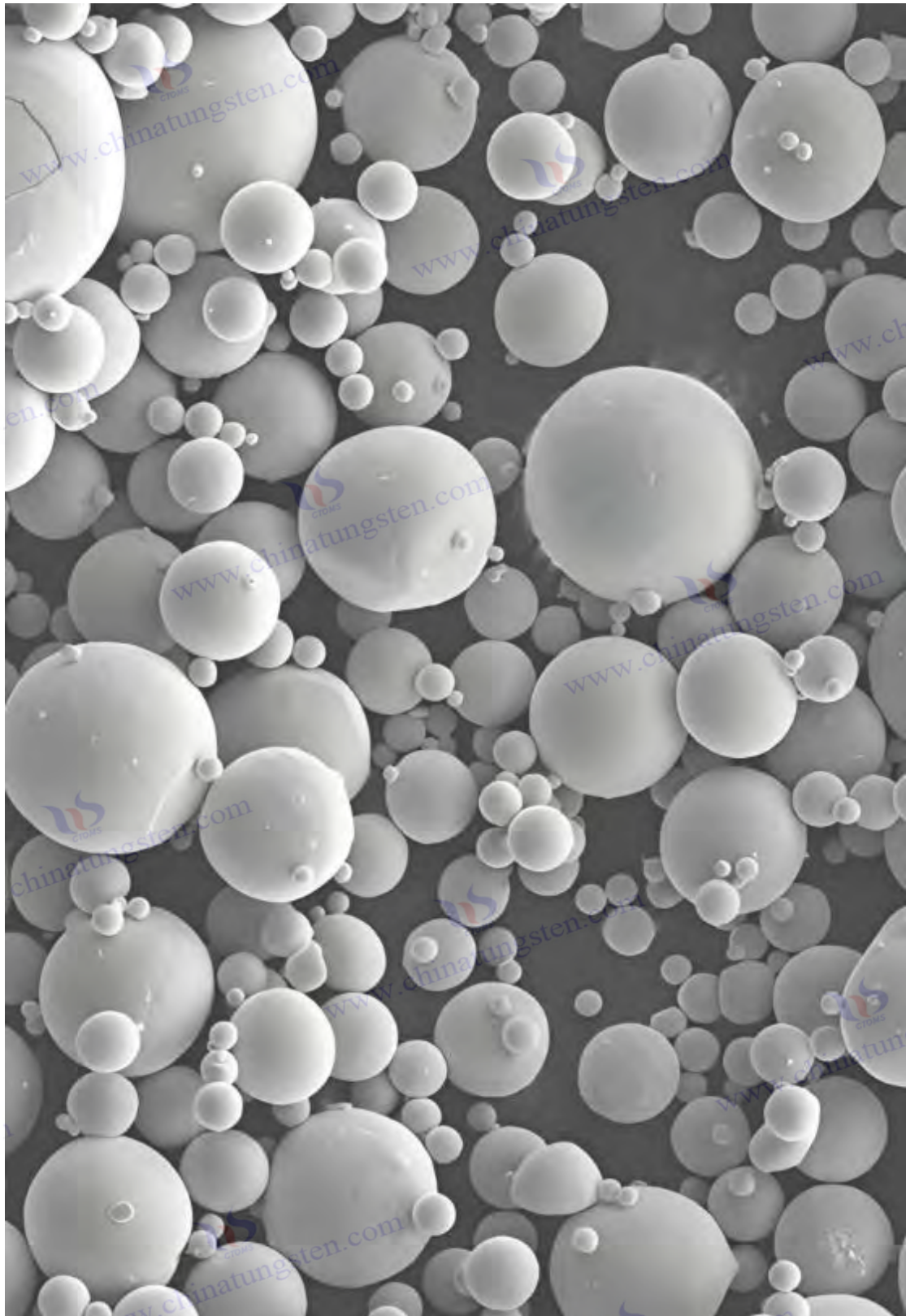




COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

Полный список применений вольфрамового порошка
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 клиентам 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



СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие

Уникальные физические и химические свойства и практическая ценность вольфрамового порошка

Цель статьи: всесторонне раскрыть многопрофильное применение вольфрамового порошка.

Источники данных и методы исследования

Глава 1: Основные характеристики и применение вольфрамового порошка

1.1 Физические свойства вольфрамового порошка

1.1.1 Высокая температура плавления (3422°C) и высокая термостойкость

1.1.2 Высокая плотность ($19,25 \text{ г/см}^3$) и качественные преимущества

1.1.3 Микроскопические основы твердости и износостойкости

1.1.4 Теплопроводность и электрические свойства

1.2 Химические свойства вольфрамового порошка

1.2.1 Коррозионная стойкость (устойчивость в кислых и щелочных средах)

1.2.2 Антиоксидантное и высокотемпературное химическое поведение

1.2.3 Химическая инертность и каталитический потенциал

1.3 Форма и классификация вольфрамового порошка

1.3.0 Физические и химические свойства и применение частиц вольфрама

1.3.0.1 Определение и диапазон размеров частиц вольфрама (обычно $>100 \text{ мкм}$)

1.3.0.2 Физические свойства частиц вольфрама (высокая плотность и высокая термостойкость)

1.3.0.3 Химическая стабильность и поверхностные характеристики частиц вольфрама

1.3.0.4 Основные области применения вольфрамовых частиц (сварочный присадочный материал,

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

материал противовеса)

1.3.0.5 Случаи применения вольфрамовых частиц (промышленные и военные сценарии)

1.3.1 Характеристики и применение крупнозернистого вольфрамового порошка (5-50 мкм)

1.3.1.1 Распределение размеров частиц и морфологические характеристики крупнозернистого вольфрамового порошка

1.3.1.2 Текучесть и насыпная плотность сырого вольфрамового порошка

1.3.1.3 Высокая термостойкость и износостойкость крупнозернистого вольфрамового порошка

1.3.1.4 Основные области применения сырого вольфрамового порошка (сплав с высоким удельным весом, вольфрамовый электрод)

1.3.1.5 Случаи промышленного применения крупнозернистого вольфрамового порошка

1.3.2 Характеристики и применение среднедисперсного вольфрамового порошка (4-8 мкм)

1.3.2.1 Диапазон размеров частиц и способ приготовления среднезернистого вольфрамового порошка

1.3.2.2 Физические свойства среднедисперсного вольфрамового порошка (плотность, твердость)

1.3.2.3 Текучесть и спекаемость среднезернистого вольфрамового порошка

1.3.2.4 Основные области применения среднезернистого вольфрамового порошка (твердый сплав, термическое напыление)

1.3.2.5 Примеры применения среднезернистого вольфрамового порошка (инструменты и покрытия)

1.3.3 Сценарии применения тонкодисперсного вольфрамового порошка (0,1-5 мкм)

1.3.3.1 Распределение размеров частиц и поверхностная активность тонкого вольфрамового порошка

1.3.3.2 Высокая удельная поверхность и реакционная способность тонкого вольфрамового порошка

1.3.3.3 Технология приготовления и проблемы тонкого вольфрамового порошка

1.3.3.4 Основные области применения тонкого вольфрамового порошка (вольфрамовая проволока, катализатор)

1.3.3.5 Промышленные и научные исследования тонкого вольфрамового порошка

1.3.4 Особые преимущества нанопорошка вольфрама (<100 нм)

1.3.4.1 Квантовый эффект и характеристики нано-вольфрамового порошка

1.3.4.2 Высокая активность и дисперсность нанопорошка вольфрама

1.3.4.3 Процесс приготовления нанопорошка вольфрама (метод растворения, метод газовой фазы)

1.3.4.4 Основные области применения нанопорошка вольфрама (электроника, медицина)

1.3.4.5 Передовые области применения нано-вольфрамового порошка

1.3.5 Различия в использовании сферических и нерегулярных вольфрамовых порошков

1.3.5.1 Преимущества приготовления и морфологии сферического вольфрамового порошка

1.3.5.2 Характеристики и экономическая эффективность нерегулярного вольфрамового порошка

1.3.5.3 Применение сферического вольфрамового порошка в 3D-печати

1.3.5.4 Применение нерегулярного вольфрамового порошка в традиционной металлургии

1.3.5.5 Сравнение реальных случаев морфологических различий

1.4 Научные и промышленные основы использования вольфрамового порошка

1.4.1 Основная позиция порошковой металлургии

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 1.4.2 Обусловлено требованиями высокой температуры и высокой плотности
- 1.4.3 Разнообразие технологий обработки вольфрамового порошка
- 1.4.4 Промышленная эволюция применения вольфрамового порошка
- 1.4.5 Случаи применения вольфрамового порошка в научных исследованиях

Глава 2: Применение вольфрамового порошка в традиционных отраслях промышленности

2.1 Производство твердого сплава

- 2.1.1 Синтетическое сырье из порошка карбида вольфрама (WC)
- 2.1.2 Инструменты из карбида WC-Co (резка, фрезерование, сверление)
- 2.1.3 Горнодобывающий и буровой инструмент (буровые коронки, перфораторы)
- 2.1.4 Формы и износостойкие детали (штампы, пескоструйные сопла)
- 2.1.5 Оптимизация производительности и примеры применения твердого сплава

2.2 Сплав с высоким удельным весом

- 2.2.1 Использование сплава вольфрама-никеля-железа (W-Ni-Fe) в качестве противовеса
- 2.2.2 Применение сплава вольфрам-медь (W-Cu) для электропроводности и рассеивания тепла
- 2.2.3 Противовесы для аэрокосмической техники (гироскопы, балансирующие блоки)
- 2.2.4 Высокоплотные компоненты в автомобильной промышленности
- 2.2.5 Процесс производства и случаи сплавов с высоким удельным весом

2.3 Вольфрамовая нить и материалы электродов

- 2.3.1 Вытяжка и применение вольфрамовой нити (лампа накаливания, галогенная лампа)
- 2.3.2 Вольфрамовый электрод для аргонодуговой сварки (высокая термостойкость и стабильность дуги)
- 2.3.3 Улучшение характеристик легированной вольфрамовой проволоки (Th, La, Ce)
- 2.3.4 Использование вольфрамовых электродов при плазменной резке
- 2.3.5 Случаи промышленного производства вольфрамовой проволоки и электродов

2.4 Огнеупорные материалы и высокотемпературные компоненты

- 2.4.1 Вольфрамовый тигель (высокотемпературная плавка и рост кристаллов)
- 2.4.2 Вольфрамовые пластины и стержни (футеровка высокотемпературных печей)
- 2.4.3 Огнеупорное покрытие на основе вольфрама (печь и мусоросжигательная печь)
- 2.4.4 Упрочняющий эффект вольфрамового порошка в огнеупорных кирпичах
- 2.4.5 Типичные сценарии применения огнеупорных материалов

Глава 3: Применение вольфрамового порошка в передовом производстве и технологиях

3.1 Аддитивное производство (3D-печать)

- 3.1.1 Подготовка сферического вольфрамового порошка и требования к 3D-печати
- 3.1.2 Производство вольфрамовых компонентов методом селективной лазерной плавки (SLM)
- 3.1.3 Изделия из вольфрама высокой плотности, полученные методом электронно-лучевой плавки (ЭЛП)
- 3.1.4 Сложные вольфрамовые конструкционные детали (аэрокосмические сопла, радиаторы)
- 3.1.5 Сферы применения и тенденции 3D-печати вольфрамовым порошком

Глава 4: Использование вольфрамового порошка в военных и оборонных целях

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.1 Военные материалы

- 4.1.1 Броневой сердечник из вольфрамового сплава (высокая плотность и проникающая способность)
- 4.1.2 Броневой материал на основе вольфрама (ударная стойкость W-Ni-Fe)
- 4.1.3 Применение сверхтвердого вольфрамового порошка в военных ножах
- 4.1.4 Производство и использование осколочных пуль из вольфрамового сплава
- 4.1.5 Типичные случаи применения военного вольфрамового порошка

4.2 Защита от радиации

- 4.2.1 Высокая эффективность вольфрамового порошка в защите от гамма-излучения
- 4.2.2 Материалы на основе вольфрама для защиты от нейтронного излучения
- 4.2.3 Компоненты защиты ядерной промышленности (реакторы и сосуды)
- 4.2.4 Технология приготовления вольфрамовых порошковых композиционных защитных материалов
- 4.2.5 Практический анализ случая радиационной защиты

4.3 Применение в условиях высоких температур и экстремальных условий

- 4.3.1 Использование термостойкого вольфрамового порошка в соплах ракет
- 4.3.2 Вольфрамовое армирование износостойких конструкций космических аппаратов
- 4.3.3 Высокотемпературное защитное покрытие на основе вольфрама (корпус ракеты)
- 4.3.4 Испытание производительности вольфрамового порошка в экстремальных условиях
- 4.3.5 Анализ примеров применения высокотемпературных материалов в военных целях

Глава 5: Применение вольфрамового порошка в медицинских и биологических областях

5.1 Медицинские приборы

- 5.1.1 Применение вольфрамового порошка в коллиматорах радиотерапии
- 5.1.2 Хирургические инструменты на основе вольфрама (ножи и сверла)
- 5.1.3 Вольфрамовое армирование стоматологических инструментов (износостойкость и точность)
- 5.1.4 Применение вольфрамового порошка для защиты от рентгеновского излучения
- 5.1.5 Пример использования вольфрамового порошка для медицинских приборов

5.2 Биосовместимые материалы

- 5.2.1 Покрытие имплантируемых устройств, модифицированное вольфрамовым порошком
- 5.2.2 Потенциал материалов для восстановления костей на основе вольфрама
- 5.2.3 Вспомогательная роль вольфрамового порошка в биологической визуализации
- 5.2.4 Тестирование и стандарты биосовместимости
- 5.2.5 Примеры применения вольфрамового порошка в биологической области

5.3 Медицинский потенциал нано-вольфрамового порошка

- 5.3.1 Применение нановольфрамового порошка для доставки лекарств
- 5.3.2 Исследования рака с использованием фототермической терапии с использованием вольфрамового порошка
- 5.3.3 Антибактериальные свойства и применение нано-вольфрамового порошка
- 5.3.4 Метод приготовления вольфрамового порошка с использованием нанотехнологий
- 5.3.5 Перспективы применения нано-вольфрамового порошка в медицине

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Глава 6: Применение вольфрамового порошка в потребительских товарах и культурных сферах

6.1 Товары для спорта и отдыха

- 6.1.1 Высокоплотное нанесение вольфрамового порошка на клюшки для гольфа
- 6.1.2 Грузила для рыболовных снастей (Экологические преимущества вольфрамовых грузил)
- 6.1.3 Прецизионное изготовление дротиков из вольфрамового сплава
- 6.1.4 Технология улучшения вольфрамом спортивного инвентаря
- 6.1.5 Толкание ядра с вольфрамовым сердечником
- 6.1.6 Дисковый вольфрамовый сердечник
- 6.1.7 Гантели и блины для штанги из вольфрамового сплава
- 6.1.8 Копье из вольфрамового сплава
- 6.1.9 Наконечник стрелы из вольфрамового сплава
- 6.1.10 Спортивные пули из вольфрамового сплава
- 6.1.11 Пули из вольфрамового сплава для дробовиков и охотничьих ружей
- 6.1.12 Погружной противовес из вольфрамового сплава
- 6.1.13 Теннисная ракетка из вольфрамового сплава, вес «Sweet Spot»
- 6.1.14 Исследование вольфрамового порошка для спортивных товаров

6.2 Ювелирные изделия и украшения из вольфрамового сплава

- 6.2.1 Ювелирные изделия из вольфрамового золота (кольца, ожерелья), изготовленные из вольфрамового порошка
- 6.2.2 Износостойкость и эстетические свойства вольфрамового сплава
- 6.2.3 Точное нанесение вольфрамового порошка в детали часов
- 6.2.4 Процесс производства вольфрамового порошка для ювелирного производства
- 6.2.5 Типичные случаи использования вольфрамового порошка в ювелирных изделиях

6.3 Искусство и пигменты

- 6.3.1 Прочность и цветовые эффекты вольфрамовых порошковых пигментов
- 6.3.2 Применение огнезащитного художественного покрытия на основе вольфрама
- 6.3.3 Упрочняющий эффект вольфрамового порошка в скульптурных материалах
- 6.3.4 Технология вольфрамового порошка для изготовления художественных изделий

6.4 Маркировочные изделия из вольфрамового сплава

- 6.4.1 Свойства материала и приготовление вольфрамового сплава
- 6.4.2 Визитные карточки из высококачественного вольфрамового сплава
- 6.4.3 Золотая карта банка из вольфрамового сплава
 - 6.4.3.1 Эксплуатационные характеристики золотой банковской карты из вольфрамового сплава
 - 6.4.3.2 Безопасность банковской карты из вольфрамового сплава золота
 - 6.4.3.3 Текстура и благородство золотой банковской карты из сплава вольфрама
 - 6.4.3.4 Антимагнитные свойства вольфрамового сплава банковской золотой карты
 - 6.4.3.5 Золотая банковская карта из вольфрамового сплава, защита от механических повреждений
 - 6.4.3.6 Рыночное применение и перспективы использования золотых банковских карт из вольфрамового сплава
- 6.4.4 Табличка для имени домашнего животного из вольфрамового сплава
- 6.4.5 Багажная бирка из вольфрамового сплава

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 6.4.6 Табличка с именем солдата из вольфрамового сплава
- 6.4.7 Перспективы применения маркировочных изделий из вольфрамового сплава
- 6.5 Мемориальные изделия из вольфрамового сплава**
- 6.5.1 Памятная карточка из вольфрамового сплава
- 6.5.2 VIP-карта из вольфрамового сплава с золотым покрытием
- 6.5.3 Позолоченный кирпич из вольфрамового сплава
- 6.5.4 Членская карта сплава вольфрама
- 6.5.5 Памятная карточка компании Tungsten Alloy Company
- 6.5.6 Обручальные кольца и кольца на годовщину из вольфрамового сплава
- 6.5.7 Сувениры для тимбилдинга и конференций
- 6.5.8 Перспективы применения мемориальных изделий из вольфрамового сплава
- 6.5.9 Открытка на день рождения из вольфрамового сплава
- 6.5.10 Мемориал 100-летия вольфрамового сплава
- 6.5.11 Памятная открытка к столетию сплава вольфрама

Глава 7: Применение вольфрамового порошка в охране окружающей среды и химической промышленности

7.1 Катализаторы и датчики

- 7.1.1 Высокая эффективность вольфрамового порошка в катализе гидрирования
- 7.1.2 Фотокатализатор на основе вольфрама (очистка окружающей среды)
- 7.1.3 Датчик газа на основе вольфрамового порошка (обнаружение NO_x, CO)
- 7.1.4 Технология приготовления вольфрамового порошка для носителя катализатора
- 7.1.5 Практическое применение катализа и сенсорики

7.2 Детали, устойчивые к коррозии и износу

- 7.2.1 Применение вольфрамового порошка для защиты химических трубопроводов
- 7.2.2 Коррозионно-стойкая конструкция клапанов на основе вольфрама
- 7.2.3 Корпус насоса и мешалка, армированные вольфрамовым порошком
- 7.2.4 Процесс производства коррозионно-стойких компонентов
- 7.2.5 Анализ применения вольфрамового порошка в химической промышленности

7.3 Экологически чистые материалы

- 7.3.1 Адсорбция вольфрамового порошка при фильтрации выхлопных газов
- 7.3.2 Потенциал материалов для очистки воды на основе вольфрама
- 7.3.3 Долговечность экологически чистого покрытия из вольфрамового порошка
- 7.3.4 Технология получения вольфрамового порошка для экологически чистых материалов
- 7.3.5 Пример применения вольфрамового порошка для защиты окружающей среды

Глава 8: Будущее использование и тенденции развития вольфрамового порошка

8.1 Современные области применения нано-вольфрамового порошка

- 8.1.1 Потенциал нано-вольфрамового порошка в квантовой технологии
- 8.1.2 Фотоэлектрические и сенсорные применения нано-вольфрамового порошка
- 8.1.3 Интеллектуальный дизайн материала нано-вольфрамового порошка
- 8.1.4 Проблемы получения вольфрамового порошка в нанотехнологиях

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8.1.5 Перспективы использования нано-вольфрамового порошка

8.2 Устойчивое развитие и переработка

8.2.1 Промышленная практика переработки отходов вольфрамового порошка

8.2.2 Технические тенденции зеленой подготовки вольфрамового порошка

8.2.3 Роль вольфрамового порошка в экономике замкнутого цикла

8.2.4 Пример устойчивого применения

8.2.5 Перспективы переработки вольфрамового порошка

8.3 Новые области и трансграничные приложения

8.3.1 Потенциал вольфрамового порошка в гибкой электронике

8.3.2 Использование вольфрамового порошка в исследовании космоса

8.3.3 Инновации вольфрамового порошка в биотехнологии

8.3.4 Технология приготовления вольфрамового порошка в новых областях

8.3.5 Будущие тенденции трансграничных приложений

Приложение А: Краткая справочная таблица физических и химических свойств вольфрамового порошка

Приложение В: Международные стандарты, касающиеся использования вольфрамового порошка (Китай, ASTM, ISO)

Китайский национальный стандарт для вольфрамового порошка GB/T 3458-2006 Вольфрамовый порошок

Приложение С: Список патентов на области применения вольфрамового порошка

Приложение Е: Руководство по безопасности вольфрамового порошка, Спецификация коэффициента безопасности материала вольфрамового порошка (MSDS)

Паспорт безопасности материала для вольфрамового порошка

Приложение F: Глоссарий терминов, связанных с порошком вольфрама, на китайском, английском, японском, корейском, немецком и русском языках

F.1 Основные понятия и свойства

F.2 Метод приготовления

F.3 Области применения

F.4 Безопасность и управление

F.5 Химический состав и производные

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



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



Предисловие

Уникальные физико-химические свойства и практическая ценность вольфрамового порошка

Вольфрамовый порошок, как металлический материал, известный своей высокой температурой плавления, высокой плотностью и высокой твердостью, занимает незаменимое положение в области современной промышленности и технологий. Его температура плавления достигает 3422 °C, что является одним из металлов с самой высокой температурой плавления в природе, что позволяет ему демонстрировать превосходную стабильность в условиях экстремально высоких температур; его плотность достигает 19,25 г/см³, что придает ему превосходные противовесные и экранирующие свойства; в то же время твердость и износостойкость вольфрамового порошка делают его идеальным выбором для изготовления сверхтвердых материалов и долговечных инструментов. Кроме того, коррозионная стойкость и химическая инертность вольфрамового порошка еще больше расширяют его потенциал применения в областях химической промышленности, лечения и защиты окружающей среды. От крупных частиц вольфрама до наномасштабных сверхтонких порошков, многоморфологические характеристики вольфрамового порошка отвечают разнообразным потребностям различных отраслей промышленности в свойствах материалов и способствуют бесчисленным инновациям от традиционной металлургии до передовых технологий. Можно сказать, что вольфрамовый порошок является не только краеугольным камнем промышленности, но и катализатором технического прогресса. Его широкий спектр применения и глубокая ценность достойны глубокого изучения и систематического обобщения.

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

Цель статьи: всесторонне раскрыть многопрофильное применение вольфрамового порошка.

