплава.

Упаковка:

Внутренняя упаковка: герметичный пластиковый пакет (толщина $> 0,1 \text{ мм} \pm 0,01 \text{ мм}$), вакуумированный.

Внешняя упаковка: железная бочка или пластиковая бочка (объемом $50-100 \text{ л} \pm 1 \text{ л}$), влагонепроницаемая и ударопрочная.

Вес упаковки: $50 \text{ кг} \pm 0,5 \text{ кг}$ на бочку или по требованию заказчика.

транспорт:

Во время транспортировки не допускайте воздействия влаги и ударов, а также избегайте высоких температур ($> 50^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$) и высокой влажности ($> 80\% \pm 5\%$ относительной влажности).

Соответствовать требованиям по транспортировке GB/T 191 и иметь четкую маркировку.

Хранилище:

Условия хранения: температура $10-30^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, относительная влажность $< 50\% \pm 5\%$, избегать попадания прямых солнечных лучей.

Срок хранения: ≤ 12 месяцев ± 1 месяц, при превышении срока годности требуется повторная проверка .

9. Гарантия качества

Обязательство по качеству: производитель должен предоставить сертификат качества, включающий название продукта, код, номер партии, результаты испытаний, дату

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

производства и подпись инспектора.

Обработка возражений: Если у пользователей есть возражения по качеству продукта, они должны высказать их в течение 30 дней после получения продукта. Стороны предложения и спроса совместно проведут повторную проверку и вынесут решение на основе этого стандарта.

Приложение А (Информационное приложение) Типичные свойства твердосплавного порошка

Ультратонкий порошок WC-Co (UF):

Размер частиц по Фишеру: 0,5-1 мкм±0,01 мкм

Плотность набивки: 5,5 г/см³ ± 0,1 г/см³

Текучесть: 14 сек/50 г±0,5 сек

Применение: авиационные инструменты, срок службы>15 часов ±1 час

Порошок WC-Ni среднего размера частиц (M):

Размер частиц по Фишеру: 3-5 мкм±0,01 мкм

Плотность набивки: 5,8 г/см³ ± 0,1 г/см³

Текучесть: 13 сек/50 г±0,5 сек

Применение: Горнодобывающее буровое долото, срок службы >1200 м±100 м

Приложение В (Нормативное приложение) Дополнительные примечания по методам испытаний

Определение размера частиц по Фишеру: давление уплотнения образца 0,5-1 кг/см² ± 0,1 кг/см², отклонение расхода воздуха <5% ± 0,5%.

Определение текучности: относительная влажность среды испытания должна быть <50% ± 5%, чтобы предотвратить поглощение влаги порошком и влияние на результаты.

Определение удельной поверхности: адсорбция азота, температура предварительной обработки 200°C±5°C, удаление поверхностной влаги.

Подвести итог

Стандарт GB/T 34505-2017 определяет технические условия для приготовления твердосплавного порошка, охватывая сырье, состав, физические свойства, морфологию, требования к процессу и контролю. Контролируя такие показатели, как размер частиц по Фишеру-Тропшу (0,5–10 мкм), плотность утряски (5,0–6,2 г/см³) и текучесть (13–16 секунд/50 г), качество порошка обеспечивается для соответствия требованиям высокотехнологичных приложений, таких как авиационные инструменты (срок службы>15 часов) и горнодобывающие буровые коронки (срок службы>1200 м). Стандарт обеспечивает постоянство и надежность продукции с помощью научных методов испытаний (ASTM B212, B213, B527) и строгих правил контроля (отбор проб, определение).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Приложение :

Как оценить качество гранулометрического состава порошка карбида вольфрама ?

Распределение размеров частиц порошка карбида вольфрама (WC) является важным показателем для оценки его качества и эксплуатационных характеристик и напрямую влияет на твердость, прочность, спекаемость и эффективность применения твердого сплава.

(1) Метод оценки

Распределение размеров частиц оценивается путем измерения статистических свойств размера частиц порошка. Обычно используются следующие методы:

Лазерный анализ размера частиц:

Согласно GB/T 19077.1-2008 распределение размеров частиц измеряется с использованием технологии лазерной дифракции.

Ключевые параметры: D10 (10% частиц меньше этого значения), D50 (медианный диаметр, 50% частиц меньше этого значения), D90 (90% частиц меньше этого значения).

Точность: отклонение $<5\% \pm 1\%$, применимо к диапазону $0,1-100 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$.

Преимущества: быстрые, неразрушающие и высоковоспроизводимые результаты.

Сканирующий электронный микроскоп (СЭМ):

Согласно GB/T 16594-2008, были изучены морфология частиц и распределение размеров.

Измерение: подсчитайте размеры 100–500 частиц вручную или с помощью программного обеспечения для анализа изображений.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Преимущества: Интуитивно отражает морфологию частиц (полигональную, сферическую) и агломерацию ($<5\% \pm 1\%$).

Недостатки: Репрезентативность выборки ограничена и требует комбинирования с другими методами.

Метод седиментации:

Согласно GB/T 14634.2-2010 распределение размеров частиц рассчитывается по скорости седиментации частиц в жидкости.

Область применения: крупные частицы ($> 5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$).

Преимущества: подходит для несферических частиц, низкая стоимость.

Недостаточная точность для мелкодисперсного порошка ($<1 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$).

Метод удельной площади поверхности (БЭТ):

Согласно GB/T 19587-2017, средний размер частиц рассчитывался методом адсорбции азота.

Область применения: субмикронный уровень ($0,1-1 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$), удельная площадь поверхности $> 1 \text{ м}^2/\text{г} \pm 0,2 \text{ м}^2/\text{г}$.

Преимущества: отражает характеристики площади поверхности частиц и косвенно оценивает распределение.

Онлайн-мониторинг:

Используйте лазерный онлайн-анализатор размера частиц для мониторинга распределения размеров частиц в процессе смешивания или приготовления в режиме реального времени.

Преимущества: Динамическая регулировка процесса, отклонение $<3\% \pm 0,5\%$.

(2) Критерии оценки

Качество гранулометрического состава количественно оценивается по следующим параметрам:

Ширина распространения:

Идеальное значение: $(D90 - D10)/D50 < 1,5 \pm 0,1$, что указывает на узкое распределение и однородные частицы.

Значение низкого качества: $>2,0 \pm 0,2$, широкое распределение, неравномерные частицы.

Значимость: Узкое распределение ($<1,5 \pm 0,1$) снижает пористость спекания ($<0,05\% \pm 0,01\%$) и улучшает плотность ($>99\% \pm 0,1\%$).

Средний диаметр (D50):

Целевое значение: в зависимости от области применения, субмикронный уровень $0,3 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, микронный уровень $1-3 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, грубый уровень $5-10 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$.

Отклонение: $\pm 10\% \pm 1\%$, превышение этого предела повлияет на стабильность производительности.

Однородность:

Стандарт: стандартное отклонение размера частиц/среднее значение $<0,2 \pm 0,02$, однородность $>95\% \pm 1\%$.

Значимость: Высокая однородность ($>95\% \pm 1\%$) улучшает твердость и вязкость

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(HV >3000±50, K₁ c > 18 МПа·м^{1/2} ± 0,5).

Морфологическая последовательность:

Стандарт : степень сфероидизации >90%±2% или полигональный край <0,05 мкм±0,01 мкм ,
степень агломерации <5%±1%.

Значимость: Однородная морфология снижает дефекты прессования (трещины <1% ± 0,2%)
и улучшает текучесть (<30 с/50 г ± 2 с, GB/T 1482-2010).

(3) Оценка качества

Превосходное распределение размеров частиц:

Характеристики: (D90 - D10)/D50 < 1,5±0,1, отклонение D50 <10%±1%,
однородность >95%±1%, скорость агломерации <5%±1%.

Характеристики: Плотность после спекания >99%±0,1%, твердость HV>2900±50, прочность
на изгиб >4000 МПа±100 МПа, величина износа <0,08 мм±0,02 мм.

Применение: авиационные инструменты (срок службы > 15 часов ± 1 час), сверла для
печатных плат (срок службы > 10⁵ отверстий ± 10⁴ отверстий).

Типичное распределение размеров частиц:

Характеристики: (D90 - D10)/D50 1,5-2,0±0,2, отклонение D50 10%-20%±1%, однородность
90%-95%±1%, степень агломерации 5%-10%±1%.

Характеристики: плотность 98%-99%±0,1%, твердость HV 2500-2800±50, прочность на изгиб
3500-4000 МПа±100 МПа, износ 0,08-0,15 мм±0,03 мм.

Применение: Формы общего назначения (срок службы > 10⁶ раз ± 10⁵ раз).

Распределение размеров частиц низкого качества:

Характеристики: (D90 - D10)/D50 >2,0±0,2, отклонение D50 >20%±1%, однородность
<90%±1%, скорость агломерации >10%±1%.

Эксплуатационные характеристики: плотность <98%±0,1%, пористость >0,2%±0,02%,
твердость HV <2500±50, прочность на изгиб <3500 МПа±100 МПа, величина износа >0,15
мм±0,03 мм.

Применение: ограниченное, возможен отказ инструмента (срок службы <10 часов ±1 час).

Примеры:

Отлично: D50=0,3 мкм±0,01 мкм , (D90-D10) /D50=1,2±0,1, твердый сплав используется для
авиационных инструментов, срок службы >15 часов±1 час.

Низкое качество: D50=2 мкм±0,01 мкм , (D90-D10)/D50=2,5± 0,2 , пористость твердого
сплава >0,3%±0,02%, срок службы <8 часов±1 час.

(4) Предложения по оптимизации

Контроль сырья:

Для уменьшения начального отклонения размера частиц были выбраны порошок вольфрама
высокой чистоты (O <0,05% ± 0,01%) и сажа (размер частиц <0,1 мкм ± 0,01 мкм) .

Процесс приготовления:

Температура карбонизации составляет 1450–1600°C ± 10°C, а время реакции контролируется
(2–4 часа ± 0,1 часа) для обеспечения равномерной карбонизации.

Быстрое охлаждение (>50°C/мин ± 5°C/мин) подавляет рост зерен (<0,01 мкм /мин ± 0,001

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

мкм /мин).

добавка:

0,1%-0,5%±0,01% VC или Cr₃C₂ подавляет рост зерен, а отклонение размера частиц составляет <5%±1%.

Постобработка:

Классификация воздушного потока (GB/T 19077.1-2008) регулирует распределение с отклонением <2%±0,5%.

Сито (размер пор <10 мкм ± 0,1 мкм) для удаления агломератов (<5% ± 1%).

Мониторинг процесса:

Онлайн-анализ размера частиц лазера корректирует параметры в реальном времени, чтобы отклонение D50 оставалось на уровне <5% ± 0,5%.

(5) Тестирование и контроль качества

Распределение размеров частиц: Лазерный анализ размера частиц регулярно калибруется (каждые 100 раз ± 10 раз), чтобы обеспечить точность D50 ± 5% ± 0,5%.

Морфологический анализ: СЭМ проводился один раз в месяц для оценки скорости агрегации (<5% ± 1%) и постоянства морфологии.

Проверка эксплуатационных характеристик: После спекания проверяются твердость (ISO 4499-2), прочность (GB/T 3851-2015) и износостойкость (GB/T 12444-2006), которые сопоставляются с данными распределения.

Статистический анализ: использовалась модель нормального распределения, и для подтверждения однородности было рассчитано стандартное отклонение/среднее значение, которое составило <0,2 ± 0,02.

Распределение размера частиц порошка карбида вольфрама оценивается с помощью лазерного анализа размера частиц (D10, D50, D90), SEM, метода седиментации и метода BET. Критерии оценки включают ширину распределения (<1,5 ± 0,1), отклонение D50 (<10% ± 1%), однородность (>95% ± 1%) и последовательность морфологии. Отличное распределение ((D90-D10)/D50 <1,5 ± 0,1) обеспечивает высокую плотность (>99% ± 0,1%) и производительность (HV >2900 ± 50), подходит для высокопроизводительных приложений; плохое распределение (>2,0 ± 0,2) приводит к снижению производительности. Оптимизируйте сырье, процессы и постобработку и улучшите качество распределения с помощью мониторинга в реальном времени для удовлетворения потребностей авиационных инструментов (срок службы>15 часов ± 1 час) и горнодобывающих буровых долот (срок службы>1200 м ± 100 м).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Приложение :

Что такое размер частиц по Фишеру?

Fisher Sub-Sieve Sizer (FSSS) — это традиционный метод анализа размера частиц, который определяет средний размер частиц порошка методом проницаемости воздуха. Он широко используется для характеристики сырья из цементированного карбида (например, порошка карбида вольфрама WC, порошка кобальта Co и порошка никеля Ni) и других металлических порошков.

(1) Определение

Анализатор размера частиц Fisher основан на Fisher Sub-Sieve Sizer. Он измеряет сопротивление воздухопроницаемости слоя порошка и косвенно оценивает средний размер частиц порошка. Результат обычно выражается в микронах (мкм), отражая площадь поверхности и характеристики пор порошка, и особенно подходит для анализа распределения размеров мелких частиц.

(2) Принцип измерения

Измерение размера частиц Фишера основано на уравнении Кармана-Козени, которое описывает связь между проницаемостью жидкости в пористой среде и размером частиц, пористостью и толщиной среды. Процесс измерения выглядит следующим образом:

Подготовка образца

Определенную массу порошка (обычно $2-5 \text{ г} \pm 0,1 \text{ г}$) помещают в специальную пробирку и осторожно утрамбовывают до образования равномерного слоя порошка (толщиной $1-2 \text{ см} \pm 0,1 \text{ см}$) с пористостью, контролируемой на уровне $0,4-0,5 \pm 0,02$.

Инфильтрация воздуха

Подайте сухой воздух под постоянным давлением ($0,1-0,5$ фунта на кв. дюйм $\pm 0,01$ фунта на кв. дюйм) через пробирку и измерьте скорость потока воздуха через слой порошка (объем за единицу времени, мл/с).

Расчет сопротивления

Сопротивление слоя порошка воздуху пропорционально площади поверхности частиц. Чем больше сопротивление, тем меньше частицы. Скорость потока воздуха пропорциональна квадрату среднего диаметра частиц.

Оценка размера частиц

на основе уравнения Кармана-Козени и калибровочной кривой, объединяющей площадь поверхности и пористость порошков.

Математическое выражение упрощается до:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

数学表达式简化为:

$$D = k \cdot \sqrt{\frac{Q \cdot \eta \cdot L}{P \cdot A \cdot (1 - \epsilon)^2}}$$

其中:

- D : 费氏粒度 (μm)
- k : 仪器校准常数
- Q : 空气流量 (mL/s)
- η : 空气粘度 ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)
- L : 粉末层厚度 (cm)
- P : 压力差 (Pa)
- A : 粉末层横截面积 (cm^2)
- ϵ : 孔隙率

(3) Область применения

Диапазон размеров частиц: $0,1\text{--}50 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, особенно подходит для субмикронных и микронных порошков (например, $0,3\text{--}10 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ для порошка WC).

Свойства порошка: Подходит для сферических или почти сферических частиц с высокой однородностью морфологии частиц (степень сфероидизации $> 90\% \pm 2\%$).

Ограничения: Не подходит для порошков с размером частиц $>50 \mu\text{m}$ или сильной агломерацией ($>10\% \pm 1\%$) из-за ограниченной воздухопроницаемости.

(4) Преимущества и недостатки

преимущество:

Просто и быстро: время измерения <5 минут $\pm 0,5$ минуты, простота эксплуатации, подходит для пакетного тестирования.

Связанный с площадью поверхности: отражает удельную площадь поверхности порошка ($>1 \text{ m}^2/\text{g} \pm 0,2 \text{ m}^2/\text{g}$), которая тесно связана с поведением при спекании.

Низкая стоимость: Оборудование недорогое (<5000 долл. США ± 500 долл. США) и простое в обслуживании.

недостаток:

Один индикатор: показывает только средний размер частиц, без информации о распределении размеров частиц (например, D10, D90).

Зависит от калибровки: результаты зависят от калибровочной кривой и степени уплотнения порошка и могут варьироваться в пределах $\pm 10\% \pm 1\%$.

Ограничение морфологии: погрешность измерения несферических или пористых частиц (например, агломерированного порошка) велика ($>15\% \pm 2\%$).

(5) Метод расчета и калибровки

Калибровка: используйте стандартный порошок (например, SiC или Al_2O_3 с известным размером частиц $0,5\text{--}10 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) для калибровки прибора, чтобы обеспечить точность измерений $\pm 5\% \pm 0,5\%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Повторяемость: Каждая партия была протестирована 3-5 раз, и было взято среднее значение. Стандартное отклонение составило $<0,1 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$.

Поправочный коэффициент: отрегулируйте постоянную Кармана-Коэна в соответствии с плотностью порошка ($WC 15,63 \text{ г/см}^3 \pm 0,05 \text{ г/см}^3$).

(6) Факторы влияния

Уплотнение порошка: давление уплотнения $0,5-1 \text{ кг/см}^2 \pm 0,1 \text{ кг/см}^2$. Если давление уплотнения слишком сильное ($>2 \text{ кг/см}^2$), пористость будет снижена ($<0,3 \pm 0,02$) и результат будет меньше. Если давление уплотнения слишком слабое ($<0,2 \text{ кг/см}^2$), пористость будет высокой ($>0,6 \pm 0,02$) и результат будет больше.

Влажность: Содержание влаги в образце $>0,5\% \pm 0,1\%$ влияет на поток воздуха и требует высушивания ($<0,1\% \pm 0,01\%$).

Морфология частиц: Несферические частицы (границы $> 0,1 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) приводят к ошибкам оценки площади поверхности $> 10\% \pm 1\%$.

Атмосфера: Испытание следует проводить в сухом воздухе, чтобы избежать помех от CO_2 или O_2 ($O_2 < 5 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$).

(7) Эффект применения

Подготовка твердосплавных материалов:

Порошок WC с размером частиц $0,5-2 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$ имеет плотность $>99\% \pm 0,1\%$ после спекания и твердость $HV > 2900 \pm 50$, что подходит для авиационных инструментов (срок службы > 15 часов ± 1 час).

Порошок WC-Co с размером частиц по Фишеру-Тропшу $3-5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$ и прочностью на изгиб $>4000 \text{ МПа} \pm 100 \text{ МПа}$ подходит для буровых коронок для горнодобывающей промышленности (срок службы $>1200 \text{ м} \pm 100 \text{ м}$).

Контроль качества:

Отклонение размера частиц по Фишеру от партии к партии составляет $<10\% \pm 1\%$, что обеспечивает однородность спекания (пористость $<0,05\% \pm 0,01\%$).

По сравнению с лазерным анализом размера частиц (D50) была подтверждена ширина распределения $((D90-D10)/D50 < 1,5 \pm 0,1)$.

(8) Тестирование и контроль качества

Калибровка прибора: проводите калибровку ежемесячно с использованием стандартного порошка и регистрируйте отклонение калибровочной кривой $<5\% \pm 0,5\%$.

Условия испытаний: температура окружающей среды $20-25 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, относительная влажность $<40\% \pm 5\%$, воздух должен быть сухим.

Проверка результатов: по сравнению с методом определения удельной площади поверхности БЭТ (GB/T 19587-2017) отклонение площади поверхности составляет $<10\% \pm 1\%$.

Записи: Запишите значение размера частиц по Фишеру, давление уплотнения и расход воздуха для каждой партии и храните их в течение 1 года $\pm 0,1$ года.

Подвести итог

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

, основанный на воздухопроницаемости. Он использует уравнение Кармана-Коэна для оценки среднего размера частиц порошка (0,1–50 мкм) . Он особенно подходит для анализа площади поверхности и характеристик пор сырья из цементированного карбида. Его измерение простое, быстрое (<5 минут) и недорогое, но оно дает только среднее значение и зависит от калибровки и морфологии частиц. Оптимизация давления прессования (0,5–1 кг/см²) и контроля влажности (<0,1%) может повысить точность (±5%). При подготовке цементированного карбида размер частиц по Фишеру определяет измельчение порошка (0,5–5 мкм) для обеспечения производительности спекания (плотность>99%, твердость>2900 HV) и широко используется в производстве авиационных инструментов и горнодобывающих сверл.

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

Типы шаров для шаровых мельниц предварительной обработки порошка

В процессе предварительной обработки порошков твердого сплава, таких как порошок карбида вольфрама (WC), шаровая мельница является ключевым процессом для достижения смешивания, измельчения и равномерного распределения порошка. Тип шара, используемого в шаровой мельнице, напрямую влияет на эффективность измельчения, чистоту порошка и конечную производительность.

(1) Обычно используемые типы шаров для шаровой мельницы

Шар из углеродистой стали:

Материал: низкоуглеродистая или среднеуглеродистая сталь (например, сталь 45#, сталь 60Mn), поверхность может быть хромирована.

характеристика:

Плотность: $7,8-7,9 \text{ г/см}^3 \pm 0,05 \text{ г/см}^3$.

Твёрдость: HRC 50-60±2.

Износостойкость: скорость износа $<0,1\% \pm 0,02\%/ч$.

Стоимость: низкая, подходит для массового производства.

удара, подходит для грубого измельчения (размер частиц $>5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$).

Недостатки: Легко вносятся примеси железа ($>0,02\% \pm 0,005\%$), влияющие на чистоту порошка WC ($<99,9\% \pm 0,01\%$) и требующие последующего травления.

Применение: Первичное смешивание и грубое измельчение порошков WC-Co.

Шар из нержавеющей стали:

Материал: аустенитная нержавеющая сталь, такая как 304, 316L и т. д.

характеристика:

Плотность: $7,9-8,0 \text{ г/см}^3 \pm 0,05 \text{ г/см}^3$.

Твёрдость: HRC 25-35±2.

Коррозионная стойкость: лучше, чем у углеродистой стали, скорость коррозии $<0,01 \text{ мм/год} \pm 0,002 \text{ мм/год}$ (pH 2-12).

Износостойкость: скорость износа $<0,05\% \pm 0,01\%/ч$.

Преимущества: коррозионная стойкость, низкое загрязнение железом ($<0,01\% \pm 0,002\%$), подходит для тонкого шлифования.

Недостатки: меньшая твердость и меньшая эффективность шлифования, чем у твердосплавных шаров.

Применение: Субмикронный порошок WC ($0,1-1 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) тонкого помола.

Твердосплавный шарик:

Материал: сплав WC-Co (содержание Co $6\%-12\% \pm 0,5\%$).

характеристика:

Плотность: $14,5-15,0 \text{ г/см}^3 \pm 0,05 \text{ г/см}^3$.

Твёрдость: HRC 65-75±2.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Износостойкость: скорость износа $<0,01\% \pm 0,002\%/ч$.

Коррозионная стойкость: лучше, чем у углеродистой стали, скорость коррозии $<0,005$ мм/год $\pm 0,001$ мм/год.

Преимущества: высокая твердость, износостойкость, меньшее загрязнение (концентрация фазы WC $> 99,8\% \pm 0,02\%$), подходит для случаев, когда требуются высокие требования к чистоте.

Недостатки: Высокая стоимость (примерно в 10-20 раз выше, чем у углеродистой стали) .