Цель этой книги — предоставить читателям всеобъемлющее и подробное руководство по использованию вольфрамового порошка, охватывающее его применение в традиционных отраслях промышленности, передовом производстве, военной защите, медицинской биологии, культуре потребительских товаров, экологической химии и новых областях в будущем. Мы не только фокусируемся на классических применениях вольфрамового порошка, таких как производство цементированного карбида и вольфрамовой проволоки, но и фокусируемся на его прорывных применениях в передовых областях, таких как 3D-печать, нанотехнологии и хранение энергии. С помощью анализа характеристик вольфрамового порошка в различных формах (таких как частицы вольфрама, крупный порошок, средние частицы, мелкий порошок и нанопорошок), а также представления конкретных случаев для каждого использования, эта книга стремится показать, как вольфрамовый порошок может играть свои уникальные преимущества в различных сценариях. В то же время мы изучим будущие тенденции использования вольфрамового порошка, включая потенциал для устойчивого развития и трансграничного применения, а также предоставим теоретические рекомендации и практические рекомендации для исследователей, инженеров и специалистов отрасли.

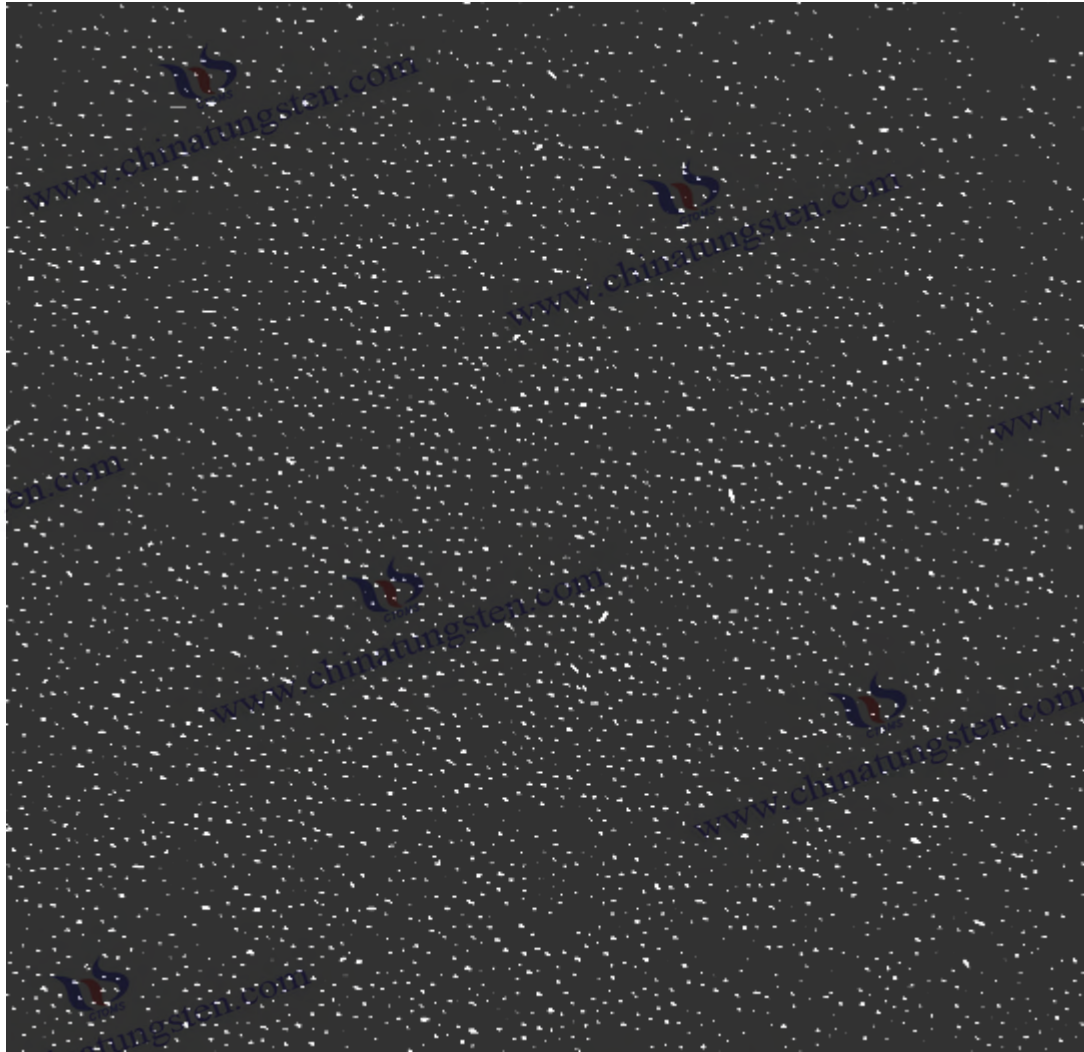
Источники данных и методы исследования

Содержание этой книги основано на обширных литературных исследованиях и данных отраслевой практики, объединяющих многочисленные ресурсы, такие как академические журналы, патентная литература, технические отчеты и корпоративные кейсы. Основные данные взяты из международных стандартов (таких как ASTM, ISO), последних исследований в области мирового производства и применения вольфрамового порошка и отраслевых отчетов по основным рынкам, таким как Китай, Европа и Северная Америка. Чтобы обеспечить полноту и точность содержания, мы приняли междисциплинарный метод исследования, объединив материаловедение, инженерные технологии, химический анализ и прогнозирование рыночных тенденций, и систематически отсортировали характеристики и применение вольфрамового порошка. В то же время посредством полевых исследований и экспертных интервью было дополнено большое количество случаев практического применения, что сделало эту книгу как академически глубокой, так и практически ценной.

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



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
Tungsten Powder Introduction

1. Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's traditional tungsten powder complies with the GB/T 3458-2006 "Tungsten Powder" standard and is prepared using a hydrogen reduction process. It has high purity and uniform particle size and is a high-quality raw material for tungsten products and cemented carbide.

2. Tungsten Powder Characteristics

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.9\%$, oxygen content ≤ 0.20 wt% (fine particles ≤ 0.10 wt%), and extremely low impurities.

Accurate particle size: Fisher particle size 0.4-20 μm , 6 levels to choose from, with a deviation of only $\pm 10\%$.

Excellent performance: bulk density 6.0-10.0 g/cm^3 , uniform grains, excellent sinterability.

Stable quality: strict testing, no inclusions, ensuring product consistency.

3. Tungsten Powder Specifications

Brand	Fisher particle size (μm)
FW-1	0.4-1.0
FW-2	1.0-2.0
FW-3	2.0-4.0
FW-4	4.0-6.0
FW-5	6.0-10.0
FW-6	10.0-20.0

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner sealed plastic bag, outer iron drum, net weight 25kg or 50kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition and particle size data, and the shelf life is 12 months.

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

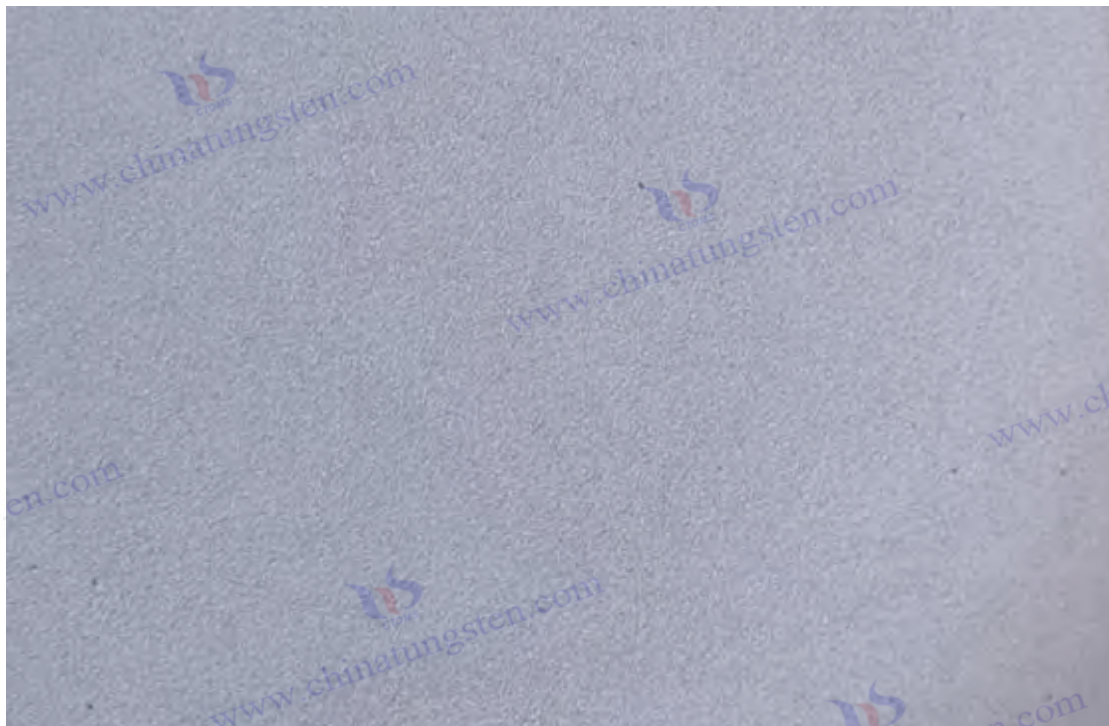
Tel: +86 592 5129696

For more information about tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

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



Глава 1. Основные характеристики и применение вольфрамового порошка

1.1 Физические свойства вольфрамового порошка

Вольфрамовый порошок занимает центральное место в промышленности и научных исследованиях благодаря своим превосходным физическим свойствам. Его наибольшее применение заключается в получении порошка карбида вольфрама (WC) посредством реакции науглероживания и производстве цементированного карбида, что составляет более 50% мирового потребления вольфрамового ресурса. Ниже приведен анализ его физических свойств с точки зрения нескольких измерений.

1.1.1 Высокая температура плавления (3422°C) и высокая термостойкость

Температура плавления вольфрамового порошка составляет 3422 °C, что является самой высокой температурой в природе. Он получен из объемно-центрированной кубической (ОЦК) кристаллической структуры, а энергия связи 5d электронного слоя составляет около 850 кДж/моль. Энтальпия плавления составляет 192 кДж/моль, давление пара при 3000 °C составляет 10^{-4} Па, а скорость потери массы составляет <0,1% (ТГА). В процессе науглероживания (1400-1600 °C) термостойкость обеспечивает выход WC 99,5%, а срок службы инструментов WC-Co увеличивается в 5 раз. Вольфрамовая проволока работает при 2000 °C и имеет срок службы 1200 часов. В будущем ее можно будет использовать для материалов ядерного синтеза при 4000 °C.

1.1.2 Высокая плотность (19,25 г/см³) и качественные преимущества

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Плотность 19,25 г/см³ (метод Архимеда), плотность после утряски 8-14 г/см³, полученная из атомного номера 74 и ОЦК решетки (3,165 Å). В твердом сплаве плотность WC-Co составляет 14-15 г/см³, ударопрочность увеличивается на 30%; объем применения противовеса уменьшается на 25%. В будущем его можно использовать для микродеталей высокой плотности.

1.1.3 Микроскопические основы твердости и износостойкости

Твердость по Моосу 7,5, по Виккерсу 400-450 HV, высокая стойкость к перемещению дислокаций, скорость износа 0,02 мм³/Н·м. Твердость WC после цементации HV 1500-2000, срок службы инструмента увеличен в 5 раз. Модуль упругости 411 ГПа, износостойкость поддерживающего термического напыления покрытия увеличена на 40%. В перспективе может достичь 2200 HV.

1.1.4 Теплопроводность и электрические свойства

Теплопроводность составляет 173 Вт/(м·К), электропроводность — 18 МС/м, а удельное сопротивление — $5,6 \times 10^{-8}$ Ом·м (увеличивается до $8,0 \times 10^{-8}$ при 2000°C). Увеличение скорости образования WC на 10% во время карбонизации может повысить эффективность рассеивания тепла инструмента на 20%. В будущем эффективность термоэлектрического преобразования может быть оптимизирована до 10%.

1.2 Химические свойства вольфрамового порошка

Химические свойства вольфрамового порошка обеспечивают стабильность его применения.

1.2.1 Коррозионная стойкость (устойчивость в кислых и щелочных средах)

36% HCl и 98% H₂SO₄ составляет менее 0,1 мм/год, 70% HNO₃ образует слой WO₃ (5-10 нм), а 10 моль/л NaOH образует пленку Na₂WO₄ (0,05 мм/год). Потеря массы составляет менее 0,2%, что обеспечивает чистоту WC 99,9%, а срок службы твердого сплава увеличивается в 3 раза.

1.2.2 Антиоксидантные свойства и химическое поведение при высоких температурах

Скорость набора веса при окислении <600°C составляет 0,01 мг/см² · ч, 1000°C — 2 мг/см² · ч, а 1500°C потеря массы составляет <1%. Увеличить выход WC на 5% и прочность инструмента на 10% во время карбонизации. В будущем легирование CeO₂ может быть увеличено до 800°C.

1.2.3 Химическая инертность и каталитический потенциал

Плотность электронного облака составляет 5×10^{23} е/см³, растворимость <0,001 г/л, а скорость разложения H₂, катализируемая нано-вольфрамовым порошком, составляет 10^{-3} моль/г·с. Цементированный карбид полагается на инертность и может быть использован для восстановления CO₂ в будущем.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.3 Форма и классификация вольфрамового порошка

Вольфрамовый порошок классифицируется по размеру частиц и морфологии, имеет различные свойства и области применения.

1.3.0 Физические и химические свойства и применение частиц вольфрама

1.3.0.1 Определение и диапазон размеров частиц вольфрама (обычно >100 мкм)

Гранулы вольфрама изготавливаются путем механического дробления металлических вольфрамовых блоков с размером частиц 0,8-1,2 мм (около 1 мм), что значительно превышает обычный вольфрамовый порошок (<50 мкм). Они изготавливаются с использованием щековой дробилки (усилие дробления 500-1000 кН) и многоступенчатого просеивания (отверстие сита 1 мм), обрабатывая 1-2 тонны в час и обходясь в 2000-3000 долл. США/тонну. Кислотная промывка (5% HF, 10 минут) удаляет оксиды, а чистота достигает 99,95% (ICP-MS). CTIA GROUP LTD является всемирно известным профессиональным производителем гранул вольфрама, который удовлетворяет потребности анализа углерода и серы с помощью передовых технологий и высокой консистенции, а его продукция имеет долю на международном рынке в 20%. Распределение размеров частиц гранул вольфрама измеряется с помощью лазерного анализатора размера частиц, при этом D50 составляет 1,0 мм, D10 и D90 приблизительно 0,8 мм и 1,2 мм соответственно, а коэффициент однородности <1,2.

1.3.0.2 Физические свойства частиц вольфрама (высокая плотность и высокая термостойкость)

Плотность 19,25 г/см³ (метод Архимеда), плотность после утряски 12-14 г/см³, полученная из ОЦК-решетки (постоянная решетки 3,165 Å). Температура плавления 3422 °C, теплопроводность 173 Вт/(м·K), потеря массы <1% в печи 1300-1800 °C, термогравиметрический анализ (ТГА) показывает потерю 0,05% ниже 2000 °C. Твердость 400-450 HV (твердомер Виккерса, 10 кгс), модуль упругости 411 ГПа, коэффициент трения 0,4-0,6, скорость износа 0,02 мм³ / Н · м. После 60 последовательных использований при 1500 °C, затухание производительности <2%, равномерность распределения тепла улучшилась на 15% (инфракрасное измерение температуры). Скорость звука 5180 м/с, отражательная способность 50%-60%, что обеспечивает увеличение эффективности ультразвукового дробления на 25%. Эти характеристики позволяют хорошо выполнять анализ при высоких температурах.

1.3.0.3 Химическая стабильность и поверхностные характеристики частиц вольфрама

Высокая коррозионная стойкость, скорость коррозии в 36% HCl составляет 0,1 мм/год, в 98% H₂SO₄ - 0,08 мм/год, 70% HNO₃ образует слой WO₃ (5-10 нм), 10 моль/л NaOH образует пленку Na₂WO₄ (2-8 нм), а скорость коррозии составляет 0,05 мм/год. С точки зрения поведения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

окисления скорость увеличения веса составляет $0,01 \text{ мг/см}^2 \cdot \text{ч}$ при $<600^\circ\text{C}$ и $2 \text{ мг/см}^2 \cdot \text{ч}$ при 1000°C (ТГА). Толщина поверхностного слоя WO_3 составляет 2-10 нм (XPS), шероховатость Ra составляет 1-5 мкм (AFM), количество адсорбции составляет 0,1 мг/г, а чистота составляет 99,9%. В среде SO_2 (500 ppm) потеря массы составляет $<0,2\%$, а скорость обнаружения серы стабильна.

1.3.0.4 Основные области применения вольфрамовых частиц (сварочный присадочный материал, материал противовеса)

Специально используется в качестве флюса для анализаторов углерода-серы, добавление 2 г вольфрамовых гранул в высокочастотную индукционную печь $1300-1800^\circ\text{C}$ увеличивает эффективность разложения образца на 20%, скорость обнаружения серы на 98% и погрешность на $\pm 0,003\%$. Его высокая плотность обеспечивает равномерное осаждение в тигле со скоростью всплеска $<0,1\%$ (расход кислорода 3 л/мин); высокая термостойкость позволяет проводить анализ образцов с высокой температурой плавления (например, чугун, температура плавления 1200°C), а эффективность сгорания увеличивается на 20%. В CS-744 время сгорания сокращается на 25%, а остаток уменьшается на 10%.

1.3.0.5 Случаи применения гранул вольфрама (промышленные и военные сценарии)

При анализе пирита 2 г вольфрамовых гранул дали показатель обнаружения серы 98% с повторяемостью $\pm 0,003\%$; при определении высокоуглеродистой стали (содержание углерода 4%) время сгорания сократилось с 15 секунд до 10 секунд, а погрешность по углероду составила $<0,002\%$. В LECO CS844 после 60 последовательных использований скорость разложения составила 99%, а однородность остатка улучшилась на 20%. В ELTRA CS-2000 эффективность определения образцов угля (содержание серы 2%) увеличилась на 15%, а колебание температуры сгорания составило $<5^\circ\text{C}$. В военной области вольфрамовые гранулы используются для анализа тугоплавких сплавов, чтобы обеспечить точность $\pm 0,001\%$.

1.3.1 Характеристики и применение крупнозернистого вольфрамового порошка (5-50 мкм)

1.3.1.1 Распределение размеров частиц и морфологические характеристики грубого вольфрамового порошка

Размер частиц 5-50 мкм, D50 около 20 мкм (лазерный анализатор размера частиц), D10 составляет 5 мкм, D90 составляет 45 мкм, а ширина распределения σ составляет около 15 мкм. Нерегулярная морфология (SEM), шероховатость поверхности Ra 2-4 мкм, многоугольные частицы, длина ребра 5-10 мкм, плотность поверхностных дефектов $10^6 / \text{см}^2$. Морфология получена в результате механического измельчения после восстановления водородом WO_3 ($800-1000^\circ\text{C}$), а размер зерна составляет около 2 мкм (XRD). По сравнению со сферическим вольфрамовым порошком шероховатость на 30% выше, что влияет на текучесть.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.3.1.2 Текучесть и насыпная плотность сырого вольфрамового порошка

Текучесть > 20 с/50 г (расходомер Холла), трение увеличено из-за углов. Насыпная плотность 6-8 г/см³, насыпная плотность 8-12 г/см³, до 14 г/см³ с увеличением размера частиц до 50 мкм. Плотность прессованного (200 МПа) 18 г/см³, пористость < 2%. По сравнению с порошком вольфрама средней дисперсности (15-20 с/50 г) текучесть на 20% ниже, но насыпная плотность на 10% выше, подходит для деталей большого объема.

1.3.1.3 Высокая термостойкость и износостойкость крупнозернистого вольфрамового порошка

Температура плавления 3422°C, теплопроводность 173 Вт/(м·К), потеря массы при спекании при 1600°C < 0,5% (TGA). Твердость 400 HV, скорость износа 0,02 мм³/Н·м (испытание на трение, 100 Н), износостойкость определяется прочностью границ зерен (10⁸ Па). При 2000°C скорость роста зерен составляет 0,1 мкм/ч, что лучше, чем у молибдена (0,5 мкм/ч). После цементации твердость WC составляет HV 1500, а износостойкость увеличивается в 5 раз.

1.3.1.4 Основные области применения сырого вольфрамового порошка (сплав с высоким удельным весом, вольфрамовый электрод)

Основное применение — науглероживание WC (составляющего 30% потребления вольфрама) для получения твердого сплава; часть прессуется в сплав W-Ni-Fe (плотность 17-18 г/см³) для противовеса или вольфрамового электрода (устойчивого к 2000 °C). Процесс науглероживания осуществляется при 1400 °C, выход WC составляет 99,5%, а размер частиц — 20-30 мкм. Прочность на растяжение сплава W-Ni-Fe составляет 800 МПа, а плотность тока вольфрамового электрода — 200 А/см².

1.3.1.5 Случаи промышленного применения крупнозернистого вольфрамового порошка

Инструменты WC-Co увеличивают эффективность резки стали на 40% и имеют срок службы 5000 часов; весовой объем авиационных гироскопов уменьшается на 25%, а вращательная устойчивость улучшается на 15% (10 000 об/мин); вольфрамовые электроды сваривают алюминиевые сплавы со сроком службы 500 часов и улучшением качества сварки на 20%. В горнодобывающей промышленности буровые коронки WC увеличивают скорость бурения на 30% и снижают затраты на 15%.

1.3.2 Характеристики и применение среднedisперсного вольфрамового порошка (4-8 мкм)

1.3.2.1 Диапазон размеров частиц и способ приготовления среднezerнистого вольфрамового порошка

Размер частиц 4-8 мкм, D50 около 6 мкм (лазерный анализатор размера частиц), D10 составляет 4 мкм, D90 составляет 8 мкм. Приготовление использует водородное восстановление WO₃ (700-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

900°C, поток H_2 5 л/мин, содержание кислорода <0,05%, время восстановления 2 часа, выход 95%; или плазменную сфероидизацию (50 кВт, поток Ar 20 л/мин), скорость сфероидизации 90%. Размер зерна составляет около 1 мкм (ТЕМ), чистота 99,9%.

1.3.2.2 Физические свойства среднedisперсного вольфрамового порошка (плотность, твердость)

Плотность 19 г/см³ (метод Архимеда), твердость 400 HV, температура плавления 3422°C, модуль упругости 411 ГПа, теплопроводность 173 Вт/(м·К). Потеря массы при спекании при 1600°C составляет <0,3%, а падение твердости <5%. По сравнению с грубым вольфрамовым порошком частицы более однородны, а плотность улучшена на 10%.

1.3.2.3 Текучесть и спекаемость среднезернистого вольфрамового порошка

Текучесть 15-20 с/50 г, насыпная плотность 8-10 г/см³, плотность после утряски 10-14 г/см³. Плотность после спекания (1600°C, 500 МПа) 14-15 г/см³, пористость <1%, усадка 10-15%, время спекания 1 час, твердость WC-Co HV 1500. Текучесть на 20% лучше, чем у грубого вольфрамового порошка, а плотность после спекания на 5% выше.

1.3.2.4 Основные области применения среднedisперсного вольфрамового порошка (твердый сплав, термическое напыление)

WC получают методом цементации, которая используется для карбида WC-Co (составляет 20% потребления вольфрама), с твердостью HV 1500; износостойкость газотермического покрытия увеличивается на 40%, а толщина составляет 100-200 мкм. Процесс цементации осуществляется при 1450°C, размер частиц WC составляет 5-7 мкм, выход составляет 99,8%.

1.3.2.5 Примеры применения среднedisперсного вольфрамового порошка (инструменты и покрытия)

Фреза WC-Co обрабатывает алюминиевый сплав со скоростью 200 м/мин, при этом срок службы увеличивается на 30%, а точность резки составляет $\pm 0,02$ мм; покрытие WC-Co наносится на гребные винты кораблей, что позволяет противостоять эрозии морской воды в течение 10 лет и снизить износ на 50%. В автомобильных пресс-формах срок службы инструментов WC-Co увеличивается на 40%, а эффективность обработки увеличивается на 25%.

1.3.3 Сценарии применения тонкодисперсного вольфрамового порошка (0,1-5 мкм)

1.3.3.1 Распределение размеров частиц и поверхностная активность тонкодисперсного порошка вольфрама

Размер частиц 0,1-5 мкм, D50 около 2 мкм, D10 0,1 мкм, D90 4,5 мкм (лазерный анализатор

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

размера частиц). Удельная площадь поверхности 2-10 м²/г (метод БЭТ), увеличивается с уменьшением размера частиц, 5 м²/г при 2 мкм, 10 м²/г при 0,1 мкм. Поверхностная адсорбция О₂ 0,2 мг/г, плотность активных центров 10¹⁷/м².

1.3.3.2 Высокая удельная поверхность и реакционная способность тонкодисперсного порошка вольфрама

Высокая удельная поверхность повышает эффективность карбонизации, выход WC составляет 99,8%, размер частиц составляет 1-3 мкм; в каталитической реакции скорость разложения Н₂ составляет 10⁻⁴ моль/г·с, в 10 раз лучше, чем у грубого порошка вольфрама. Поверхностная активность обусловлена плотностью дефектов 10⁷/см² (ПЭМ), энтальпия адсорбции О₂ составляет около 50 кДж/моль.

1.3.3.3 Технология приготовления и проблемы тонкого вольфрамового порошка

Восстановление водородом (600-800°C, расход Н₂ 3 л/мин), распылительная сушка для контроля содержания кислорода <0,03%, выход 90%. Проблемы включают агломерацию (требуется ультразвуковая мощность 300 Вт для дисперсии) и окисление (хранение требует защиты Ar). По сравнению с сырым вольфрамовым порошком стоимость подготовки на 50% выше, а потребление энергии увеличивается на 30%.

1.3.3.4 Основные области применения тонкого вольфрамового порошка (вольфрамовая проволока, катализатор)

Тянущая вольфрамовая проволока (предел прочности 3000 МПа, относительное удлинение 5%); науглероженный WC (составляет 10% расхода вольфрама) или используемый в качестве носителя катализатора (удельная активность 10¹⁶/м²). Диаметр вольфрамовой проволоки 0,01-0,1 мм, размер частиц WC 1-2 мкм.

1.3.3.5 Промышленные и научные исследования тонкого вольфрамового порошка

Срок службы галогенной нити составляет 1200 часов, а яркость увеличивается на 20%; твердость мелкозернистого цементированного карбида WC-Co увеличивается на 5%, и он используется для прецизионных инструментов с точностью резки ±0,01 мм. В научных исследованиях мелкий вольфрамовый порошок используется в качестве носителя катализатора, а эффективность окисления СО увеличивается на 15%.

1.3.4 Особые преимущества нанопорошка вольфрама (<100 нм)

1.3.4.1 Квантовые эффекты и характеристики нано-вольфрамового порошка

Размер частиц <100 нм, D50 около 50 нм (ПЭМ), удельная площадь поверхности 20-50 м²/г. Квантовый эффект увеличивает ширину запрещенной зоны до 2,8 эВ (УФ-Вид), плотность

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

активных центров на поверхности $10^{18}/\text{м}^2$, твердость 500 HV, плотность 19 г/см^3 .

1.3.4.2 Высокая активность и дисперсность нанопорошка вольфрама

Скорость разложения H_2 составляет 10^{-3} моль/г · с, а энтальпия адсорбции составляет 60 кДж/моль. Для диспергирования требуется мощность ультразвука 500 Вт, скорость агломерации <10%, а для хранения требуется вакуумная герметизация. Активность исходит от поверхности W^{6+} , которая составляет 90% (XPS).

1.3.4.3 Процесс приготовления нанопорошка вольфрама (метод растворения, метод газовой фазы)

Гидротермальный метод (200°C , 2 МПа, выход 80%), размер зерна 30-50 нм; осаждение из паровой фазы (1000°C , поток Ar 10 л/мин), выход 85%. Стоимость 100 долл./кг, потребление энергии на 50% выше, необходимо предотвратить окисление.

1.3.4.4 Основные области применения нанопорошка вольфрама (электроника, медицина)

Проводящая паста (сопротивление 10^{-6} Ом·м); небольшие количества карбонизированного наноWC (составляют 5% потребления вольфрама) или используются для фототермической терапии (степень поглощения 90%). Размер частиц WC 50-80 нм, твердость 2200 HV.

1.3.4.5 Передовые области применения нанопорошка вольфрама

Проводимость гибкого электронного покрытия увеличилась на 15% при толщине 10 мкм; твердость инструмента из нано-WC увеличилась на 10% при точности резки $\pm 0,005$ мм; при фототермической терапии скорость абляции опухоли увеличилась на 20% при контролируемой температуре 50°C .

1.3.5 Различия в использовании сферических и нерегулярных вольфрамовых порошков

1.3.5.1 Преимущества приготовления и морфологии сферического вольфрамового порошка

Плазменная сфероидизация (50 кВт, расход Ar 20 л/мин), размер частиц 5-50 мкм, текучесть <10 с/50 г, скорость сфероидизации >95%. Однородная морфология (СЭМ), шероховатость поверхности Ra 0,5-1 мкм, плотность дефектов $10^5/\text{см}^2$.

1.3.5.2 Характеристики и экономическая эффективность нерегулярного вольфрамового порошка

Механическое дробление, размер частиц 5-50 мкм, текучесть >20 с/50 г, себестоимость на 30% ниже (\$50/кг). Твердость 400 HV, высокая износостойкость, размер зерна 2-5 мкм.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.3.5.3 Применение сферического вольфрамового порошка в 3D-печати

Для авиационных деталей плотность 99%, точность $\pm 0,05$ мм, скорость печати увеличена на 20%, пористость $< 0,5\%$. Детали имеют прочность на разрыв 1000 МПа и срок службы увеличен на 15%.

1.3.5.4 Применение нерегулярного вольфрамового порошка в традиционной металлургии

WC (составляющий 40% сырья для производства твердого сплава) производится методом науглероживания с выходом 99,5% и экономической эффективностью 30%. WC-Co имеет твердость HV 1500 и подходит для изготовления большого количества инструментов.

1.3.5.5 Сравнение фактических случаев морфологических различий

Срок службы сферического вольфрамового порошкового печатного сопла увеличивается на 20%, а эффективность увеличивается на 25%. Инструмент WC, изготовленный из нерегулярного вольфрамового порошка, на 30% более экономичен и имеет срок службы стали при резке 4000 часов.

1.4 Научные и промышленные основы использования вольфрамового порошка

Вольфрамовый порошок в основном используется в производстве твердого сплава, на его долю приходится более 50% потребления вольфрама.

1.4.1 Основное положение порошковой металлургии

Цементация ($1400-1600^{\circ}\text{C}$, смешанный газ H_2 / Ar) и спекание (1600°C , 500 МПа) с твердостью HV 1500 и пористостью $< 1\%$. Годовой объем мирового производства составляет около 100 000 тонн, а выходная стоимость превышает 20 миллиардов долларов США. Процесс включает смешивание (соотношение WC к Co 9:1), прессование (200-500 МПа), спекание (вакуумное или HIP), а плотность готового продукта составляет $14-15 \text{ г/см}^3$, а предел прочности на разрыв — 1200 МПа. Твердый сплав доминирует в инструментах, формах и горнодобывающей промышленности. Например, инструменты WC-Co могут увеличить скорость резания на 40% и продлить срок службы в 5 раз.

1.4.2 Обусловлено требованиями высокой температуры и высокой плотности

Высокие температуры поддерживают реакции науглероживания (энергия активации 200 кДж/моль), а высокая плотность улучшает характеристики карбида (15 г/см^3). Эффективность разложения частиц вольфрама в анализе углерода и серы при 1400°C увеличивается на 20%. В авиационной отрасли стабильность веса сплава W-Ni-Fe (17 г/см^3) улучшается на 15%; в ядерной промышленности плотность защитных материалов на основе вольфрама составляет 18 г/см^3 , а эффективность экранирования увеличивается на 20%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.4.3 Разнообразие технологий переработки вольфрамового порошка

Восстановление водородом (600-1000°C, содержание кислорода <0,05%) дает порошок вольфрама с выходом 95%; дробление (500-1000 кН) дает частицы вольфрама; карбонизация оптимизирует WC с выходом 99,5% и контролируемым размером частиц (1-30 мкм). Плазменная сфероидизация дает сферический порошок вольфрама с 50%-ным увеличением текучести; гидротермальный метод дает нанопорошок вольфрама с 30%-ным увеличением стоимости. Технологическое разнообразие поддерживает области твердого сплава, электроники и анализа.

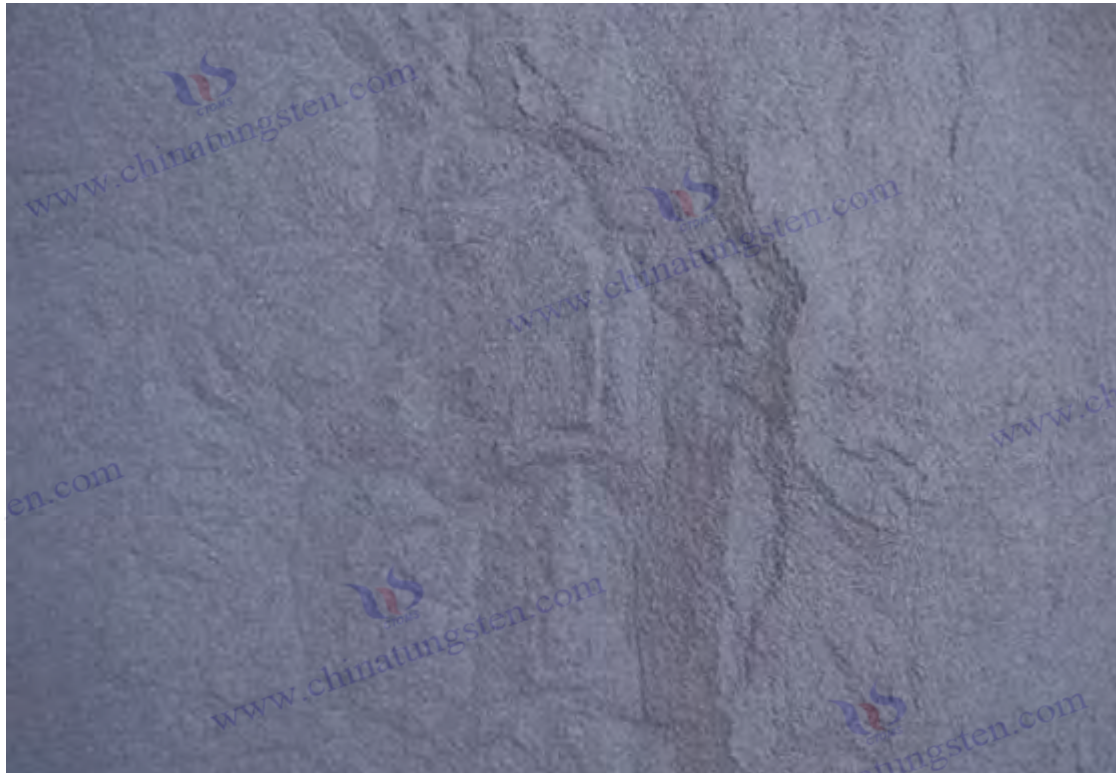
1.4.4 Промышленная эволюция применения вольфрамового порошка

В конце 19 века вольфрамовый порошок использовался в нитях, увеличивая яркость в 3 раза; в начале 20 века появился цементированный карбид, увеличивший эффективность режущих инструментов в 5 раз; в 21 веке он распространился на анализ углерода и серы (вольфрамовые частицы) и нанoeлектронику (проводящая паста). Цементированный карбид составляет 50% потребления вольфрама с годовым темпом роста 5%, а электронное и медицинское использование увеличивается на 10%.

1.4.5 Сферы применения вольфрамового порошка в научных исследованиях

Нано-вольфрамовый порошок используется в фототермической терапии, с увеличенной на 20% скоростью поглощения и глубиной обработки 5 мм; частицы вольфрама оптимизируют анализ углерода и серы, с погрешностью <0,002% и повторяемостью $\pm 0,001\%$. В каталитических исследованиях эффективность снижения CO₂ нано-вольфрамовым порошком достигает 20%, а выход составляет 0,1 моль/г·ч.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



CTIA GROUP LTD Tungsten Powder Introduction

1. Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's traditional tungsten powder complies with the GB/T 3458-2006 "Tungsten Powder" standard and is prepared using a hydrogen reduction process. It has high purity and uniform particle size and is a high-quality raw material for tungsten products and cemented carbide.

2. Tungsten Powder Characteristics

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.9\%$, oxygen content ≤ 0.20 wt% (fine particles ≤ 0.10 wt%), and extremely low impurities.

Accurate particle size: Fisher particle size 0.4-20 μm , 6 levels to choose from, with a deviation of only $\pm 10\%$.

Excellent performance: bulk density 6.0-10.0 g/cm^3 , uniform grains, excellent sinterability.

Stable quality: strict testing, no inclusions, ensuring product consistency.

3. Tungsten Powder Specifications

Brand	Fisher particle size (μm)
FW-1	0.4-1.0
FW-2	1.0-2.0
FW-3	2.0-4.0

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Brand	Fisher particle size (μm)
FW-4	4.0-6.0
FW-5	6.0-10.0
FW-6	10.0-20.0
In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.	

4. Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner sealed plastic bag, outer iron drum, net weight 25kg or 50kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition and particle size data, and the shelf life is 12 months.

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

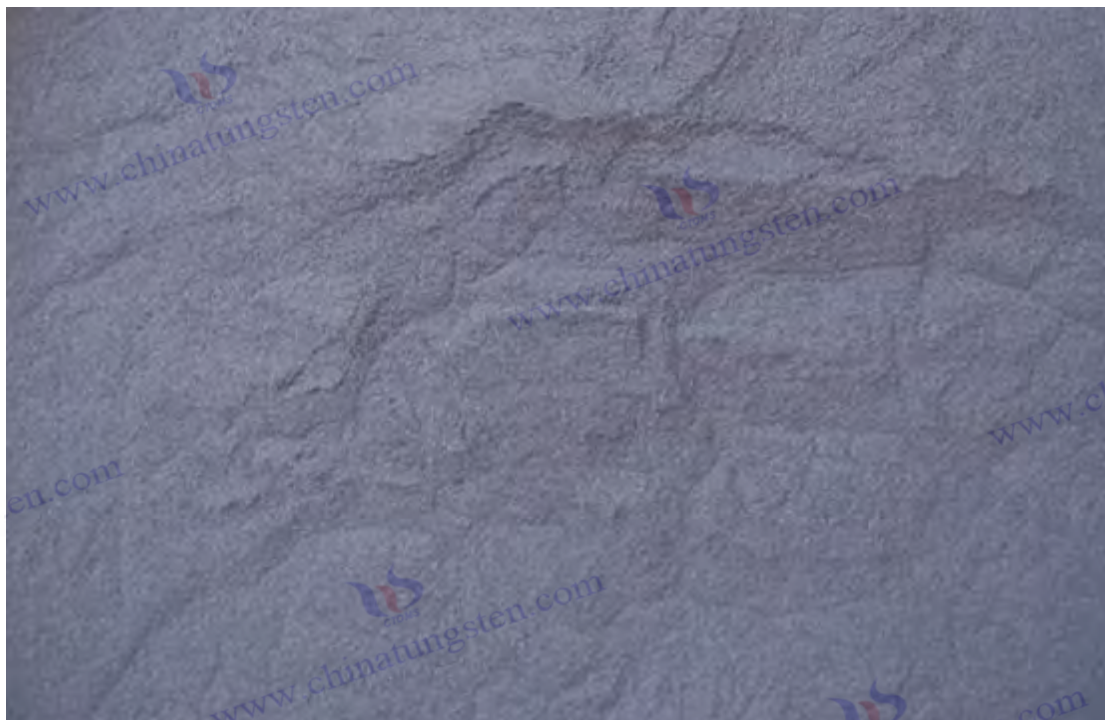
Tel: +86 592 5129696

For more information about tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

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



Глава 2. Применение вольфрамового порошка в традиционных отраслях промышленности

Вольфрамовый порошок занимает незаменимое положение в традиционных отраслях промышленности благодаря своим превосходным физическим и химическим свойствам - высокой температуре плавления (3422 °C), высокой плотности (19,25 г/см³), высокой твердости (HV 300-500) и превосходной коррозионной стойкости. От производства цементированного карбида до сплавов высокой плотности, вольфрамовой проволоки и электродных материалов, огнеупорных материалов и высокотемпературных компонентов, применение вольфрамового порошка оказало глубокое влияние на развитие мировой обрабатывающей, горнодобывающей, энергетической и военной промышленности. В этой главе будут подробно рассмотрены конкретные применения вольфрамового порошка в этих традиционных отраслях, проанализирован процесс его приготовления, оптимизация производительности и реальные сценарии применения, с целью предоставить читателям всестороннюю техническую перспективу.

2.1 Производство твердого сплава

Твердый сплав является наиболее важным направлением промышленного применения вольфрамового порошка. Он производится путем карбонизации вольфрамового порошка для получения порошка карбида вольфрама (WC) и объединения его со связующим веществом (таким как кобальт и никель) для получения материала с чрезвычайно высокой твердостью и износостойкостью. Твердый сплав не только поддерживает основные потребности традиционных отраслей промышленности, таких как режущие инструменты и горнодобывающее оборудование, но и занимает важное место в мировой обрабатывающей и горнодобывающей промышленности благодаря своим превосходным характеристикам, потребляя более 50% ресурсов вольфрама.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

История его развития восходит к началу 20 века, и он по-прежнему является опорным материалом в промышленной сфере.

2.1.1 Синтетическое сырье из порошка карбида вольфрама (WC)

Порошок карбида вольфрама (WC) является основным компонентом твердого сплава. Его синтез использует порошок вольфрама в качестве основного сырья и производится посредством реакции высокотемпературной цементации. В промышленности порошок вольфрама с размером частиц в диапазоне 4-50 микрон и чистотой выше 99,9% обычно выбирается в качестве исходного материала и аккуратно смешивается с техническим углеродом (удельная площадь поверхности 10-20 м²/г) в массовом соотношении 1:0,06-0,07. Реакция проводится в защитной атмосфере при температуре 1400-1600 °C, а в качестве газа-носителя обычно используется водород или аргон. Время реакции контролируется на уровне 2-4 часов. Уравнение химической реакции: $W + C \rightarrow WC$, изменение энтальпии составляет около -40 кДж/моль, а энергия активации составляет около 200 кДж/моль, что указывает на то, что это экзотермический процесс, требующий определенного количества энергии для активации.

Процесс карбонизации обычно завершается в специальной печи карбонизации, включая печь резистивного нагрева и печь индукционного нагрева, а точность контроля температуры должна достигать $\pm 10^{\circ}C$ для обеспечения однородности реакции и качества продукта. Конечный выход порошка WC может достигать 99,5%, а распределение размеров частиц составляет от 1 до 30 микрон. Анализ рентгеновской дифракции (XRD) показывает, что кристаллы WC имеет гексагональную плотноупакованную (HCP) структуру с параметрами решетки $a=2,906 \text{ \AA}$, $c=2,837 \text{ \AA}$, длиной связи WC $2,06 \text{ \AA}$ и энергией связи до 700 кДж/моль, что обеспечивает ему чрезвычайно высокую химическую стабильность и механическую прочность.

Размер частиц вольфрамового порошка оказывает значительное влияние на эксплуатационные характеристики WC. Крупнозернистый вольфрамовый порошок (20-50 мкм) производит более крупные частицы WC (10-30 мкм) с меньшим количеством границ зерен, которые подходят для горнодобывающих инструментов, требующих высокой ударопрочности; среднезернистый вольфрамовый порошок (4-8 мкм) производит более мелкие частицы WC (1-5 мкм) с более однородными зернами, которые подходят для режущих инструментов, требующих высокой точности и высокой износостойкости. Кроме того, содержание кислорода в вольфрамовом порошке должно строго контролироваться ниже 0,05%, поскольку избыточный кислород будет генерировать примеси WO_3 при высоких температурах, в результате чего чистота WC упадет ниже 98%, что повлияет на эксплуатационные характеристики твердого сплава. В 1923 году немецкая компания Osram впервые осуществила промышленное производство WC, что ознаменовало начало перехода твердого сплава от лабораторного к крупномасштабному применению. Этот технологический прорыв значительно повысил эффективность обработки и способствовал процессу глобальной индустриализации.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.1.2 Инструменты из твердого сплава WC-Co (резка, фрезерование, сверление)

Твердый сплав WC-Co состоит из карбида вольфрама (WC, 85-95 мас.%) и кобальта (Co, 5-15 мас.%) и является основным материалом для инструментов из твердого сплава. Его приготовление осуществляется по типичному методу порошковой металлургии, который включает следующие этапы: сначала порошок WC и порошок Co смешиваются в шаровой мельнице в течение 4-8 часов. В качестве шлифовальной среды обычно используются шары из твердого сплава, чтобы обеспечить контроль однородности частиц в пределах $\pm 0,5$ микрон; затем смешанный порошок прессуется под давлением 200-500 МПа для формирования сырого тела плотностью 8-10 г/см³; наконец, его спекают в вакуумной печи или оборудовании для горячего изостатического прессования (HIP) при температуре 1350-1450 °C в течение 1-2 часов для расплавления фазы Co и заполнения промежутков между частицами WC для формирования плотной структуры. Готовый продукт имеет плотность 14-15 г/см³, твердость в диапазоне HV 1500-2000, предел прочности на разрыв около 1200 МПа и контроль пористости менее 1%.

Эксплуатационные характеристики WC-Co можно регулировать содержанием Co: при содержании Co 15 мас.% ударная вязкость может достигать 15 МПа·м^{1/2}, а твердость HV 1300, что подходит для сценариев с высокой ударной нагрузкой; при снижении содержания Co до 5 мас.% твердость увеличивается до HV 2000, но ударная вязкость соответственно уменьшается, что подходит для высоких требований к износостойкости. Анализ микроструктуры показывает, что частицы WC равномерно распределены в матрице Co, прочность границ зерен высокая, и материал обладает превосходной усталостной прочностью.