Применение: Приготовление ультрадисперсного порошка WC ($<0,5$ мкм $\pm 0,01$ мкм) и высокоточного твердого сплава.

Шарик из циркония (ZrO_2) :

стабилизированный Y_2O_3 , $3\%-5\% \pm 0,1\%$).

характеристика:

Плотность: $6,0-6,1$ г/см³ $\pm 0,05$ г/см³ .

Твёрдость: HRC 70-80 ± 2 .

Износостойкость: скорость износа $<0,02\% \pm 0,005\%/ч$.

Коррозионная стойкость: Отличная, высокая химическая стабильность (pH 0-14).

Преимущества: отсутствие загрязнения металлами, подходит для высокочистого порошка WC (O $<0,05\% \pm 0,01\%$), гладкая поверхность (Ra $<0,2$ мкм $\pm 0,02$ мкм) .

Недостатки: низкая плотность, меньшая эффективность измельчения, чем у твердосплавных шаров.

Применение: Наноразмерный порошок WC ($<0,1$ мкм $\pm 0,01$ мкм) и биомедицинские материалы .

Шарики из оксида алюминия (Al_2O_3) :

Материал: оксид алюминия высокой чистоты (содержание $Al_2O_3 > 99\% \pm 0,01\%$).

характеристика:

Плотность: $3,6-3,9$ г/см³ $\pm 0,05$ г/см³ .

Твёрдость: HRC 80-90 ± 2 .

Износостойкость: скорость износа $<0,03\% \pm 0,005\%/ч$.

Коррозионная стойкость: Хорошая, устойчива к кислотам и щелочам (pH 2-12).

Преимущества: высокая твердость, умеренная стоимость, отсутствие загрязнения металла.

Недостатки: хрупкий и легко ломается (степень поломки $<1\% \pm 0,2\%$).

Применение: Измельчение средне-крупного порошка WC (1-5 мкм $\pm 0,01$ мкм) и керамических материалов .

Шарик из нитрида кремния (Si_3N_4) :

Материал: нитрид кремния, стабилизированный Y_2O_3 или Al_2O_3 .

характеристика:

Плотность: $3,2-3,3$ г/см³ $\pm 0,05$ г/см³ .

Твёрдость: HRC 85-95 ± 2 .

Износостойкость: скорость износа $<0,01\% \pm 0,002\%/ч$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Коррозионная стойкость: Отличная, устойчива к сильным кислотам и щелочам.

Преимущества: высокая твердость, низкая плотность, подходит для высокоскоростного шлифования.

Недостатки: высокая стоимость и сложность производства.

Применение: Высококачественный нанопорошок WC и высококачественные электронные материалы.

(2) Основа отбора

Твердость и износостойкость:

Материалы высокой твердости (например, твердосплавные шарики, ZrO_2 , Si_3N_4) подходят для тонкого шлифования и получения ультратонкого порошка ($<0,5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) со скоростью износа $< 0,01 \% \pm 0,002\%/ч$.

Материалы с низкой твердостью (например, шарики из углеродистой стали) подходят для грубого шлифования, обеспечивая высокую эффективность, но низкую износостойкость.

Контроль загрязнения:

Не требуется металлического загрязнения ($O < 0,05\% \pm 0,01\%$, $Fe < 0,01\% \pm 0,002\%$), выбирайте ZrO_2 , Al_2O_3 или Si_3N_4 .

Допускается незначительное загрязнение ($Fe < 0,02\% \pm 0,005\%$), можно выбрать шарики из углеродистой или нержавеющей стали.

Плотность и эффективность измельчения:

Шарики высокой плотности (например, твердосплавные шарики, $14,5-15,0 \text{ г/см}^3 \pm 0,05 \text{ г/см}^3$) обеспечивают большую ударную силу и подходят для шлифования твердых материалов.

Шарики низкой плотности (например, Al_2O_3 , $3,6-3,9 \text{ г/см}^3 \pm 0,05 \text{ г/см}^3$) подходят для легкого измельчения и уменьшают чрезмерное дробление.

Стоимость и размер:

Шарики из углеродистой или нержавеющей стали используются для крупномасштабного производства с низкой себестоимостью ($< 10 \text{ долл. США/кг} \pm 1 \text{ долл. США/кг}$).

Для высокотехнологичных применений выбирайте твердосплавные шарики или ZrO_2 ($50-200 \text{ долл. США/кг} \pm 10 \text{ долл. США/кг}$).

Соответствие диаметра шара:

Грубый помол: $10-20 \text{ мм} \pm 0,1 \text{ мм}$ (например, шарик из углеродистой стали).

Тонкое шлифование: $2-10 \text{ мм} \pm 0,1 \text{ мм}$ (например, твердосплавные шарики, ZrO_2).

Сверхтонкое шлифование: $0,5-2 \text{ мм} \pm 0,1 \text{ мм}$ (например, Si_3N_4).

(3) Примеры применения

Шар из углеродистой стали: используется для грубого смешивания WC-Co (размер частиц $5-10 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$), эффективность измельчения $> 90\% \pm 2\%$, но примеси Fe необходимо удалить травлением ($< 0,01\% \pm 0,002\%$).

Твердосплавные шарики: используются для сверхтонкого шлифования WC ($0,3 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$), твердость $HV > 2900 \pm 50$, загрязнение $< 0,005\% \pm 0,001\%$, подходят для авиационных инструментов (срок службы $> 15 \text{ часов} \pm 1 \text{ час}$).

ZrO_2 : используются для нанопорошка WC ($0,1 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$), загрязнение $O < 0,03\% \pm$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

0,005%, используются для сверл по печатным платам (срок службы > 10⁵ отверстий ± 10⁴ отверстий).

нанопорошка WC высокой чистоты, твердость HV >3000±50, отличная коррозионная стойкость, подходит для химического оборудования (срок службы >2 года ±0,2 года).

(4) Оптимизация и обслуживание

Соотношение шара к материалу: рекомендуется от 5:1 до 10:1±0,1. Слишком высокое приведет к чрезмерному измельчению (отклонение размера частиц >10%±1%), слишком низкое снизит эффективность.

Скорость вращения: 200-400 об/мин ± 10 об/мин. Слишком высокая скорость (> 500 об/мин ± 10 об/мин) увеличит износ (> 0,1% ± 0,02%/ч).

Очистка: очищайте этанолом или разбавленной HCl (pH 2 ± 0,1) после каждого измельчения, чтобы предотвратить перекрестное загрязнение (Fe < 0,005% ± 0,001%).

замена каждые 500 часов ± 50 часов, ZrO₂ каждые 1000 часов ± 100 часов, на основании мониторинга скорости износа.

Типы шаров для шаровой мельницы включают шары из углеродистой стали (недорогие, грубого помола), шары из нержавеющей стали (коррозионностойкие, тонкого помола), шары из карбида (высокой твердости, сверхтонкого помола), шары из оксида циркония (экологически чистые, нанометрового класса), шары из оксида алюминия (средне-грубого помола) и шары из нитрида кремния (высокая чистота и коррозионная стойкость). Выбор основан на твердости, износостойкости, контроле загрязнения, плотности и стоимости, соответствующем диаметре шара (0,5-20 мм ± 0,1 мм) и требованиях к применению. Шары из карбида и ZrO₂ подходят для высокоточного порошка WC (<0,5 мкм ± 0,01 мкм), а шары из углеродистой стали подходят для грубой обработки. За счет оптимизации соотношения шаров к материалу (5:1–10:1±0,1) и скорости вращения (200–400 об/мин±10 об/мин), а также регулярного технического обслуживания (очистки, замены) можно повысить эффективность шлифования и качество порошка, чтобы соответствовать эксплуатационным требованиям авиационных инструментов (срок службы >15 часов±1 час) и горнодобывающих буровых коронок (срок службы >1200 м±100 м).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Неметаллические связующие в предварительной обработке порошка

При приготовлении твердого сплава предварительная обработка порошка является ключевым шагом для улучшения текучести и прессуемости порошка. Неметаллические связующие (также известные как органические связующие) играют важную роль в этом процессе, помогая частицам связываться, повышая прочность сырого тела и обеспечивая стабильность перед последующим спеканием. Ниже приводится подробный анализ неметаллических связующих с точки зрения типа, характеристик, механизма действия, влияния на применение и стратегии оптимизации.

(1) Типы и характеристики неметаллических связующих

Неметаллические связующие вещества обычно представляют собой органические соединения, которые должны иметь хорошую адгезию, низкую температуру разложения и легко удаляться, чтобы избежать негативного влияния на производительность твердого сплава. Распространенные типы включают:

Поливиниловый спирт (ПВС)

Химическая структура: $[-CH_2 - CH(OH)-]_n$, водорастворимый полимер.

Характеристики: Высокая прочность связи ($>5 \text{ МПа} \pm 0,5 \text{ МПа}$), температура разложения $250-350^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$, остаточный углерод $<0,1\% \pm 0,01\%$.

Преимущества: Растворяется в воде, легко смешивается, низкая стоимость.

Недостатки: Высокая гигроскопичность (степень влагопоглощения $>2\% \pm 0,2\%$), необходимо контролировать влажность ($<50\% \text{ RH} \pm 5\%$).

Полиэтиленгликоль (ПЭГ)

Химическая структура: $HO-(CH_2 - CH_2 - O)_n - H$, доступны различные молекулярные массы (200-6000).

Характеристики: Температура разложения $300-400^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$, хорошая смазывающая способность (коэффициент трения $<0,2 \pm 0,02$), остаточный углерод $<0,05\% \pm 0,01\%$.

Преимущества: хорошая текучесть ($<20 \text{ с/50 г} \pm 2 \text{ с}$), подходит для тонкодисперсных порошков ($<0,5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$).

Недостатки: Высокая вязкость при низких температурах ($>10 \text{ Па} \cdot \text{с} \pm 1 \text{ Па} \cdot \text{с}$), требует нагрева для смешивания ($60^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$).

Парафиновый воск

Химическая структура: $C_n H_{2n+2}$ ($n=20-40$), углеводородное соединение.

Характеристики: Температура плавления $50-70^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, температура разложения $200-300^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$, остаточный углерод $<0,2\% \pm 0,01\%$.

Преимущества: сильная смазывающая способность (коэффициент трения $<0,15 \pm 0,02$), легко удаляется.

Недостатки: Летуч при высокой температуре ($>80^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$), необходимо хранить при низкой температуре.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Стеариновая кислота

Химическая формула: $C_{17}H_{35}COOH$, жирная кислота.

Характеристики: Температура плавления $69^{\circ}C \pm 2^{\circ}C$, температура разложения $250-350^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$, остаточный углерод $<0,1\% \pm 0,01\%$.

Преимущества: обладает как смазочными, так и связующими свойствами, подходит для формовки под высоким давлением ($>500 \text{ МПа} \pm 10 \text{ МПа}$).

Недостатки: Легко разлагается при высокой температуре, необходимо контролировать температуру обработки ($<100^{\circ}C \pm 2^{\circ}C$).

Другие связующие материалы

Полиметилметакрилат (ПММА): температура разложения $300-400^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$, подходит для высокоточного литья.

Этилцеллюлоза (ЭЦ): растворима в этаноле, температура разложения $250-350^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$, пригодна для распылительной грануляции.

(2) Механизм действия

Неметаллические связующие вещества улучшают свойства порошка посредством физического и химического воздействия при предварительной обработке порошка:

Связывание частиц:

В процессе смешивания (скорость вращения $300 \text{ об./мин} \pm 10 \text{ об./мин}$) связующее вещество обволакивало частицы WC и Co/Ni, образуя пленку (толщиной $< 0,1 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$), что увеличивало силу связи между частицами ($> 3 \text{ МПа} \pm 0,5 \text{ МПа}$).

Например, раствор ПВС (концентрация $5\% \pm 0,1\%$) связывает частицы посредством водородных связей (энергия связи $\sim 20 \text{ кДж/моль} \pm 2 \text{ кДж/моль}$).

Улучшенная мобильность:

Парафин и ПЭГ снижают трение между частицами (коэффициент трения $<0,2 \pm 0,02$), а текучесть порошка улучшается до $<20 \text{ с/50 г} \pm 2 \text{ с}$ (GB/T 1482-2010).

Подходит для мелких частиц ($<0,5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) и снижения агломерации ($<5\% \pm 1\%$).

Увеличьте прочность заготовки:

После прессования (давление $200-500 \text{ МПа} \pm 10 \text{ МПа}$) связующее образует сетчатую структуру (пористость $<10\% \pm 1\%$), а прочность сырого изделия составляет $>10 \text{ МПа} \pm 1 \text{ МПа}$, что обеспечивает стабильность при транспортировке и переработке.

Например, прочность на сжатие заготовки, содержащей $2\% \pm 0,1\%$ парафина, составляет $>15 \text{ МПа} \pm 1 \text{ МПа}$.

Легкость удаления:

Связующее вещество разлагается на CO_2 и H_2O (степень разложения $>99\% \pm 1\%$) на этапе предварительного спекания ($300-500^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$), а остаточный углерод составляет $<0,1\% \pm 0,01\%$, что не влияет на эксплуатационные характеристики твердого сплава.

(3) Влияние приложения

Выбор и использование неметаллических связующих веществ оказывают важное влияние на

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

процесс подготовки твердого сплава и его конечные характеристики:

Текущность порошка:

Порошок WC-Co, содержащий $1\% \pm 0,1\%$ ПЭГ, имеет текущность $<20 \text{ с}/50 \text{ г} \pm 2 \text{ с}$ и подходит для автоматического прессования (производительность $>500 \text{ шт./час} \pm 50 \text{ шт./час}$).

улучшили текущность субмикронных порошков ($<0,5 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) на $10\% \pm 2\%$ и снизили износ пресс-формы ($<0,01 \text{ мм} \pm 0,002 \text{ мм}$).

Свойства тела:

ПВС ($2\% \pm 0,1\%$) повышает прочность сырого тела ($>12 \text{ МПа} \pm 1 \text{ МПа}$) и подходит для литья сложных форм (размерное отклонение $<0,05 \text{ мм} \pm 0,01 \text{ мм}$).

Стеариновая кислота ($1\% \pm 0,1\%$) снижает давление прессования ($<400 \text{ МПа} \pm 10 \text{ МПа}$) и уменьшает трещины в сыром теле ($<1\% \pm 0,2\%$).

Эффективность спекания:

Остаточный углерод в связующем составляет $<0,1\% \pm 0,01\%$, что обеспечивает плотность после спекания $>99\% \pm 0,1\%$ и твердость HV $>2000 \pm 30$.

Избыточное содержание остаточного углерода ($>0,2\% \pm 0,01\%$) приводит к увеличению пористости ($>0,2\% \pm 0,02\%$) и снижению прочности на изгиб на $5\% \pm 1\%$ ($<4000 \text{ МПа} \pm 100 \text{ МПа}$).

Максимальная производительность:

мкм), содержащий $2\% \pm 0,1\%$ парафина, твердость HV 2200 ± 30 , используется для авиационных инструментов (срок службы $> 15 \text{ часов} \pm 1 \text{ час}$).

Сырое тело, содержащее $1\% \pm 0,1\%$ ПВС, имеет пористость $< 0,05\% \pm 0,01\%$ после спекания и прочность на сжатие $> 4200 \text{ МПа} \pm 100 \text{ МПа}$, что подходит для буровых коронок для горнодобывающей промышленности (срок службы $> 1200 \text{ м} \pm 100 \text{ м}$).

(4) Стратегия оптимизации

Чтобы в полной мере раскрыть потенциал неметаллических связующих, необходимо оптимизировать количество добавляемого материала, процесс смешивания, процесс удаления и т. д.:

Сумма дополнения:

Рекомендуется $1\% - 3\% \pm 0,1\%$. Избыточное количество ($>5\% \pm 0,1\%$) приведет к увеличению остаточного углерода ($>0,3\% \pm 0,01\%$) и снижению твердости на $3\% \pm 0,5\%$ (HV $<2000 \pm 30$).

Например, $2\% \pm 0,1\%$ ПЭГ оптимизирует текущность ($<20 \text{ с}/50 \text{ г} \pm 2 \text{ с}$) и прочность сырого тела ($>10 \text{ МПа} \pm 1 \text{ МПа}$).

Процесс смешивания:

Мокрое смешивание: ПВС и ПЭГ растворяются в воде или этаноле (концентрация $5\% \pm 0,1\%$), гранулируются распылением (скорость вращения $1000 \text{ об./мин} \pm 50 \text{ об./мин}$), однородность частиц составляет $>95\% \pm 1\%$.

Сухое смешивание: нагреть и расплавить парафин и стеариновую кислоту ($60^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$), шаровая мельница (скорость $300 \text{ об./мин} \pm 10 \text{ об./мин}$, время $5-10 \text{ часов} \pm 0,5 \text{ часа}$), уменьшить агломерацию ($<3\% \pm 1\%$).

Оптимизация: Для обеспечения равномерного распределения связующего (отклонение

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

<5%±1%) используется планетарная шаровая мельница (соотношение шаров к материалу 5:1±0,1).

Процесс удаления:

Предварительное спекание: 300-500°C±5°C, атмосфера H₂ (O₂ < 10 ppm±1 ppm), скорость нагрева 2°C/мин±0,2°C/мин, скорость разложения>99%±1%.

Вакуумное обезжиривание: <10⁻² Па±10⁻³ Па, 400°C±5°C, остаточный углерод <0,05%±0,01%.

Оптимизация: Поэтапный нагрев (200°C ± 5°C в течение 1 часа ± 0,1 часа , 400°C ± 5°C в течение 2 часов ± 0,1 часа) для обеспечения отсутствия остатков.

Экологический контроль:

Влажность <50% RH±5%, чтобы предотвратить поглощение влаги ПВС и растрескивание корпуса (<1%±0,2%).

Температура <30°C±2°C для предотвращения испарения парафина (потери <0,1%±0,01%).

(5) Тестирование и контроль качества

Содержание связующего вещества: термогравиметрический анализ (TGA, GB/T 27761-2011), измерение добавленного количества и остаточного количества (отклонение <0,05% ± 0,01%).

Текущесть: в соответствии с GB/T 1482-2010 измерьте скорость потока (<20 с/50 г ± 2 с).

Прочность сырого тела: Испытание на сжатие (GB/T 3851-2015), прочность>10 МПа ± 1 МПа.

Остаточный углерод: метод инфракрасного поглощения (GB/T 5124-2017), остаточный углерод <0,1% ± 0,01%.

Онлайн-мониторинг: инфракрасное тепловидение контролирует температуру обезжиривания (отклонение <5°C ± 1°C) для обеспечения полного разложения.

Подвести итог

Неметаллические связующие (такие как ПВА, ПЭГ, парафин, стеариновая кислота) играют важную роль в предварительной обработке порошка цементированного карбида путем связывания частиц, улучшения текучести (<20 с/50 г ± 2 с) и повышения прочности сырого тела (>10 МПа ± 1 МПа). ПВА и ПЭГ подходят для мокрого смешивания, парафин и стеариновая кислота подходят для сухого смешивания, а количество добавления контролируется на уровне 1%-3% ± 0,1%. Благодаря процессу оптимизации мокрого/сухого смешивания, предварительного спекания/вакуумного обезжиривания обеспечивается остаточный углерод <0,1% ± 0,01%. Оптимизированное применение связующего улучшает характеристики спекания (плотность>99%±0,1%) и конечные характеристики (твердость HV>2000±30, прочность на изгиб>4000 МПа±100 МПа) цементированного карбида и широко используется в авиационных инструментах (срок службы>15 часов±1 час) и горнодобывающих буровых коронках (срок службы>1200 м±100 м).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Приложение :

Процесс цементации порошка карбида вольфрама

Процесс науглероживания порошка карбида вольфрама (WC) является основой для приготовления твердого сплава (например, карбида на основе никеля или кобальта). Его качество напрямую влияет на размер зерна (0,52 мкм), чистоту (>99,9%), однородность микроструктуры (>95%) и эксплуатационные характеристики (твердость 1400-2200 HV, прочность на изгиб 1,8-2,5 ГПа) твердого сплава. Процесс науглероживания заключается в реакции металлического вольфрама (W) или оксида вольфрама (WO₃) с источником углерода (например, сажей, графитом) для получения WC. Температура (1400-2000 °C), атмосфера (H₂ или вакуум), содержание углерода (6,13 ± 0,1 мас. %) и размер частиц (0,12 мкм) должны точно контролироваться для соответствия национальным стандартам (таким как GB/T 34505-2017, GB/T 5314-2011) и требованиям к испытательным стержням из цементированного карбида (таким как GB/T 3851-2015). Ниже приводится подробное описание технологического процесса карбонизации порошка карбида вольфрама, охватывающего подготовку сырья, реакцию, последующую обработку и контроль качества, в сочетании с новейшими исследованиями (например, Sandvik, 2023; ScienceDirect, 2021).

1. Обзор

Карбид вольфрама (WC) является основной твердой фазой твердого сплава, составляя 80-95 мас. % (например, YN6, YG15). Его химический состав (углерод 6,13 ± 0,1 мас. %), размер зерна (0,12 мкм) и чистота (>99,9%) напрямую влияют на свойства сплава:

Твердость: Чем мельче зерна WC (<0,5 мкм) , тем выше твердость (1800-2200 HV, GB/T

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7997-2017).

Прочность: отклонение содержания углерода $<0,05\%$, чтобы гарантировать отсутствие η -фазы (W3C) или свободного углерода, прочность на изгиб 1,82,5 ГПа (GB/T 38512015).

Коррозионная стойкость: Низкое содержание примесей (O $<0,05\%$, Fe $<0,01\%$) улучшает коррозионную стойкость ($<0,005$ мм/год, GB/T 43342020).

Суть процесса науглероживания заключается в реакции источника вольфрама с источником углерода при высокой температуре для получения однофазного WC, и следует избегать обезуглероживания (η -фаза, снижение твердости на 5-10%) или науглероживания (свободный углерод, снижение прочности на 10-15%). Процесс включает подготовку сырья, дозирование, смешивание, реакцию науглероживание, последующую обработку и проверку качества и должен соответствовать GB/T 34505-2017 (подготовка порошка) и GB/T 5314-2011 (химический анализ).

2. Процесс карбонизации порошка карбида вольфрама

Ниже приводится подробное описание процесса цементации порошка карбида вольфрама, который разделен на шесть основных этапов, сочетающих национальные стандарты и отраслевую практику.

2.1 Подготовка сырья

Источник вольфрама:

Порошок металлического вольфрама (W):

Чистота: $>99,9\%$, примеси (Fe, Mo, Cr) $<0,01\%$ (GB/T 53142011).

Размер частиц: 0,55 мкм, отклонение D50 $<\pm 10\%$, что обеспечивает однородность реакции.

Источник: Восстановление оксида вольфрама водородом ($WO_3 \rightarrow W$, 800-1000°C, атмосфера H_2).

Оксид вольфрама (WO_3 или $WO_{2.9}$):

Чистота: $>99,95\%$, стабильное содержание O ($\pm 0,1\%$).

Размер частиц: 110 мкм, D50 ~ 5 мкм, подходит для крупномасштабного производства.

Источник: Паравольфрамат аммония (APT), прокаленный (500-700°C, воздух).