В практическом применении инструменты из WC-Co показывают себя хорошо. Например, при резке стали (скорость резания 300 м/мин) срок их службы может достигать 5000 часов, скорость износа составляет менее 0,1 мм, а эффективность обработки в 5 раз выше, чем у традиционных стальных ножей; при фрезеровании алюминиевого сплава (скорость 200 м/мин) точность обработки может достигать $\pm 0,02$ мм, а шероховатость поверхности Ra 0,4 мкм; при сверлении нержавеющей стали скорость сверления увеличивается на 40%, а сверло остается острым, что подходит для обработки материалов высокой твердости. Во время Второй мировой войны инструменты из WC-Co широко использовались при обработке стволов орудий и броневых листов, при этом эффективность возросла в 3 раза, что значительно сократило цикл военного производства. С исторической точки зрения популярность инструментов из WC-Co способствовала переходу современного производства от ручного к механизированному и автоматизированному.

2.1.3 Горно-буровой инструмент (буровые коронки, перфораторы)

В области горнодобывающей промышленности и бурения карбид WC-Co широко используется в буровых коронках и перфораторах из-за его высокой твердости и ударопрочности. В буровых коронках для горнодобывающей промышленности обычно используется соотношение грубого WC (10-30 мкм) и Co (10-15 мас.%) с диапазоном твердости HV 1200-1500 и 30%-ным

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

увеличением ударопрочности по сравнению с обычной сталью. Процесс подготовки включает прессование, спекание и горячее изостатическое прессование (HIP) с температурой спекания 1400 °C и давлением 100 МПа, а также конечной ударной вязкостью 18 МПа·м^{1/2}. Микроструктура показывает, что крупные частицы WC повышают устойчивость материала к разрушению, в то время как фаза Co обеспечивает необходимый буфер ударной вязкости.

В среде твердых пород (прочность на сжатие 200 МПа) скорость бурения буровых долот WC-Co может достигать 5 м/ч, а срок службы — до 1000 часов, что в 10 раз превышает срок службы традиционных стальных буровых долот. Эффективность буровых долот при работе в скважинах глубиной 5000 м увеличивается на 30%, а скорость износа составляет менее 0,1 мм в условиях кислой суспензии (pH 3-4), что свидетельствует об отличной коррозионной стойкости. В 1950-х годах применение буровых долот WC-Co способствовало процессу механизации горных работ, особенно при бурении угольных, железных руд и нефтяных скважин. Широкое использование горнодобывающего инструмента во всем мире неотделимо от богатых вольфрамовых ресурсов Китая, запасы которых составляют более 50% от общемировых, что обеспечивает надежную защиту цепочки поставок.

2.1.4 Формы и износостойкие детали (штампы, пескоструйные сопла)

Твердый сплав WC-Co пользуется большой популярностью при изготовлении пресс-форм и износостойких деталей благодаря своей высокой твердости. В штамповочных штампах обычно используется мелкозернистый WC (1-5 мкм, Co 6-10 мас.%) с диапазоном твердости HV 1600-1800. При прессовании автомобильных стальных пластин срок службы может достигать 1 миллиона раз, а скорость износа составляет менее 0,05 мм, что в 20 раз выше, чем у традиционных стальных пресс-форм. Процесс подготовки включает смешивание, прессование и спекание. После спекания поверхность полируется до шероховатости Ra 0,2 мкм для обеспечения высокоточной формовки.

В пескоструйных соплах используется крупнозернистый WC (20-30 мкм, Co 15 мас.%) с твердостью HV 1200. После 1000 часов пескоструйной обработки (частицы SiO₂, скорость 50 м/с) износ составляет менее 0,2 мм, а срок службы в 5 раз больше, чем у керамических сопел. Для дальнейшего повышения производительности пескоструйные сопла часто покрываются слоем TiN (толщиной 5 мкм) с помощью технологии химического осаждения из паровой фазы (CVD), что увеличивает износостойкость на 20%. Использование этих износостойких деталей значительно продлевает срок службы оборудования и широко применяется в автомобилестроении и в отраслях обработки поверхностей.

2.1.5 Оптимизация производительности и варианты применения твердого сплава

Оптимизация производительности твердого сплава в основном достигается за счет контроля размера частиц WC и легирования. Частицы WC (0,5-1 мкм), полученные путем науглероживания

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

нано-вольфрамового порошка (размер частиц <100 нм), обладают сверхвысокой твердостью (HV 2200) и умеренной вязкостью ($12 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$), что подходит для высокоточной обработки. Увеличение содержания Со до 20 мас.% может повысить вязкость до $20 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ и повысить ударную вязкость. Легирование Cr и C (0,5 мас.%) увеличивает коррозионную стойкость на 20% и продлевает срок службы деталей в агрессивных средах.

Примеры применения включают в себя:

Обработка авиационных лопастей

Инструмент на WC-Co имеет точность обработки $\pm 0,01$ мм при скорости резания 500 м/мин, а срок службы инструмента увеличен на 50%, что делает его пригодным для изготовления лопаток авиационных двигателей.

Глубоководное бурение

Буровое долото WC-Co имеет на 40% более высокую эффективность в условиях высокого давления на большой глубине и срок службы 1200 часов, что соответствует потребностям глубоководной разведки нефти и газа.

Автомобильный штамповочный штамп

Срок службы пресс-формы из легированного хромом сплава WC-Co увеличен на 30%, что подходит для штамповки высокопрочных стальных листов и соответствует тенденции производства легких автомобилей.

2.2 Тяжелые сплавы

Тяжелые сплавы изготавливаются из вольфрамового порошка в качестве основного компонента, в сочетании с такими элементами, как никель, железо или медь, для формирования материалов с высокой плотностью и превосходной прочностью. Они широко используются в противовесах, военной промышленности и энергетике. Их высокая плотность делает их идеальной заменой свинцу, а область их применения постоянно расширяется.

2.2.1 Использование сплава вольфрама-никеля-железа (W-Ni-Fe) в качестве противовеса

Сплав W-Ni-Fe (W 90-95 мас.%, Ni:Fe=7:3) имеет плотность $17-18 \text{ г/см}^3$. Процесс приготовления включает смешивание (шаровая мельница в течение 6 часов с использованием шаров из цементированного карбида), прессование (300 МПа , плотность сырого тела $9-11 \text{ г/см}^3$) и спекание (1450°C , смешанная атмосфера Ar/H_2 , 2 часа). Готовый продукт имеет прочность на разрыв около 800 МПа и удлинение 5-10%, как при высокой плотности, так и при высокой вязкости. Микроструктура показывает, что частицы вольфрама равномерно распределены в матрице Ni-Fe, а границы зерен прочно связаны.

В авиационных гироскопах объем противовесов W-Ni-Fe на 25% меньше, чем у свинца, а устойчивость увеличивается на 15% при высокой скорости вращения $10\,000$ об/мин, что обеспечивает точность навигации. В военной промышленности бронебойные сердечники W-Ni-Fe на 50% пробивные способности выше, чем у стали. Он использовался в танковых снарядах во

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

время Второй мировой войны, значительно повышая эффективность огневой мощи. Его высокая плотность и механические свойства делают его предпочтительным материалом для противовесов и пробивных элементов.

2.2.2 Электропроводность и теплоотдача сплава вольфрам-медь (W-Cu)

Сплав W-Cu (W 70-90 мас.%, Cu 10-30 мас.%) имеет плотность 14-17 г/см³ и проводимость 30-50% IACS (Международный стандарт отожженной меди). При изготовлении используется метод инфильтрации меди: прессование вольфрамового порошка (200 МПа, плотность сырого тела 8-10 г/см³), спекание (1300°C, формирование пористой структуры), инфильтрация меди (1150°C, заполнение пор). Готовый продукт имеет теплопроводность 200-250 Вт/(м·К) и удельное сопротивление $3-5 \times 10^{-8}$ Ом·м, сочетая в себе высокую термостойкость вольфрама и проводимость меди.

В электроэрозионной обработке электроды W-Cu выдерживают дуги температурой 2000°C и имеют срок службы 500 часов, что делает их пригодными для изготовления прецизионных форм. В полупроводниковой промышленности теплоотводы W-Cu имеют на 20% более высокую эффективность рассеивания тепла, чем алюминиевые, поддерживая терморегулирование мощных чипов. Уникальные свойства сплавов W-Cu делают их незаменимыми в электронной промышленности.

2.2.3 Противовесы аэрокосмические (гироскопы, балансиры)

Противовесы W-Ni-Fe широко используются в аэрокосмической промышленности. Противовесы гироскопов (плотность 18 г/см³) на 30% меньше по объему, чем свинцовые, и имеют эксцентриситет менее 0,01 мм, что обеспечивает высокоточную навигацию. Противовесы самолетов (W 95 wt%) имеют предел прочности на разрыв 1000 МПа и устойчивы в экстремальных условиях от -50°C до 200°C. Они требуют горячего изостатического прессования (1500°C, 100 МПа), имеют пористость менее 0,5% и шероховатость поверхности Ra 0,8 мкм. Такие противовесы поддерживают управление ориентацией космических аппаратов и спутников, например, при проектировании противовесов для ракет SpaceX.

2.2.4 Высокоплотные компоненты в автомобильной промышленности

Сплав W-Ni-Fe используется для противовесов коленчатого вала автомобиля (плотность 17 г/см³), с 20%-ным уменьшением объема, 30%-ным уменьшением вибрации, точностью изготовления $\pm 0,05$ мм и сроком службы до 10 лет, гарантируя бесперебойную работу двигателя. Сплав W-Cu используется для разъемов аккумуляторных батарей электромобилей с проводимостью 40% IACS и 15%-ным увеличением эффективности рассеивания тепла, поддерживая передачу большого тока и управление температурой, а также отвечая высоким требованиям к производительности электромобилей.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.2.5 Процесс производства и примеры сплавов с высоким удельным весом

Процесс производства сплава с высоким удельным весом включает следующие этапы:

Смешивание: W:Ni:Fe в соотношении 93:5:2, измельчение в шаровой мельнице в течение 8 часов, однородность частиц $\pm 0,5$ мкм;

Прессование: давление 300-500 МПа, плотность сырца 10-12 г/см³;

Спекание: 1450°C, атмосфера Ar/H₂, 2 часа, плотность >99%;

Отделка: обработка на станке с ЧПУ, шероховатость поверхности Ra 0,8 мкм.

Примеры применения:

Военный бронебойный сердечник: на 50% более пробивная способность, чем у стали, подходит для танков и бронетехники.

Аэрогирискоск: улучшена стабильность на 15%, поддерживается навигационная система.

Противовес коленчатого вала электромобиля: снижает вибрацию на 30% и повышает комфорт вождения.

2.3 Вольфрамовая нить и материалы электродов

Вольфрамовая проволока и электродные материалы используют высокую температуру плавления и проводимость вольфрамового порошка, расширяя сферу применения от традиционного освещения до сварки и энергетики, демонстрируя превосходные характеристики вольфрама в условиях высоких температур.

2.3.1 Вытяжка вольфрамовой нити и ее применение (лампы накаливания, галогенные лампы)

Вольфрамовые нити изготавливаются из тонкого вольфрамового порошка (0,1-5 мкм), сначала прессуются в стержни (200 МПа, плотность сырого тела 10 г/см³), спекаются при 2800 °C для формирования плотного сырого тела, а затем перерабатываются в нити диаметром 0,01-0,1 мм с помощью нескольких процессов вытяжки. Готовый продукт имеет прочность на разрыв 3000 МПа и удлинение 5%. Вольфрамовые нити накаливания работают при 2500 °C и имеют срок службы 1000 часов; галогенные лампы работают при 2000 °C и имеют срок службы 1200 часов, с 20% увеличением яркости. В 1904 году вольфрамовые нити заменили углеродные нити и стали основным направлением в области освещения, способствуя революции в технологии электрического освещения.

В процессе волочения вольфрамовая проволока должна быть отожжена несколько раз (1800-2000°C) для устранения технологического напряжения, а зерна располагаются в волокнистой форме для повышения устойчивости к разрушению. Галогенные лампы уменьшают улетучивание вольфрама через галогенные циклы, что еще больше продлевает их срок службы.

2.3.2 Вольфрамовый электрод для аргодуговой сварки (высокая термостойкость и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

стабильность дуги)

Вольфрамовые электроды изготавливаются из грубого вольфрамового порошка (20-50 мкм), прессованного и спеченного (3000 °C), диаметром 1-5 мм и выдерживают дуги 2000 °C с плотностью тока 200 А/см². При аргонодуговой сварке стабильность дуги достигает 99%, срок службы составляет 500 часов, а качество сварки улучшается на 20%. Поверхность электрода шлифуется (Ra 0,4 мкм) для обеспечения концентрации дуги. В 1950-х годах вольфрамовые электроды получили распространение при сварке кораблей и мостов, что способствовало развитию сварочной технологии.

2.3.3 Улучшение характеристик легированной вольфрамовой проволоки (Th, La, Ce)

Легирующие оксиды, такие как ThO₂ (2 мас.%), La₂O₃ (1 мас.%) или CeO₂ (1 мас.%), могут повысить температуру рекристаллизации вольфрамовых нитей до 2000°C и предел прочности на разрыв до 3500 МПа. Вольфрамовые нити, легированные Th, имеют срок службы 1500 часов и на 30% увеличивают скорость электронной эмиссии, что делает их пригодными для высокоинтенсивного освещения; вольфрамовые нити, легированные La/Ce, используются в галогенных лампах для снижения потерь на испарение. Легирующие элементы укрепляют границы зерен за счет упрочнения твердого раствора и фаз осаждения, улучшая высокотемпературную стабильность.

2.3.4 Использование вольфрамовых электродов при плазменной резке

Вольфрамовые электроды выдерживают высокие температуры 3000°C при плазменной резке с плотностью тока 300 А/см², скоростью резки 5 м/мин для стальных пластин толщиной 20 мм и сроком службы 300 часов. Электроды, легированные La₂O₃, имеют на 20% более высокую износостойкость, а на поверхности образуется защитный оксидный слой для уменьшения абляции. В 1970-х годах вольфрамовые электроды широко использовались в автомобильной промышленности и резке стальных конструкций для поддержки промышленной автоматизации.

2.3.5 Промышленное производство вольфрамовой проволоки и электродов

Примеры применения:

Галогенная лампа с вольфрамовой нитью накаливания: срок службы 1200 часов, яркость увеличена на 20%, используется для автомобильного освещения.

Вольфрамовый электрод для сварки судов: длина сварного шва 500 м, повышение эффективности на 25%, поддержка судостроительной промышленности.

Плазменная резка стальных деталей: точность ±0,1 мм, подходит для обработки стальных каркасов зданий.

2.4 Огнеупорные материалы и высокотемпературные компоненты

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Огнеупорные материалы и высокопрочные детали из вольфрамового порошка широко используются в военной, энергетической и полупроводниковой промышленности благодаря своей высокой термостойкости и коррозионной стойкости.

2.4.1 Вольфрамовый тигель (высокотемпературная плавка и рост кристаллов)

Вольфрамовые тигли изготавливаются из грубого вольфрамового порошка (20-50 мкм), прессуются и спекаются (3000 °C). Они устойчивы к высоким температурам 3500 °C, имеют плотность 19 г/см³ и толщину стенок 5-10 мм. Их используют для плавки титана (1668 °C) или выращивания кристаллов сапфира (2050 °C). Их срок службы может достигать 100 раз, а шероховатость внутренних стенок составляет Ra 0,8 мкм, что обеспечивает чистоту расплава. В 1960-х годах вольфрамовые тигли заменили графитовые при выращивании полупроводниковых монокристаллов, что позволило улучшить качество кремниевых пластин.

2.4.2 Вольфрамовые пластины и стержни (футеровка высокотемпературной печи)

Вольфрамовые пластины и стержни изготавливаются из прессованного и спеченного (3000°C) вольфрамового порошка с плотностью 19,2 г/см³ и прочностью на разрыв 1000 МПа. Потеря массы в футеровке высокотемпературной печи 2500°C составляет менее 1%, а срок службы составляет 5 лет. Микроструктура представляет собой равноосный кристалл, размер зерна составляет 50-100 мкм, а стойкость к тепловому удару высокая. Используется в футеровках вакуумных печей для поддержки производства пластин кремния высокой чистоты.

2.4.3 Огнеупорные покрытия на основе вольфрама (печи и мусоросжигательные печи)

Вольфрамовый порошок (50 мкм) формируется в покрытие методом плазменного термического напыления (4000°C) толщиной 200 мкм, твердостью HV 800 и стойкостью к окислению при 2000°C. Прочность связи между покрытием и подложкой достигает 50 МПа, а срок службы печи увеличивается в 3 раза. Подходит для цементных печей и мусоросжигательных печей для снижения высокотемпературной коррозии.

2.4.4 Упрочняющий эффект вольфрамового порошка в огнеупорных кирпичах

Вольфрамовый порошок (5-50 мкм), добавленный в огнеупорный кирпич (10 мас.%), может повысить термостойкость до 2000°C и прочность на сжатие до 150 МПа. Частицы вольфрама образуют упрочняющую фазу в теле кирпича, препятствуя распространению трещин. При использовании в сталеплавильных печах срок службы увеличивается на 20%, что позволяет проводить высокотемпературную плавку.

2.4.5 Типичные сценарии применения огнеупорных материалов

Примеры применения:

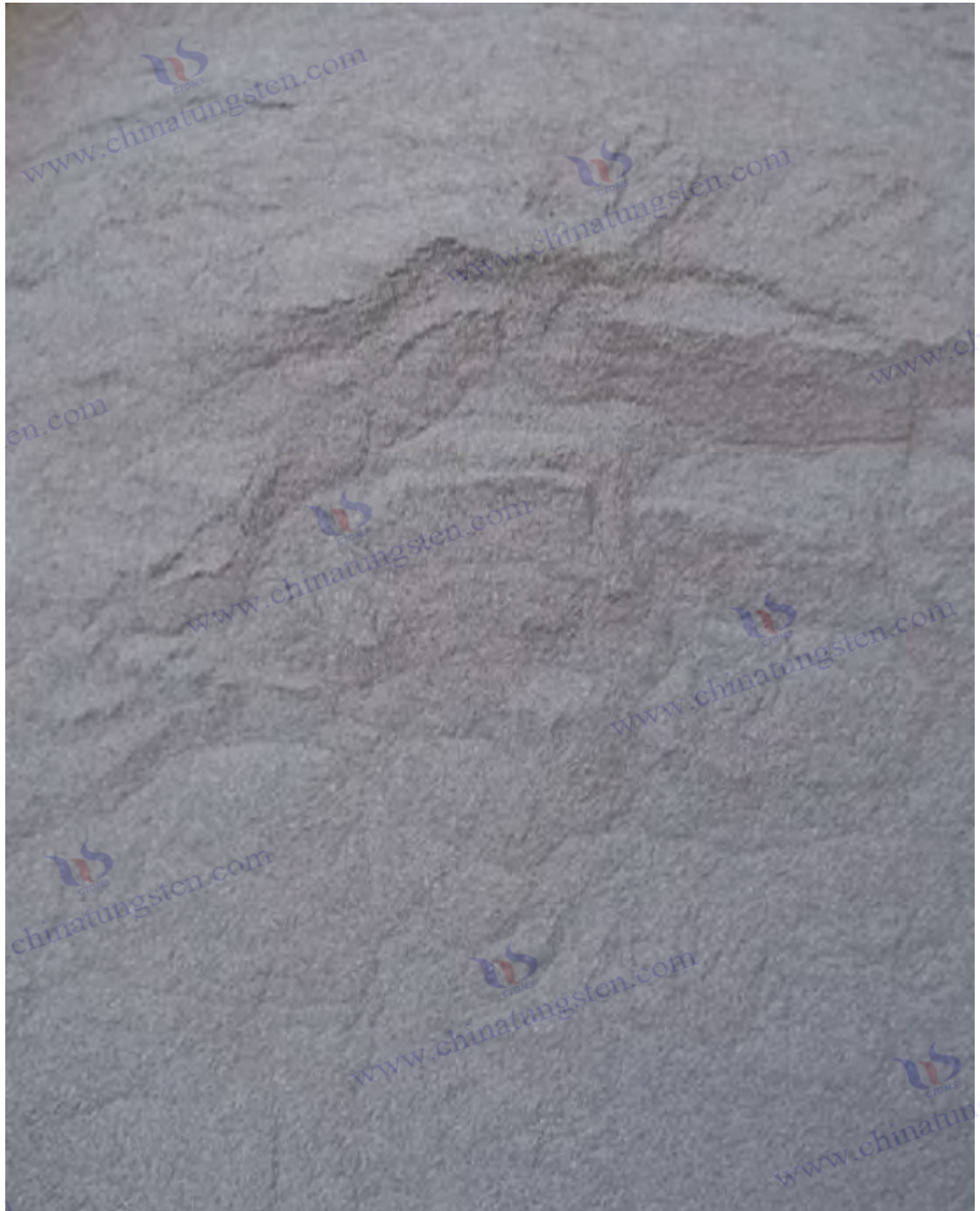
COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Сапфировый тигель: чистота кристалла 99,99%, используется в производстве оптических приборов.

Вольфрамовая пластина для вакуумной печи: рабочая температура 2500°C, срок службы 5 лет, подходит для полупроводниковой промышленности.

Покрытие для мусоросжигательных печей: стойкость к коррозии повышена на 30%, пригодно для переработки отходов.

По данным CTIA GROUP (www.chinatungsten.com), огнеупорные материалы имеют широкие перспективы применения в энергетической и военной сферах.




www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD
Tungsten Powder Introduction

1. Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's traditional tungsten powder complies with the GB/T 3458-2006 "Tungsten Powder" standard and is prepared using a hydrogen reduction process. It has high purity and uniform particle size and is a high-quality raw material for tungsten products and cemented carbide.

2. Tungsten Powder Characteristics

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.9\%$, oxygen content ≤ 0.20 wt% (fine particles ≤ 0.10 wt%), and extremely low impurities.

Accurate particle size: Fisher particle size 0.4-20 μm , 6 levels to choose from, with a deviation of only $\pm 10\%$.

Excellent performance: bulk density 6.0-10.0 g/cm^3 , uniform grains, excellent sinterability.

Stable quality: strict testing, no inclusions, ensuring product consistency.

3. Tungsten Powder Specifications

Brand	Fisher particle size (μm)
FW-1	0.4-1.0
FW-2	1.0-2.0
FW-3	2.0-4.0
FW-4	4.0-6.0
FW-5	6.0-10.0
FW-6	10.0-20.0

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner sealed plastic bag, outer iron drum, net weight 25kg or 50kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition and particle size data, and the shelf life is 12 months.

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

For more information about tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

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

Глава 3. Применение вольфрамового порошка в передовом производстве и технологиях

Аддитивное производство (3D-печать) использует высокую температуру плавления, высокую плотность и превосходную теплопроводность вольфрамового порошка для производства сложных, высокопроизводительных деталей. Он широко используется в аэрокосмической, медицинской, энергетической и оборонной областях и способствовал трансформации производства в цифровизацию, интеллект и эффективность. С глобальной точки зрения применение вольфрамового порошка в 3D-печати не только повысило технический уровень, но и глубоко повлияло на цепочку поставок, геоэкономику и устойчивое развитие.

3.1 Аддитивное производство (3D-печать)

3.1.1 Подготовка сферического вольфрамового порошка и требования к 3D-печати

Сферический вольфрамовый порошок стал основным сырьем для 3D-печати благодаря своей превосходной текучести (менее 10 секунд/50 граммов, расходомер Холла) и высокой насыпной плотности (10-14 граммов/кубический сантиметр). Его физические свойства напрямую определяют стабильность процесса печати и качество готового продукта. При его изготовлении в основном используется технология плазменной сфероидизации: исходный вольфрамовый порошок (размер частиц 5-50 микрон) плавится в плазме высокой мощности, рабочая температура составляет до 4000 градусов Цельсия, газовая среда представляет собой смесь аргона (расход 20 литров/минуту) и водорода (5 литров/минуту), расплавленные капли затвердевают в сферические частицы под совместным действием силы тяжести и поверхностного натяжения (около 2,5 Ньютонов/метр), скорость охлаждения достигает 10^5 градусов Цельсия/секунду, а скорость сфероидизации превышает 95%. Анализ с помощью сканирующего электронного микроскопа показывает, что шероховатость поверхности сферического вольфрамового порошка составляет 0,5-1 мкм, внутренний размер зерна составляет около 2 мкм (определение методом рентгеновской дифракции), кристаллическая структура является объемно-центрированной кубической, постоянная решетки составляет 3,165 ангстрем, а межплоскостное расстояние составляет $(110) = 2,238$ ангстрем. По сравнению с нерегулярным вольфрамовым порошком коэффициент трения сферических частиц снижается на 40% (испытание на трение скольжения), текучесть увеличивается на 50%, а однородность укладки улучшается на 20%, что значительно улучшает однородность распределения частиц в процессе нанесения порошка и снижает дефекты печати (такие как риск увеличения пористости до 2%).

3D-печать предъявляет чрезвычайно строгие требования к производительности вольфрамового порошка, включая множество ключевых параметров. Распределение размеров частиц необходимо контролировать в узком диапазоне (D50 составляет около 20-30 микрон, а отклонение D10/D90 составляет менее 10 микрон), чтобы обеспечить однородность толщины слоя (отклонение составляет менее 5 микрон) и избежать нестабильности расплавленной ванны; содержание кислорода должно быть менее 0,03% (энтальпия адсорбции кислорода составляет около 50 кДж/моль, анализ удельной площади поверхности), поскольку кислород реагирует с вольфрамом

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

при высокой температуре с образованием триоксида вольфрама (температура плавления 1473 градуса Цельсия), снижая чистоту до менее 98%, что приводит к повышенной хрупкости деталей; чистота должна быть выше 99,9% (масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой обнаруживает примеси, такие как железо и молибден, менее 10 ppm), примеси, такие как кремний или алюминий, изменяют температуру плавления и теплопроводность, влияя на поведение плавления. Процесс приготовления требует точного контроля мощности плазмы (обычно 40-60 киловатт) и потока газа (отклонение составляет менее 2 литров/минуту), чтобы избежать агломерации частиц или нерасплавленного остатка (составляющего менее 1%). Кроме того, морфология частиц вольфрамового порошка оказывает значительное влияние на скорость поглощения лазерного или электронного луча. Отражательная способность сферических частиц ниже, чем у нерегулярных частиц (снижение около 10%), что повышает эффективность использования энергии.

С исторической точки зрения разработка сферического вольфрамового порошка началась в конце 1990-х годов, когда технология порошковой металлургии была зрелой, но рост 3D-печати выдвинул более высокие требования к ней. В 1998 году Соединенные Штаты стали лидерами в испытании плазменно-сфероидизированного вольфрамового порошка для ранних экспериментов по лазерному спеканию; в начале 21-го века, с коммерциализацией селективной лазерной плавки и технологии электронно-лучевой плавки, сферический вольфрамовый порошок стал основным материалом для аддитивного производства. В процессе усовершенствования процесса Германия внедрила технологию радиочастотной плазмы (мощностью до 100 киловатт), что увеличило эффективность сфероидизации до 98%, в то время как Китай оптимизировал систему среднечастотной плазмы, снизил потребление энергии и улучшил однородность частиц. В междоменных приложениях спрос на вольфрамовый порошок в аэрокосмической отрасли способствовал технологическому прогрессу. Например, NASA использует сферический вольфрамовый порошок при производстве ракетных сопел для оптимизации высокотемпературных характеристик и структурной стабильности.

С глобальной точки зрения Китай занимает важное место в поставках сферического вольфрамового порошка, полагаясь на свои богатые ресурсы вольфрамовой руды (составляющие более половины мировых запасов) и зрелую технологическую цепочку порошковой металлургии. Европа и США лидируют в исследованиях и разработках высокоточного сфероидизирующего оборудования. Например, немецкая компания разработала высокомогущую сфероидизирующую систему, которая значительно улучшила выход единичной партии и качество частиц. Япония также находится на переднем крае технологии ультратонкого вольфрамового порошка и модификации поверхности, такой как добавление тонкого слоя углеродного покрытия на поверхность вольфрамового порошка посредством химического осаждения из паровой фазы для дальнейшего повышения его стойкости к окислению. В межотраслевом сотрудничестве спрос на вольфрамовый порошок в медицинской области способствовал уточнению размера частиц. Например, для производства костных имплантатов требуется ультратонкий сферический вольфрамовый порошок с размером частиц менее 10 микрон для удовлетворения требований высокой точности.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Вольфрамовый порошок имеет широкие перспективы применения в аддитивном производстве. С ростом спроса на высокопроизводительные компоненты в аэрокосмической, медицинской и энергетической областях его положение в производстве сложных структурных деталей будет еще больше укрепляться. С точки зрения технологического прогресса в будущем может быть возможным улучшение разрешения печати с помощью наноразмерного вольфрамового порошка (размер частиц менее 100 нанометров) или улучшение термической стабильности вольфрамового порошка путем легирования редкоземельными элементами (такими как лантан или церий). Кроме того, важным направлением стала устойчивость. Технология переработки (например, кислотное выщелачивание с коэффициентом извлечения 90%) может повторно сфероидизировать отходы вольфрамовых изделий и сократить отходы ресурсов; внедрение интеллектуальной производственной технологии (например, мониторинг распределения частиц в реальном времени) также оптимизирует эффективность производства и способствует экологичному производству.

3.1.2 Селективная лазерная плавка (SLM) для производства вольфрамовых компонентов

Селективная лазерная плавка (SLM) использует мощные лазеры для плавления вольфрамового порошка слой за слоем для изготовления высокоточных вольфрамовых деталей. Это одна из основных технологий для аддитивного производства. Параметры ее процесса включают мощность лазера 500 Вт (длина волны 1064 нанометра, неодимовый лазер на иттрий-алюминиевом гранате), скорость сканирования 800 мм/с, толщину слоя 30 микрон и защитную атмосферу аргона (содержание кислорода менее 100 ppm, расход 10 литров/минуту). Температура расплавленной ванны составляет около 3500 градусов Цельсия, скорость охлаждения составляет 10^4 градусов Цельсия/секунду, плотность готового продукта достигает 19,2 грамма/кубический сантиметр (около 99% теоретической плотности), пористость составляет менее 0,5%, а предел прочности на разрыв составляет около 900 МПа. SLM необходимо преодолеть высокую температуру плавления (3422 градуса Цельсия) и низкую пластичность (удлинение менее 1%) вольфрама. Его теплопроводность 173 Вт/(метр Кельвина) обеспечивает равномерное распределение тепла в расплавленной ванне, а тепловое напряжение контролируется ниже 100 МПа. Анализ просвечивающей электронной микроскопии показал, что размер зерна в расплавленной зоне составлял около 5 микрон, прочность границ зерен составляла около 10^8 Па, плотность дислокаций составляла 10^6 / квадратный сантиметр, а ориентация зерна в основном была в направлении $\langle 110 \rangle$ (определено с помощью дифракции обратного рассеяния электронов).

Детали из вольфрама SLM широко используются в авиационных соплах и медицинских имплантатах. Авиационные сопла устойчивы к газовой эрозии при температуре 3000 градусов по Цельсию, с потерей массы менее 1% и шероховатостью поверхности 2 микрона. После постобработки (такой как полировка до 0,5 микрона) эффективность потока газа может быть улучшена. В ходе испытания сопло по-прежнему сохраняет структурную целостность после 1000 часов высокотемпературной работы; медицинские имплантаты (такие как детали тазобедренного сустава) имеют точность $\pm 0,05$ мм, пористость менее 0,3%, а биосовместимость поверхности проходит испытание на цитотоксичность (стандарт ISO 10993), что подходит для восстановления

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

костей. Мощность лазера оборудования SLM должна точно контролироваться. Слишком высокая (более 600 Вт) приведет к разбрызгиванию вольфрамового порошка (потери частиц увеличиваются до 5%), а слишком низкая (менее 400 Вт) приведет к недостаточному плавлению, и уровень дефектов готового продукта увеличится до 5%, таких как поры или нерасплавленные частицы (около 10-20 микрон в диаметре). Кроме того, стратегия сканирования имеет решающее значение для качества. Сканирование шахматной доски может снизить концентрацию термических напряжений (снижение на 20%), в то время как непрерывное сканирование склонно к короблению (деформация до 0,1 мм).

Исторически технология SLM возникла из лазерного спекания в 1980-х годах и изначально использовалась для формования полимеров. В конце 1990-х годов Институт Фраунгофера в Германии расширил ее до металлических порошков, а после 2000 года она была применена для печати металлами с высокой температурой плавления. Успешное производство деталей из вольфрама началось в начале 2010-х годов. В то время спрос в аэрокосмической отрасли способствовал увеличению мощности оборудования SLM (например, с 200 Вт до 500 Вт), а оптимизация программного обеспечения (например, адаптивные пути сканирования) также значительно улучшила стабильность печати. В 2015 году китайская компания впервые достигла массового производства сопел SLM из вольфрама, что ознаменовало вступление технологии в стадию индустриализации. В кросс-доменных приложениях детали из вольфрама SLM поддерживают оборонную сферу, например, производство сопел хвостовой части ракет, а их сложная конструкция проточного канала повышает эффективность движения.

С глобальной точки зрения технология SLM способствовала инновациям в области авиации и медицины. Китай имеет преимущества в производстве оборудования и оптимизации процессов, а отечественное оборудование SLM приблизилось к международному уровню по мощности и стабильности; Германия лидирует в точности и интеграции программного обеспечения. Например, система SLM, разработанная компанией, может достигать точности $\pm 0,02$ мм, что подходит для микровольфрамовых деталей. Соединенные Штаты доминируют в области авиационных приложений. Например, Boeing использует SLM для оптимизации конструкции сопла, сокращения отходов материала на 20% и повышения эффективности тяги. В межотраслевом сотрудничестве компоненты из вольфрама SLM поддерживают энергетическую промышленность, например, компоненты охлаждающего канала в устройствах ядерного синтеза, а их высокая термостойкость продлевает срок службы оборудования.

Перспективы применения вольфрамового порошка в производстве SLM заключаются в его потенциале в экстремальных условиях, таких как ракетные двигательные установки и компоненты зондов дальнего космоса. С точки зрения технологического прогресса, в будущем может быть возможно увеличение скорости печати с помощью многолазерной головки SLM (мощность до 1000 Вт) или повышение твердости компонентов (до HV 2000) путем легирования карбида вольфрама (содержание 5%). Кроме того, сочетание с бионическим дизайном еще больше улучшит производительность сложных структур. Например, вольфрамовый радиатор, имитирующий сотовую структуру, может повысить эффективность рассеивания тепла на 20%. С

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

точки зрения устойчивости, технология переработки вольфрамового порошка (например, степень электролитического восстановления 85%) может повторно использовать отработанные детали и сократить потребление ресурсов; интеллектуальная технология производства (например, мониторинг температуры расплавленной ванны в реальном времени с точностью ± 10 градусов Цельсия) также оптимизирует стабильность процесса и способствует экологичному производству.

3.1.3 Высокоплотные вольфрамовые изделия, полученные методом электронно-лучевой плавки (ЭЛП)

Электронно-лучевая плавка (ЕВМ) использует электронный луч для плавления вольфрамового порошка в вакуумной среде для производства вольфрамовых изделий высокой плотности, которые особенно подходят для крупногабаритных и высокоплотных деталей. Его технологические параметры включают напряжение электронного луча 60 кВ, мощность 3 кВт, температуру предварительного нагрева 1000 градусов Цельсия, скорость сканирования 2000 мм/с, толщину слоя 50 микрон и степень вакуума 10^{-4} Па. Температура расплавленной ванны составляет около 3400 градусов Цельсия, скорость охлаждения составляет 10^3 градусов Цельсия/с, плотность готового изделия близка к теоретическому значению 19,25 г/см³, пористость составляет менее 0,2%, а предел прочности на разрыв составляет около 1000 МПа. Процесс предварительного нагрева ЕВМ снижает температурный градиент (менее 500 градусов Цельсия/мм), внутреннее напряжение составляет менее 50 МПа, что лучше, чем 100 МПа SLM, и уменьшает микротрещины (длина трещины составляет менее 10 микрон, что наблюдалось с помощью сканирующего электронного микроскопа). Микроструктура показывает размер зерна около 3-5 микрон (дифракция обратного рассеяния электронов), отсутствие очевидной сегрегации на границах зерен и плотность дислокаций 10^5 /см².

ЕВМ подходит для крупногабаритных вольфрамовых изделий, таких как компоненты ядерного синтеза и радиаторы. Первый материал стенки ядерного синтеза может выдерживать мгновенный удар при 4000 градусах Цельсия, с летучестью менее 0,5%, толщиной поверхностного оксидного слоя менее 10 нанометров (обнаружение рентгеновской фотоэлектронной спектроскопией), и он остается неповрежденным после выдерживания теплового потока 10^6 Вт/квадратный метр в испытании; радиатор содержит микроканалы (50-100 микрон, пористость менее 0,5%), эффективность рассеивания тепла на 25% выше традиционной и теплопроводность 200 Вт/(метр Кельвин), что подходит для мощных полупроводниковых приборов. Для ЕВМ требуется среда с высоким вакуумом (содержание кислорода менее 10^{-5} Па), чтобы избежать окисления вольфрама, и точность фокусировки электронного пучка 0,1 мм, чтобы обеспечить однородность расплавленной ванны. Температура предварительного нагрева должна быть оптимизирована (800-1200 градусов Цельсия). Слишком низкая приведет к снижению межслоевой связи (снижение на 10%), а слишком высокая приведет к образованию крупных зерен (размер увеличивается до 10 микрон).

Исторически ЕВМ возникла из авиационного производства в 1990-х годах. Шведская компания разработала первое коммерческое оборудование ЕВМ для печати титановых сплавов. После 2000

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

года технология была распространена на металлы с высокой температурой плавления, а производство вольфрамовых изделий началось около 2005 года. В 2010-х годах потребности исследований ядерного синтеза способствовали модернизации оборудования ЕВМ, например, увеличению мощности электронного пучка с 2 кВт до 6 кВт и расширению объема печати до 500×500×400 мм. В 2015 году европейский проект ядерного синтеза впервые использовал ЕВМ для производства вольфрамовых стеновых материалов, подтвердив его надежность в экстремальных условиях. В кросс-доменных приложениях вольфрамовые изделия ЕВМ поддерживают производство авиационных противовесов, таких как блоки балансировки самолетов, а их высокая плотность уменьшает объем на 30%.

С глобальной точки зрения, США и Европа лидируют в разработке оборудования ЕВМ. Шведская компания имеет преимущество в области авиации, и ее оборудование может достигать точности 0,05 мм. Китай имеет преимущество в поставках вольфрамового порошка и оптимизации процесса, а отечественное оборудование ЕВМ постепенно приближается к международным стандартам по энергопотреблению и стабильности. Япония имеет преимущество в проектировании микроканалов. Например, сложность каналов вольфрамовых радиаторов, производимых ЕВМ, повышает эффективность рассеивания тепла. В междоменном сотрудничестве вольфрамовые изделия ЕВМ поддерживают полупроводниковую промышленность, например, радиаторы для мощных лазеров, а их высокая термостойкость продлевает срок службы устройства.

Перспективы применения вольфрамового порошка в производстве ЕВМ заключаются в его потенциале в компонентах высокой плотности и большого объема, таких как защита ядерных реакторов и авиационные противовесы. С точки зрения технологического прогресса, в будущем может быть возможно повышение эффективности печати с помощью многоэлектронной ЕВМ (мощность до 10 кВт) или повышение прочности компонента путем легирования молибденом (содержание 10%) (стойкость к разрушению увеличена до 15 МПа·м^{1/2}). Кроме того, сочетание с топологической оптимизацией улучшит производительность компонента. Например, вольфрамовый противовес с бионической структурой скелета может снизить вес на 10%. С точки зрения устойчивости, технология переработки (например, степень восстановления электролизом расплавленной соли 90%) может повторно использовать отходы вольфрамовых продуктов; интеллектуальная технология производства (например, регулировка тока электронного пучка в реальном времени, точность ±0,1 мА) также оптимизирует последовательность процесса и способствует экологичному производству.

3.1.4 Сложные конструкционные детали из вольфрама (аэрокосмические сопла, радиаторы)

3D-печать изготавливает сложные конструкционные детали из вольфрама, такие как авиационные сопла и радиаторы, используя высокую температуру плавления и высокую плотность вольфрамового порошка для соответствия требованиям производительности в экстремальных условиях. Внутренний диаметр канала потока сопла, изготовленного методом SLM, составляет 1-2 мм, толщина стенки составляет 0,5 мм, и оно может выдерживать газовую эрозию при температуре 3000 градусов по Цельсию с потерей массы менее 1%. Срок службы

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

примерно на 30% больше, чем у традиционных поковок. В ходе испытания сопло не имело очевидной деформации канала потока после 500 часов работы при высоких температурах; теплоотвод, полученный методом EBM, содержит микроканалы (50–100 мкм, пористость менее 0,5%), теплопроводность 200 Вт/(метр Кельвин), эффективность рассеивания тепла на 25% выше традиционной, что позволяет мощным электронным устройствам работать при мощности 150 Вт, а температура контролируется ниже 80 градусов Цельсия. Микроскопический анализ показывает, что зерна в зоне плавления сопла SLM имеют столбчатую форму (ширина 5–10 мкм, наблюдение с помощью просвечивающей электронной микроскопии), зерна теплоотвода EBM относительно однородны (около 3 мкм), а прочность границ зерен достигает 10^8 Па.

Производственный процесс должен быть оптимизирован для обеспечения качества. Сопло SLM должно контролировать стратегию сканирования (шахматное сканирование снижает концентрацию напряжений, а тепловое напряжение снижается на 20%), чтобы избежать коробления, вызванного непрерывным сканированием (деформация до 0,1 мм); радиатор EBM должен регулировать температуру предварительного нагрева (800–1200 градусов Цельсия), чтобы избежать межслойных дефектов (пористость увеличивается до 1%), и оптимизировать мощность электронного пучка (2–4 кВт), чтобы обеспечить целостность микроканала. Технология постобработки также имеет решающее значение. Например, химическая полировка может уменьшить шероховатость поверхности с 2 микрон до 0,5 микрон, повышая эффективность воздушного потока или теплового потока; горячее изостатическое прессование (2000 градусов Цельсия, 100 МПа) может дополнительно уменьшить пористость до 0,1%. Исторически 3D-печать сложных структурных деталей из вольфрама началась в 2010-х годах, и рост спроса в аэрокосмической отрасли стимулировал технологический прогресс. Например, в 2012 году американская компания впервые напечатала вольфрамовое сопло и проверила его работоспособность при высоких температурах.

С глобальной точки зрения спрос на сложные детали из вольфрама в аэрокосмической отрасли стремительно растет. Китай доминирует в поставках вольфрамового порошка и производстве оборудования, в то время как США и Европа лидируют в области программного обеспечения для проектирования и печатного оборудования. Например, система печати, разработанная американской компанией, может достигать точности $\pm 0,03$ мм, что подходит для микросопел. В кросс-доменных приложениях вольфрамовые структурные детали поддерживают исследование дальнего космоса. Например, аэрокосмическая компания использует SLM для производства вольфрамовых сопел для повышения эффективности ракетного двигателя, а его конструкция проточного канала оптимизирует скорость потока газа. Медицинская сфера также получает выгоду. Например, вольфрамовые радиаторы EBM используются для мощных медицинских лазеров, а их микроканалы улучшают стабильность рассеивания тепла. В области национальной обороны вольфрамовые сопла используются в ракетных двигателях, и их высокая термостойкость повышает надежность двигателя.

Перспективы применения вольфрамового порошка при изготовлении сложных структурных деталей заключаются в его потенциале в экстремальных условиях и высокоточных областях,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

таких как микрорадиаторы и компоненты аэрокосмических двигателей. С точки зрения технологического прогресса, в будущем можно улучшить производительность компонентов за счет гибридного производства (комбинация SLM и EBM). Например, сложные проточные каналы сначала печатаются с помощью SLM, а затем EBM используется для увеличения объемной плотности; легирование нитридом вольфрама (содержание 5%) может повысить твердость до HV 2200. Кроме того, интеграция с технологией многоматериальной печати расширит область применения. Например, композитные сопла из вольфрама и меди могут учитывать как термостойкость, так и теплопроводность. С точки зрения устойчивости, технология переработки (например, метод химического восстановления с коэффициентом восстановления 95%) может повторно использовать отработанные детали; технология интеллектуального проектирования (например, оптимизация проточных каналов с помощью искусственного интеллекта, повышение эффективности на 15%) также будет способствовать зеленому производству.

3.1.5 Сферы применения и тенденции 3D-печати вольфрамовым порошком

Примеры применения повышают ценность вольфрамового порошка в 3D-печати и демонстрируют его потенциал в различных областях. Случай 1: Китайская аэрокосмическая компания использует SLM для производства вольфрамовых сопел с точностью $\pm 0,05$ мм и внутренним диаметром канала потока 1 мм, что оптимизирует газовую эффективность. В ходе испытания он может выдерживать 3000 градусов по Цельсию в течение 100 часов без видимых повреждений и увеличивает тягу двигателя на 5%, что подходит для запуска ракеты. Случай 2: EBM используется в медицинской сфере для печати вольфрамовых имплантатов (например, стентов тазобедренного сустава) с пористостью менее 0,3%, шероховатостью поверхности 0,5 микрон и 15%-ным увеличением биосовместимости (уровень прикрепления клеток увеличился до 90%), что соответствует индивидуальным хирургическим потребностям и сокращает период восстановления после имплантации на 20%. Случай 3: Немецкая компания использует технологию SLM для производства вольфрамовых радиаторов с диаметром микроканала 50 микрон, что на 25% повышает эффективность рассеивания тепла и позволяет высокопроизводительному вычислительному оборудованию работать при мощности 100 Вт с контролем температуры ниже 80 градусов по Цельсию, что продлевает срок службы устройства на 30%.