Источник углерода:

Углеродная сажа:

Чистота: $>99,9\%$, зольность $<0,01\%$, S $<0,005\%$.

Размер частиц: 20100 нм, удельная поверхность 50100 м²/г, высокая реакционная способность.

Графитовый порошок:

размер частиц 15 мкм, подходит для грубого порошка туалета.

Преимущества: Стоимость на 20–30 % ниже, но температура реакции на 100–200 °C выше.

Другие добавки (по желанию):

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Катализатор: Co, Ni (0,10,5 мас. %), снижает температуру карбонизации на 50-100°C.
Диспергатор: ПЭГ (0,10,2 мас. %), улучшает однородность смешивания более чем на 95%.

Магазин :

Вольфрамовый порошок/оксид вольфрама: герметично упакован, влажность <40%, избегать окисления (содержание O увеличивается на 0,02%).

Технический углерод: герметичный, защищенный Ar, срок хранения <6 месяцев.

стандарт:

GB/T 345052017: Чистота порошка >99,9%, отклонение размера частиц <±10%.

: Анализ размера частиц (±0,01 мкм) .

Таблица 1: Требования к сырью карбида вольфрама

сырье	чистота	зернистость	Примеси	Условия хранения
Вольфрамовый металлический порошок	>99,9%	0,55 мкм	Железо, Мо, Хром <0,01%	Вакуумная упаковка, влажность <40%
Оксид вольфрама (WO ₃)	>99,95%	110 мкм	O Отклонение <±0,1%	Вакуумная герметизация, защита от аргона
Углеродная сажа	>99,9%	20100 нм	Зола <0,01%, сера <0,005%	Герметичный, защищенный от Ar, < 6 месяцев
Графитовый порошок	>99,9%	15 мкм	Зольность <0,01%	Герметично, влажность <40%

2.2 Ингредиенты

Соотношение углерода и вольфрама:

Теоретическое содержание углерода: 6,13 мас. % (формула WC, молярное соотношение C/W = 1/1).

Фактическое соотношение: 6,15–6,20 мас. % (с учетом потери углерода 0,02–0,05%).

Отклонение: <±0,05%, без η-фазы (<6,08%) или свободного углерода (>6,25%).

Формула расчета:

Масса углерода: $m_C = m_W \times 6,13\% / (1 - 6,13\%)$, m_W — масса вольфрама.

Оксид вольфрама: $m_C = m_{WO_3} \times (6,13\% \times M_W / M_{WO_3}) / (1 - 6,13\%)$, $M_W = 183,84$, $M_{WO_3} = 231,84$.

Примеры:

На 100 кг вольфрамового порошка требуется 6,52 кг технического углерода (включая потери).

100 кг WO₃: требуется ~5,15 кг сажи (с учетом сокращения).

оборудование:

Прецизионные весы (±0,001 г), погрешность <0,01%.

Система дозирования: автоматическое дозирование, отклонение <0,05%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

стандарт:

GB/T 53142011: Отклонение содержания углерода $\leq \pm 0,05\%$.

GB/T 38492015: Косвенная проверка содержания углерода (магнитные свойства).

2.3 Смешивание

Назначение: Обеспечить равномерное смешивание порошка вольфрама/оксида вольфрама и сажи с однородностью $>95\%$, а также избежать локального обезуглероживания или науглероживания.

метод:

Мокрое шлифование:

Среда: этанол или деионизированная вода (соотношение твердого вещества и жидкости 1:21:3).

Оборудование: Планетарная шаровая мельница (шары ZrO₂, соотношение шаров к материалу 5:110:1).

Параметры: скорость 200400 об/мин, время 824 часа.

Добавки: ПЭГ (0,1–0,2 мас. %) для улучшения диспергируемости.

Сухая смесь:

Оборудование: V-образный смеситель или трехмерный смеситель.

Параметры: скорость 50100 об/мин, время 412 часов.

порошок (размер частиц > 1 мкм).

результат:

Размер частиц смеси: D50 0,52 мкм, отклонение $\leq \pm 10\%$.

Однородность: $>95\%$ (наблюдение с помощью СЭМ, 1000×).

Постобработка:

Вакуумная сушка (80 °C, $<10^{-2}$ Па) для удаления этанола/воды, O $<0,05\%$.

Сито (200-400 меш) для удаления агломератов ($<1\%$).

стандарт:

GB/T 183762014: Однородность $>95\%$, агломерация $<1\%$.

GB/T 1482-2010: Текучесть <25 с/50 г (после смешивания).

Таблица 2: Параметры процесса смешивания

метод	оборудование	среда	параметр	результат
Мокрое шлифование	Планетарная шаровая мельница	Этанол/вода (1:23)	200400 об/мин, 824 часа	D50 0,52 мкм, однородность $> 95\%$
Сухая смесь	V-образный/3D-смеситель	никто	50100 об/мин, 412 часов	D50 15 мкм, однородность $> 90\%$

2.4 Реакция карбонизации

Принцип реакции:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Вольфрамовый порошок: $W + C \rightarrow WC$ (1400/1600°C).

Оксид вольфрама: $WO_3 + 3C \rightarrow WC + 2CO$ (1500/2000°C).

оборудование:

Печь с толкательной лодочкой (непрерывного действия): графитовая лодочка, атмосфера H₂ или вакуум.

Вращающаяся печь: динамическая реакция, подходит для крупномасштабного производства.

Вакуумная печь: контроль свободного углерода (<0,01%).

Параметры процесса:

температура:

Вольфрамовый порошок: 1400-1600°C (обычный), 1350-1450°C (ультрамелкозернистый).

Оксид вольфрама: 1500/2000°C (восстановление + карбонизация).

атмосфера:

H₂ (чистота>99,99%, расход 0,52 л/мин): снижает WO₃ и подавляет окисление.

Вакуум (<10⁻² Па) : контролирует свободный углерод и подходит для сверхмелких зерен.

Время выдержки:

Обычный (12 мкм) : 24 часа.

Ультрамелкие зерна (<0,5 мкм) : 12 часов.

Скорость нагрева: 510°C/мин, чтобы избежать роста зерен (> 2 мкм) .

Лодочка для карбонизации: графит высокой чистоты (C >99,9%), размер 300×100×50 мм.

Реакция контроля:

Содержание углерода: 6,13 ± 0,05%, мониторинг выбросов CO в режиме реального времени (оксид вольфрама).

Размер зерна: 0,52 мкм (обычный), 0,10,5 мкм (ультрамелкое зерно).

Катализатор: Co, Ni (0,10,5 мас. %), понижение температуры 50/100°C.

Примеры:

: вольфрамовый порошок + сажа, 1500°C, H₂, 2 часа, размер зерна ~1 мкм .

YN8N WC: вольфрамовый порошок + сажа, 1400°C, вакуум, 1 час, размер зерна < 0,5 мкм .

стандарт:

GB/T 345052017: Отклонение зерна <±10%, свободный углерод <0,01%.

GB/T 183762014: Однофазный WC, η фазы <0,5%.

Таблица 3: Параметры реакции карбонизации

сырье	Температура (°C)	атмосфера	Время изоляции	Размер зерна (мкм)	оборудование
Вольфрамовый порошок	1400/1600	H ₂ /Вакуум	24 часа	0,52	Печь-толкач/вакуумная печь
Оксид вольфрама	1500/2000	H ₂	36 часов	15	Вращающаяся печь
Сверхтонкий порошок вольфрама	1350/1450	вакуум	12 часов	0.10.5	Вакуумная печь

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.5 Постобработка

остывать:

Скорость: 510°C/мин до <100°C (защита H₂ или Ar).

Цель: Избежать окисления (увеличение содержания O₂ на 0,02%) и роста зерен (> 2 мкм).

Дробление и измельчение:

Оборудование: щековая дробилка (грубое дробление, <100 мкм), планетарная шаровая мельница (тонкое измельчение, <2 мкм).

Параметры: скорость вращения 200-300 об/мин, время 28 часов, шары из ZrO₂ (соотношение шаров и материала 5:1).

Результаты: D₅₀ 0,52 мкм (обычный), 0,10,5 мкм (ультрамелкое зерно).

Отбор и сортировка:

Оборудование: Вибросито (200-400 меш), воздушный классификатор (± 0,1 мкм).

Результаты: Отклонение размера частиц <±10%, агломерация <1%.

Уборка:

Средство: деионизированная вода или этанол, ультразвуковая очистка (500 Вт, 10 мин).

Назначение: Удаление поверхностных загрязнений (Fe <0,01%, C <0,01%).

сухой:

Вакуумная сушка (80°C, <10⁻² Па), O <0,05%.

стандарт:

GB/T 19077: Отклонение размера частиц <±10%.

GB/T 51692013: Пористость <0,01% (косвенная проверка).

2.6 Проверка качества

Химический состав:

Общий углерод: 6,13 ± 0,05% (анализ углерода и серы, ± 0,01%).

Свободный углерод: <0,01% (метод сжигания, ±0,005%).

Примеси: Fe, Mo, Cr <0,01% (ИСП-МС, ±0,001%).

Стандарт: GB/T 53142011.

Микроструктура:

Фазовый состав: однофазный WC, η-фаза <0,5%, свободный углерод <0,01% (XRD, чувствительность 0,1%).

Размер зерна: 0,52 мкм (обычный), 0,10,5 мкм (ультрамелкое зерно, СЭМ, ± 0,1 мкм).

Стандарт: GB/T 183762014.

Физические свойства:

Плотность: 15,615,8 г/см³ (метод Архимеда, ±0,01 г/см³, GB/T 38502015).

Удельная поверхность: 15 м²/г (БЭТ, ±0,1 м²/г).

Текучесть: <25 с/50 г (GB/T 1482-2010).

Примеры:

YN10 WC: Общий углерод 6,14%, свободный углерод <0,005%, размер зерна ~1 мкм, плотность 15,7 г/см³.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

YN8N WC: общее содержание углерода 6,12%, зерно <0,5 мкм , η - фаза <0,3%.

Таблица 4: Стандарты проверки качества туалетного порошка

проект	Требовать	Метод испытания	Пример (YN10)
Общий углерод	6,13 ± 0,05%	Анализ углерода и серы	6.14%
Свободный углерод	<0,01%	Метод сжигания	<0,005%
Примеси (Fe, Mo)	<0,01%	ИСПМС	Железо <0,005%
Размер зерна	0,52 мкм (нормально)	СЭМ	~1 мкм
Фазовый состав	Однофазный WC, η фаза <0,5%	Рентгенодифракционный анализ	η фаза <0,3%
плотность	15,615,8 г/см ³	Архимедов метод	15,7 г/см ³
Удельная площадь поверхности	15 м ² /г	СТАВКА	34 м ² /г
Ликвидность	<25 с/50 г	Расходомер Холла	~20 с/50 г

3. Оптимизация и контроль процесса

Для обеспечения качества туалетного порошка необходимо оптимизировать следующие ключевые звенья:

Контроль содержания углерода:

Точное дозирование ($\pm 0,01\%$) и мониторинг выбросов CO в режиме реального времени (процесс с использованием оксида вольфрама).

Корректировка обратной связи: если углерода недостаточно, добавьте сажу (0,02-0,05 мас. %); если углерода избыточно, увеличьте время изоляции (0,51 часа).

Контроль размера зерна:

Низкотемпературная цементация (1350-1450°C, ультрамелкие зерна), добавление WC и Cr3C2 (0,10,5 мас. %) для подавления роста зерен.

Быстрое охлаждение (10°C/мин), отклонение зернистости $<\pm 10\%$.

Контроль примесей:

Высокочистое сырье (W >99,9%, технический углерод >99,9%).

Инертная атмосфера (чистота H2 >99,99%), O <0,05%.

Однородность:

Высокоэнергетическая шаровая мельница (1624 часа), однородность >95%.

Ультразвуковое диспергирование (500 Вт, 10 мин), агломерация <0,5%.

Примеры:

YN8N: вакуумная карбонизация при 1350°C, VC 0,2 мас. %, размер зерна <0,5 мкм, твердость

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1800 HV (Sandvik, 2023).

4. Практические примеры применения

Порошок YN6 WC (нож):

Процесс: Вольфрамовый порошок (12 мкм) + сажа, 1500°C, H₂, 2 часа .

Параметры: общий углерод 6,14%, размер зерна ~1,2 мкм , свободный углерод <0,005%.

Характеристики: твердость 1400 HV, прочность на изгиб 1,8 ГПа (GB/T 38512015).

Применение: Коррозионностойкий инструмент, срок службы 2,5 часа.

Порошок YN10 WC (форма):

Процесс: Оксид вольфрама (5 мкм) + сажа, 1800°C, H₂, 4 часа .

Параметры: общий углерод 6,13%, размер зерна ~1 мкм , η - фаза <0,3%.

Эксплуатационные характеристики: KIC 9 МПа·м^{1/2} , скорость коррозии <0,005 мм/год (GB/T 43342020).

Применение: Химическая плесень , срок службы 100 000 раз.

YN8N WC Розовый (Авиация):

Процесс: порошок вольфрама (0,5 мкм) + сажа, 1400°C, вакуум, 1 час, VC 0,2 мас . %.

размер зерна <0,5 мкм , плотность 15,8 г/см³ .

Свойства: твердость 1800 HV, прочность 2,2 ГПа .

Применение: Авиационные инструменты, срок службы 4 часа.

Таблица 5: Случаи применения туалетного порошка

Бренд	сырье	Процесс карбонизации	Содержание углерода	Зерно мкм	производительность	приложение
YN6	Вольфрамовый порошок + технический углерод	1500°C, H ₂ , 2 часа	6.14%	~1.2	Твердость 1400 HV, прочность 1,8 ГПа	Срок службы инструмента: 2,5 часа
YN10	Оксид вольфрама + технический углерод	1800°C, H ₂ , 4 часа	6.13%	~1	KIC 9 МПа·м ^{1/2} , коррозия <0,005 мм/год	Плесень , срок службы 100 000 раз
YN8	Вольфрамовый порошок+углерод черный+BK	1400°C, вакуум, 1 час	6.12%	<0,5	Твердость 1800 HV, прочность 2,2 ГПа	Авиационный инструмент, срок службы 4 часа

5. Заключение

Процесс цементации порошка карбида вольфрама включает:

Подготовка сырья: порошок вольфрама (0,55 мкм, >99,9%) или оксид вольфрама (110 мкм, >99,95 %) , сажа (20100 нм, >99,9%).

Состав: Содержание углерода 6,15–6,20 мас. % (±0,05%) с учетом потерь.

Смешивание: Мокрое измельчение (824 часа, однородность >95%) или сухое смешивание

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(412 часов).

Реакция карбонизации: 1400-2000°C, H₂/вакуум, 16 часов, размер зерна 0,12 мкм .

Последующая обработка: дробление, измельчение (D50 0,52 мкм) , просеивание, очистка и сушка.

Проверка качества: общий углерод 6,13 ± 0,05%, свободный углерод <0,01%, η-фаза <0,5%.

Ключевые элементы управления:

Содержание углерода: Отклонение < ± 0,05%, без учета η-фазы/свободного углерода.

Зерно: низкотемпературная карбонизация (1350-1450°C) + ингибитор (VC 0,10,5 мас. %), контролируемая <0,5 мкм.

Примеси: сырье высокой чистоты + инертная атмосфера, O <0,05%, Fe <0,01%.

стандарт:

GB/T 34505 2017: Приготовление порошка, чистота >99,9%.

GB/T 5314 2011: Химический состав, углерод ± 0,05%.

GB/T 18376 2014: Микроструктура, η-фаза <0,5%.

GB/T 3851 2015: Прочность на изгиб (проверка испытательным стержнем).

GB/T 7997 2017: Твердость.

GB/T 4334 2020: Коррозионная стойкость.

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 :

Процесс распылительной сушки и грануляции порошковой смеси цементированного карбида

из твердого сплава (твердый металл или цементированный карбид) является ключевым процессом для преобразования смешанной суспензии мокрого помола (содержащей карбид вольфрама WC, кобальт Co, добавки, такие как TaC , и жидкую среду, такую как этанол) в гранулированный порошок с хорошей текучестью (<30 с/50 г), однородным размером частиц (D50 50200 мкм) и соответствующей плотностью (35 г/см³) . Он подходит для прессования и спекания и напрямую влияет на свойства твердого сплава (такие как твердость 14002200 HV, прочность на изгиб 1,52,5 ГПа) . Ниже подробно описывается процесс, выбор оборудования, влияющие факторы, меры по оптимизации и области применения.

1. Обзор процесса

Распылительная сушка и грануляция включает в себя следующие этапы:

Приготовление смешанной суспензии

Распылительная сушка

Гранулирование и сбор

Постобработка и скрининг

Контроль качества

Цель :

Получаем гранулированный порошок с высокой текучестью и однородным размером частиц. Уменьшить дефекты спекания (такие как пористость <0,1%), увеличить твердость на 5% и прочность на изгиб на 10%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Подробное описание процесса

2.1 Приготовление смешанной суспензии

Сырье : WC (0,22 мкм) , Co (12 мкм) , добавка (TaC <1 мкм) , жидкая среда (этанол, соотношение твердого вещества и жидкости 1:11:2), формообразователь (полиэтиленгликоль ПЭГ, 12%) .

Процесс : высокоскоростное перемешивание (500-1000 об/мин, 12 часов), содержание твердых веществ 60-80%, вязкость 100-500 мПа·с , фильтрация (200 меш, < 75 мкм) .

Оборудование : Смесительный бак из нержавеющей стали (50500 л), смеситель с высоким усилием сдвига.

Назначение : Обеспечить однородность пульпы и предотвратить засорение форсунок.

Данные : Содержание твердого вещества 70%, вязкость 200 мПа·с , текучесть улучшена на 20% (Sandvik, 2023).

2.2 Распылительная сушка

Процесс : суспензия распыляется на капли (10–100 мкм) , высушивается горячим воздухом (150–250 °С) , а частицы собираются циклонным сепаратором.

Оборудование : распылительная сушилка под давлением (0,52 МПа) или центробежная (10 000–20 000 об/мин), сушильная камера из нержавеющей стали (диаметр 15 м), циклонный сепаратор (эффективность > 95%).

Параметры : температура на входе 150-250°C, температура на выходе 80-120°C, расход пульпы 10-100 л/ч.

Назначение : Формирование сферических частиц и испарение жидкости.

Данные : температура на входе 180°C, температура на выходе 100°C, D50 ~100 мкм , текучесть <25 с/50 г (ScienceDirect, 2020).

2.3 Гранулирование и сбор

Процесс : Капли высушиваются до сферических частиц (D50 50-200 мкм) , собираются в циклонном сепараторе и охлаждаются до <40°C.

Характеристики гранул : насыпная плотность 35 г/см³ , влажность <0,5%.

Оборудование : многоступенчатый циклонный сепаратор, рукавный фильтр, устройство воздушного охлаждения.

Цель : получение однородных жидких частиц с эффективностью извлечения >95%.

2.4 Постобработка и проверка

Процесс : Если содержание влаги > 0,5%, вторичная сушка (80°C, 2 часа, степень вакуума <100 Па), просеивание (50-200 мкм) , низкоскоростное перемешивание (50 об/мин, 1 час).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Оборудование : вакуумная сушильная печь (50200 л), вибростол (2030 Гц).

Назначение : Узкое распределение размеров частиц, улучшение текучести на 15%.

Данные : D50 100 мкм , 10% улучшение однородности плотности уплотнения (ISO 4499) .

2.5 Контроль качества

Обнаружение :

Размер частиц: лазерный анализатор размера частиц, D50 50200 мкм .

Текучесть: расходомер Холла, <30 с/50 г (GB/T 1482).

Насыпная плотность: 35 г/см³ (GB /T 1479).

Влажность: <0,5%.

Химический состав: ICP (Co ± 0,1%), XRF.

Содержание кислорода: <0,2%.

Морфология: СЭМ, сферические частицы.

Стандарт : GB/T 3849 (кобальтовый магнитный тест), ISO 4499 (микроструктурный анализ).

Данные : текучесть <25 с/50 г, пористость после спекания <0,1%, стабильность характеристик улучшена на 15% (Sandvik, 2023).

3. Выбор оборудования для распылительной сушки

Выбор правильного оборудования для распылительной сушки имеет решающее значение для качества частиц (D50 50-200 мкм) , текучести (<30 с/50 г) и эффективности производства смешанного порошка цементированного карбида. Ниже приводится подробный анализ распространенных типов оборудования, критериев выбора, применимых сценариев, ключевых параметров и рекомендаций по маркам.

3.1 Тип устройства

3.1.1 Распылительная сушилка под давлением

Принцип : насос высокого давления распыляет суспензию на капли (20-100 мкм) через сопло (отверстие 0,52 мм), а горячий воздух высушивает ее до частиц .

Функции :

Давление распыления составляет 0,52 МПа, размер частиц D50 составляет 80-150 мкм , распределение размеров частиц узкое.

Простая конструкция, низкие затраты на техническое обслуживание, подходит для малых и средних объемов производства (50500 кг/ч).

Подходит для пульпы с высоким содержанием твердых частиц (70-80%).

Плюсы и минусы :

Преимущества : однородные частицы, низкая стоимость оборудования (около 501 миллиона юаней) и простота эксплуатации.

Недостатки : Высокое содержание твердых частиц (>80%) легко забивает сопло, а доля мелких частиц (<50 мкм) относительно высока (1020%).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Применимые сценарии :

Среднезернистый твердый сплав (например, YG6, YG8, твердость 1400-1600 HV).
Производство общережущего инструмента и горнодобывающего инструмента, размер частиц D50 100-150 мкм .

Ключевые параметры :

на сопле: 12 МПа, D50 80120 мкм .
Температура воздуха на входе: 150-200°C (этанол), влажность <0,5%.
Сушильная камера: диаметр 13 м, расход воздуха 1000-3000 м³/ч.
Производительность: 50500 кг/ч, эффективность рекуперации 9095%.

3.1.2 Центробежная распылительная сушилка

Принцип : Суспензия распыляется на капли (1080 мкм) с помощью высокоскоростного вращающегося центробежного диска (10 000–20 000 об/мин) и высушивается горячим воздухом .

Функции :

Высокоскоростное распыление, размер частиц D50 50-100 мкм , высокая сферичность, отличная текучесть (<25 с/50 г).
Подходит для ультратонких частиц и суспензий с низкой вязкостью (100-300 мПа·с) .
Высокая производительность (100-1000 кг/ч), подходит для крупномасштабного производства.

Плюсы и минусы :

Преимущества : мелкие и однородные частицы, текучесть улучшена на 20%, эффективность извлечения >98%.

Недостатки : Высокая стоимость оборудования (100,2 млн юаней), необходимость регулярной замены центробежных дисков.

Применимые сценарии :

Сверхмелкозернистый твердый сплав (например, прецизионные инструменты, твердость 1800-2200 HV).
Для высокопроизводительных форм требуется D50 50-100 мкм .

Ключевые параметры :

Скорость вращения центробежного диска: 15 000–20 000 об/мин, D50 50–80 мкм .
Температура на входе: 180-250°C, насыпная плотность 45 г/см³ .
Сушильная камера: диаметр 25 м, расход воздуха 2000-5000 м³/ч.
Производительность: 1001000 кг/ч, эффективность рекуперации 9598%.

3.1.3 Двухпоточная распылительная сушилка

Принцип : Газ высокого давления (сжатый воздух или азот, 0,2-0,5 МПа) смешивается с суспензией в сопле и распыляется на мельчайшие капли (550 мкм) .

Функции :

Ультратонкие частицы (D50 2080 мкм) , подходят для лабораторных или высокоточных

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

применений.

Производственная мощность низкая (10100 кг/ч), а потребление энергии высокое.

Подходит для пульпы с низким содержанием твердых частиц (50-60%).

Плюсы и минусы :

Преимущества : чрезвычайно мелкие частицы, узкое распределение размеров частиц, подходит для сверхмелкозернистого твердого сплава.

Недостатки : низкая производственная мощность, сложное оборудование и высокая стоимость (801,5 млн юаней).

Применимые сценарии :

ультрамелкозернистые твердые сплавы (например, авиационные инструменты, твердость 2000 HV).

Мелкосерийное производство, размер частиц $D_{50} < 80$ мкм .

Ключевые параметры :

воздуха : 0,30,5 МПа, D_{50} 2050 мкм .

Температура воздуха на входе: 150-200°C, влажность <0,3%.

Сушильная камера: диаметр 0,51,5 м, расход воздуха 5001500 м³/ч.

Производительность: 10100 кг/ч, эффективность рекуперации 8590%.

3.2 Основа отбора

Масштаб производства :

Малый масштаб (<100 кг/ч): двухжидкостный тип, подходит для лабораторий или НИОКР.

Средний масштаб (100-500 кг/ч): напорный тип, учитывающий как стоимость, так и эффективность.

Крупномасштабные (>500 кг/ч): центробежные, высокой производительности, подходят для индустриализации.

Требования к частицам :

D_{50} 100150 мкм : Напорный тип, подходит для YG6 и YG8 .

D_{50} 50100 мкм : Центробежный , подходит для сверхтонкозернистых инструментов.

$D_{50} < 80$ мкм : Двухжидкостный тип, высокоточное нанесение.

Характеристики пульпы :

Высокое содержание твердых веществ (70-80%): напорного типа, устойчив к засорению.

Низкая вязкость (100-300 мПа·с) : центробежное, равномерное распыление.

Низкое содержание твердых частиц (50-60%): двухжидкостный тип, сверхтонкое распыление.

Экологические требования :

Защита инертным газом (азот): центробежного или двухжидкостного типа, содержание кислорода <0,1%.

Низкий уровень пыли: оборудован высокоэффективным циклонным сепаратором и рукавным пылеуловителем, эффективность улавливания составляет >95%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.3 Применимые сценарии

Тип давления : режущие инструменты YG6, YG8, горнодобывающие инструменты, D50 100-150 мкм , производительность 200 кг/ч, низкая стоимость.

Центробежные : сверхтонкозернистые инструменты и формы, D50 50100 мкм , производительность 500 кг/ч, текучесть повышена на 20%.

Двухжидкостный тип : НИОКР авиационных инструментов, D50 <80 мкм , производительность 50 кг/ч, твердость повышена на 5% .

3.4 Случаи применения

Инструмент YG6 :

Оборудование : SPX Anhydro, давление 1 МПа, 180°C, производительность 200 кг/ч.

Результаты : D50 120 мкм , текучесть 25 с/50 г, твердость 1500 HV, срок службы чугуна при обработке 2 часа .

Сверхтонкозернистый режущий инструмент :

Оборудование : центробежный сепаратор GEA Niro, 15 000 об/мин, 180°C, производительность 500 кг/ч, азотная подушка.

Результаты : D50 80 мкм , текучесть 20 с/50 г, твердость 2000 HV, срок службы нержавеющей стали 4 часа.

разработки авиационного инструмента :

Оборудование : Buchi двухжидкостного типа, 0,4 МПа, 150°C, производительность 20 кг/ч.

Результаты : D 50 50 мкм , текучесть 22 с/50 г, твердость 2000 HV, улучшение производительности опытной партии на 5%.

Поддержка данных :

Центробежный: D50 50100 мкм , эффективность извлечения 98% (Sandvik, 2023).

Тип давления: D50 100150 мкм , стоимость снижена на 20% (ScienceDirect, 2020) .

Двухжидкостный тип: D50 2080 мкм , распределение размеров частиц уже на 10% (ISO 4499).

4. Факторы влияния

4.1 Характеристики пульпы

Содержание твердых веществ: 60-80%. Слишком высокое (>80%) засорит сопло, слишком низкое (<60%) снизит плотность на 10%.

Вязкость: 100500 мПа·с . Если вязкость слишком высокая (>1000 мПа·с) , распыление будет неравномерным.

Формовочный агент: ПЭГ 12%. Слишком много (>3%) приведет к слипанию частиц, слишком мало (<1%) снизит текучесть на 20%.

4.2 Параметры распылительной сушки

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Температура на входе: 150–250 °С, слишком высокая (>300 °С) вызовет окисление, а твердость снизится на 5%.

Давление/скорость распыления: 1 МПа или 15 000 об/мин, влияет на D50.

Расход шлама: слишком высокий (> 100 л/ч), размер частиц D50 >200 мкм .

4.3 Производительность оборудования

Сопло/центробежный диск: износ приводит к расширению распределения размеров частиц на 10%.

Сушильная камера: неравномерный поток воздуха, скорость агломерации увеличена на 15%.

Эффективность разделения: <90%, потеря тонкого порошка>10%.

4.4 Контроль окружающей среды

Влажность: >50% влажность увеличивается на 0,5%.

Температура: >300°C Содержание кислорода увеличивается на 0,1%.

Пыль: Отсутствие фильтрации, прочность на изгиб снижена на 10%.

Данные : содержание твердого вещества 70%, температура на входе 180°C, D50 100 мкм , текучесть улучшена на 20% (ScienceDirect, 2020).

5. Меры оптимизации

Формула суспензии : содержание твердого вещества 70-75%, ПЭГ 1,5%, текучесть увеличена на 20%.

Контроль параметров : температура воздуха на входе 180°C, 1 МПа, D50 80120 мкм .

Высокоэффективное оборудование : центробежного типа, эффективность рекуперации >98%.

Контроль окружающей среды : защита от азота, содержание кислорода <0,1%, жесткость увеличена на 5%.

Последующая обработка : просеивание 100-200 мкм , снижение пористости 10%.

Эффект : текучесть <25 с/50 г, равномерность прессования увеличилась на 15%, твердость увеличилась на 5%, а прочность на изгиб увеличилась на 10%.

6. Практические примеры применения

Инструмент YG6 : напорный (1 МПа, 180°C), D50 120 мкм , текучесть 25 с/50 г, твердость 1500 HV, срок службы чугуна 2 часа.

Ультрамелкозернистый инструмент : центробежный (15 000 об/мин, 180 °С), D50 80 мкм , текучесть 20 с/50 г, твердость 2000 HV, срок службы для нержавеющей стали 4 часа.

Форма YG15 : центробежная (12 000 об/мин, 200 °С), D50 150 мкм , текучесть 28 с/50 г, прочность на изгиб 2,5 ГПа , срок службы 120 000 раз.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7. Заключение

Процесс распылительной сушки и грануляции смешанного порошка цементированного карбида включает в себя приготовление смешанной суспензии, распылительную сушку, грануляцию и сбор, последующую обработку и просеивание, а также контроль качества. Цель состоит в том, чтобы создать гранулированный порошок с хорошей текучестью (<30 с/50 г) и однородным размером частиц (D50 50200 мкм). Выбор оборудования включает тип давления (малый и средний масштаб, D50 100150 мкм), центробежный тип (большой масштаб, D50 50100 мкм) и тип двойной жидкости (научно-исследовательский, D50 <80 мкм), которые выбираются на основе масштаба производства, требований к частицам, характеристик суспензии и стоимости. Оптимизация формулы суспензии, параметров, оборудования и окружающей среды может улучшить текучесть на 20%, твердость на 5% и прочность на изгиб на 10%.

Стандарт :

GB/T 3849: Магнитный тест на кобальт.

ISO 4499: Микроструктурный анализ.

GB/T 1482: Испытание на текучесть.

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 :

Никелевый порошок для никелевого твердого сплава

В цементованном карбиде на основе никеля (NickelBonded Cemented Carbide) никель (Ni) используется в качестве связующей фазы для замены кобальта (Co) в традиционном цементованном карбиде на основе кобальта. Он широко используется в сценариях, требующих высокой коррозионной стойкости, стойкости к высоким температурам и износостойкости, таких как химическое оборудование, инструменты для бурения нефтяных скважин и высокотемпературные формы. Никелевый порошок является ключевым сырьем для цементованного карбида на основе никеля, и его качество напрямую влияет на микроструктуру, механические свойства и коррозионную стойкость сплава. Ниже подробно описаны характеристики, требования, методы приготовления и области применения никелевого порошка, используемого в цементованном карбиде на основе никеля, в сочетании с отраслевыми стандартами (такими как GB/T 5243, ISO 4499) и новейшими исследованиями (такими как Sandvik, 2023; ScienceDirect, 2020), все на китайском языке, чтобы гарантировать, что содержание является точным, всеобъемлющим и увлекательным.

1. Обзор

В цементованном карбиде на основе никеля в качестве твердой фазы используется карбид вольфрама (WC), а в качестве связующей фазы — никель. Типичные марки включают YN6 (6% Ni) и YN10 (10% Ni). По сравнению со сплавами на основе кобальта (такими как YG6 и YG15) сплавы на основе никеля имеют:

Более высокая коррозионная стойкость : в кислых (HCl, H₂SO₄) и высокотемпературных

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

средах скорость коррозии снижается на 20-50% (GB/T 43342020).

Отличные высокотемпературные характеристики : температура стойкости к окислению увеличивается на 100-150°C, что подходит для высокотемпературных форм.

Немного более низкая прочность и ударная вязкость : прочность на изгиб (1,82,2 ГПа) на 1015% ниже, чем у сплавов на основе кобальта , а ударная вязкость (KIC 710 МПа·м^{1/2}) на 510% ниже.

никелевого порошка (чистота, размер частиц, морфология, содержание кислорода) напрямую влияет на:

Микроструктура : однородность >95%, размер зерна 0,52 мкм , η -фаза/свободный углерод <1% (GB/T 183762014).

Механические свойства : твердость 1400-1800 HV, отклонение прочности на изгиб <5% (GB/T 38512015).

Коррозионная стойкость : Скорость коррозии <0,005 мм/год (GB/T 43342020).

Ниже приводится подробное описание никелевого порошка с четырех сторон: характеристики, требования, подготовка и практическое применение.

2. Характеристики и требования к никелевому порошку

К никелевому твердому сплаву предъявляются строгие требования по никелевому порошку, который должен соответствовать стандартам химического состава, физических свойств и микроморфологии для обеспечения постоянства эксплуатационных характеристик сплава.

2.1 Химический состав

Чистота :

Требования: >99,9% (массовая доля), общее содержание примесей <0,1% (GB/T 53142011).

Основные примеси:

Кислород (O): <0,05%, высокое содержание кислорода приводит к обезуглероживанию (η-фаза, Co₃W₃C или Ni₃W₃C), а твердость снижается на 510%.

Углерод (C): <0,01%, избегать свободного углерода (>1% снижает прочность на 10%).

Железо (Fe): <0,01%, риск образования микротрещин, вызванных примесями Fe, увеличивается на 15%.

Сера (S), фосфор (P): <0,005% каждого, избегайте фазы с низкой температурой плавления (хрупкость увеличивается на 20%).

Метод испытания:

ICPMS: обнаружение таких металлов, как Ni и Fe (точность ±0,001%).

Анализатор углерода и серы : определяет C и S (точность ±0,001%).

Анализатор кислорода и азота: определяет O (точность ±0,01%).

Примеры :

YN10: Чистота никелевого порошка 99,95%, O <0,03%, Fe <0,005% (Sandvik, 2023).

2.2 Физические свойства

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Гранулярность :

Диапазон: 0,52 мкм (обычный), 0,20,8 мкм (сплав с ультрамелкозернистым зерном).

Однородность: отклонение $D50 < \pm 10\%$, $D90/D10 < 3$, что обеспечивает однородность смешивания $> 95\%$.

значение:

Мелкий размер частиц (< 1 мкм) улучшает равномерность распределения связующей фазы и увеличивает прочность на 10%.

Слишком мелкий ($< 0,2$ мкм) порошок легко агломерируется, и однородность снижается на 5–10%.

Метод испытания: Лазерный анализатор размера частиц (точность $\pm 0,01$ мкм, GB/T 19077).

Удельная площадь поверхности :

Диапазон: 13 м²/г (обычный), 35 м²/г (нанопорошок).

Значимость: Высокая удельная площадь поверхности повышает активность спекания и снижает температуру спекания жидкой фазы на 2030°C.

Метод испытания: метод БЭТ (точность $\pm 0,1$ м²/г).

Ликвидность :

Требования: < 25 с/50 г (расходомер Холла, GB/T 1482-2010).

Значимость: Хорошая текучесть обеспечивает однородность прессованной заготовки ($> 95\%$) и снижает пористость на 0,01%.

Примеры :

YN6: размер частиц 11,5 мкм, $D50 \sim 1,2$ мкм, текучесть ~ 20 с/50 г (ScienceDirect, 2020).

2.3 Микроскопическая морфология

Появление :

Требования: Почти сферическая или многогранная форма, сферичность $> 0,9$ (наблюдение с помощью СЭМ, 1000×).

Избегайте: палочек, хлопьев или неровных частиц, которые снижают текучесть на 10–15%.

Состояние поверхности :

Гладкая, без трещин, пор и включений (контроль СЭМ, дефект $< 0,1$ мкм).

Поверхностный оксидный слой: < 10 нм (анализ XPS), избегать спекания и обезуглероживания.

Воссоединение :

Скорость агломерации: $< 1\%$. Слишком высокая приведет к неравномерной микроструктуре и увеличит пористость на 0,02%.

Метод испытания: СЭМ (статистический анализ соотношения агломерированных частиц), ультразвуковая дисперсионная проверка.

Примеры :

YN10: Почти сферический никелевый порошок, скорость агломерации $< 0,5\%$, поверхностный оксидный слой < 5 нм (Sandvik, 2023).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.4 Другие требования

Магнитные свойства :

Никелевый порошок слабомагнитен, с намагниченностью насыщения ~55 эме/г (чистый Ni) и отклонением $\leq \pm 5$ эме/г.

Метод испытания: вибрационный магнитометр (VSM, точность $\pm 0,1$ эме/г).

Значимость: Косвенная оценка примесей (намагниченность железа) и степени окисления.

Условия хранения :

Влажность: <40%, Температура: 20–25 °С, Инертная атмосфера (Ar или N2), Избегайте окисления (O увеличивается на 0,02%).

Вакуумная упаковка, срок хранения < 6 месяцев.

Стандарт :

GB/T 53142011: Химический состав (чистота>99,9%).

GB/T 183762014: Микроструктура (агломерация <1%).

GB/T 1482-2010: Текучесть (<25 с/50 г).

Характеристики и требования к никелевому порошку

характеристика	Требовать	Метод испытания	Пример (YN10)
чистота	>99,9%, примеси <0,1%	ICPMS, анализ углерода и серы	99,95%, Fe <0,005%
Содержание кислорода	<0,05%	Анализатор кислорода и азота	<0,03%
Содержание углерода	<0,01%	Анализатор углерода и серы	<0,005%
зернистость	0,52 мкм (обычный), 0,20,8 мкм (ультрамелкое зерно) , отклонение D50 $\leq \pm 10\%$	Лазерный анализ размера частиц	0,81,2 мкм , D50 ~ 1,0 мкм
Удельная площадь поверхности	15 м ² /г	СТАВКА	34 м ² /г
Ликвидность	<25 с/50 г	Расходомер Холла	~18 с/50 г
Морфология	Почти сферическая, сферичность>0,9, агломерация<1%	СЭМ, РФЭС	Сферичность>0,95, агломерация<0,5%
Магнитные свойства	~55 эме/г, отклонение $\leq \pm 5$ эме/г	ВСМ	54 \pm 2 эме/г
Условия хранения	Влажность <40%, защита от Ar /N2, <6 месяцев		Вакуумная герметизация, защита от аргона

3. Способ приготовления никелевого порошка

никелевого порошка должны обеспечивать высокую чистоту, мелкий размер частиц и однородную морфологию для соответствия требованиям цементированного карбида. Обычные методы включают:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.1 Карбонильный процесс

принцип :

Никель реагирует с оксидом углерода (CO) с образованием карбонила никеля [Ni(CO)4], который при нагревании разлагается на порошок никеля высокой чистоты и CO.

Реакция: $Ni + 4CO \rightarrow Ni(CO)4$ (газообразный, 5060°C), $Ni(CO)4 \rightarrow Ni + 4CO$ (разложение, 200–250°C).

Процесс :

Сырье: никель высокой чистоты (>99,9%), газ CO (чистота>99,99%).

Оборудование: карбонильный реактор (давление 0,1-0,5 МПа), печь разложения (вакуум или инертная атмосфера).

Параметры: температура разложения 200-300°C, расход воздуха 0,51 л/мин. частиц 0,52 мкм .

Функции :

Чистота: >99,95%, O <0,03%, C <0,01%.

Морфология: Почти сферическая, сферичность>0,95, степень агломерации<0,5%.

Размер частиц: 0,52 мкм , отклонение D50 <±5% .

Преимущества :

Высокая чистота, примеси (Fe, S) <0,005%.

Морфология правильная, текучесть хорошая (~18 с/50 г).

недостаточный :

Оборудование сложное, CO высокотоксичен, а стоимость на 20–30% выше.

приложение :

Испытательный стержень YN10: порошок карбонильного никеля, размер частиц ~1 мкм , твердость 1500 HV (Sandvik, 2023).

3.2 Химическое восстановление (гидрометаллургическое восстановление)

принцип :

Раствор соли никеля (например, NiSO₄, NiCl₂) восстанавливается до порошка никеля с помощью восстановителя (например, H₂, NaBH₄).

Реакция: $Ni^{2+} + H_2 \rightarrow Ni + 2H^+$ (высокое давление H₂, 150200°C).

Процесс :

Сырье: NiSO₄ (>99,9%), восстановитель (чистота H₂ >99,99%).

Оборудование: Реактор высокого давления (510 МПа), система фильтрации/сушки.

Параметры: рН 810, температура 150-200°C, давление H₂ 25 МПа.

Последующая обработка: промывка (деионизированная вода), вакуумная сушка (80°C, <10⁻² Па) .

Функции :

Чистота: >99,9%, O <0,05%, Fe <0,01%.

Морфология: многогранная или почти сферическая, сферичность 0,80,9.

Размер частиц: 0,53 мкм , отклонение D50 <±10% .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Преимущества :

Более низкая стоимость (на 15–20 % ниже, чем при карбонильном процессе).

Подходит для массового производства, с регулируемым размером частиц.

недостаточный :

Морфология слегка нерегулярная, степень агломерации составляет 12%.

Содержание кислорода несколько повышено (0,05-0,1%) и требует строгого контроля.

приложение :

Испытательный стержень YN6: восстановленный никелевый порошок, размер частиц 1,5 мкм , прочность на изгиб 1,8 ГПа (ScienceDirect, 2020).

3.3 Распыление

принцип :

Расплавленный никель (>99,9%) распыляется на мелкие частицы с помощью газа высокого давления (N₂, Ar) или воды.

Процесс :

Сырье: слиток никеля высокой чистоты (>99,9%).

Оборудование: вакуумная индукционная печь (1450-1500°C), распылительная башня (давление газа 510 МПа).

Параметры: отверстие сопла 0,51 мм, скорость охлаждения $10^3 - 10^4$ °C/с.

потоку воздуха, размер частиц 15 мкм .

Функции :

Чистота: >99,9%, O <0,08%, C <0,02%.

Морфология: сферическая, сферичность>0,9.

Размер частиц: 15 мкм, отклонение D50 <±15%.

Преимущества :

Правильная морфология и отличная текучесть (~20 с/50 г).

Подходит для крупнозернистого никелевого порошка (> 2 мкм) .

недостаточный :

Размер частиц слишком велик (>1 мкм) , что не подходит для сверхмелкозернистых сплавов.

Содержание кислорода высокое (0,05-0,1%).

приложение :

Испытательный стержень большого размера YN15: распыленный никелевый порошок, размер частиц 23 мкм , KIC 10 МПа·м^{1/2} .

3.4 Электроосаждение

принцип :

Раствор соли никеля (например, NiSO₄) получают путем электролитического осаждения никелевого порошка.

Реакция: Ni²⁺ + 2e⁻ → Ni (катод, плотность тока 100500 А/м²) .

Процесс :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Сырье: NiSO₄ (>99,9%), электролит (pH 35).

Оборудование: электролитическая ячейка (катод из нержавеющей стали), источник постоянного тока.

Параметры: температура 50–60 °С, плотность тока 200–400 А/м², время 24 часа.

Последующая обработка: мойка, сушка (80°С, <10⁻² Па), шлифовка (<2 мкм).

Функции :

Чистота: >99,9%, O <0,1%, Fe <0,02%.

Морфология: дендритная или нерегулярная, требует шлифовки.

Размер частиц: 110 мкм (0,52 мкм после измельчения).

Преимущества :

на 30% ниже, чем при карбонильном процессе).

Подходит для крупносерийного производства.

недостаточный :

Морфология нерегулярная, измельчение увеличивает агломерацию (23%).

Содержание кислорода высокое (0,1–0,2%) и его необходимо оптимизировать.

приложение :

Недорогой испытательный стержень YN6: электролитический никелевый порошок, размер частиц 12 мкм, твердость 1400 HV.

3.5 Меры оптимизации

уровня кислорода :

инертная атмосфера (Ar , O₂ <0,005%), кислород снижается до <0,03%.

вакуум (<10⁻² Па) для предотвращения окисления.

Степень детализации управления :

После ультразвукового диспергирования (500 Вт, 10 мин) скорость агломерации снизилась до <0,5%.

Классификация воздушного потока (точность ±0,1 мкм), отклонение D50 <±5%.

Улучшение внешнего вида :

Карбонильный метод + плазменная сфероидизация, сферичность увеличилась до >0,95.

Метод химического восстановления плюс модификация поверхности (стеариновая кислота 0,1%), текучесть увеличилась на 10%.

Примеры :

YN10: Порошок карбонильного никеля + ультразвуковое диспергирование, размер частиц 0,8 мкм, агломерация <0,3% (Sandvik, 2023).

Методы приготовления никелевого порошка

Метод	Чистота	Размер частиц (мкм)	Морфология	Содержание кислорода	Текучесть (с/50 г)	Расходы	Применимые классы
Карбонильный метод	>99,95%	0,52	Почти сферическая, >0,95	<0,03%	~18	Высокий	Yn10, yn8n

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Метод	Чистота	Размер частиц (мкм)	Морфология	Содержание кислорода	Текущность (с/50 г)	Расходы	Применимые классы
Метод химического восстановления	>99,9%	0,53	Многогранник, 0,80,9	<0,05%	~20	Середина	Yn6
Распыление	>99,9%	15	Сферический, >0,9	<0,08%	~20	От среднего до высокого	Yn15
Электролиз	>99,9%	0,52 (шлифовка)	Нерегулярный, 0,60,8	<0,1%	~25	Низкий	Yn6

4. Применение никелевого порошка в никелевом твердом сплаве

никелевого порошка напрямую влияет на подготовку и эксплуатационные характеристики стержней для испытаний из никелевого цементированного карбида. Ниже приводится описание конкретных марок и процессов.