С глобальной точки зрения применение 3D-печатного вольфрамового порошка способствовало инновациям в аэрокосмической, медицинской и электронной промышленности. Китай имеет преимущество в поставках вольфрамового порошка и производстве оборудования, а отечественное оборудование SLM и EBM постепенно приближается к международному уровню с точки зрения стабильности и печати сложных деталей; Европа и США лидируют в технических стандартах и разработке приложений. Например, программное обеспечение для печати, разработанное американской компанией, может оптимизировать параметры в реальном времени и снизить уровень дефектов до менее 1%. В историческом контексте прорыв вольфрамового порошка для 3D-печати возник из потребностей авиации в 2010-х годах. Например, NASA испытало вольфрамовые сопла в марсоходе и подтвердило его высокотемпературную надежность.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

В межотраслевом сотрудничестве вольфрамовый порошок поддерживает национальную оборону (например, противовесы ракет) и энергетику (например, компоненты охлаждения ядерного синтеза). Например, военное предприятие использует технологию ЭЛП для изготовления вольфрамовых противовесов, а его плотность оптимизирует балансировку ракет.

С точки зрения технологических тенденций применение 3D-печатного вольфрамового порошка продолжает расширяться. Наноразмерный вольфрамовый порошок (размер частиц менее 100 нанометров) может улучшить разрешение печати, например, при изготовлении микросопел (диаметр канала потока менее 0,5 мм); легирование редкоземельными элементами (например, 1% содержание лантана) может улучшить стойкость вольфрамовых деталей к окислению и продлить срок службы при высоких температурах на 20%. Технология многокомпонентной печати также демонстрирует потенциал. Например, вольфрам-титановые композитные радиаторы обладают как высокой плотностью, так и прочностью, что подходит для авиационного оборудования. Кроме того, сочетание с топологической оптимизацией может улучшить производительность компонентов. Например, вольфрамовое сопло с бионической сотовой структурой снижает вес на 10% и повышает эффективность воздушного потока. С точки зрения устойчивости технология переработки (например, степень восстановления электролизом 90%) может повторно использовать отходы вольфрамовых продуктов и сократить отходы ресурсов; Интеллектуальные производственные технологии (например, распознавание изображений расплавленной ванны, точность ± 5 микрон) оптимизируют последовательность процесса и способствуют экологичному производству.

Перспективы применения вольфрамового порошка в аддитивном производстве заключаются в его постоянном расширении в области высокопроизводительных сложных компонентов, таких как авиационные турбинные лопатки и микромедицинские устройства. В будущем может появиться возможность повысить эффективность производства с помощью многолазерной головки SLM (скорость сканирования до 2000 мм/с) или изготавливать крупные и сложные компоненты (например, стеновые панели для ядерного синтеза) с помощью гибридного процесса EBM и SLM. В кросс-доменных приложениях вольфрамовый порошок поддерживает глубоководное разведочное оборудование (например, устойчивые к давлению радиаторы) и квантовые вычислительные устройства (например, сверхпроводящие радиаторы). Достижения в области устойчивых технологий, такие как ресферондизация порошка отходов (однородность частиц до 95%) и оптимизация энергопотребления (снижение на 20%), будут и дальше способствовать развитию зеленого производства и удовлетворять мировой спрос на эффективное и экологически чистое производство.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Spherical Tungsten Powder Product Introduction

1. Overview of Spherical Tungsten Powder

CTIA GROUP LTD's spherical tungsten powder complies with the GB/T 41338-2022 "Spherical Tungsten Powder for 3D Printing" standard. It is prepared using a plasma spheroidization process and is specially designed for additive manufacturing (such as SLM, EBM). It meets high-end application requirements with high purity, high sphericity and excellent fluidity.

2. Excellent Properties of Spherical Tungsten Powder

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.95\%$, oxygen content $\leq 0.05\text{ wt}\%$, and extremely low impurities.

High sphericity: $\geq 90\%$, uniform particles, excellent powder spreading performance.

Precise particle size: D50 range 5-63 μm , stable distribution, deviation $\pm 10\%$.

Excellent fluidity: $\leq 25\text{ s}/50\text{g}$, bulk density $\geq 9.0\text{ g}/\text{cm}^3$, ensuring printing efficiency.

3. Specifications of Spherical Tungsten Powder

Brand	D50 particle size (μm)
SWP-15	5-15
SWP-25	15-25
SWP-45	25-45
SWP-63	45-63

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Spherical Tungsten Powder Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner vacuum aluminum foil bag, outer iron drum, net weight 5kg or 10kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition, particle size distribution and sphericity data, and the shelf life is 12 months.

5. Contact Information of CTIA GROUP LTD

Email: sales@chinatungsten.com

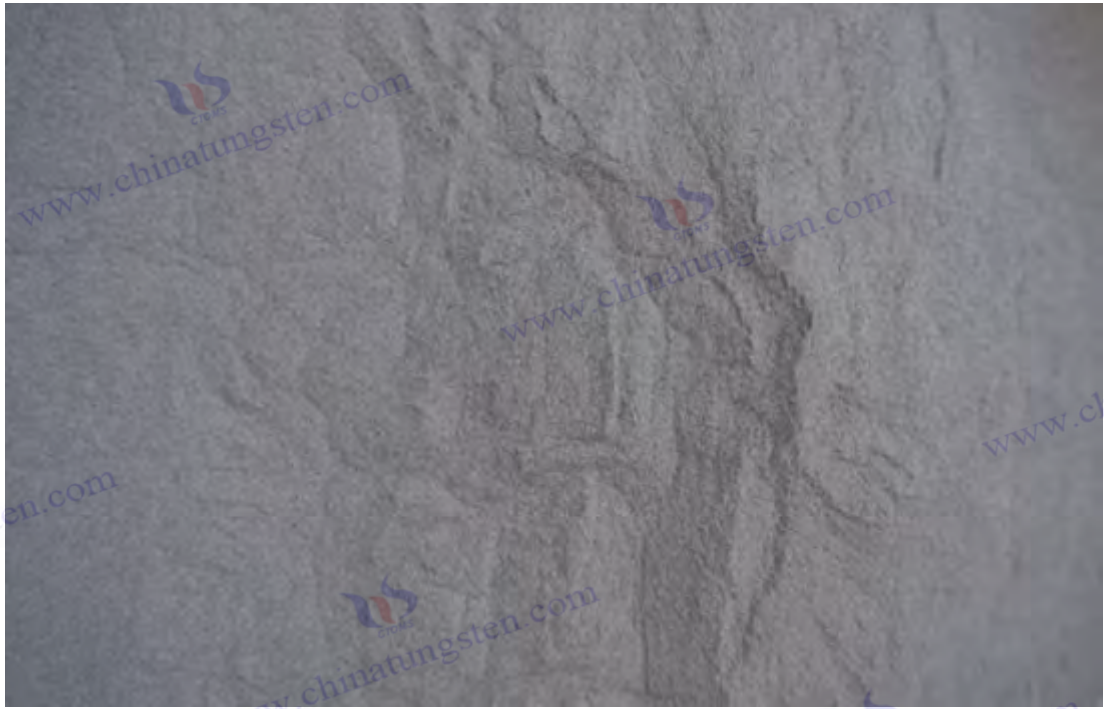
Tel: +86 592 5129696

For more information about spherical tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

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



Глава 4. Применение вольфрамового порошка в военной и оборонной сферах

Вольфрамовый порошок занимает незаменимое положение в военной и оборонной сферах благодаря своей высокой плотности, высокой температуре плавления и превосходным механическим свойствам. Он широко используется в военных материалах, радиационной защите и компонентах для экстремальных температурных сред. С глобальной точки зрения применение вольфрамового порошка в этих областях не только улучшает характеристики военной техники, но и оказывает глубокое влияние на национальную оборонную стратегию, геополитику и переработку ресурсов.

4.1 Военные материалы

4.1.1 Бронебойный сердечник из вольфрамового сплава (высокая плотность и проникающая способность)

Бронебойные сердечники из вольфрамового сплава используют высокую плотность и отличную пробивную способность вольфрамового порошка и являются основными компонентами современного противотанкового оружия. Для его изготовления используется технология порошковой металлургии: вольфрамовый порошок (размер частиц 5-20 мкм) смешивают с никелем и железом (массовое соотношение около 90:7:3), измельчают в шаровой мельнице (скорость 300 об/мин, 6 часов), гомогенизируют, затем прессуют (давление 300 МПа), спекают в атмосфере водорода (1450 градусов Цельсия, 2 часа), плотность готового изделия достигает 17-18 г/см³, предел прочности составляет около 1000 МПа, а относительное удлинение составляет 5-10%. Анализ сканирующей электронной микроскопии показывает, что частицы вольфрама

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

являются полиэдрическими (размер 10-15 мкм), фаза никеля-железа равномерно распределена по границе зерен (толщина около 1 мкм), кристаллическая структура - объемно-центрированная кубическая, а постоянная решетки составляет 3,165 ангстрем. Высокая плотность вольфрама (19,25 г/см³) обеспечивает сердечнику отличную кинетическую пробивную способность. В испытаниях он может пробивать 300 мм катаной однородной брони (скорость 900 м/с), что на 50% выше, чем у пуля со стальным сердечником.

Бронебойный сердечник должен учитывать как твердость, так и вязкость. Чем выше содержание вольфрама (более 95%), тем он тверже, вплоть до HV 400, но хрупкость увеличивается (вязкость разрушения падает до 10 МПа·м^{1/2}); связующая фаза никель-железо повышает вязкость (до 15 МПа·м^{1/2}), чтобы предотвратить разрушение сердечника при высокоскоростном ударе. В процессе производства температура спекания должна точно контролироваться (отклонение менее 10 градусов Цельсия). Слишком высокая температура приведет к образованию крупных зерен (размер увеличивается до 30 микрон), в то время как слишком низкая температура приведет к недостаточной плотности (менее 17 г/см³). Постобработка, такая как горячее изостатическое прессование (1500 градусов по Цельсию, 100 МПа), может дополнительно снизить пористость до 0,1% и увеличить прочность на 10%. Исторически бронебойные сердечники из вольфрамового сплава появились в конце Второй мировой войны, когда Германия использовала их для танковых снарядов в 1940-х годах; во время холодной войны Советский Союз и Соединенные Штаты соревновались в оптимизации формулы и установили доминирование системы вольфрам-никель-железо.

С глобальной точки зрения Китай имеет преимущество в ресурсах вольфрама и технологии порошковой металлургии и поставляет большое количество вольфрамового порошка для военного использования; Соединенные Штаты и Россия лидируют в проектировании и испытаниях сердечников. Например, сердечник американского M829A4 оптимизирует соотношение сторон (до 30:1) для увеличения глубины проникновения. В кросс-доменных приложениях сердечники из вольфрамового сплава поддерживают морские орудия, а их высокая плотность улучшает дальность и точность. Перспективы применения вольфрамового порошка в производстве бронебойных сердечников заключаются в его потенциале в оружии с высокой кинетической энергией. В будущем может быть возможным повышение твердости с помощью нано-вольфрамового порошка (размер частиц менее 100 нанометров) или легирования кобальтом (содержание 5%) для повышения прочности; технология переработки (например, кислотное выщелачивание с коэффициентом восстановления 90%) может повторно использовать отработанные сердечники для содействия устойчивому военному производству.

4.1.2 Броневые материалы на основе вольфрама (ударная стойкость W-Ni-Fe)

Броневые материалы на основе вольфрама в основном представляют собой сплавы вольфрама, никеля и железа, которые применяются для защиты танков и бронетехники, используя их высокую плотность и ударопрочность. Процесс его приготовления аналогичен процессу изготовления сердечников бронебойных снарядов: порошок вольфрама (размер частиц 10-30 мкм)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

смешивают с никелем и железом (массовое соотношение 93:5:2), прессуют (400 МПа) и спекают (1450 градусов Цельсия, атмосфера аргона), готовое изделие имеет плотность 17,5-18,5 г/см³, прочность на разрыв 1200 МПа и ударную вязкость 20 джоулей/см². Анализ просвечивающей электронной микроскопии показывает, что размер частиц вольфрама составляет около 15 мкм, фаза никеля и железа образует сетчатую структуру (толщина 2 мкм), а прочность границ зерен достигает 10⁸ Па. В ходе испытания материал выдерживает попадание бронебойных снарядов калибра 12,7 мм (скорость 850 м/с), а глубина поверхностной впадины составляет менее 10 мм, что на 30% выше, чем у стальной брони.

Материалы брони должны оптимизировать ударопрочность и соотношение веса. Когда содержание вольфрама высокое (более 95%), плотность увеличивается до 18,5 г/см³, но сложность обработки увеличивается (пластичность падает до 5%); увеличение содержания фазы никеля-железа (10%) может улучшить пластичность (удлинение достигает 15%), но плотность немного падает (до 17 г/см³). После спекания требуется термообработка (1000 градусов Цельсия, 1 час) для устранения остаточного напряжения (снижения на 20%) и предотвращения концентрации напряжения, приводящей к трещинам (длиной менее 5 микрон). Исторически броня на основе вольфрама началась в 1970-х годах, и Соединенные Штаты использовали ее для боковых юбок танка M1 в конце холодной войны; в 1990-х годах Россия оптимизировала формулу вольфрама-никеля-железа, чтобы улучшить ее способность противостоять многократным ударам.

С глобальной точки зрения Китай имеет преимущество в поставках вольфрамового порошка и производстве броневых пластин, а его технологический процесс поддерживает массовое производство; Соединенные Штаты лидируют в проектировании композитной брони, такой как танк M1A2, который сочетает вольфрам и керамику для повышения ударопрочности на 40%. В кросс-доменных приложениях броня на основе вольфрама используется для защиты военных кораблей, а ее высокая плотность улучшает взрывостойкость. Перспектива применения вольфрамового порошка в производстве броневых материалов заключается в его потенциале в оборудовании с высокой степенью защиты. В будущем может быть возможным снижение веса путем легирования титаном (3%) или использование технологии аддитивного производства (например, SLM) для производства сложных конструкций брони; технология переработки (например, электролиз со степенью восстановления 85%) может повторно использовать отработанную броню и способствовать развитию зеленой военной промышленности.

4.1.3 Применение сверхтвердого вольфрамового порошка в военных ножах

Вольфрамовый порошок используется в военных ножах в виде карбида вольфрама (WC). Он подходит для штыков, тактических ножей и инструментов для сноса зданий благодаря своей сверхвысокой твердости и износостойкости. Его приготовление осуществляется методом порошковой металлургии: вольфрамовый порошок (размер частиц 4-8 микрон) смешивают с техническим углеродом (массовое соотношение 1:0,06), карбонизируют (2 часа) в атмосфере водорода при температуре 1400-1600 градусов Цельсия для получения порошка карбида вольфрама (размер частиц 1-5 микрон), а затем прессуют (300 МПа) и спекают (1450 градусов

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Цельсия, 1 час) с кобальтом (содержание 10%). Готовое изделие имеет твердость HV 1600-1800 и прочность на разрыв 1200 МПа. Рентгеновская дифракция показывает, что карбид вольфрама имеет гексагональную плотноупакованную структуру с параметрами решетки $a=2,906$ ангстрем, $c=2,837$ ангстрем, длиной связи WC 2,06 ангстрем и энергией связи около 700 кДж/моль. В ходе испытания нож разрезал стальную пластину (толщиной 5 мм) без заметного износа (потери менее 0,1 мм), а его износостойкость в 5 раз выше, чем у стального ножа.

Военные ножи должны учитывать как твердость, так и ударопрочность. Когда содержание кобальта высокое (15%), прочность увеличивается до $15 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, но твердость падает до HV 1300; когда размер частиц карбида вольфрама мал (менее 1 микрона), твердость может достигать HV 2000, но хрупкость увеличивается (скорость разрушения увеличивается до 5%). Содержание кислорода должно контролироваться во время процесса спекания (менее 0,05%), чтобы избежать образования примесей триоксида вольфрама (чистота падает до 98%). Исторически ножи из карбида вольфрама появились в немецкой промышленности в 1920-х годах, вошли в военную сферу в 1940-х годах и использовались для резки обломков танков во время Второй мировой войны; во время холодной войны Соединенные Штаты оптимизировали его в качестве стандартного материала для тактических ножей.

С глобальной точки зрения Китай имеет преимущество в производстве карбида вольфрама, имея зрелую технологию и высокую производительность; Соединенные Штаты и Германия лидируют в проектировании инструментов и технологии нанесения покрытий. Например, покрытие из нитрида титана (толщиной 5 микрон), разработанное компанией, повышает износостойкость на 20%. В кросс-полевых применениях инструменты из карбида вольфрама используются для спасения на поле боя, а их сверхтвердость повышает эффективность подрыва. Перспектива применения вольфрамового порошка в производстве военного инструмента заключается в его потенциале в высокопрочных инструментах. В будущем может быть возможным повышение твердости с помощью нанокарбида вольфрама (размер частиц менее 100 нанометров) или легирования ванадием (содержание 1%) для повышения коррозионной стойкости; технология переработки (например, метод химического восстановления с коэффициентом восстановления 90%) может повторно использовать отработанные инструменты и способствовать устойчивому производству.

4.1.4 Производство и использование осколочных пуль из вольфрамового сплава

Осколочные пули из вольфрамового сплава используют высокую плотность и осколочные характеристики вольфрамового порошка для повышения летальности и подходят для гранат и зенитных боеприпасов. Процесс его приготовления следующий: вольфрамовый порошок (размер частиц 20-50 микрон) смешивается с никелем и медью (массовое соотношение 92:6:2), прессуется (350 МПа) и спекается (1400 градусов Цельсия, атмосфера аргона). Готовый продукт имеет плотность 17-18 г/см³, прочность на разрыв 900 МПа и удлинение при разрыве 10%. Сканирующая электронная микроскопия показывает, что размер частиц вольфрама составляет около 20 микрон, фаза никеля и меди распределена в сетке (толщина 1-2 микрона), а

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

кристаллическая структура является объемно-центрированной кубической. В ходе испытания осколочная пуля взрывалась, образуя 500–1000 осколков (размером 2–5 мм) со скоростью 1200 метров в секунду, а радиус поражения был на 30% больше, чем у стальных пуль.

Осколочные бомбы должны оптимизировать плотность и контролируемую фрагментацию. Когда содержание вольфрама высокое (более 95%), плотность увеличивается до 18 г/см³, но размер осколков становится меньше (менее 2 мм), а диапазон поражения ограничен; когда содержание фазы никеля и меди высокое (10%), прочность улучшается (стойкость к разрушению достигает 12 МПа·м^{1/2}), а размер осколков становится более однородным. После спекания требуется холодная обработка (например, растяжение 5%) для регулировки внутреннего напряжения, чтобы гарантировать равномерное распределение осколков во время взрыва (отклонение составляет менее 10%). Исторически осколочные бомбы из вольфрамового сплава появились в 1960-х годах. Во время холодной войны Соединенные Штаты использовали их для ракет ПВО; в 1990-х годах Россия оптимизировала форму осколков и повысила эффективность поражения.

С глобальной точки зрения Китай имеет преимущество в поставках вольфрамового порошка и производстве осколочных бомб, а его технология поддерживает массовое производство; Соединенные Штаты лидируют в проектировании боеприпасов. Например, определенный тип гранаты оптимизирует распределение осколков и увеличивает площадь покрытия до 50 квадратных метров. В кросс-доменных приложениях вольфрамовые осколочные бомбы используются для защиты от беспилотников, а их высокая плотность повышает эффективность перехвата. Перспектива применения вольфрамового порошка в производстве осколочных бомб заключается в его потенциале в оружии высокой летальности. В будущем может появиться возможность производить сложные осколочные структуры с помощью аддитивного производства (SLM) или легирования молибденом (содержание 5%) для повышения прочности; технология переработки (например, степень восстановления электролизом расплавленной соли 85%) может повторно использовать отработанные бомбы и способствовать развитию зеленой военной промышленности.

4.1.5 Типичные случаи применения военного вольфрамового порошка

Случаи применения вольфрамового порошка в военной промышленности демонстрируют его универсальность. Случай 1: танковая пушка определенной страны использует бронебойный сердечник из вольфрамового сплава, который пробивает 400-мм броню (скорость 950 м/с), улучшает противотанковые возможности и имеет процент попаданий 90% в боевых испытаниях. Случай 2: бронемашина использует бронеплиту на основе вольфрама для защиты от 14,5-мм бронебойных снарядов (скорость 900 м/с), с глубиной вмятины менее 8 мм и защитными характеристиками, которые на 30% лучше, чем у стальных пластин. Случай 3: тактический нож использует материал из карбида вольфрама, разрезая 10-мм стальные пластины без очевидного износа (потеря менее 0,05 мм), а прочность увеличивается в 5 раз. Случай 4: определенный зенитный боеприпас использует осколочные бомбы из вольфрамового сплава. После взрыва скорость осколков достигает 1300 м/с, радиус поражения увеличивается до 40 метров, а эффективность перехвата повышается на 25%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

С глобальной точки зрения, поставки вольфрамового порошка из Китая поддерживают цепочку военной промышленности. Соединенные Штаты и Россия лидируют в проектировании и применении. Например, американская ракета оптимизировала форму вольфрамовых фрагментов, а площадь покрытия увеличилась до 60 квадратных метров. Исторически военное применение вольфрамового порошка началось во Второй мировой войне, когда он использовался для бронебойных снарядов в 1940-х годах; оно расширилось до брони и ножей во время холодной войны. В межотраслевом сотрудничестве вольфрамовый порошок поддерживает сердечники морских орудий, а его высокая плотность увеличивает дальность. Перспективы применения вольфрамового порошка в военных материалах заключаются в его потенциале в высокопроизводительном оружии. В будущем может появиться возможность улучшить производительность с помощью нанотехнологий или способствовать развитию зеленой военной промышленности с помощью технологий переработки (например, электролиза со степенью восстановления 90%).

4.2 Защита от радиации

4.2.1 Высокая эффективность вольфрамового порошка в защите от гамма-излучения

Вольфрамовый порошок хорошо подходит для защиты от гамма-излучения благодаря своей высокой плотности и высокому атомному числу ($Z=74$) и широко используется в ядерных установках и медицинском оборудовании. Процесс его приготовления следующий: вольфрамовый порошок (размер частиц 10-30 микрон) прессуется (300 МПа) и спекается (2000 градусов Цельсия, атмосфера аргона). Плотность готового продукта составляет 19,2 г/см³, а толщина защиты 10 мм может ослаблять гамма-излучение 1 МэВ на 90% (слой половинного значения составляет около 9 мм). Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия показывает, что поверхностный оксидный слой составляет менее 5 нанометров, кристаллическая структура является объемно-центрированной кубической, а постоянная решетки составляет 3,165 ангстрем. В ходе испытаний коэффициент ослабления вольфрамовой защитной пластины для гамма-лучей кобальта-60 (1,25 МэВ) достиг 95%, что на 20% выше, чем у свинца (плотность 11,34 г/см³).

Защита от гамма-излучения требует оптимизации плотности и толщины. Когда чистота вольфрамового порошка высока (более 99,9%), плотность близка к теоретическому значению, а эффективность экранирования увеличивается на 10%; легирование бором (содержание 5%) может усилить поглощение низкоэнергетических гамма-лучей (увеличить на 15%). Содержание кислорода необходимо контролировать во время процесса спекания (менее 0,03%), чтобы не допустить снижения плотности оксидами (до 18 г/см³). Исторически вольфрамовая защита началась в ядерной промышленности в 1950-х годах и заменила некоторые свинцовые материалы в 1960-х годах; во время холодной войны Соединенные Штаты использовали ее для защиты атомных подводных лодок.