4.1 YN6 (6% Ni, инструмент с общей коррозионной стойкостью)

Требования к никелевому порошку :

Чистота: >99,95%, O <0,03%, Fe <0,005%.

Размер частиц: 11,5 мкм , D50 ~1,2 мкм, сферичность > 0,9.

Приготовление: Карбонильный метод, текущность ~20 с/50 г.

Процесс приготовления :

Состав : WC (94 мас. % , 12 мкм) , Ni (6 мас. %) , Cr3C2 (0,3 мас. %).

Компаундирование : мокрый помол (12-14 ч, ПЭГ 1,5%), D50 80-150 мкм .

Прессование : СІР (200-250 МПа), заготовка 6,2×6,2×43 мм.

Спекание : вакуумное спекание (1400°C, <10⁻³ Па) + горячее изостатическое прессование (1400°C, 100 МПа).

Обработка : шлифование (Ra < 0,4 мкм) , электроэрозионная насечка (0,25 ± 0,02 мм).

производительность :

Твердость: 1400 ± 50 HV (GB/T 79972017).

Прочность на изгиб: 1,8 ± 0,1 ГПа (GB/T 38512015).

Вязкость разрушения: 7 ± 0,5 МПа·м^{1/2} .

Коррозионная стойкость: 0,01 мм/год (5% HCl, GB/T 43342020).

Примеры :

Испытательный стержень YN6: порошок карбонильного никеля, размер зерна ~1,2 мкм , срок службы 2,5 часа (Sandvik, 2023).

4.2 YN10 (10% Ni, химическая форма)

Требования к никелевому порошку :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Чистота: >99,95%, O <0,03%, C <0,01%.

Размер частиц : 0,81,2 мкм , D50 ~1,0 мкм , агломерация <0,5%.

Приготовление: карбонильный метод + ультразвуковое диспергирование, текучесть ~18 с/50 г.

Процесс приготовления :

Состав : WC (90 мас. % , 0,51,5 мкм) , Ni (10 мас. %) , VC (0,2 мас. %).

Смешивание : высокоэнергетическое измельчение в шаровой мельнице (16 ч, ПЭГ 1%), D50 50-100 мкм .

Прессование : СІР (250-300 МПа), заготовка 5,0×10,0×40 мм.

Спекание : вакуумное спекание (1380°C, <5×10⁻⁴ Па) + НІР (1380°C, 120 МПа).

Обработка : сверхточная шлифовка (Ra < 0,2 мкм) , фемтосекундная лазерная насечка (0,25 ± 0,01 мм).

производительность :

Твёрдость: 1500 ± 50 НV.

Прочность на изгиб: 2,0 ± 0,1 ГПа .

Вязкость разрушения: 9 ± 0,5 МПа·м^{1/2} .

Коррозионная стойкость: <0,005 мм/год (5% HCl).

Примеры :

Испытательный стержень YN10: карбонильный никелевый порошок, срок службы коррозионной стойкости 100 000 раз (ScienceDirect, 2020).

4.3 Ультрамелкозернистый YN8N (8% Ni, авиационные инструменты)

Требования к никелевому порошку :

Чистота: >99,95%, O <0,02%, Fe <0,005%.

Размер частиц : 0,20,8 мкм , D50 ~0,5 мкм , сферичность>0,95.

Приготовление: карбонильный метод + плазменная сфероидизация, текучесть ~15 с/50 г.

Процесс приготовления :

Состав : WC (91,5 мас. % , 0,2-0,4 мкм) , Ni (8 мас. %) , Cr3C2 (0,4 мас. %) , VC (0,1 мас. %).

Смешивание : высокоэнергетическая шаровая мельница (1820 ч, модифицированный ПЭГ 1%), D50 30100 мкм .

Прессование : СІР (300-350 МПа), заготовка 6,3×6,3×44 мм.

Спекание : вакуумное спекание (1350°C, <5×10⁻⁴ Па) + горячее изостатическое прессование (1350°C, 150 МПа).

Обработка : сверхточная шлифовка (Ra < 0,2 мкм) , фемтосекундная лазерная насечка (0,25 ± 0,005 мм).

производительность :

Твёрдость: 1800 ± 50 НV.

Прочность на изгиб: 2,2 ± 0,1 ГПа .

Вязкость разрушения: 8 ± 0,5 МПа·м^{1/2} .

Коррозионная стойкость: <0,003 мм/год.

Примеры :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Испытательный стержень YN8N: карбонильный никелевый порошок, размер зерна <0,5 мкм , срок службы авиационного инструмента 4 часа (Sandvik, 2023).

Марки цементированных карбидов на основе никеля и применение никелевого порошка

Бренд	Содержание никеля	Тип никелевого порошка	Размер частиц (мкм)	Ключевые моменты технологии	производительность	приложение
YN6	6%	Карбонильный метод	11.5	1400°C спеченный, шлифованный Ra <0,4 мкм	Твердость 1400 HV, прочность 1,8 ГПа, коррозия 0,01 мм/год	Срок службы коррозионностойкого инструмента 2,5 часа
YN10	10%	Карбонильный метод	0.81.2	1380°C HIP, фемтосекундная лазерная насечка	Твердость 1500 HV, KIC 9 МПа·м ^{1/2} , коррозия <0,005 мм/год	Химическая плесень, срок службы 100 000 раз
YN8	8%	Карбонил + Сфероидизация	0.2-0.8	Спечено при 1350°C, размер зерна <0,5 мкм	Твердость 1800 HV, прочность 2,2 ГПа, коррозия <0,003 мм/год	Авиационный инструмент, срок службы 4 часа

5. Ключевые факторы выбора никелевого порошка

Выбор никелевого порошка требует комплексного рассмотрения свойств сплава, условий процесса и затрат:

Высокая коррозионная стойкость (например, YN10):

выбором является порошок карбонильного никеля с чистотой >99,95%, размером частиц 0,81,2 мкм и O <0,03%.

Причина: Регулярная морфология и низкое содержание кислорода гарантируют, что η-фаза составляет <0,5%, а скорость коррозии составляет <0,005 мм/год.

Сплавы с ультрамелким зерном (например, YN8N):

Использовался карбонильный метод + плазменная сфероидизация, размер частиц составил 0,2-0,8 мкм , сферичность >0,95.

Причина: Контроль мелкозернистости зерна <0,5 мкм , твердость увеличена на 510%.

Чувствительные к затратам (например, YN6):

Использовать метод химического восстановления или электролиза, размер частиц 12 мкм , O <0,05%.

Причина: на 20-30% ниже стоимость и соответствует общим требованиям к инструменту (прочность 1,8 ГПа) .

Тестовый стержень большого размера (например, YN15):

Был выбран метод распыления с размером частиц 23 мкм и текучестью ~20 с/50 г.

Причина: Подходит для крупных частиц, однородность сжатия >95%.

Выбор никелевого порошка и варианты его применения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Сценарий применения	Рекомендуемый никелевый порошок	Размер частиц (мкм)	Основные характеристики	Улучшения производительности
Высокая коррозионная стойкость (YN10)	Карбонильный метод	0.81.2	Чистота>99,95%, O<0,03%	Скорость коррозии <0,005 мм/год, η-фаза <0,5%
Ультрамелкое зерно (YN8N)	Карбонил + Сфероидизация	0.20.8	Сферичность>0,95, агломерация<0,5%	Твердость увеличилась на 510%, размер зерна <0,5 мкм
Чувствительность к затратам (6 YN)	Химическое восстановление/электролиз	12	Чистота>99,9%, стоимость на 2030% ниже	Прочность 1,8 ГПа , соответствует общим требованиям
Большой размер (YN15)	Распыление	двадцать три	Текучесть ~20 с/50 г	Однородность>95%, КИС 10 МПа·м ^{1/2}

6. Заключение

Никелевый порошок, используемый в твердом сплаве на основе никеля, должен соответствовать следующим требованиям:

Химический состав : чистота>99,9%, O <0,05%, Fe <0,01%, C <0,01% (GB/T 53142011).

Физические свойства : размер частиц 0,52 мкм (обычный) или 0,20,8 мкм (ультрамелкое зерно) , текучесть <25 с/50 г (GB/T 1482-2010).

Микроморфология : Почти сферическая, сферичность>0,9, агломерация<1% (GB/T 183762014).

Способ приготовления :

Карбонильный метод : высокая чистота (>99,95%), размер частиц 0,52 мкм , подходит для YN10 и YN8N.

Метод химического восстановления : низкая стоимость, размер частиц 0,53 мкм , подходит для YN6.

Метод распыления : крупные частицы (15 мкм) , подходят для испытательных стержней большого размера.

Электролитический метод : низкая стоимость, требует шлифования, подходит для обычных сортов.

Примеры применения :

YN6: Карбонильный никелевый порошок (11,5 мкм) , твердость 1400 HV, прочность 1,8 ГПа .

YN10: Карбонильный никелевый порошок (0,81,2 мкм) , КИС 9 МПа·м^{1/2} , коррозионная стойкость <0,005 мм/год .

YN8N: Карбонил + сфероидизированный никелевый порошок (0,20,8 мкм) , твердость 1800 HV, размер зерна < 0,5 мкм .

никелевого порошка (например, ультразвуковое диспергирование и инертная защита) могут улучшить однородность на 20%, уменьшить η-фазу на 50% и улучшить постоянство характеристик сплава (отклонение <3%). В будущем нанопорошок никеля (<0,2 мкм) и технология зеленой подготовки (например, низкотемпературное восстановление) еще больше

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

улучшат характеристики твердого сплава на основе никеля.

стандарт :

GB/T 5314 2011: Химический состав.

GB/T 18376 2014: Микроструктура.

GB/T 1482 2010: Ликвидность.

GB/T 3851 2015: Прочность на изгиб.

GB/T 7997 2017: Твердость.

GB/T 4334 2020: Коррозионная стойкость.



Приложение :

Кобальтовый порошок, используемый в цементированном твердом сплаве на основе кобальта

Кобальтовый твердый сплав (CobaltBonded Cemented Carbide) использует кобальт (Co) в качестве связующей фазы и объединяет твердые фазы, такие как карбид вольфрама (WC). Он широко используется в режущих инструментах, формах, горнодобывающих инструментах и других областях благодаря своей превосходной прочности на изгиб (1,5-2,5 ГПа), вязкости разрушения ($812 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$) и твердости (1400-2200 HV). В качестве ключевого сырья для кобальтового твердого сплава качество кобальтового порошка напрямую влияет на микроструктуру, механические свойства и технологические свойства сплава. Ниже подробно описаны характеристики, требования, методы приготовления и области применения кобальтового порошка, используемого в цементированном твердом сплаве на основе кобальта, в сочетании с китайскими национальными стандартами (такими как GB/T 5243, GB/T 5314), международными стандартами (такими как ISO 4499) и новейшими исследованиями (такими как Sandvik, 2023; ScienceDirect, 2020). Вся информация представлена на китайском языке,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

чтобы гарантировать точность, подробность и увлекательность содержания.

1. Обзор

Кобальтовый твердый сплав использует кобальт в качестве связующей фазы. Типичные марки включают YG6 (6% Co, режущие инструменты), YG15 (15% Co, формы) и YG8N (8% Co, сверхмелкозернистые авиационные режущие инструменты). Функции кобальтового порошка в сплаве включают:

Связывающая твердая фаза : усиливает связь частиц WC и увеличивает прочность на изгиб на 20-30%.

Улучшенная ударная вязкость : Пластичность кобальтовой фазы позволяет KIC достигать $812 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$.

Активность спекания : низкая температура плавления кобальта (1495°C) способствует жидкофазному спеканию, снижая пористость до $<0,01\%$.

порошка кобальта (чистота, размер частиц, морфология, содержание кислорода) напрямую влияет на:

Микроструктура : размер зерна $0,52 \text{ мкм}$ (обычный) или $<0,5 \text{ мкм}$ (ультрамелкое зерно), η -фаза/свободный углерод $<1\%$ (GB/T 183762014).

Механические свойства : твердость $1400-2200 \text{ HV}$, отклонение прочности на изгиб $<5\%$ (GB/T 38512015).

Стабильность процесса : однородность смешивания $>95\%$, прочность заготовки в сыром виде $>6 \text{ МПа}$.

Ниже приводится подробное описание кобальтового порошка с четырех сторон: характеристики, требования, методы приготовления и практическое применение.

2. Характеристики и требования к кобальтовому порошку

Твердый сплав на основе кобальта предъявляет строгие требования к кобальтовому порошку, который должен соответствовать стандартам химического состава, физических свойств и микроморфологии для обеспечения постоянства эксплуатационных характеристик сплава.

2.1 Химический состав

Чистота :

Требования: $>99,9\%$ (массовая доля), общее содержание примесей $<0,1\%$ (GB/T 53142011).

Основные примеси:

Кислород (O): $<0,05\%$, высокое содержание кислорода приводит к обезуглероживанию (η -фаза, $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$), а твердость снижается на 510% .

Углерод (C): $<0,01\%$, избегать свободного углерода ($>1\%$ снижает прочность на 10%).

Железо (Fe): $<0,01\%$. Риск микротрещин, вызванных примесями Fe, увеличивается на 1015% .

Сера (S), фосфор (P): $<0,005\%$ каждого, избегайте фазы с низкой температурой плавления (хрупкость увеличивается на $15-20\%$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Никель (Ni): <0,05%. Слишком высокое содержание Ni изменит магнитные свойства и повлияет на магнитный тест кобальта (GB/T 3849-2015).

Метод испытания:

ICPMS: обнаружение таких металлов, как Co, Fe, Ni (точность $\pm 0,001\%$).

Анализатор углерода и серы : определяет C и S (точность $\pm 0,001\%$).

Анализатор кислорода и азота: определяет O (точность $\pm 0,01\%$).

Примеры :

YG8N: чистота кобальтового порошка 99,95%, O <0,03%, Fe <0,005% (Sandvik, 2023).

2.2 Физические свойства

Степень детализации:

Диапазон: 0,52 мкм (обычный), 0,20,8 мкм (сплав с ультрамелкозернистым зерном).

Однородность: отклонение D50 $\leq \pm 10\%$, D90/D10 <3, что обеспечивает однородность смешивания >95%.

значение:

Мелкий размер частиц (<1 мкм) улучшает равномерность распределения связующей фазы и увеличивает прочность на 10–15%.

Слишком мелкий (<0,2 мкм) порошок легко агломерируется, и однородность снижается на 5–10%.

Метод испытания: Лазерный анализатор размера частиц (точность $\pm 0,01$ мкм, GB/T 19077).

Удельная площадь поверхности :

Диапазон: 13 м²/г (обычный), 36 м²/г (нанопорошок).

Значимость: Высокая удельная площадь поверхности повышает активность спекания и снижает температуру спекания жидкой фазы на 2030°C.

Метод испытания: метод БЭТ (точность $\pm 0,1$ м²/г).

Ликвидность :

Требования: <25 с/50 г (расходомер Холла, GB/T 1482-2010).

Значимость: Хорошая текучесть обеспечивает однородность прессованной заготовки (>95%) и снижает пористость на 0,01%.

Кажущаяся плотность :

Диапазон: 1,5-2,5 г/см³ (обычный), 1,0-2,0 г/см³ (ультрамелкозернистый).

Значимость: Высокая кажущаяся плотность улучшает прочность заготовки в сыром состоянии (>6 МПа).

Метод испытания: Метод воронки (точность $\pm 0,01$ г/см³).

Примеры :

YG6: размер частиц 11,5 мкм, D50 ~1,2 мкм, текучесть ~20 с/50 г, BET ~2 м²/г (ScienceDirect, 2020).

2.3 Микроскопическая морфология

Появление :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Требования: Почти сферическая или многогранная форма, сферичность >0,9 (наблюдение с помощью СЭМ, 1000×).

Избегайте: палочек, хлопьев или неровных частиц, которые снижают текучесть на 10–15%.

Состояние поверхности :

Гладкая, без трещин, пор и включений (контроль СЭМ, дефект <0,1 мкм).

Поверхностный оксидный слой: <10 нм (анализ XPS), избегать спекания и обезуглероживания.

Воссоединение :

Скорость агломерации: <1%. Слишком высокая приведет к неравномерной микроструктуре и увеличит пористость на 0,02%.

Метод испытания: СЭМ (статистический анализ соотношения агломерированных частиц), ультразвуковая дисперсионная проверка.

Примеры :

YG8N: Почти сферический порошок кобальта, скорость агломерации <0,5%, поверхностный оксидный слой <5 нм (Sandvik, 2023).

2.4 Другие требования

Магнитные свойства :

Порошок кобальта является ферромагнитным, с намагниченностью насыщения ~160 эме/г (чистый Co) и отклонением <±5 эме/г.

Метод испытания: вибрационный магнитометр (VSM, точность ±0,1 эме/г).

Значимость: Косвенная оценка примесей (Fe увеличивает намагниченность, Ni уменьшает намагниченность) и степени окисления.

Условия хранения :

Влажность: <40%, Температура: 20–25 °C, Инертная атмосфера (Ar или N2), Избегайте окисления (O увеличивается на 0,02%).

Вакуумная упаковка, срок хранения < 6 месяцев.

Стандарт :

GB/T 53142011: Химический состав (чистота >99,9%).

GB/T 183762014: Микроструктура (агломерация <1%).

GB/T 1482-2010: Текучесть (<25 с/50 г).

GB/T 3849-2015: Магнитные свойства (косвенная оценка содержания углерода).

2.5 Основные параметры кобальтового порошка

Параметр	Общие требования	Требования сверхтонкому зерну	Метод испытания	Пример (yg8n)
Чистота	>99,9%	>99,95%	ICPms , анализ углерода и серы	99,95%
Содержание кислорода	<0,05%	<0,03%	Анализатор кислорода и	<0,03%

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Параметр	Общие требования	Требования сверхтонкому зерну	Метод испытания	Пример (уг8п)
			азота	
Содержание железа	<0,01%	<0,005%	Isrms	<0,005%
Размер частиц (d50)	0,52 мкм	0,20,8 мкм	Лазерный анализ размера частиц	~0,5 мкм
Удельная площадь поверхности	13 м ² /г	36 м ² /г	Ставка	~4 м ² /г
Ликвидность	<25 с/50 г	<20 с/50 г	Расходомер Холла	~15 с/50 г
Морфология	Почти сферическая, сферичность>0,9	Почти сферическая, сферичность>0,95	Сем	Сферичность>0,95
Скорость воссоединения	<1%	<0,5%	Сем, ультразвуковая дисперсия	<0,3%
Намагничивание	~160 эме/г, отклонение <±5 эме/г	~160 эме/г, отклонение <±3 эме/г	Всм	~158 эме/г

GB/T 53142011 (химический состав), GB/T 183762014 (микроструктура), GB/T 14822010 (текучесть)

3. Способ приготовления кобальтового порошка

порошка кобальта необходимо обеспечить высокую чистоту, мелкий размер частиц и однородную морфологию для соответствия требованиям цементированного карбида. Обычные методы включают:

3.1 Химическое восстановление (гидрометаллургическое восстановление)

Принцип :

Раствор соли кобальта (например, CoSO₄, CoCl₂) восстанавливается до порошка кобальта с помощью восстановителя (например, H₂, NaBH₄).

Реакция: $Co^{2+} + H_2 \rightarrow Co + 2H^+$ (высокое давление H₂, 150-200°C).

Процесс :

Сырье: CoSO₄ (>99,9%), восстановитель (чистота H₂ >99,99%).

Оборудование: Реактор высокого давления (510 МПа), система фильтрации/сушки.

Параметры: pH 8-10, температура 150-200°C, давление H₂ 25 МПа.

Последующая обработка: промывка (деионизированная вода), вакуумная сушка (80°C, <10⁻² Па).

по потоку воздуха, контролируемый размер частиц 0,52 мкм .

Функции :

Чистота: >99,9%, O <0,05%, Fe <0,01%.

Морфология: многогранная или почти сферическая, сферичность 0,80,9.

Размер частиц: 0,53 мкм , отклонение D50 <±10% .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Преимущества :

Более низкая стоимость (на 15–20 % ниже, чем при карбонильном процессе).

Подходит для массового производства, с регулируемым размером частиц.

недостаточный :

Морфология слегка нерегулярная, степень агломерации составляет 12%.

Содержание кислорода несколько повышено (0,05-0,1%) и требует строгого контроля.

приложение :

Испытательный стержень YG6: восстановленный порошок кобальта, размер частиц 1,5 мкм , прочность на изгиб 2,0 ГПа (ScienceDirect, 2020).

3.2 Карбонильный процесс

Принцип :

Кобальт реагирует с оксидом углерода (CO) с образованием карбонила кобальта [Co₂(CO)₈], который при нагревании разлагается на порошок кобальта высокой чистоты и CO.

Реакция: $2\text{Co} + 8\text{CO} \rightarrow \text{Co}_2(\text{CO})_8$ (газообразный, 100-150°C), $\text{Co}_2(\text{CO})_8 \rightarrow 2\text{Co} + 8\text{CO}$ (разложение, 250-300°C).

Процесс :

Сырье: кобальт высокой чистоты (> 99,9%), газ CO₂ (чистота>99,99%).

Оборудование: карбонильный реактор (давление 0,51 МПа), печь разложения (вакуум или инертная атмосфера).

Параметры: температура разложения 250-350°C, расход воздуха 0,51 л/мин. частиц 0,52 мкм .

Функции :

Чистота: >99,95%, O <0,03%, C <0,01%.

Морфология: Почти сферическая, сферичность>0,95, степень агломерации<0,5%.

Размер частиц: 0,52 мкм , отклонение D50 <±5% .

Преимущества :

Высокая чистота, примеси (Fe, S) <0,005%.

Морфология правильная, текучесть хорошая (~18 с/50 г).

Недостаточный :

Оборудование сложное, CO высокотоксичен, а стоимость на 20–30% выше.

Приложение :

Испытательный образец YG8N: порошок карбонильного кобальта, размер частиц ~0,8 мкм , твердость 2000 HV (Sandvik, 2023).

3.3 Распыление

Принцип :

Расплавленный кобальт (>99,9%) распыляется на мелкие частицы под действием газа высокого давления (N₂, Ar) или воды.

Процесс :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Сырье: слиток кобальта высокой чистоты (>99,9%).

Оборудование: вакуумная индукционная печь (1500-1550°C), распылительная башня (давление газа 510 МПа).

Параметры: отверстие сопла 0,51 мм, скорость охлаждения $10^3 - 10^4$ °C/с. потоку воздуха, размер частиц 15 мкм .

Функции :

Чистота: >99,9%, O <0,08%, C <0,02%.

Морфология: сферическая, сферичность >0,9.

Размер частиц: 15 мкм, отклонение D50 <±15%.

Преимущества :

Правильная морфология и отличная текучесть (~20 с/50 г).

Подходит для крупнозернистого кобальтового порошка (> 2 мкм) .

Недостаточный :

Размер частиц слишком велик (>1 мкм) , что не подходит для сверхмелкозернистых сплавов.

Содержание кислорода высокое (0,05-0,1%).

Приложение :

Испытательный стержень YG15: распыленный порошок кобальта, размер частиц 23 мкм , KIC 12 МПа·м^{1/2} .

3.4 Электроосаждение

Принцип :

Кобальтовый порошок получают путем электролитического осаждения раствора соли кобальта (например, CoSO4).

Реакция: $Co^{2+} + 2e^- \rightarrow Co$ (катод, плотность тока 100500 А/м²) .

Процесс :

Сырье: CoSO4 (>99,9%), электролит (pH 35).

Оборудование: электролитическая ячейка (катод из нержавеющей стали), источник постоянного тока.

Параметры: температура 50–60 °C, плотность тока 200–400 А/м² , время 24 часа.

Последующая обработка: мойка, сушка (80°C, <10⁻² Па) , шлифовка (<2 мкм) .

Функции :

Чистота: >99,9%, O <0,1%, Fe <0,02%.

Морфология: дендритная или нерегулярная, требует шлифовки.

Размер частиц: 110 мкм (0,52 мкм после измельчения) .

Преимущества :

Низкая стоимость (на 30% ниже, чем при карбонильном процессе).

Подходит для крупносерийного производства.

недостаточный :

Морфология нерегулярная, измельчение увеличивает агломерацию (23%).

Содержание кислорода высокое (0,1–0,2%) и его необходимо оптимизировать.

приложение :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Испытательный стержень YG6: электролитический кобальтовый порошок, размер частиц 12 мкм, твердость 1500 HV.

3.5 Меры оптимизации

уровня кислорода :

инертной атмосферы (Ar , O₂ <0,005%), содержание кислорода снижено до <0,03%. вакуум (<10⁻² Па) для предотвращения окисления.

Степень детализации управления :

Ультразвуковое диспергирование (500 Вт, 10 мин) снизило скорость агломерации до <0,5%. Классификация воздушного потока (точность ±0,1 мкм), отклонение D50 <±5%.

Улучшение внешнего вида :

Карбонильный метод + плазменная сфероидизация, сферичность увеличилась до >0,95. Метод химического восстановления плюс модификация поверхности (стеариновая кислота 0,1%), текучесть увеличилась на 10%.

Примеры :

YG8N: порошок карбонильного кобальта + ультразвуковое диспергирование, размер частиц 0,5 мкм, агломерация <0,3% (Sandvik, 2023).

Сравнительная таблица методов приготовления кобальтового порошка

Метод	Чистота	Размер частиц (мкм)	Морфология	Содержание кислорода	Текучесть (с/50 г)	расходы	Применимые классы
Метод химического восстановления	>99,9%	0,53	Многогранник, 0,80,9	<0,05%	~22	середина	YG6, YG15
Карбонильный метод	>99,95%	0,52	Почти сферическая, >0,95	<0,03%	~18	высокий	Y8N
Распыление	>99,9%	15	Сферический, >0,9	<0,08%	~20	середина	YG15 (большой размер)
Электролиз	>99,9%	0,52 (шлифовка)	Нерегулярный, 0,70,8	<0,1%	~25	Низкий	YG6 (низкая стоимость)

Меры оптимизации :

Уменьшить содержание кислорода : Защита от аргона (O₂ <0,005%), вакуумная сушка (<10⁻² Па).

Контроль размера частиц : ультразвуковая дисперсия (500 Вт, 10 мин), степень агломерации <0,5%.

Оптимизация морфологии : карбонильный метод + плазменная сфероидизация, сферичность>0,95.

4. Применение кобальтового порошка в твердом сплаве на основе кобальта

Выбор и оптимизация кобальтового порошка напрямую влияет на подготовку и эксплуатационные характеристики испытательных стержней из цементированного карбида

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

на основе кобальта. Ниже приводится описание конкретных марок и процессов.

4.1 YG6 (6% Co, универсальный инструмент)

Требования к кобальтовому порошку :

Чистота: >99,95%, O <0,03%, Fe <0,005%.

Размер частиц: 11,5 мкм , D50 ~1,2 мкм, сферичность > 0,9.

Приготовление: Карбонильный метод или метод химического восстановления, текучесть ~20 с/50 г.

Процесс приготовления :

Состав : WC (94 мас. %, 12 мкм) , Co (6 мас. %) , Cr₃C₂ (0,3 мас. %).

Компаундирование : мокрый помол (12-14 ч, ПЭГ 1,5%), D50 80-150 мкм .

Прессование : СІР (200-250 МПа), заготовка 6,2×6,2×43 мм.

Спекание : вакуумное спекание (1400°C, <10⁻³ Па) + горячее изостатическое прессование (1400°C, 100 МПа).

Обработка : шлифование (Ra < 0,4 мкм) , электроэрозионная насечка (0,25 ± 0,02 мм).

производительность :

Твердость: 1500 ± 50 HV (GB/T 79972017).

Прочность на изгиб: 2,0 ± 0,1 ГПа (GB/T 38512015).

Вязкость разрушения: 8 ± 0,5 МПа·м^{1/2} .

Примеры :

Испытательный стержень YG6: порошок карбонильного кобальта, размер зерна ~1,2 мкм , срок службы резца 2 часа (Sandvik, 2023).

4.2 YG15 (15% Co, форма высокой прочности)

Требования к кобальтовому порошку :

Чистота: >99,9%, O <0,05%, Fe <0,01%.

Размер частиц : 1,52 мкм , D50 ~1,8 мкм , агломерация <1%.

Приготовление: Химическое восстановление или распыление, текучесть ~22 с/50 г.

Процесс приготовления :

Состав : WC (85 мас. %, 1,52,5 мкм) , Co (15 мас. %) , Cr₃C₂ (0,5 мас. %).

Компаундирование : мокрый помол (14-16 ч, ПВС 1%), D50 100-200 мкм .

Прессование : СІР (250-300 МПа), заготовка 5,0×10,0×40 мм.

Спекание : вакуумное спекание (1450°C, <10⁻³ Па) + горячее изостатическое прессование (1450°C, 120 МПа).

Обработка : шлифование (Ra < 0,2 мкм) , электроэрозионная насечка (0,25 ± 0,01 мм).

производительность :

Твёрдость: 1400 ± 50 HV.

Прочность на изгиб: 2,5 ± 0,1 ГПа .

Вязкость разрушения: 12 ± 0,5 МПа·м^{1/2} .

Примеры :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Испытательный стержень YG15: восстановленный порошок кобальта, размер зерна ~1,8 мкм , срок службы 120 000 пробивок (ScienceDirect, 2020).

4.3 YG8N (8% Со, сверхмелкозернистый авиационный инструмент)

Требования к кобальтовому порошку :

Чистота: >99,95%, O <0,02%, Fe <0,005%.

Размер частиц : 0,20,8 мкм , D50 ~0,5 мкм , сферичность>0,95.

Приготовление: Карбонильный метод + плазменная сфероидизация, текучесть ~15 с/50 г.

Процесс приготовления :

Состав : WC (91,5 мас. % , 0,2-0,4 мкм) , Со (8 мас. %), Cr₃C₂ (0,4 мас. %), VC (0,1 мас. %).

Смешивание : высокоэнергетическая шаровая мельница (1820 ч, модифицированный ПЭГ 1%), D50 30100 мкм .

Прессование : СІР (300-350 МПа), заготовка 6,3×6,3×44 мм.

Спекание : вакуумное спекание (1350°C, <5×10⁻⁴ Па) + горячее изостатическое прессование (1350°C, 150 МПа).

Обработка : сверхточная шлифовка (Ra < 0,2 мкм) , фемтосекундная лазерная насечка (0,25 ± 0,005 мм).

производительность :

Твёрдость: 2000 ± 50 НV.

Прочность на изгиб: 2,2 ± 0,1 ГПа .

Вязкость разрушения: 9 ± 0,5 МПа·м^{1/2} .

Примеры :

Испытательный стержень YG8N: порошок карбонильного кобальта, размер зерна <0,5 мкм , срок службы авиационного инструмента 4 часа (Sandvik, 2023).

5. Ключевые факторы выбора кобальтового порошка

Выбор кобальтового порошка требует комплексного рассмотрения свойств сплава, условий процесса и затрат:

Высококачественные сплавы (например, YG8N):

выбором является порошок карбонильного кобальта с чистотой >99,95%, размером частиц 0,2-0,8 мкм и O <0,02%.

содержание кислорода обеспечивают размер зерна <0,5 мкм , твердость увеличивается на 510%.

Сплав высокой прочности (например, YG15):

Использовать метод химического восстановления или распыления, размер частиц 1,52 мкм , O <0,05%.

Причина: Немного больший размер частиц подходит для высокого содержания кобальта, КІС увеличивается на 10%.

Чувствительные к стоимости (например, YG6):

Используйте химическое восстановление или электролиз, размер частиц 12 мкм , O <0,05%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Причина: стоимость на 20–30 % ниже, соответствует общим требованиям к инструменту (прочность 2,0 ГПа).

Тестовый стержень большого размера (например, YG15):

Использовался метод распыления, размер частиц 23 мкм, текучесть ~20 с/50 г.

Причина: Подходит для крупных частиц, однородность сжатия > 95%.

6. Заключение

Используемый в кобальтовой основе твердый сплав должен соответствовать следующим требованиям:

Химический состав : чистота >99,9%, O <0,05%, Fe <0,01%, C <0,01% (GB/T 53142011).

Физические свойства : размер частиц 0,52 мкм (обычный) или 0,20,8 мкм (ультрамелкое зерно), текучесть <25 с/50 г (GB/T 1482-2010).

Микроморфология : Почти сферическая, сферичность >0,9, агломерация <1% (GB/T 183762014).

Способ приготовления :

Карбонильный метод : высокая чистота (>99,95%), размер частиц 0,52 мкм, подходит для YG8N.

Метод химического восстановления : низкая стоимость, размер частиц 0,53 мкм, подходит для YG6 и YG15.

Метод распыления : крупные частицы (15 мкм), подходят для испытательных стержней большого размера.

Электролитический метод : низкая стоимость, требует шлифования, подходит для обычных сортов.

Примеры применения :

YG6: Карбонильный или восстановленный кобальтовый порошок (11,5 мкм), твердость 1500 HV, прочность 2,0 ГПа.

YG15: восстановленный или распыленный порошок кобальта (1,52 мкм), KIC 12 МПа·м^{1/2}.

YG8N: Карбонил + сфероидизированный порошок кобальта (0,20,8 мкм), твердость 2000 HV, размер зерна < 0,5 мкм.

порошка кобальта (например, ультразвуковое диспергирование и инертная защита) могут улучшить однородность на 20%, уменьшить η-фазу на 50% и улучшить постоянство характеристик сплава (отклонение <3%). В будущем нанопорошок кобальта (<0,2 мкм) и технология зеленой подготовки (например, низкотемпературное восстановление) еще больше улучшат характеристики твердого сплава на основе кобальта.

стандарт :

GB/T 5314 2011: Химический состав. GB/T 18376 2014: Микроструктура.

GB/T 1482 2010: Ликвидность. GB/T 3851 2015: Прочность на изгиб.

GB/T 7997 2017: Твердость. GB/T 3849 2015: Магнитные свойства.

Сравнительная таблица кобальтового и никелевого порошков

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Характеристика	Кобальтовый порошок	Никелевый порошок
Чистота	>99,9%, >99,95% (ультрамелкое зерно)	>99,9%, >99,95% (высокая коррозионная стойкость)
Зернистость	0,52 мкм , 0,20,8 мкм (сверхмелкое зерно)	0,52 мкм , 0,20,8 мкм (сверхмелкое зерно)
Содержание кислорода	<0,05%, <0,03% (ультрамелкое зерно)	<0,05%, <0,03% (высокая коррозионная стойкость)
Морфология	Почти сферическая, сферичность>0,9	Почти сферическая, сферичность>0,9
Намагничивание	~160 эме/г	~55 эме/г
Основной метод приготовления	Карбонилирование, химическое восстановление, атомизация, электролиз	Карбонилирование, химическое восстановление, атомизация, электролиз
Расходы	Выше (на 20 % выше, чем у никелевого порошка)	Ниже
Свойства сплава	Прочность 1,52,5 ГПа , КІС 812 МПа·м ^{1/2}	Прочность 1,82,2 ГПа , КІС 710 МПа·м ^{1/2}
Устойчивость к коррозии	0,01 мм/год (5% HCl)	<0,005 мм/год (5% HCl)
Сценарий применения	Режущие инструменты, штампы, горнодобывающий инструмент	Химическое оборудование, нефтяные инструменты, высокотемпературные формы

Стандарт : GB/T 43342020 (коррозионная стойкость), GB/T 38512015 (прочность на изгиб).



Приложение :

GB/T 7997-2017 Метод определения твердости и микротвердости по Виккерсу для твердого сплава

GB/T 7997-2017 «Методы испытаний твердости и микротвердости по Виккерсу твердого сплава» — китайский национальный стандарт, определяющий методы испытаний твердости (HV) и микротвердости (микротвердость по Виккерсу, HVM) твердого сплава. Он применим к испытаниям твердосплавных материалов (таких как WC-Co, WC-Ni и т. д.).

1 Область применения

В настоящем стандарте указаны методы испытаний твердости и микротвердости по Виккерсу для твердого сплава, включая принципы испытаний, оборудование, требования к образцам, процедуры испытаний, расчет результатов, отчет об испытаниях и т. д.

Настоящий стандарт применим к определению твердости изделий из спеченного твердого сплава (таких как режущие инструменты, горнодобывающие инструменты, износостойкие детали) и заготовок из неспеченного твердого сплава и применим к диапазону твердости от HV 500 до HV 3000.

2 Нормативные ссылки

Следующие документы являются необходимыми справочными документами для внедрения настоящего стандарта. Для датированных справочных документов применима только версия этого документа; для недатированных справочных документов применима последняя версия (включая все поправки).

GB/T 230.1 Испытание твердости металлических материалов по Роквеллу. Часть 1: Метод

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

испытания (шкала A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T)

GB/T 4340.1 Испытание твердости по Виккерсу для металлических материалов. Часть 1: Метод испытания

GB/T 4340.2 Испытание твердости по Виккерсу для металлических материалов. Часть 2: Проверка и калибровка твердомеров

GB/T 4340.3 Испытание твердости по Виккерсу для металлических материалов. Часть 3: Калибровка стандартных мер твердости

GB/T 4505 Методы отбора проб и подготовки образцов для твердого сплава

GB/T 5124 Методы химического анализа твердого сплава

GB/T 16594 Общие правила контроля микроструктуры металлических материалов

3 Термины и определения

Твердость по Виккерсу (HV): с помощью твердомера Виккерса правильный тетраэдрический алмазный индентор вдавливаются в поверхность образца под определенной нагрузкой, а значение твердости рассчитывается после измерения диагональной длины отпечатка. Единицей измерения является HV.

Микротвердость (HVM): твердость по Виккерсу, измеряемая под микроскопом, подходит для испытаний на твердость образцов небольшого размера или локальных микроучастков, при нагрузке обычно менее 1 кгс .

Диагональ отпечатка: Длина двух диагоналей отпечатка Виккерса в мм.

Значение твердости: твердость, рассчитанная на основе длины диагонали отпечатка и нагрузки, в кгс /мм² (переведенная в HV).

4 Принцип теста

Испытания на твердость и микротвердость по Виккерсу используют алмазный индентор в форме четырехугольной пирамиды (угол при вершине 136°±0,5°), который вдавливают в поверхность образца под заданной нагрузкой, удерживают в течение определенного периода времени , затем снимают нагрузку, измеряют диагональную длину отпечатка и вычисляют значение твердости по формуле.

Формула выглядит следующим образом:

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

в:

- HV: 维氏硬度值 (kgf/mm², 单位为 HV) ;
- F: 试验载荷 (kgf) ;
- d: 压痕对角线的平均长度 (mm) .

5 Оборудование и материалы

Твердомер:

Твердомер по Виккерсу: в соответствии с GB/T 4340.2, диапазон нагрузки 1-50 кгс±0,1 кгс .

Микротвердомер: диапазон нагрузки 0,01-1 кгс±0,001 кгс , оснащен микроскопом (увеличение ≥400 раз) .

Индентор: правильный тетраэдрический алмазный индентор, угол при вершине 136°±0,5° ,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

поверхность без дефектов.

Стандартный блок твердости: в соответствии с GB/T 4340.3, диапазон твердости от HV 500 до HV 3000.

Обработка поверхности образца: Полировка до шероховатости поверхности $Ra \leq 0,2$ мкм $\pm 0,02$ мкм, без оксидного слоя и трещин.

Условия окружающей среды: температура 20–25 °C ± 1 °C, влажность 40–60 % ± 5 % относительной влажности, отсутствие вибраций.

6. Образцы

Требования к образцу:

Отбор проб должен осуществляться в соответствии с GB/T 4505 с плоской поверхностью и толщиной $\geq 1,5$ глубины вдавливания (приблизительно 0,1–0,5 мм).

Размер образца: минимальная площадь 5 мм \times 5 мм $\pm 0,1$ мм, максимальный размер 50 мм \times 50 мм $\pm 0,1$ мм.

Обработка поверхности:

Полировка: используйте металлографическую наждачную бумагу (зернистость 800–2000 меш) и полировальную пасту (размер частиц ≤ 1 мкм $\pm 0,01$ мкм).

Очистка: Для удаления масляных пятен используйте этанол (чистота $\geq 99,5\%$ $\pm 0,1\%$).

Количество образцов: 3–5 образцов в партии, не менее 5 отпечатков на одном образце.

7 этапов теста

7.1 Испытание на твердость по Виккерсу

Калибровка оборудования:

Твердомер калибруется с использованием стандартного образца твердости с отклонением $< \pm 2\% \pm 0,5\%$.

Откалибруйте геометрию индентора с отклонением верхнего угла $< \pm 0,5^\circ$.

Выбор нагрузки:

Обычные нагрузки: 5 кгс, 10 кгс, 30 кгс $\pm 0,1$ кгс (выбирайте в зависимости от диапазона твердости).

Время удержания нагрузки: 10–15 с ± 1 с.

Измерение отступа:

Поместите образец на рабочий стол твердомера и убедитесь, что поверхность образца ровная.

Приложите нагрузку, удерживайте ее в течение определенного времени, а затем снимите нагрузку.

Измерьте длины двух диагоналей углубления (d_1 и d_2) с точностью 0,001 мм $\pm 0,0001$ мм.

Расстояние между отступами: ≥ 3 длины диагонали (приблизительно 0,3–1,5 мм).

Расчет твердости:

Рассчитайте значение HV по формуле и возьмите среднее значение 5 углублений.

Отклонение $< \pm 3\% \pm 0,5\%$, в противном случае повторите тест.

7.2 Испытание на микротвердость

Калибровка оборудования:

Используйте микротвердомер, калиброванную нагрузку и увеличение микроскопа ($\geq 400\times$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Отклонение $< \pm 2\% \pm 0,5\%$.

Выбор нагрузки:

Обычные нагрузки: 0,05 кгс , 0,1 кгс , 0,5 кгс $\pm 0,001$ кгс .

Время удержания нагрузки: 10-15 с ± 1 с.

Измерение отступа:

Рассмотрите отпечаток под микроскопом и измерьте длины диагоналей (d_1 и d_2) с точностью $0,0005$ мм $\pm 0,0001$ мм.

Расстояние между отступами: ≥ 5 длин диагонали (приблизительно 0,05–0,2 мм).

Расчет твердости:

Рассчитайте значение HVM по формуле и возьмите среднее значение 5 углублений.

Отклонение $< \pm 4\% \pm 0,5\%$, в противном случае повторите тест.

8 результатов Выражение

Значение твердости: выражается как HV или HVM, сохраняется целое число, например HV 1800 или HVM 2000.

Содержание отчета:

Номер образца, значение нагрузки, диагональная длина отпечатка, среднее значение твердости и отклонение.

Условия окружающей среды (температура, влажность).

Дата испытания и оператор.

Пример: образец WC-10%Co, нагрузка 30 кгс , средняя диагональ $0,042$ мм $\pm 0,001$ мм, HV 1800 ± 50 .

9 Факторов Влияния

Поверхность образца: Шероховатость поверхности $Ra > 0,2$ мкм $\pm 0,02$ мкм приводит к размытости отпечатков и низкой твердости (отклонение $> 5\% \pm 1\%$).

Отклонение нагрузки: Отклонение нагрузки $> \pm 0,1$ кгс влияет на глубину вдавливания, отклонение твердости $> 3\% \pm 0,5\%$.

Вибрация окружающей среды: Частота вибрации > 1 Гц $\pm 0,1$ Гц приведет к отклонению отпечатка, поэтому необходимо принять меры по предотвращению вибрации.

Состояние индентора: Дефекты индентора (царапины $> 0,01$ мм $\pm 0,001$ мм) приводят к низкой твердости и требуют регулярного осмотра.

10 правил проверки

Отбор проб: Согласно GB/T 4505, из каждой партии (≤ 100 кг) отбирают 3–5 образцов и измеряют 5 отпечатков на каждом образце.

Частота проверок: заводская проверка (каждая партия), типовая проверка (один раз в год или при изменении технологического процесса).

Заключение: Все образцы считаются аттестованными, если их показатели твердости соответствуют требованиям; если какой-либо образец не проходит аттестацию, допускается повторная проверка; если и после повторной проверки результат отрицательный, партия считается неаттестованной.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

11 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать:

Описание образца (состав, процесс приготовления).

Метод испытания (Виккерс или микротвердость).

Значение нагрузки, диагональная длина отпечатка, значение твердости и отклонение.

Условия окружающей среды (температура $20-25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, влажность $40\%-60\% \pm 5\% \text{RH}$).

Стандартный номер (GB/T 7997-2017).

Дата испытания и подпись оператора.

Приложение А (Информационное приложение) Типичные значения твердости твердого сплава

WC-6%Co: HV 1800-2000 \pm 50, подходит для режущих инструментов.

WC-10%Co: HV 1500-1700 \pm 50, подходит для горнодобывающего инструмента.

WC-12%Ni: HV 1400-1600 \pm 50, подходит для износостойких деталей.

Приложение В (Нормативное приложение) Дополнительные примечания по методам испытаний

Измерение индентирования: При измерении микротвердости увеличение микроскопа должно быть ≥ 400 раз, а поле зрения должно быть чистым.

Контроль окружающей среды: в испытательной среде не происходит нарушения воздушного потока, а колебания температуры составляют $< \pm 1^{\circ}\text{C}$.

Техническое обслуживание индентора: проверяйте индентор после каждых 500 испытаний и заменяйте его, если царапина составляет $> 0,01 \text{ мм} \pm 0,001 \text{ мм}$.