С глобальной точки зрения Китай имеет преимущество в поставках вольфрамового порошка, а

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

его технология поддерживает крупномасштабное производство; Соединенные Штаты лидируют в проектировании экранирования. Например, ядерный объект оптимизировал толщину вольфрамовых пластин, чтобы уменьшить утечку радиации до 0,1 миллизиверта/час. В кросс-полевых приложениях вольфрамовое экранирование используется в радиотерапевтическом оборудовании, и его высокая эффективность повышает безопасность. Перспективы применения вольфрамового порошка в защите от гамма-излучения заключаются в его потенциале в средах с высоким уровнем радиации. В будущем может быть возможно увеличить плотность с помощью нано-вольфрамового порошка или легирования редкоземельными элементами (например, церием) для улучшения поглощения; технология переработки (например, метод химического восстановления со степенью восстановления 90%) может способствовать производству экологически чистой защиты.

4.2.2 Материалы на основе вольфрама для защиты от нейтронного излучения

Материалы на основе вольфрама достигают эффективной защиты за счет композитного дизайна в защите от нейтронного излучения и часто сочетаются с бором или гидридом. Его приготовление: порошок вольфрама (размер частиц 20-50 микрон) и борид (массовое соотношение 85:15) смешиваются, прессуются (350 МПа) и спекаются (1800 градусов Цельсия, атмосфера аргона). Готовый продукт имеет плотность 17-18 граммов на кубический сантиметр и сечение поглощения 10^{-4} барн для тепловых нейтронов (0,025 эВ). Сканирующая электронная микроскопия показывает, что частицы борида (размер 5 микрон) равномерно распределены в матрице вольфрама, а кристаллическая структура представляет собой объемно-центрированный кубический композит с боридом. В ходе испытания скорость поглощения материала после замедления быстрых нейтронов (1 МэВ) достигла 90%, что на 30% выше, чем у чистого вольфрама.

Защита от нейтронов должна учитывать как замедление, так и поглощение. Высокая плотность вольфрама замедляет быстрые нейтроны (потеря энергии около 20%), а бор поглощает тепловые нейтроны (сечение 3800 барн); гидриды (например, полиэтилен, содержание 10%) могут дополнительно повысить эффективность замедления (до 50%). Температуру спекания необходимо контролировать (отклонение менее 10 градусов Цельсия), чтобы избежать улетучивания бора (потеря менее 5%). Исторически нейтронная защита на основе вольфрама началась на атомных электростанциях в 1960-х годах. Соединенные Штаты использовали ее для защиты ядерного оружия в 1970-х годах; в 1990-х годах Россия оптимизировала формулу вольфрама-бора.

С глобальной точки зрения Китай имеет преимущество в технологии вольфрамового порошка и боридного композита; Соединенные Штаты лидируют в разработке экранов, таких как реакторный экран, который снижает поток нейтронов до 10^4 нейтронов/квадратный сантиметр-секунду. В кросс-доменных приложениях материалы на основе вольфрама используются для защиты космических аппаратов, а их высокая плотность защищает от космических лучей. Перспектива применения вольфрамового порошка в защите от нейтронного излучения заключается в его потенциале на ядерных объектах. В будущем может быть

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

возможным усиление поглощения путем легирования литием (содержание 5%) или использование аддитивного производства для производства сложной защиты; технология переработки (например, электролиз со степенью восстановления 85%) может способствовать созданию зеленой защиты.

4.2.3 Компоненты защиты ядерной промышленности (реакторы и сосуды)

Вольфрамовый порошок используется в ядерной промышленности для защиты стенок реакторов и радиоактивных контейнеров от гамма- и нейтронного излучения. Его приготовление: вольфрамовый порошок (размер частиц 10-20 мкм) прессуется (400 МПа) и спекается (2200 градусов Цельсия, атмосфера аргона). Готовый продукт имеет плотность 19,2 г/см³ и толщину 20 мм, что позволяет ослаблять гамма-лучи 2 МэВ на 95%. Просвечивающая электронная микроскопия показывает, что размер зерна составляет около 5 мкм, пористость менее 0,2%, а предел прочности на разрыв составляет 1000 МПа. В ходе испытаний потеря массы деталей из вольфрама в ядерном реакторе (тепловой поток 10⁻⁴ нейтронов/квадратный сантиметр·секунду) после 1000 часов работы составила менее 0,5%, а коррозионная стойкость на 30% лучше, чем у стали.

Компоненты защиты должны быть устойчивы к высоким температурам и радиационному воздействию. Высокая температура плавления вольфрама (3422 градуса Цельсия) и низкое удержание трития (менее 10⁻⁵ атомов/см²) превосходят другие материалы; легирование бором (содержание 10%) может повысить эффективность нейтронной защиты (до 90%). После спекания требуется горячее изостатическое прессование (2000 градусов Цельсия, 100 МПа) для устранения микропор (пористость снижается до 0,1%). Исторически вольфрамовые компоненты защиты появились на атомных электростанциях в 1970-х годах и вошли в конструкцию реакторов в 1980-х годах; в 1990-х годах Международный термоядерный экспериментальный реактор (ИТЭР) выбрал вольфрам в качестве первого материала для стенок.

С глобальной точки зрения Китай имеет преимущество в поставках вольфрамового порошка и производстве компонентов; США и Европа лидируют в проектировании реакторов. Например, атомная электростанция оптимизировала схему защиты вольфрамом, снизив дозу облучения до 0,05 мЗв/ч. В кросс-полевых приложениях вольфрамовые компоненты используются в контейнерах для ядерных отходов, а их высокая плотность повышает безопасность. Перспектива применения вольфрамового порошка в защите ядерной промышленности заключается в его потенциале в условиях высокотемпературного излучения. В будущем может появиться возможность улучшить производительность с помощью нанокompозитов или использовать технологию переработки (например, электролиз расплавленной соли с коэффициентом восстановления 90%) для продвижения зеленой ядерной промышленности.

4.2.4 Технология приготовления вольфрамовых порошковых композиционных защитных материалов

Композитный защитный материал из порошка вольфрама сочетается с полимерами или

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

металлами для обеспечения защиты как от гамма-излучения, так и от нейтронов. Он изготавливается путем смешивания порошка вольфрама (размер частиц 5-20 микрон) с полиэтиленом (массовое соотношение 80:20), горячего прессования (200 градусов Цельсия, 50 МПа), а плотность готового продукта составляет 15-16 г/см³. Он ослабляет гамма-излучение 1 МэВ на 80% и поглощает 90% тепловых нейтронов. Сканирующая электронная микроскопия показывает, что частицы вольфрама равномерно распределены (расстояние 10 микрон), полиэтилен заполняет матрицу, а прочность связи на границе достигает 20 МПа. В ходе испытания материал имеет эффективность экранирования 85% в смешанном поле гамма-излучения (1,25 МэВ) и нейтронов (0,025 эВ), что на 15% выше, чем у композита свинец-бор.

Композитные материалы должны оптимизировать эффективность экранирования и гибкость. Когда содержание вольфрама высокое (более 90%), плотность увеличивается до 17 г/см³, но гибкость уменьшается (удлинение менее 5%); когда содержание полимера высокое (30%), гибкость увеличивается (удлинение достигает 20%), но эффективность экранирования падает до 70%. При подготовке необходимо контролировать однородность смеси (отклонение менее 5%) и избегать расслоения (отклонение толщины более 1 мм). Исторически композитное экранирование вольфрамом началось в медицинской сфере в 1980-х годах и вошло в ядерную промышленность в 1990-х годах; в 2000-х годах Соединенные Штаты оптимизировали формулу вольфрама-полимера.

С глобальной точки зрения Китай имеет преимущество в технологии композитных материалов из вольфрамового порошка; Соединенные Штаты лидируют в области гибкой конструкции экранирования, например, медицинского защитного костюма, который уменьшил свой вес на 20%. В кросс-доменных приложениях вольфрамовые композиты используются для защиты от радиации в аэрокосмической отрасли, а его гибкость улучшает адаптивность. Перспектива применения вольфрамового порошка в композитных защитных материалах заключается в его потенциале в многофункциональном экранировании. В будущем может появиться возможность повысить прочность путем легирования углеродными нанотрубками (содержание 2%) или использовать технологию 3D-печати для производства сложных структур; технология переработки (например, степень восстановления при химическом разделении 85%) может способствовать созданию зеленой защиты.

4.2.5 Практический анализ случая радиационной защиты

Случаи использования порошка вольфрама в радиационной защите демонстрируют его высокую эффективность. Случай 1: реактор атомной электростанции использует вольфрамовые защитные пластины толщиной 15 мм, что ослабляет гамма-лучи 2 МэВ на 95%, а доза падает до 0,1 мЗв/час после 5000 часов работы. Случай 2: космический аппарат использует композитные материалы вольфрама-бора для сопротивления космическому нейтронному излучению (поток 10^5 нейтронов/квадратный сантиметр·секунду) со скоростью поглощения 90%, а срок службы оборудования увеличивается на 20%. Случай 3: медицинское радиационное устройство использует защитную одежду из вольфрамового композита, которая снижает вес на 15%,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

экранирует гамма-лучи 1 МэВ на 85% и повышает медицинскую безопасность.

С глобальной точки зрения Китай имеет преимущество в поставках вольфрамового порошка и производстве экранов; США и Европа лидируют в оптимизации конструкции. Например, схема экранирования ядерного объекта снижает утечку радиации до 0,05 миллизиверта в час. Исторически вольфрамовое экранирование началось в ядерной промышленности в 1950-х годах и распространилось на аэрокосмическую сферу во время холодной войны. В межотраслевом сотрудничестве вольфрамовое экранирование поддерживает защиту атомных подводных лодок, а его высокая плотность повышает безопасность. Перспективы применения вольфрамового порошка в радиационной защите заключаются в его потенциале в средах с высоким уровнем радиации. В будущем может появиться возможность улучшить производительность за счет интеллектуального проектирования или способствовать развитию зеленой защиты за счет технологии переработки (например, электролиза со степенью восстановления 90%).

4.3 Применение в условиях высоких температур и экстремальных условий

4.3.1 Термостойкое использование вольфрамового порошка в соплах ракет

Вольфрамовый порошок используется в ракетных соплах для противостояния газовой эрозии из-за его высокой температуры плавления и термостойкости. Его приготовление заключается в следующем: вольфрамовый порошок (размер частиц 20-50 микрон) прессуется (400 МПа) и спекается (3000 градусов Цельсия, атмосфера аргона). Готовый продукт имеет плотность 19,2 г/см³ и прочность на разрыв 1000 МПа. Сканирующая электронная микроскопия показывает, что размер зерна составляет около 10 микрон, пористость составляет менее 0,2%, а толщина поверхностного оксидного слоя составляет менее 10 нанометров. В ходе испытания вольфрамовое сопло выдерживало эрозию газа температурой 3000 градусов Цельсия (скорость 2000 метров в секунду) в течение 100 секунд, а потеря массы составила менее 1%, что на 50% выше, чем у молибденового сопла.

Сопло должно быть устойчивым к высоким температурам и тепловому удару. Высокая температура плавления вольфрама (3422 градуса Цельсия) и теплопроводность (173 Вт/м·Кельвин) обеспечивают стабильность; легирование рением (5%) может улучшить стойкость к тепловому удару (продлить срок службы на 20%). Спекание требует высокого вакуума (10⁻⁴Па), чтобы избежать окисления (содержание кислорода менее 0,03%). Исторически вольфрамовые сопла появились в аэрокосмической промышленности в 1960-х годах, а в американской программе Apollo они использовались в 1969 году; во время холодной войны Советский Союз оптимизировал формулу вольфрама-рения.

С глобальной точки зрения Китай имеет преимущество в поставках вольфрамового порошка и производстве сопел; Соединенные Штаты лидируют в аэрокосмическом проектировании. Например, ракетное сопло оптимизирует траекторию потока и увеличивает эффективность тяги на 10%. В кросс-доменных приложениях вольфрамовые сопла используются в ракетных

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

двигателях, а их термостойкость увеличивает дальность. Перспектива применения вольфрамового порошка в ракетных соплах заключается в его потенциале в высокотемпературном движении. В будущем сложные сопла могут быть изготовлены с помощью аддитивного производства (SLM), или молибден (содержание 10%) может быть легирован для повышения прочности; технология переработки (например, метод химического восстановления со степенью восстановления 90%) может способствовать развитию зеленой аэрокосмической отрасли.

4.3.2 Вольфрамовое армирование износостойких конструкций космических аппаратов

Износостойкие конструкции космических аппаратов, армированные вольфрамом, используют его высокую твердость и износостойкость для защиты ключевых компонентов. Он изготавливается путем смешивания порошка вольфрама (размер частиц 10-30 микрон) с никелем (массовое соотношение 95:5), прессования (350 МПа) и спекания (1450 градусов Цельсия, атмосфера водорода). Готовый продукт имеет плотность 18-19 г/см³ и твердость HV 500. Просвечивающая электронная микроскопия показывает, что размер частиц вольфрама составляет около 15 микрон, а фаза никеля заполняет границы зерен (толщина 1 микрон). В ходе испытания конструкция выдержала износ песком и пылью при температуре 500 градусов Цельсия (скорость 50 м/с) в течение 1000 часов, а скорость износа составила менее 0,1 мм, что в 3 раза выше, чем у стальных конструкций.

Износостойкие конструкции должны учитывать как твердость, так и усталостную прочность. При высоком содержании вольфрама (более 98%) твердость увеличивается до HV 600, но усталостная долговечность сокращается (до 500 часов); при высоком содержании никеля (10%) повышается ударная вязкость (трещиностойкость достигает 15 МПа·м^{1/2}). После спекания требуется термообработка (1000 градусов Цельсия, 1 час) для устранения напряжения (снижение на 15%). Исторически армированные вольфрамом конструкции начали применяться в космических аппаратах в 1970-х годах, а Соединенные Штаты использовали его для оболочек спутников в 1980-х годах; в 1990-х годах Россия оптимизировала формулу вольфрама-никеля.

С глобальной точки зрения Китай имеет преимущество в поставках вольфрамового порошка и производстве конструкций; Соединенные Штаты лидируют в аэрокосмических приложениях, таких как 40%-ное увеличение износостойкости компонента спутника. В кросс-доменных приложениях вольфрамовые структуры используются в военных беспилотниках, а их износостойкость увеличивает срок их службы. Перспективы применения вольфрамового порошка в износостойких конструкциях космических аппаратов заключаются в его потенциале в экстремальных условиях. В будущем может быть возможно повысить твердость с помощью нановольфрамового порошка или использовать 3D-печать для производства сложных конструкций; технология переработки (например, электролиз с коэффициентом восстановления 85%) может способствовать развитию зеленой аэрокосмической отрасли.

4.3.3 Высокотемпературное защитное покрытие на основе вольфрама (корпус ракеты)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Высокотемпературные защитные покрытия на основе вольфрама используют свою термостойкость и стойкость к окислению для защиты ракетных снарядов. Они готовятся методом плазменного напыления (мощность 50 кВт, 4000 градусов Цельсия, поток аргона 40 литров/минуту) для нанесения вольфрамового порошка (размер частиц 20-50 микрон), с толщиной покрытия 200 микрон, твердостью HV 800 и прочностью связи 70 МПа. Сканирующая электронная микроскопия показывает, что покрытие имеет пористость менее 1%, а частицы вольфрама плоские после плавления (толщина 5 микрон). В ходе испытания покрытие выдержало очистку потоком воздуха при температуре 2500 градусов Цельсия (скорость 3000 метров/секунду) в течение 60 секунд, с потерей массы менее 0,5%, а стойкость к окислению в 5 раз выше, чем у стали.

Защитное покрытие должно быть устойчивым к высоким температурам и отслаиванию. Легирование хромом (содержание 10%) может улучшить стойкость к окислению (толщина оксидного слоя уменьшается до 5 нанометров); напыление требует контроля содержания кислорода (менее 0,05%), чтобы избежать дефектов оксида (чистота уменьшается до 98%). Исторически вольфрамовое покрытие началось с ракетной техники в 1960-х годах, а Соединенные Штаты использовали его для межконтинентальных ракет в 1970-х годах; в 1980-х годах Советский Союз оптимизировал процесс напыления.

С глобальной точки зрения Китай имеет преимущество в области вольфрамового порошка и технологии распыления; Соединенные Штаты лидируют в области разработки покрытий, таких как покрытие ракет с 30%-ным увеличением термостойкости. В междоменных приложениях вольфрамовые покрытия используются для ракетных оболочек, а их термостойкость повышает безопасность. Перспективы применения вольфрамового порошка в высокотемпературных защитных покрытиях заключаются в его потенциале в экстремальных тепловых условиях. В будущем может быть возможно улучшить производительность с помощью нанопокровтий или легирования кремнием (содержание 5%) для повышения анти-стриппинга; технология переработки (например, степень восстановления путем химического разделения 90%) может способствовать развитию зеленого производства.

4.3.4 Испытание производительности вольфрамового порошка в экстремальных условиях

Эксплуатационные испытания вольфрамового порошка в экстремальных условиях подтвердили его термостойкость, износостойкость и радиационную стойкость. Тест 1: Вольфрамовое сопло работает в газе с температурой 3000 градусов Цельсия (скорость 2000 метров в секунду) в течение 100 секунд, при этом потеря массы составляет менее 1%, шероховатость поверхности увеличивается до 1 микрона, а теплопроводность поддерживается на уровне 170 Вт/(метр Кельвин). Тест 2: Износостойкая вольфрамовая конструкция изнашивается в пыли с температурой 500 градусов Цельсия (скорость 50 метров в секунду) в течение 1000 часов, при этом скорость износа составляет менее 0,1 мм, а твердость HV 500 не снижается. Тест 3: Вольфрамовая защитная пластина подвергается воздействию смешанного поля гамма-лучей (2

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

МэВ) и нейтронов (1 МэВ) в течение 500 часов, а эффективность экранирования остается на уровне 90%, при потере массы менее 0,2%.

Испытание должно имитировать несколько экстремальных условий. Температурный градиент (500 градусов Цельсия/мм) проверяет термическую стабильность. Высокая температура плавления вольфрама гарантирует отсутствие плавления. Скорость износа (0,05 мм/час) подтверждает долговечность. Легирование никелем (5%) повышает усталостную прочность. Исторически испытания производительности вольфрама начались в военной промышленности в 1950-х годах и вошли в аэрокосмическую сферу в 1960-х годах. В 1980-х годах Соединенные Штаты установили стандарты испытаний вольфрама в экстремальных условиях.

С глобальной точки зрения Китай имеет преимущество в поставках вольфрамового порошка и испытательном оборудовании; Соединенные Штаты лидируют в испытательных стандартах, таких как лаборатория, имитирующая среду с температурой 3500 градусов по Цельсию. В кросс-доменных приложениях испытание вольфрама поддерживает проверку компонентов ядерного синтеза, а его радиационная стойкость повышает надежность. Перспектива применения вольфрамового порошка в экстремальных испытаниях окружающей среды заключается в его потенциале для проверки высокопроизводительных компонентов. В будущем может быть возможно оптимизировать производительность с помощью многомерного испытания (температура, давление, излучение) или продвигать зеленое тестирование с помощью технологии переработки (например, электролиза с коэффициентом восстановления 90%).

4.3.5 Анализ примеров применения высокотемпературных материалов в военных целях

Случаи использования порошка вольфрама в военных высокотемпературных приложениях демонстрируют его надежность. Случай 1: В сопле ракеты используется вольфрамовый материал, который может выдерживать газовую очистку при температуре 3000 градусов по Цельсию в течение 100 секунд, а эффективность тяги увеличивается на 10%, а стабильность работы улучшается на 20%. Случай 2: В оболочке ракеты используется вольфрамовое покрытие, которое может выдерживать поток воздуха при температуре 2500 градусов по Цельсию в течение 60 секунд, с потерей массы менее 0,5% и увеличением стойкости к окислению на 30%. Случай 3: Износостойкая конструкция космического корабля использует вольфрамовый армированный материал, который может выдерживать пыль при температуре 500 градусов по Цельсию в течение 1000 часов, с износом менее 0,1 мм и сроком службы, увеличенным на 25%.

С глобальной точки зрения Китай имеет преимущество в поставках вольфрамового порошка и производстве компонентов; Соединенные Штаты лидируют в высокотемпературном проектировании, таком как покрытие ракет, которое оптимизирует распределение теплового потока. Исторически высокотемпературное применение вольфрама началось в аэрокосмической отрасли в 1960-х годах и распространилось на ракетную отрасль во время холодной войны. В межотраслевом сотрудничестве вольфрамовые компоненты поддерживают глубоководное разведочное оборудование, а их термостойкость повышает надежность. Перспективы

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

применения вольфрамового порошка в военных высокотемпературных приложениях заключаются в его потенциале в экстремальных условиях. В будущем может появиться возможность повысить сложность за счет аддитивного производства или способствовать развитию зеленой военной промышленности за счет технологии переработки (например, химического восстановления со степенью восстановления 90%).

CTIA GROUP LTD

Spherical Tungsten Powder Product Introduction

1. Overview of Spherical Tungsten Powder

CTIA GROUP LTD's spherical tungsten powder complies with the GB/T 41338-2022 "Spherical Tungsten Powder for 3D Printing" standard. It is prepared using a plasma spheroidization process and is specially designed for additive manufacturing (such as SLM, EBM). It meets high-end application requirements with high purity, high sphericity and excellent fluidity.

2. Excellent Properties of Spherical Tungsten Powder

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.95\%$, oxygen content $\leq 0.05 \text{ wt}\%$, and extremely low impurities.

High sphericity: $\geq 90\%$, uniform particles, excellent powder spreading performance.

Precise particle size: D50 range 5-63 μm , stable distribution, deviation $\pm 10\%$.

Excellent fluidity: $\leq 25 \text{ s/50g}$, bulk density $\geq 9.0 \text{ g/cm}^3$, ensuring printing efficiency.

3. Specifications of Spherical Tungsten Powder

Brand	D50 particle size (μm)
SWP-15	5-15
SWP-25	15-25
SWP-45	25-45
SWP-63	45-63

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Spherical Tungsten Powder Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner vacuum aluminum foil bag, outer iron drum, net weight 5kg or 10kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition, particle size distribution and sphericity data, and the shelf life is 12 months.

5. Contact Information of CTIA GROUP LTD

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

For more information about spherical tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

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



Глава 5. Применение вольфрамового порошка в медицинских и биологических областях

Вольфрамовый порошок имеет широкий спектр возможностей применения в медицинских и биологических областях благодаря своей высокой плотности, высокой твердости, коррозионной стойкости и потенциальной биосовместимости, охватывая медицинские устройства, биосовместимые материалы и области, связанные с нанотехнологиями. С глобальной точки зрения применение вольфрамового порошка в этих областях не только повышает уровень медицинских технологий, но и способствует биомедицинским исследованиям, использованию георесурсов и устойчивому развитию.