Подвести итог

Стандарт GB/T 7997-2017 определяет метод испытания твердости по Виккерсу и микротвердости твердого сплава. Он использует обычный тетраэдрический алмазный индентор (угол при вершине $136^{\circ} \pm 0,5^{\circ}$) для расчета твердости (HV 500-3000) путем измерения диагональной длины отпечатка. Стандарт определяет калибровку оборудования (отклонение $< \pm 2\%$), подготовку образцов ($Ra \leq 0,2 \text{ мкм}$), этапы испытания и выражение результата для обеспечения точности испытания твердости (отклонение $< \pm 3\%$). Этот метод подходит для контроля качества изделий из твердого сплава, таких как авиационные инструменты (HV 1800-2000) и горнодобывающие инструменты (HV 1500-1700).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD 30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

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

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

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

Serving Customers

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

Service Commitment

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

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Приложение :

GB/T 4340.1-2017 Испытание твердости металлических материалов по Виккерсу

Часть 1: Методы испытаний

1 Область применения

В этой части описывается метод испытания твердости по Виккерсу металлических материалов, включая принцип испытания, испытательное оборудование, требования к образцам, процедуру испытания, расчет твердости, выражение результата и содержание отчета об испытании.

Этот стандарт применим к определению твердости по Виккерсу металлических материалов и некоторых неметаллических материалов (таких как цементированный карбид и керамика) с диапазоном твердости от HV 5 до HV 3000 и диапазоном нагрузки от 0,01 кгс до 50 кгс .

Настоящий стандарт не распространяется на образцы с чрезмерно высокой шероховатостью поверхности ($Ra > 0,4 \text{ мкм} \pm 0,02 \text{ мкм}$) или толщиной , недостаточной для выдерживания глубины вдавливания.

2 Нормативные ссылки

Следующие документы являются необходимыми справочными документами для внедрения этого стандарта. Применимы только указанные версии ссылочных документов.

GB/T 230.1 Испытание твердости металлических материалов по Роквеллу. Часть 1: Метод испытания (шкала A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T)

GB/T 4340.2 Испытание твердости по Виккерсу для металлических материалов. Часть 2: Проверка и калибровка твердомеров

GB/T 4340.3 Испытание твердости по Виккерсу для металлических материалов. Часть 3: Калибровка стандартных мер твердости

GB/T 4505 Методы отбора и подготовки образцов для твердого сплава

GB/T 16594 Общие правила контроля микроструктуры металлических материалов

GB/T 8170 Правила округления значений

3 Термины и определения

Твердость по Виккерсу (HV): Под заданной нагрузкой алмазный индентор в форме правильной четырехугольной пирамиды с углом при вершине 136° вдавливается в поверхность образца, и значение твердости рассчитывается после измерения диагональной длины отпечатка. Единицей измерения является HV.

Микротвердость по Виккерсу (HVM): твердость по Виккерсу, измеренная под микроскопом при нагрузке менее 1 кгс .

Диагональ отпечатка: Длина двух диагоналей отпечатка Виккера в мм.

Испытательная нагрузка: сила, приложенная к индентору, в кгс или Н (1 кгс = 9,80665 Н).

Время удержания: время удержания нагрузки после ее приложения, в секундах.

4 Принцип теста

Для испытания на твердость по Виккерсу используется алмазный индентор в форме

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

правильной четырехугольной пирамиды с углом при вершине $136^{\circ} \pm 0,5^{\circ}$. Он вдавливается в поверхность образца под заданной нагрузкой, удерживается в течение определенного периода времени, а затем снимается. Измеряются длины двух диагоналей отпечатка (d_1 и d_2), и вычисляется среднее значение d . Значение твердости вычисляется путем подстановки его в формулу:

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

其中:

- HV : 维氏硬度值 (kgf/mm^2 , 换算为 HV) ;
 - F : 试验载荷 (kgf) ;
 - d : 压痕对角线的算术平均值 (mm) , $d = \frac{d_1 + d_2}{2}$.
- 若以 N 为单位, 则公式为:
- $$HV = 0.1891 \cdot \frac{F}{d^2}$$
- 其中 F 单位为 N.

5 测试设备

硬度计按维氏:

负载范围: 从 0,01 kg 到 50 kg $\pm 0,1$ kg .

负载精度: 符合 GB/T 4340.2, 偏差 $\leq \pm 1\% \pm 0,1\%$.

测量系统: 显微镜或内置光学系统, 精度 0,001 mm $\pm 0,0001$ mm.

压力:

正确的四面体金刚石压头, 顶角 $136^{\circ} \pm 0,5^{\circ}$, 边缘直线度 $< 0,002$ mm $\pm 0,0002$ mm.

表面没有划痕和缺陷 (划痕 $< 0,01$ mm $\pm 0,001$ mm).

标准硬度块:

符合 GB/T 4340.3, 硬度范围从 HV 100 到 HV 3000.

环境条件:

温度: $20-25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

湿度: $40\%-60\% \pm 5\%$ 相对湿度.

无振动干扰 (频率 < 1 Hz $\pm 0,1$ Hz).

6. 试样

尺寸要求:

最小厚度: $\geq 1,5$ 压痕深度 (约 0,1–0,5 mm).

最小面积: $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, 最大尺寸 $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$.

表面处理:

抛光: 金相砂纸 (粒度 800–2000) 和抛光膏 (颗粒尺寸 $\leq 1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$), 表面粗糙度 $R_a \leq 0,2 \mu\text{m} \pm 0,02 \mu\text{m}$.

清洁: 为去除油污, 使用乙醇 (纯度 $\geq 99,5\% \pm 0,1\%$).

数量:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Возьмите 3–5 образцов из каждой партии, каждый образец должен иметь не менее 5 углублений.

7 Процедуры испытаний

Калибровка оборудования:

Твердомер калибруется с использованием стандартного образца твердости с отклонением $< \pm 2\% \pm 0,5\%$.

Проверьте геометрию индентора, отклонение верхнего угла должно быть $< \pm 0,5^\circ$.

Выбор нагрузки:

Обычные нагрузки: 0,1 кгс, 0,3 кгс, 0,5 кгс, 1 кгс, 5 кгс, 10 кгс, 30 кгс $\pm 0,1$ кгс.

Рекомендуемый твердый сплав: 10 кгс или 30 кгс $\pm 0,1$ кгс.

Микротвердость: 0,01-1 кгс $\pm 0,001$ кгс.

Условия испытаний:

Время выдержки: 10-15 с ± 1 с (для твердого сплава рекомендуется 15 с ± 1 с).

Расстояние между отступами: ≥ 3 длины диагонали (приблизительно 0,3–1,5 мм).

Расстояние между отпечатком и краем образца: $\geq 2,5$ длины диагонали.

Измерение отступа:

Увеличение микроскопа: ≥ 400 раз (микротвердость), ≥ 100 раз (обычная твердость).

Измерьте диагонали d_1 и d_2 с точностью 0,001 мм $\pm 0,0001$ мм.

Расчет твердости:

Рассчитайте HV по формуле, возьмите среднее значение 5 отпечатков, отклонение должно быть $< \pm 3\% \pm 0,5\%$.

8 Факторов Влияния

Качество поверхности: $R_a > 0,2$ мкм $\pm 0,02$ мкм приводит к размытости отпечатков и низкой твердости (отклонение $> 5\% \pm 1\%$).

Отклонение нагрузки: $> \pm 1\% \pm 0,1\%$ влияет на глубину вдавливания, отклонение твердости $> 3\% \pm 0,5\%$.

Внешняя вибрация: Частота > 1 Гц $\pm 0,1$ Гц вызывает смещение отпечатка.

Наклон образца: угол наклона $> 2^\circ \pm 0,1^\circ$ приведет к асимметричному вдавливанию и потребует повторной регулировки.

9 Результаты Выражение

Значение твердости: выражается в HV, сохраняется целое число, например HV 1800 \pm 50.

Символ: HV добавляется после нагрузки, например, нагрузка 30 кгс обозначается как HV30.

Содержание отчета:

Номер образца, значение нагрузки, диагональная длина отпечатка, значение твердости и отклонение.

Условия окружающей среды (температура, влажность).

Дата испытания и оператор.

10 Отчет об испытаниях

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Описание образца (материал, процесс приготовления).

Условия испытаний (нагрузка, время выдержки, расстояние между индентами).

Среднее значение и отклонение значений твердости.

Условия окружающей среды (температура $20-25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, влажность $40\%-60\% \pm 5\% \text{RH}$).

Стандартный номер (GB/T 4340.1-2017).

Дата испытания и подпись оператора.

Приложение А (Информационное приложение) Значения твердости по Виккерсу для обычных металлических материалов

Твердый сплав (WC-10%Co): HV 1500-1800±50.

Закаленная сталь (HRC 60): HV 700-800±30.

Чистый алюминий: HV 20-50±5.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

GB/T 4340.2-2017 Испытание твердости металлических материалов по Виккерсу

Часть 2: Проверка и калибровка твердомеров

1 Область применения

В этой части описываются методы проверки и калибровки твердомеров Виккерса, включая проверку точности нагрузки, геометрии индентора, точности и повторяемости измерительной системы.

Она применима к заводскому осмотру, регулярной калибровке и предэксплуатационному осмотру твердомеров Виккерса (обычных и микроскопических).

2 Нормативные ссылки

GB/T 4340.1 Испытание твердости по Виккерсу для металлических материалов. Часть 1: Метод испытания

GB/T 4340.3 Испытание твердости по Виккерсу для металлических материалов. Часть 3: Калибровка стандартных мер твердости

JJG 112-2005 Процедура проверки твердомера по Виккерсу

GB/T 8170 Правила округления значений

3 Термины и определения

Погрешность нагрузки: Отклонение между фактической нагрузкой и маркированной нагрузкой, выраженное в %.

Погрешность измерительной системы: Отклонение между измеренным значением по диагонали и фактическим значением в мкм .

Повторяемость: постоянство значений твердости, измеренных многократно в одних и тех же условиях, в HV.

Цикл калибровки: Интервал времени между калибровками твердомера, обычно от 6 месяцев до 1 года.

4 пункта проверки

Точность нагрузки: отклонение $< \pm 1\% \pm 0,1\%$.

Геометрия индентора:

Угол при вершине: $136^\circ \pm 0,5^\circ$.

Прямолинейность кромки : $< 0,002 \text{ мм} \pm 0,0002 \text{ мм}$.

Отклонение вершины: $< 0,001 \text{ мм} \pm 0,0001 \text{ мм}$.

Система измерения:

Погрешность измерения диагонали: $< \pm 0,2 \text{ мкм} \pm 0,02 \text{ мкм}$ (микротвердомер).

Погрешность увеличения микроскопа: $< \pm 1\% \pm 0,1\%$.

Время удержания: Отклонение $< \pm 0,5 \text{ с} \pm 0,1 \text{ с}$.

Повторяемость: стандартное отклонение 5 измерений $< \pm 1\% \pm 0,1\%$.

5. Калибровочное оборудование

Стандартный блок твердости:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Соответствует GB/T 4340.3, диапазон твердости HV 100-3000.

Однородность: $<\pm 3\% \pm 0,5\%$.

Микрометр: точность $0,001 \text{ мм} \pm 0,0001 \text{ мм}$.

Устройство калибровки нагрузки: точность $0,01 \text{ кгс} \pm 0,001 \text{ кгс}$.

Оптический микроскоп: увеличение ≥ 1000 крат, точность $0,0001 \text{ мм} \pm 0,00001 \text{ мм}$.

Условия окружающей среды:

Температура: $20-25^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$.

Влажность: $40\%-60\% \pm 5\%$ относительной влажности.

6 Процедура калибровки

Калибровка нагрузки:

Откалибруйте каждую точку нагрузки ($0,1 \text{ кгс}$, 1 кгс , 5 кгс , 10 кгс , $30 \text{ кгс} \pm 0,1 \text{ кгс}$), используя стандартный датчик веса или силы.

Запишите отклонение, если $<\pm 1\% \pm 0,1\%$, в противном случае отрегулируйте систему нагрузки.

Проверка индентора:

Для измерения угла наклона вершины индентора ($136^\circ \pm 0,5^\circ$) и прямолинейности кромки использовался оптический микроскоп.

Проверьте поверхность индентора и замените его, если на нем имеются царапины $>0,01 \text{ мм} \pm 0,001 \text{ мм}$.

Калибровка измерительной системы:

Используя стандартный блок твердости (например, HV 1800 ± 10), измерьте диагональ отпечатка.

Откалибруйте микроскоп с точностью $<\pm 0,2 \text{ мкм} \pm 0,02 \text{ мкм}$.

Сохраняйте калибровку времени:

Калибровка с помощью секундомера, $10-15 \text{ с} \pm 1 \text{ с}$, отклонение $<\pm 0,5 \text{ с} \pm 0,1 \text{ с}$.

Тест на повторяемость:

Проведите 5 последовательных измерений на стандартном образце твердости и рассчитайте стандартное отклонение: $<\pm 1\% \pm 0,1\%$.

Настройка и запись:

Если результат неудовлетворительный, отрегулируйте твердомер (нагрузку, индентор или измерительную систему).

Запишите данные калибровки и храните их в течение $2 \text{ лет} \pm 0,1 \text{ года}$.

7 Факторов Влияния

Изменение температуры: $>\pm 1^\circ\text{C}$ влияет на стабильность системы нагрузки, отклонение твердости $>2\% \pm 0,5\%$.

Износ индентора: царапины $>0,01 \text{ мм} \pm 0,001 \text{ мм}$, приводящие к низкой твердости ($>3\% \pm 0,5\%$).

Колебания нагрузки: нестабильное питание ($>\pm 1 \text{ В} \pm 0,1 \text{ В}$) приводит к ошибке нагрузки.

8 результатов Выражение

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Погрешность нагрузки: выражается в % с сохранением двух знаков после запятой, например $\pm 0,50\% \pm 0,01\%$.

Погрешность измерения: выражается в мкм, например $\pm 0,10 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$.

Повторяемость: выражается в HV, например $\pm 10 \text{ HV} \pm 1 \text{ HV}$.

9 Отчет о калибровке

Модель и номер твердомера.

Элементы калибровки (нагрузка, индентор, система измерения, повторяемость).

Результаты калибровки и отклонения.

Условия окружающей среды (температура $20-25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, влажность $40\%-60\% \pm 5\% \text{ RH}$).

Стандартный номер (GB/T 4340.2-2017).

Дата калибровки и подпись оператора.

Приложение А (Информационное приложение) Рекомендации по циклу калибровки

Нормальное использование: калибровка каждые 6 месяцев.

При частом использовании (>100 раз в день): калибровку следует проводить каждые 3 месяца.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

GB/T 4340.3-2017 Испытание твердости по Виккерсу для металлических материалов

Часть 3: Калибровка стандартных мер твердости

1 Область применения

В этой части описывается метод калибровки стандартных твердомеров Виккерса, включая определение значения твердости, проверку однородности, оценку неопределенности и содержание сертификата калибровки.

Применимо к стандартным твердомерам для калибровки твердомера Виккерса с диапазоном твердости от HV 100 до HV 3000.

2 Нормативные ссылки

GB/T 4340.1 Испытание твердости по Виккерсу для металлических материалов. Часть 1: Метод испытания

GB/T 4340.2 Испытание твердости по Виккерсу для металлических материалов. Часть 2: Проверка и калибровка твердомеров

JJF 1071-2010 Национальная спецификация измерений и калибровки

GB/T 8170 Правила округления значений

GB/T 16594 Общие правила контроля микроструктуры металлических материалов

3 Термины и определения

Стандартный блок твердости: металлический блок с известным значением твердости, используемый для калибровки твердомера.

Равномерность твердости: постоянство значений твердости на поверхности твердомерного блока, измеряемое в HV.

Неопределенность: доверительный интервал результата измерения значения твердости в HV.

Цикл калибровки: временной интервал для повторной калибровки стандартного блока твердости, обычно 1-2 года.

4 Требования к калибровке

Значение твердости: HV 100-3000, отклонение $< \pm 2\% \pm 0,5\%$.

Однородность: Отклонение значения твердости в 10 точках на одной поверхности составляет $< \pm 3\% \pm 0,5\%$.

Неопределенность: $\leq \pm 10 \text{ HV} \pm 1 \text{ HV}$ (уровень достоверности 95%).

Качество поверхности: $R_a \leq 0,2 \text{ мкм} \pm 0,02 \text{ мкм}$, без царапин и оксидного слоя.

5. Калибровочное оборудование

Твердомер по Виккерсу:

Соответствует стандарту GB/T 4340.2 и откалиброван для прохождения испытания.

Точность нагрузки: $< \pm 1\% \pm 0,1\%$.

Напор:

Угол при вершине $136^\circ \pm 0,5^\circ$, сертифицирован.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Дефектов поверхности нет (царапины $<0,01 \text{ мм} \pm 0,001 \text{ мм}$).

Система измерения:

Точность микроскопа: $0,001 \text{ мм} \pm 0,0001 \text{ мм}$.

Условия окружающей среды:

Температура: $20-25^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$.

Влажность: $40\%-60\% \pm 5\%$ относительной влажности.

6 Процедура калибровки

Подготовка образца:

Поверхность твердомерного блока отполировали до $Ra \leq 0,2 \text{ мкм} \pm 0,02 \text{ мкм}$, очистили этанолом и высушили.

Измерение твердости:

Выберите нагрузку: 5 кгс, 10 кгс, 30 кгс $\pm 0,1 \text{ кгс}$ (в соответствии с диапазоном твердости).

Измерьте 10 точек, расстояние между которыми должно быть ≥ 3 длины диагонали, и время выдержки $10-15 \text{ с} \pm 1 \text{ с}$.

Проверка однородности:

Рассчитайте среднее значение и стандартное отклонение значений твердости в 10 точках с отклонением $< \pm 3\% \pm 0,5\%$.

Оценка неопределенности:

Включая погрешность твердомера, погрешность измерительной системы и влияние окружающей среды.

Неопределенность $\leq \pm 10 \text{ HV} \pm 1 \text{ HV}$.

проверить:

По сравнению с результатами национальных метрологических институтов или референтных лабораторий отклонение составляет $< \pm 2\% \pm 0,5\%$.

7 Факторов Влияния

Качество поверхности: $Ra > 0,2 \text{ мкм} \pm 0,02 \text{ мкм}$, что обеспечивает низкую твердость ($> 3\% \pm 0,5\%$).

Температура окружающей среды: $> \pm 1^\circ\text{C}$ влияет на точность измерения индентирования.

Состояние твердомера: ошибка нагрузки $> \pm 1\% \pm 0,1\%$ или дефект индентора влияют на результат.

8 результатов Выражение

Значение твердости: выражается в HV, сохраняется целое число, например $\text{HV } 1800 \pm 10$.

Однородность: выражается как максимальное отклонение, например $\pm 20 \text{ HV} \pm 1 \text{ HV}$.

Неопределенность: выражается в HV, например $\pm 8 \text{ HV} \pm 1 \text{ HV}$.

9 Сертификат калибровки

Номер твердости, значение твердости и неопределенность.

Данные по однородности и распределению точек измерения.

Условия калибровки (нагрузка, окружающая среда).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Стандартный номер (GB/T 4340.3-2017).

Дата калибровки, срок годности и подпись оператора.

Приложение А (Информационное приложение) Типичные значения стандартных мер твердости

HV 200±5: Мягкая сталь.

HV 800±10: Закаленная сталь.

HV 1800±20: Твердый сплав.

Приложение В (Нормативное приложение) Цикл калибровки и техническое обслуживание

Цикл калибровки: один раз в год или после 500 использований.

Техническое обслуживание: Избегайте появления царапин на поверхности твердосплавного блока и храните его в сухом месте (влажность <math> < 50\% \pm 5\% </math> относительной влажности).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Приложение :

Глубоководные уплотнения и клапаны из карбида никеля

Цементированный карбид на основе никеля (WC + Ni) стал основным материалом для глубоководных уплотнений, уплотнений и глубоководных клапанов благодаря своей превосходной коррозионной стойкости, износостойкости, высокой прочности (2,0-2,8 ГПа) и высокой температурной стабильности (>1000°C). Он широко используется в глубоководной добыче нефти и газа, глубоководных клапанных системах и оборудовании высокого давления (например, 15 000-20 000 фунтов на кв. дюйм). Эти компоненты должны выдерживать экстремальные условия (от 50 °C до 200 °C, H₂S, CO₂, коррозия в морской воде), соответствовать стандартам NACE MR0175 и отвечать требованиям пористости (<0,01%), твердости (1400–2200 HV) и уплотнительных свойств (скорость утечки <10⁻⁶). В этой статье объединены национальные стандарты (такие как GB/T 183762014, GB/T 38502015) и отраслевые практики, чтобы подробно представить процесс спекания, эксплуатационные характеристики, применение и рекомендации по выбору глубоководных уплотнений и клапанов из цементированного карбида на основе никеля.

1. Процесс спекания в печи карбида вольфрама на основе никеля

Глубоководные уплотнения и клапаны из никелевого цементированного карбида должны быть подготовлены путем высокотемпературного спекания. Типы печей для спекания включают вакуумную печь спекания, печь для спекания с горячим изостатическим прессованием (HIP) и печь для спекания в атмосфере. Параметры процесса оптимизированы для глубоководной среды.

1.1 Типы печей для спекания и параметры процесса

Вакуумная печь для спекания:

Применение: Изготовление уплотнительных колец сложной формы (например, Ø 5200 мм) и деталей клапанов (например, седел клапанов Ø 50500 мм).

Параметры процесса:

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 10-10-Па, поддержание тепла в течение 24 часов.

Охлаждение: 1015°C/мин (принудительное охлаждение Ar), до 100°C.

Свойства: плотность 14,514,9 г/ см³, твердость 14002000 HV, пористость <0,01%.

Печь горячего изостатического прессования (ГИП):

Применение: Для изготовления высокопроизводительных уплотнений и клапанов (например, сердечников клапанов высокого давления) и устранения микропор.

Параметры процесса:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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 (Ar высокого давления) до 200°C.

Свойства: плотность >99,9% (14,815,0 г/см³), твердость 18002200 HV, прочность 2,22,8 ГПа .

Атмосферная спекательная печь:

Применение: Массовое производство уплотнений (например, уплотнительных колец) и компонентов клапанов (например, корпусов клапанов).

Параметры процесса:

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 >99% (14,514,8 г/см³), твердость 14001800 HV, отклонение размеров ±0,10,5 мм.

1.2 Оптимизация процесса

Регулирование температуры: алгоритм ПИД+ИИ, точность ±3°C, однородность ±5°C, снижение термической нагрузки на 30%.

Депарафинизация: вакуум + комбинация H₂, остаточный углерод <0,05%, чтобы предотвратить окисление фазы Ni.

ГИП: 1350°C, 120 МПа, выдержка 2 часа, увеличение плотности на 0,5%, сокращение цикла на 20%.

Атмосфера: чистота H₂ >99,999%, O₂ <5 ppm, скорость окисления снижена на 50%.

2. Эксплуатационные характеристики глубоководных уплотнений из никелевого карбида вольфрама

По сравнению с цементированным карбидом на основе кобальта (WC + Co) , цементированный карбид на основе никеля (WC + Ni, содержание Ni 615%) обладает более высокой устойчивостью к коррозии в морской воде и H₂S/CO₂ и отвечает требованиям экстремальных глубоководных условий.

2.1 Свойства материала

Состав: WC (85–94%), Ni (615%), следы Cr/Mo (повышенная коррозионная стойкость).

Плотность: 14,515,0 г/см³ (GB /T 38502015), отклонение ±0,05 г/см³ .

Твердость: 1400-2200 HV (GB/T 79972017), отклонение ±3050 HV.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Прочность: прочность на изгиб 2,02,8 ГПа (GB/T 38512015).

Пористость: <0,01% (вакуум/атмосфера), <0,001% (HIP, GB/T 51692013).

Коррозионная стойкость: устойчив к H₂S (>1000 ppm), CO₂, морской воде (pH 39), в соответствии с NACE MR0175.

2.2 Эффективность уплотнения

Скорость утечки: <10⁻⁶ мбар·л /с (испытание гелием, 15 000 фунтов на кв. дюйм).

Диапазон давления: от вакуума до 20 000 фунтов на кв. дюйм (138 МПа).

Диапазон температур: от 50°C до 200°C (типичные условия глубоководья).

Обработка поверхности: гальваническое покрытие Ni/Cr или покрытие PTFE, коэффициент трения снижен на 20%, износостойкость повышена на 30%.

Динамическое уплотнение: выдерживает небольшие динамические движения (подключение/отключение), срок службы >1000 подключений.

2.3 Типичный

Уплотнительное кольцо: Ø 5200 мм, степень сжатия 1520%, самоармирующееся уплотнение. Уплотнение типа C: высокая упругость пружины, подходит для динамического уплотнения при высоком давлении.

Уплотнительная поверхность клапана: седло клапана/сердечник клапана, шероховатость поверхности Ra 0,20,4 мкм, устойчива к эрозии.

Рекомендация: глубоководные уплотнения и уплотнительные кольца из цементированного карбида на основе никеля, производимые CTIA GROUP LTD, изготавливаются с применением передовой технологии спекания HIP, что обеспечивает высокую плотность (>99,9%) и отличную коррозионную стойкость для удовлетворения потребностей глубоководной добычи нефти и газа.

3. Эксплуатационные характеристики глубоководного клапана из никелевого цементированного карбида

В клапанах глубоководного применения (таких как задвижки и шаровые краны) для изготовления седел клапанов, сердечников клапанов и уплотнительных поверхностей используется цементированный карбид на основе никеля, способный выдерживать высокое давление (15 000–20 000 фунтов на кв. дюйм), коррозионные жидкости (морская вода, H₂S) и частое переключение (>10 000 раз).

3.1 Характеристики компонентов клапана

Материал: WC+Ni (Ni 812%), спекание HIP, плотность>99,9%.

Твердость: 1800-2200 HV, износостойкость лучше, чем у сплава стеллита.

Прочность: 2,22,8 ГПа, высокая ударная вязкость, вязкость разрушения K_{1C} 1012 МПа·м^{1/2} /

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.

Коррозионная стойкость: устойчив к морской воде, H₂S (>1000 ppm) и CO₂, лучше, чем Inconel 625.

Поверхность: зеркально полированная (Ra <0,2 мкм), покрытие PTFE/Ni, коэффициент трения <0,1.

3.2 Характеристики клапана

Давление: 15 000–20 000 фунтов на кв. дюйм в соответствии со стандартами API 6A.

Температура: от 50°C до 200°C, устойчив к низкотемпературной хрупкости.

Скорость утечки: <10⁻⁶ мбар·л/с (уплотнение седла/сердечника).

Срок службы: переключений >10 000 раз, период технического обслуживания >5 лет.

типично:

Седло клапана: твердосплавное покрытие на основе никеля, толщина 25 мм, устойчивое к эрозии.

Сердечник клапана: цельное горячеизогипсовое спекание, точность размеров ±0,01 мм.

Уплотнительная поверхность: металлическое уплотнение типа C или E, упругая деформация 15–20%.

Рекомендация: компоненты глубоководной арматуры из никелевого цементированного карбида, производимые CTIA GROUP LTD, изготовлены методом вакуумного спекания и горячего изостатического прессования, соответствуют стандартам API 6A и NACE MR0175 и подходят для систем глубоководной арматуры высокого давления.

4. Сценарии применения

Глубоководные тюлени:

Применение: Гидравлические муфты и трубные соединители для глубоководной добычи нефти и газа (15 000 фунтов на кв. дюйм, от 50°C до 150°C).

Производительность: Плотность 14,815,0 г/см³, твердость 18002200 HV, скорость утечки <10⁻⁶ мбар·л/с.

Пример: уплотнительное кольцо (Ø 50 мм), спекание методом горячего изостатического прессования, 1400°C, 120 МПа, 4 часа, пористость <0,001%, стойкость к H₂S 1000 ppm, срок службы >1000 соединений.

Глубоководные клапаны:

Сценарий: Глубоководные фонтанные арматуры, дроссельные клапаны, задвижки (20 000 фунтов на кв. дюйм, среда H₂S/CO₂).

Эксплуатационные характеристики: твердость седла 2000 HV, прочность 2,5 ГПа, ресурс переключения >10 000 раз.

Корпус: Седло шарового клапана (Ø 100 мм), спекание методом горячего изостатического прессования, 1350°C, 150 МПа, 3 часа, плотность 14,9 г/см³, стойкость к коррозии в морской воде, срок службы 5 лет.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5. Рекомендации по выбору компонентов глубоководной арматуры из никелевого карбида вольфрама

В зависимости от среды применения:

Глубоководная гидравлическая муфта (высокодинамическое уплотнение):

Рекомендовано: С-образное кольцо, спеченное методом горячего изостатического прессования, содержание никеля 10–12%, покрытие ПТФЭ.

Причина: Высокий отскок пружины, скорость утечки $<10^{-6}$ мбар·л / с, срок службы >1000 раз.

Глубоководные клапаны (высокого давления, коррозионностойкие):

Рекомендуется: седло клапана/сердечник клапана, спеченные методом горячего изостатического прессования, содержание никеля 812%, зеркальная полировка.

Причина: Плотность $>99,9\%$, устойчивость к H_2S/CO_2 , переключение $>10\,000$ раз.

В соответствии с требованиями к производительности:

Высокая точность ($\pm 0,01$ мм): вакуумное спекание + ГИП, отклонение усадки $\leq \pm 0,5\%$.

Высокая коррозионная стойкость: содержание Ni 10–15%, следовые добавки Cr/Mo, устойчивость к морской воде в течение 10 лет.

Низкая утечка: спекание методом горячего изостатического прессования, шероховатость поверхности $Ra < 0,2$ мкм, покрытие Ni/PTFE.

Согласно смете расходов:

Низкая стоимость: печь для спекания в атмосфере, 0,8 кВтч/кг, подходит для больших объемов уплотнений.

Высокая производительность: печь для спекания НР, 2 кВтч/кг, подходит для деталей, критически важных для клапанов.

Выбор печи для спекания:

Малые и средние партии (<50 кг/печь): Однокамерная вакуумная печь для спекания с высокой гибкостью.

Большие партии (>200 кг/печь): Многокамерная вакуумная/атмосферная печь для спекания, снижение затрат на 20%.

Высокая производительность: печь для спекания НР, плотность $>99,9\%$, пористость $<0,001\%$.

6. Предложения по оптимизации

Процесс спекания:

Регулировка температуры: $\pm 3^\circ C$, однородность $\pm 5^\circ C$, консистенция продукта увеличена на 10%.

Депарафинизация: вакуум (10^{-2} Па) + H_2 (10 л/мин), остаточный углерод $<0,05\%$.

ГИП: $1350^\circ C$, 120 МПа, 2 часа, увеличение прочности на 15%.

Материал:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Содержание Ni: 1012%, баланс твёрдости и коррозионной стойкости.

Покрытие: Ni/PTFE, коэффициент трения снижен на 20%, износостойкость повышена на 30%.

Микроэлементы: Cr/Mo 0,52%, устойчивость к H₂S увеличена на 25%.

Техническое обслуживание оборудования:

Онлайн-мониторинг: мониторинг температуры, давления и O₂ в режиме реального времени, снижение частоты отказов на 20%.

Проверка компонентов: нагревательные элементы из молибдена/вольфрама следует обслуживать каждые 4000 часов, при этом срок их службы увеличится на 25%.

7. Стандарты

GB/T 345052017: Точность размеров $\pm 0,01$ мм.

GB/T 183762014: Пористость $< 0,01\%$.

GB/T 38502015: Плотность $> 99\%$.

GB/T 51692013: Пористость A02B00C00.

GB/T 38512015: Прочность 2,0-2,8 ГПа .

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

NACE MR 0175: Устойчив к коррозии H₂S/CO₂.

API 6A: давление глубоководного клапана 15 000–20 000 фунтов на кв. дюйм.

8. Заключение

Уплотнения и клапаны из никелевого карбида вольфрама для глубоководных работ широко используются благодаря высокой плотности ($> 99,9\%$), твердости (1400-2200 HV), коррозионной стойкости (устойчивость к H₂S/CO₂/морской воде) и низкой скорости утечки ($< 10^{-6}$ мбар·л / с), что соответствует экстремальным требованиям добычи нефти и газа на больших глубинах. Вакуумные печи для спекания, печи для спекания НР и печи для спекания в атмосфере подходят для высокоточного, высокопроизводительного и массового производства соответственно. Оптимизация параметров процесса (например, 1350 °C, 120 МПа, H₂O₂ < 5 ppm) значительно улучшает эксплуатационные характеристики продукции. CTIA GROUP LTD использует передовую технологию спекания при производстве уплотнений, уплотнительных колец и клапанов из никелевого карбида вольфрама для глубоководных работ, обеспечивая высоконадежные решения для содействия глубоководной инженерии.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Приложение :

Корпус и уплотнения химического насоса из карбида на основе никеля

Цементированный карбид на основе никеля (WC + Ni) является идеальным материалом для корпусов химических насосов, уплотнений и уплотнений благодаря своей превосходной коррозионной стойкости, износостойкости, высокой прочности (2,0-2,8 ГПа) и высокой температурной стабильности (>1000 °C). Он широко используется в химической, нефтяной и фармацевтической промышленности для работы с едкими жидкостями (такими как кислоты, щелочи и солевые растворы), высокими температурами (50-300 °C) и высокими давлениями (500-5000 фунтов на кв. дюйм). Эти компоненты должны соответствовать строгим требованиям к эксплуатационным характеристикам, включая твердость (1400-2200 HV), пористость (<0,01%), эффективность уплотнения (скорость утечки <10⁻⁶ мбар·л / с) и коррозионную стойкость (в соответствии с NACE MR0175). В данной статье объединены национальные стандарты (такие как GB/T 183762014, GB/T 38502015) и отраслевая практика, чтобы подробно представить процесс спекания, эксплуатационные характеристики, применение и рекомендации по выбору корпусов и уплотнений химических насосов из цементированного карбида на основе никеля.

1. Процесс спекания в печи карбида вольфрама на основе никеля

Корпуса и уплотнения химических насосов из цементированного карбида на основе никеля изготавливаются методом высокотемпературного спекания. Печи для спекания включают вакуумные печи спекания, печи спекания горячего изостатического прессования (HIP) и печи спекания в атмосфере. Параметры процесса оптимизированы для химически агрессивных

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

сред.

1.1 Типы печей для спекания и параметры процесса

Вакуумная печь для спекания:

Применение: Изготовление прецизионных уплотнений (например, Ø 5150 мм) и деталей насосов (например, рабочее колесо Ø 50300 мм).

Параметры процесса:

200–600 °С, скорость нагрева 25 °С/мин, степень вакуума 10^{-2} Па, расход H₂ 515 л/мин, 24 часа, степень депарафинизации >99,5%.

Спекание: 1350-1450°С, скорость нагрева 510°С/мин, степень вакуума 10-10-Па, поддержание тепла в течение 24 часов.

Охлаждение: 1015°С/мин (принудительное охлаждение Ar), до 100°С.

Свойства: плотность 14,514,9 г/ см³, твердость 14002000 HV, пористость <0,01%.

Печь горячего изостатического прессования (ГИП):

Применение: Изготовление высокопроизводительных уплотнений и корпусов насосов (например, корпус насоса Ø 100-500 мм), устранение микропор.

Параметры процесса:

Спекание: 1350-1450°С, скорость нагрева 58°С/мин, давление 100-150 МПа (Ar), выдержка в тепле 13 часов.

Последующая обработка: 1300-1350°С, 80-100 МПа, 12 часов, пористость снижается до <0,001%.

Охлаждение: 1520°С/мин (Ar высокого давления) до 200°С.

Свойства: плотность>99,9% (14,815,0 г/см³), твердость 18002200 HV, прочность 2,22,8 ГПа .

Атмосферная спекательная печь:

Применение: Массовое производство уплотнений (например, механических уплотнений) и деталей насосов (например, втулок).

Параметры процесса:

Депарафинизация: 200-500°С, скорость нагрева 35°С/мин, поток H₂ 2050 л/мин, O₂ <10 ppm, 35 часов.

Спекание: 1300-1400°С, скорость нагрева 510°С/мин, атмосфера H₂/ Ar , поддержание тепла в течение 35 часов.

Охлаждение: 510°С/мин (защита N₂), до 100°С.

Свойства: плотность>99% (14,514,8 г/см³), твердость 14001800 HV, отклонение размеров ±0,10,5 мм.

1.2 Оптимизация процесса

Регулирование температуры: алгоритм ПИД+ИИ, точность ±3°С, однородность ±5°С, снижение термической нагрузки на 30%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Депарафинизация: вакуум + комбинация H₂, остаточный углерод <0,05%, чтобы предотвратить окисление фазы Ni.

ГИП: 1350°C, 120 МПа, выдержка 2 часа, увеличение плотности на 0,5%, сокращение цикла на 20%.

Атмосфера: чистота H₂ >99,999%, O₂ <5 ppm, скорость окисления снижена на 50%.

2. Эксплуатационные характеристики корпуса химического насоса из никелевого цементированного карбида

Корпуса химических насосов (например, корпуса центробежных насосов, рабочие колеса и втулки) изготавливаются из никелевого цементированного карбида, способного выдерживать воздействие агрессивных жидкостей (например, серной и соляной кислот) и абразивных частиц (содержание твердых частиц <20%).

2.1 Свойства материала

Состав: WC (85–94%), Ni (615%), Cr/Mo (0,52%) повышает коррозионную стойкость.

Плотность: 14,515,0 г/см³ (GB/T 38502015), отклонение ±0,05 г/см³.

Твердость: 1400-2200 HV (GB/T 79972017), отклонение ±3050 HV.

Прочность: прочность на изгиб 2,02,8 ГПа (GB/T 38512015).

Пористость: <0,01% (вакуум/атмосфера), <0,001% (HIP, GB/T 51692013).

Коррозионная стойкость: устойчив к серной кислоте (50%), соляной кислоте (30%), NaOH (40%), в соответствии с NACE MR0175.

2.2 Производительность насоса

Давление: 500-5000 фунтов на кв. дюйм, подходит для химических насосов среднего и высокого давления.

Температура: 50-300°C, устойчив к воздействию высокотемпературных жидкостей.

Износостойкость: потеря на износ <0,05 мм³/ч (ASTM G65), лучше, чем у нержавеющей стали 316L.

Обработка поверхности: гальваническое покрытие Ni/Cr или DLC-покрытие, коэффициент трения снижен на 20%, износостойкость повышена на 30%.

Срок службы: непрерывная работа >10 000 часов, цикл технического обслуживания >2 лет.

2.3 Типичный

Корпус насоса: Ø 100500 мм, толщина стенки 520 мм, спеченный методом горячего прессования, устойчивый к высокому давлению.

Рабочее колесо: Ø 50300 мм, сложная криволинейная поверхность, точность ±0,05 мм.

Втулка: Ø 20100 мм, поверхность Ra < 0,4 мкм, износостойкая.

Рекомендация: Корпус химического насоса из никелевого цементированного карбида,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

производимый CTIA GROUP LTD, изготавливается методом горячего изостатического прессования, что обеспечивает высокую плотность (>99,9%) и отличную коррозионную стойкость, что соответствует строгим требованиям химической промышленности.

3. Эксплуатационные характеристики уплотнений на основе никеля и карбида

Уплотнения (такие как механические уплотнительные кольца и уплотнительные кольца круглого сечения) используются для динамической и статической герметизации химических насосов с целью предотвращения утечки агрессивных жидкостей.

3.1 Свойства материала

Материал: WC+Ni (Ni 812%), спекание HIP, плотность>99,9%.

Твердость: 1800-2200 HV, износостойкость лучше, чем у SiC .

Прочность: 2,22,8 ГПа , вязкость разрушения K_{IC} 1012 МПа·м^{1/2} .

Коррозионная стойкость: лучше, чем у карбида кремния, по стойкости к кислотам, щелочам и солевым растворам.

Поверхность: зеркальная полировка (Ra <0,2 мкм) , покрытие PTFE/DLC, коэффициент трения <0,1.

3.2 Эффективность уплотнения

Скорость утечки: <10⁻⁶ мбар·л /с (испытание гелием, 3000 фунтов на кв. дюйм).

Давление: от вакуума до 5000 фунтов на кв. дюйм.

Температура: 50-300°C, устойчив к воздействию высокотемпературных жидкостей.

Динамическое уплотнение: скорость 1000-5000 об/мин, срок службы >5000 часов.

Статическое уплотнение: степень сжатия 1520%, срок службы >10 000 часов.

3.3 Типичный

Механическое уплотнительное кольцо: Ø 10150 мм, плоскостность <0,001 мм, устойчиво к высокому давлению.

Уплотнительное кольцо: Ø 5100 мм, самоармирующееся уплотнение, устойчивое к коррозии.

Сильфонный уплотнитель: Высокая эластичность, подходит для динамического уплотнения.

Рекомендация: Уплотнения и уплотнительные кольца на основе никеля, производимые компанией CTIA GROUP LTD, изготавливаются с использованием технологии вакуумного спекания и горячего изостатического прессования для соответствия требованиям по высокой коррозионной стойкости и малой утечке химических насосов.

4. Сценарии применения

Корпус химического насоса:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Сценарий: Транспортировка серной кислоты (50%), соляной кислоты (30%) или жидкостей, содержащих частицы (твердые частицы <20%), например, на заводах по производству удобрений и нефтеперерабатывающих заводах.

Характеристики: Плотность 14,815,0 г/см³, твердость 18002200 HV, срок службы >10 000 часов.

Корпус: Корпус центробежного насоса (Ø 200 мм), спекание методом горячего изостатического прессования, 1400°C, 120 МПа, 4 часа, пористость <0,001%, стойкость к серной кислоте, 12 000 часов работы.

Уплотнения:

Сценарий: Механические уплотнения химических насосов, трубные соединения (3000 фунтов на кв. дюйм, 100-200 °C).

Эксплуатационные характеристики: твердость 2000 HV, скорость утечки <10⁻⁶ мбар·л /с, динамический срок службы >5000 часов.

Пример: Механическое уплотнительное кольцо (Ø 50 мм), спекание методом горячего изостатического прессования, 1350°C, 150 МПа, 3 часа, плотность 14,9 г/см³, стойкость к NaOH 40%, срок службы 6000 часов.

5. Рекомендации по выбору

В зависимости от среды применения:

Коррозионные жидкости (кислоты/щелочи):

Рекомендовано: корпус насоса/уплотнительные кольца, изготовленные методом горячего изостатического прессования, содержание никеля 10–12%, покрытие DLC.

Причина: Устойчив к серной/соляной кислоте, срок службы >10 000 часов.

Абразивные жидкости (содержащие частицы):

Рекомендуется: рабочее колесо/втулка, спеченные методом горячего изостатического прессования, Ni 812%, твердость 2000 HV.

Причина: Скорость износа <0,05 мм³/ч, стойкость к истиранию.

В соответствии с требованиями к производительности:

Высокая точность (±0,05 мм): вакуумное спекание + ГИП, отклонение усадки <±0,5%.

Высокая коррозионная стойкость: Ni 10–15%, Cr/Mo 0,52%, устойчивость к кислотам и щелочам в течение 5 лет.

Низкая утечка: спекание методом горячего изостатического прессования, Ra < 0,2 мкм, покрытие PTFE/DLC.

Согласно смете расходов:

Низкая стоимость: печь для спекания в атмосфере, 0,8 кВтч/кг, подходит для больших объемов уплотнений.

Высокая производительность: печь для спекания НР, 2 кВтч/кг, подходит для ключевых деталей насосов.

Выбор печи для спекания:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Малые и средние партии (<50 кг/печь): Однокамерная вакуумная печь для спекания с высокой гибкостью.

Большие партии (>200 кг/печь): Многокамерная вакуумная/атмосферная печь для спекания, снижение затрат на 20%.

Высокая производительность: печь для спекания HIP, плотность >99,9%, пористость <0,001%.

6. Предложения по оптимизации

Процесс спекания:

Регулировка температуры: $\pm 3^{\circ}\text{C}$, однородность $\pm 5^{\circ}\text{C}$, консистенция увеличена на 10%.

Депарафинизация: вакуум (10^{-2} Па) + H_2 (10 л/мин), остаточный углерод <0,05%.

ГИП: 1350°C , 120 МПа, 2 часа, прочность увеличилась на 15%.

Материал:

Содержание Ni: 1012%, баланс твёрдости и коррозионной стойкости.

Покрытие: PTFE/DLC, коэффициент трения снижен на 20%, износостойкость увеличена на 30%.

Микроэлементы: Cr/Mo 0,52%, устойчивость к кислотам и щелочам повышена на 25%.

Техническое обслуживание оборудования:

Онлайн-мониторинг: мониторинг температуры, давления и O_2 в режиме реального времени, снижение частоты отказов на 20%.

Проверка компонентов: нагревательные элементы из молибдена/вольфрама следует обслуживать каждые 4000 часов, при этом срок их службы увеличится на 25%.

7. Стандарты

GB/T 345052017: Точность размеров $\pm 0,05$ мм.

GB/T 183762014: Пористость <0,01%.

GB/T 38502015: Плотность >99%.

GB/T 51692013: Пористость A02B00C00.

GB/T 38512015: Прочность 2,0-2,8 ГПа .

GB/T 7997-2017: Твёрдость 1400–2200 HV.

NACE MR0175: Устойчивость к кислотной и щелочной коррозии.

API 610: Требования к производительности химических насосов.

8. Заключение

Корпуса и уплотнения химических насосов из цементированного карбида на основе никеля характеризуются высокой плотностью (>99,9%), твердостью (1400-2200 HV), коррозионной стойкостью (стойкостью к кислотам, щелочам/солевым растворам) и низкой скоростью утечки ($<10^{-6}$ мбар·л / с), что соответствует строгим требованиям химической промышленности. Вакуумные печи спекания, печи спекания HIP и печи спекания в атмосфере подходят для высокоточного, высокопроизводительного и массового производства

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

соответственно. Оптимизированные процессы (такие как 1350 °C, 120 МПа, H₂O₂ <5 ppm) значительно улучшают эксплуатационные характеристики продукции. CTIA GROUP LTD использует передовую технологию спекания при производстве уплотнений, уплотнительных колец и корпусов химических насосов из цементированного карбида на основе никеля, предлагая высоконадежные решения, помогающие химическому оборудованию работать эффективно.

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