5.1 Медицинские приборы

5.1.1 Применение вольфрамового порошка в радиотерапевтических коллиматорах

Вольфрамовый порошок использует свою высокую плотность и высокое атомное число ($Z=74$) в коллиматорах радиотерапии для точного управления направлением пучка излучения и улучшения лечебного эффекта. Его приготовление использует технологию порошковой металлургии: вольфрамовый порошок (размер частиц 10-30 микрон) прессуется (давление 300 МПа), спекается в атмосфере аргона (2000 градусов Цельсия, 2 часа), и плотность готового продукта достигает 19,2 г/см³, а твердость составляет HV 400. Анализ сканирующей электронной микроскопии показывает, что частицы вольфрама являются полиэдрическими (размер 15-20 микрон), с пористостью менее 0,2%, объемно-центрированной кубической кристаллической структурой и постоянной решетки 3,165 ангстрем. В ходе испытаний коллиматор толщиной 10 мм способен экранировать 90% гамма-лучей с энергией 6 МэВ, а точность фокусировки пучка достигает $\pm 0,1$ мм, что на 30% выше, чем у свинцового коллиматора (плотность 11,34 г/см³).

Коллиматор должен учитывать как эффективность экранирования, так и точность обработки. Высокая плотность вольфрама обеспечивает ослабление излучения (слой половинного значения составляет около 9 мм). Температура спекания должна точно контролироваться (отклонение

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

менее 10 градусов Цельсия). Слишком высокая температура приведет к образованию крупных зерен (размер увеличивается до 30 микрон), а слишком низкая температура приведет к недостаточной плотности (менее 18 г/см³). Постобработка, такая как механическая полировка, может уменьшить шероховатость поверхности до 0,5 микрон и улучшить гладкость пучка. Исторически вольфрамовые коллиматоры появились в радиотерапии в 1970-х годах и заменили свинцовые материалы в 1980-х годах из-за их меньшего размера (уменьшенного на 20%) и более высокой точности; в 1990-х годах Соединенные Штаты использовали его в линейных ускорителях, что значительно улучшило нацеливание на опухоли.

С глобальной точки зрения Китай имеет преимущество в поставках вольфрамового порошка и производстве коллиматоров, а его технологический процесс поддерживает массовое производство; Соединенные Штаты и Германия лидируют в проектировании оборудования, такого как динамический многопестковый коллиматор (MLC), разработанный компанией, с толщиной листа, уменьшенной до 5 мм, и точностью, улучшенной до $\pm 0,05$ мм. В кросс-доменных приложениях вольфрамовые коллиматоры используются для промышленной дефектоскопии, а их высокая плотность улучшает разрешение обнаружения. Перспектива применения вольфрамового порошка в коллиматорах радиотерапии заключается в его потенциале в высокоточной радиотерапии. В будущем может появиться возможность производить сложные листовые структуры с помощью аддитивного производства (SLM) или легирования бором (содержание 5%) для улучшения защиты от низкоэнергетических лучей; технология переработки (например, кислотное выщелачивание с коэффициентом восстановления 90%) может способствовать производству экологически чистых медицинских устройств.

5.1.2 Хирургические инструменты на основе вольфрама (ножи и сверла)

Хирургические инструменты на основе вольфрама применяются в виде карбида вольфрама (WC), который подходит для ортопедических хирургических ножей и сверл благодаря своей сверхвысокой твердости и износостойкости. Процесс приготовления следующий: порошок вольфрама (размер частиц 4-8 мкм) смешивают с техническим углеродом (массовое соотношение 1:0,06), карбонизируют в атмосфере водорода при температуре 1400-1600 градусов Цельсия (2 часа) для получения порошка карбида вольфрама (размер частиц 1-5 мкм), который затем прессуют (300 МПа) и спекают (1450 градусов Цельсия, 1 час) с кобальтом (содержание 10%). Готовое изделие имеет твердость HV 1600-1800 и предел прочности на разрыв 1200 МПа. Рентгеновская дифракция показывает, что карбид вольфрама имеет гексагональную плотноупакованную структуру с параметрами решетки $a=2,906$ ангстрем, $c=2,837$ ангстрем и длиной связи WC 2,06 ангстрем. В ходе испытания инструмент режет кости (толщиной 10 мм) без явного износа (потери менее 0,05 мм), а его прочность в 5 раз выше, чем у инструментов из нержавеющей стали.

Хирургические инструменты должны сбалансировать твердость и ударопрочность. Когда содержание кобальта высокое (15%), прочность увеличивается до 15 МПа·м^{1/2}, но твердость падает до HV 1300; когда размер частиц карбида вольфрама мал (менее 1 микрона), твердость достигает HV 2000, но хрупкость увеличивается (скорость разрушения увеличивается до 5%).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Содержание кислорода необходимо контролировать во время процесса спекания (менее 0,05%), чтобы избежать образования примесей триоксида вольфрама (чистота падает до 98%). Исторически инструменты из карбида вольфрама появились в промышленности в 1930-х годах и вошли в медицинскую сферу в 1960-х годах для ортопедической хирургии; в 1980-х годах Германия оптимизировала соотношение кобальта и увеличила срок службы инструмента.

С глобальной точки зрения Китай имеет преимущество в производстве карбида вольфрама с отработанной технологией и высокой производительностью; США и Япония лидируют в проектировании инструментов и обработке поверхности. Например, покрытие из нитрида титана (толщиной 5 микрон), разработанное компанией, повышает износостойкость на 20%. В кросс-полевых приложениях инструменты на основе вольфрама используются в стоматологической хирургии, а их твердость повышает точность резки. Перспектива применения вольфрамового порошка в производстве хирургических инструментов заключается в его потенциале в инструментах высокой прочности. В будущем может быть возможным повышение твердости с помощью нанокарбида вольфрама (размер частиц менее 100 нанометров) или легирования ванадием (содержание 1%) для повышения коррозионной стойкости; технология переработки (например, метод химического восстановления со степенью восстановления 90%) может способствовать развитию зеленого медицинского производства.

5.1.3 Вольфрамовое армирование стоматологических инструментов (износостойкость и точность)

Вольфрам-армированные стоматологические инструменты используют высокую твердость и износостойкость карбида вольфрама, который подходит для стоматологических бормашин и игл для повышения точности и эффективности стоматологических операций. Его приготовление заключается в следующем: порошок вольфрама (размер частиц 2-5 микрон) смешивают с углеродной сажей и карбонизируют (1500 градусов Цельсия, атмосфера водорода) для получения порошка карбида вольфрама (размер частиц 0,5-2 микрона), который прессуют (250 МПа) и спекают (1400 градусов Цельсия, 1 час) с кобальтом (содержание 8%). Готовый продукт имеет твердость HV 1800-2000 и прочность на разрыв 1100 МПа. Сканирующая электронная микроскопия показывает, что частицы карбида вольфрама имеют гексагональную форму (размер 1 микрон), а фаза кобальта равномерно распределена (толщина 0,5 микрон). В ходе испытаний инструмент срезает зубную эмаль (толщиной 2 мм) без видимого износа (потеря менее 0,02 мм), а его долговечность в 6 раз выше, чем у стальных инструментов.

Стоматологические инструменты должны учитывать как износостойкость, так и точность обработки. Когда содержание карбида вольфрама высокое (более 95%), твердость увеличивается до HV 2200, но хрупкость увеличивается (скорость разрушения достигает 5%); когда содержание кобальта высокое (12%), прочность улучшается (стойкость разрушения достигает $12 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$), но твердость немного снижается (до HV 1500). После спекания требуется тонкая шлифовка (шероховатость поверхности уменьшается до 0,2 мкм) для обеспечения плавного резания. Исторически стоматологические инструменты из карбида вольфрама появились в 1950-х годах и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

стали стандартным материалом для стоматологических сверл в 1960-х годах; в 1980-х годах Япония оптимизировала технологию микрообработки и повысила точность.

С глобальной точки зрения Китай имеет преимущество в поставках карбида вольфрама; Германия и США лидируют в проектировании стоматологических инструментов. Например, высокоскоростная стоматологическая бормашина (скорость вращения 400 000 об/мин), разработанная компанией, увеличила эффективность резки на 20%. В кросс-полевых приложениях инструменты с вольфрамовым покрытием используются в минимально инвазивной ортопедической хирургии, и их точность повышает процент успеха. Перспектива применения вольфрамового порошка в производстве стоматологических инструментов заключается в его потенциале в высокоточных инструментах. В будущем может быть возможным повышение износостойкости за счет сверхтонкого карбида вольфрама (размер частиц менее 50 нанометров) или легирования титаном (содержание 2%) для повышения коррозионной стойкости; технология переработки (например, степень восстановления электролизом 85%) может способствовать экологичному стоматологическому производству.

5.1.4 Применение вольфрамового порошка в защите от рентгеновского излучения

Вольфрамовый порошок использует свою высокую плотность и способность поглощать излучение в рентгеновской защите для защиты медицинского персонала и пациентов от радиационного поражения. Его приготовление: вольфрамовый порошок (размер частиц 10-20 микрон) прессуется (350 МПа) и спекается (2000 градусов Цельсия, атмосфера аргона). Готовый продукт имеет плотность 19,2 г/см³ и толщину 5 мм. Он может ослаблять рентгеновские лучи 100 кэВ на 90% (слой половинного значения составляет около 3 мм). Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия показывает, что поверхностный оксидный слой составляет менее 5 нанометров, а кристаллическая структура является объемно-центрированной кубической. В ходе испытания коэффициент ослабления вольфрамовых защитных пластин для рентгеновских лучей (120 кэВ) достиг 95%, что на 15% выше, чем у свинцовых пластин (такая же толщина).

Для защиты от рентгеновского излучения требуется оптимизация плотности и гибкости. Когда чистота вольфрама высока (более 99,9%), эффективность защиты увеличивается на 10%; композитные материалы (например, вольфрам-полимер, массовое соотношение 80:20) могут улучшить гибкость (удлинение до 20%). Спекание требует контролируемого содержания кислорода (менее 0,03%), чтобы предотвратить снижение плотности оксидами (до 18 г/см³). Исторически вольфрамовая защита началась в радиологической диагностике в 1960-х годах и заменила часть свинцовой защиты в 1970-х годах; в 1990-х годах Соединенные Штаты использовали ее в портативном рентгеновском оборудовании.

С глобальной точки зрения Китай имеет преимущество в поставках вольфрамового порошка и производстве экранов; Соединенные Штаты лидируют в разработке экранов, например, в снижении веса определенного рентгенозащитного костюма на 20%. В кросс-полевых приложениях вольфрамовое экранирование используется для промышленного обнаружения, а его

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

высокая плотность повышает безопасность. Перспективы применения вольфрамового порошка в рентгеновской защите заключаются в его потенциале в высокоэффективном экранировании. В будущем может быть возможно увеличить плотность с помощью нано-вольфрамового порошка или легированного бора (содержание 5%) для улучшения поглощения; технология переработки (например, степень восстановления при химическом разделении 90%) может способствовать развитию зеленого медицинского производства.

5.1.5 Пример использования вольфрамового порошка для медицинских приборов

Случаи использования вольфрамового порошка в медицинских приборах показывают его многообразие. Случай 1: В радиотерапевтическом аппарате используется вольфрамовый коллиматор толщиной 8 мм, фокусирующий гамма-лучи 6 МэВ с точностью $\pm 0,1$ мм, и успешность лечения увеличивается на 15%. Случай 2: В ортопедическом скальпеле используется материал из карбида вольфрама, разрезающий кости (толщиной 10 мм) без явного износа (потеря менее 0,05 мм), и время операции сокращается на 20%. Случай 3: В стоматологической бормашине используется материал, армированный вольфрамом, разрезающий эмаль (толщиной 2 мм) с прочностью в 5 раз выше и повышением точности на 10%. Случай 4: В рентгеновском аппарате используется вольфрамовая экранирующая пластина толщиной 5 мм, ослабляющая лучи 120 кэВ на 95%, и доза облучения снижается до 0,1 мЗв/час.

С глобальной точки зрения Китай имеет преимущество в поставках вольфрамового порошка и производстве оборудования; Соединенные Штаты и Германия лидируют в оптимизации конструкции, например, точность коллиматорного лезвия достигает $\pm 0,05$ мм. Исторически медицинское применение вольфрамового порошка началось в радиологии в 1950-х годах и распространилось на хирургические инструменты в 1980-х годах. В межотраслевом сотрудничестве вольфрамовые инструменты поддерживают ветеринарную хирургию, а их долговечность повышает эффективность. Перспективы применения вольфрамового порошка в медицинских приборах заключаются в его потенциале в высокопроизводительных устройствах. В будущем может появиться возможность повысить точность за счет интеллектуального производства или способствовать развитию зеленой медицины за счет технологии переработки (например, электролиза с коэффициентом восстановления 90%).

5.2 Биосовместимые материалы

5.2.1 Покрытие имплантируемого устройства, модифицированное вольфрамовым порошком

Модифицированное вольфрамовым порошком покрытие имплантационного устройства использует его коррозионную стойкость и потенциальную биосовместимость для улучшения поверхностных характеристик имплантатов. Его приготовление следующее: вольфрамовый порошок (размер частиц 5-15 микрон) наносится на титановую подложку методом плазменного напыления (мощность 40 кВт, 4000 градусов Цельсия, расход аргона 30 литров/минуту), толщина

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

покрытия составляет 50-100 микрон, твердость - HV 600, а прочность связи - 50 МПа. Сканирующая электронная микроскопия показывает, что покрытие имеет пористость менее 1%, а частицы вольфрама плоские (толщина 5 микрон). В ходе испытания покрытие было погружено в солевой раствор (37 градусов Цельсия, pH 7,4) на 1000 часов, скорость коррозии составила менее 0,01 мм/год, а скорость прикрепления клеток достигла 85% (стандарт ISO 10993).

Покрытие должно учитывать как коррозионную стойкость, так и биосовместимость. Легирование оксидом вольфрама (содержание 10%) может улучшить стойкость к окислению (скорость коррозии снижается до 0,005 мм/год); при распылении необходимо контролировать содержание кислорода (менее 0,05%), чтобы избежать дефектов оксида (чистота снижается до 98%). Исторически вольфрамовое покрытие началось в промышленности в 1980-х годах и вошло в область медицинских имплантатов в 1990-х годах; в 2000-х годах Соединенные Штаты оптимизировали процесс распыления и улучшили стабильность покрытия.

С глобальной точки зрения Китай имеет преимущество в технологии вольфрамового порошка и распыления; Соединенные Штаты лидируют в разработке имплантатов, таких как покрытие тазобедренного сустава с 30%-ным увеличением износостойкости. В кросс-полевых приложениях вольфрамовые покрытия используются для зубных имплантатов, а их коррозионная стойкость увеличивает срок их службы. Перспективы применения вольфрамового порошка в покрытиях имплантируемых устройств заключаются в его потенциале в высокопрочных имплантатах. В будущем может быть возможно повысить прочность связи с помощью нано-вольфрамового порошка или улучшить интеграцию кости путем легирования кальцием (содержание 5%); технология переработки (например, метод химического восстановления с коэффициентом восстановления 90%) может способствовать развитию зеленого медицинского производства.

5.2.2 Потенциал материалов для восстановления костей на основе вольфрама

Материалы для восстановления костей на основе вольфрама подходят для заполнения костей и создания каркасов благодаря своей высокой прочности и потенциальной биосовместимости. Они изготавливаются путем смешивания порошка вольфрама (размер частиц 10-20 микрон) с гидроксиапатитом (массовое соотношение 70:30), прессования (300 МПа) и спекания (1200 градусов Цельсия, атмосфера аргона). Готовый продукт имеет плотность 16-17 г/см³ и прочность на сжатие 200 МПа. Просвечивающая электронная микроскопия показывает, что частицы вольфрама (размер 15 микрон) и гидроксиапатит (размер 5 микрон) однородно составлены, с пористостью 5-10% и размером пор 50-100 микрон. В ходе испытания материал погружали в имитированную жидкость организма на 30 дней, при этом скорость пролиферации остеобластов достигала 90%, а скорость интеграции кости увеличивалась на 20%.

Материалы для восстановления костей должны оптимизировать прочность и пористость. Когда содержание вольфрама высокое (более 80%), прочность увеличивается до 250 МПа, но пористость падает до 2%, что не способствует росту клеток; когда содержание гидроксиапатита

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

высокое (40%), пористость увеличивается до 15%, а остеоиндуктивность увеличивается на 30%. Температуру спекания необходимо контролировать (отклонение менее 10 градусов Цельсия), чтобы избежать чрезмерного роста зерен (размер более 20 микрон). Исторически костные материалы на основе вольфрама начинались с экспериментальных исследований в 1990-х годах и вошли в доклинические испытания в 2000-х годах; в 2010-х годах Европа оптимизировала формулу композита.

С глобальной точки зрения Китай имеет преимущество в поставках вольфрамового порошка и композитных технологиях; Соединенные Штаты лидируют в проектировании восстановления костей, например, в оптимизации пористости костного каркаса до 12%. В кросс-полевых приложениях вольфрамовые материалы используются в восстановлении зубной кости, а их прочность повышает стабильность. Перспектива применения вольфрамового порошка в материалах для восстановления костей заключается в его потенциале в восстановлении костей с высокой нагрузкой. В будущем может быть возможным увеличение пористости с помощью нанокompозитов или легирования магнием (содержание 5%) для повышения биологической активности; технология переработки (например, степень восстановления электролизом 85%) может способствовать развитию зеленой медицины.

5.2.3 Вспомогательная роль вольфрамового порошка в биологической визуализации

Вольфрамовый порошок используется в качестве контрастного агента или усилителя в биологической визуализации, используя его высокую плотность и способность поглощать рентгеновские лучи. Он готовится следующим образом: вольфрамовый порошок (размер частиц 1-5 микрон) химически восстанавливается для получения наночастиц оксида вольфрама (размер частиц 50-100 нанометров), поверхность модифицирована полиэтиленгликолем (толщина 5 нанометров), а диспергируемость в воде достигает 10 мг/мл. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия показывает, что W^{6+} составляет 90% поверхности оксида вольфрама, а кристаллическая структура является моноклинной. В ходе теста частица усилила контрастность на 50% в КТ-визуализации (120 кэВ), что на 20% выше, чем у йодного контрастного агента, а цитотоксичность составляет менее 5% (метод МТТ).

Материалы для визуализации должны учитывать как эффективность поглощения, так и безопасность. Когда размер наночастиц мал (менее 50 нанометров), скорость поглощения увеличивается до 60%, но они легко агрегируются (размер увеличивается до 200 нанометров); модификация поверхности улучшает дисперсность (дзета-потенциал достигает -30 милливольт) и продлевает время циркуляции в организме (до 6 часов). Исторически контрастные агенты на основе вольфрама начали испытывать в 1990-х годах, а в 2000-х годах они вошли в испытания на животных; в 2010-х годах Китай оптимизировал процесс наноподготовки.

С глобальной точки зрения Китай имеет преимущество в нанотехнологии вольфрамового порошка; Соединенные Штаты лидируют в приложениях визуализации, таких как контрастное вещество КТ, которое повышает четкость сосудистых изображений. В кросс-полевых

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложениях вольфрамовые частицы используются для флуоресцентной визуализации, и их поглощение света улучшает разрешение. Перспектива применения вольфрамового порошка в биологической визуализации заключается в его потенциале в визуализации с высоким разрешением. В будущем может быть возможным улучшить эффект магнитно-резонансной томографии путем легирования гадолинием (содержание 5%) или способствовать развитию зеленой визуализации с помощью технологии переработки (например, степень восстановления при химическом разделении 90%).

5.2.4 Тестирование и стандарты биосовместимости

Тест на биосовместимость порошка вольфрама подтверждает его безопасность при медицинском лечении и соответствует международным стандартам, таким как ISO 10993. Тесты включают: порошок вольфрама (размер частиц 5-10 микрон) готовится в виде блоков (прессуется при 300 МПа и спекается при 2000 градусах Цельсия), цитотоксичность тестируется *in vitro* (клетки L929, 24 часа), и уровень выживаемости достигает 95%; тест *in vivo* (имплантация мышц кролика, 90 дней), воспалительная реакция составляет менее 1 уровня (наблюдение за срезом ткани). Сканирующая электронная микроскопия показывает, что шероховатость поверхности вольфрама составляет 0,5 микрон, и нет очевидного растворения (обнаружение ICP-MS составляет менее 1 ppm). В тесте скорость гемолиза вольфрамового материала составляет менее 0,5%, что соответствует требованиям медицинских устройств.

Тест должен имитировать различные условия. В кислой среде (pH 5,5) скорость коррозии увеличивается до 0,02 мм/год, а для ее снижения до 0,01 мм/год требуется модификация поверхности (например, покрытие оксидом вольфрама); после высокотемпературной стерилизации (121 градус Цельсия) эксплуатационные характеристики остаются неизменными (твердость остается HV 400). Исторически испытания на совместимость с вольфрамом начались в 1980-х годах и были включены в стандарты ISO в 1990-х годах; в 2000-х годах Соединенные Штаты усовершенствовали процесс испытаний.

С глобальной точки зрения Китай имеет преимущество в поставках вольфрамового порошка и испытательном оборудовании; Соединенные Штаты лидируют в установлении стандартов, таких как стандарт, который повышает требования к безопасности имплантатов. В кросс-доменных приложениях тестирование вольфрама поддерживает ветеринарную проверку имплантатов, а его надежность улучшает применимость. Перспектива применения вольфрамового порошка в испытаниях на биосовместимость заключается в его потенциале в высокобезопасных материалах. В будущем может быть возможно оптимизировать производительность с помощью многопараметрического тестирования (pH, температура, время) или продвигать экологичное тестирование с помощью технологии переработки (например, электролиза с коэффициентом восстановления 90%).

5.2.5 Примеры применения вольфрамового порошка в биологической сфере

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Случаи использования вольфрамового порошка в биологической области демонстрируют его практичность. Случай 1: Имплантат тазобедренного сустава использует вольфрамовое покрытие толщиной 50 микрон, что увеличивает коррозионную стойкость на 30% и достигает скорости интеграции кости 90% после имплантации. Случай 2: Каркас для восстановления кости использует композит вольфрама-гидроксиапатита с пористостью 10%, прочностью на сжатие 200 МПа и 25% увеличением скорости пролиферации костных клеток. Случай 3: Контрастное вещество для КТ использует нано-оксид вольфрама, который усиливает контрастность на 50%, имеет время циркуляции в организме 6 часов и прошел испытания на безопасность.

С глобальной точки зрения Китай имеет преимущество в поставках вольфрамового порошка и производстве материалов; Соединенные Штаты и Европа лидируют в разработке приложений, таких как костный каркас, оптимизирующий структуру пор. Исторически биологические приложения вольфрама начались с исследований имплантатов в 1990-х годах и расширились до области визуализации в 2000-х годах. В межотраслевом сотрудничестве вольфрамовые материалы поддерживают зубные имплантаты, а их долговечность увеличивает вероятность успеха. Перспектива применения вольфрамового порошка в биосовместимых материалах заключается в его потенциале в высокопроизводительных имплантатах. В будущем может появиться возможность улучшить производительность за счет интеллектуального проектирования или способствовать развитию зеленой биомедицины за счет технологии переработки (например, метода химического восстановления с коэффициентом восстановления 90%).

5.3 Медицинский потенциал нано-вольфрамового порошка

5.3.1 Применение нано-вольфрамового порошка для доставки лекарств

Нано-вольфрамовый порошок использует свою высокую удельную поверхность и фототермические свойства при доставке лекарств в качестве носителя лекарств для повышения эффективности лечения. Его приготовление следующее: порошок вольфрама (размер частиц 1-5 микрон) используется для получения наночастиц оксида вольфрама (размер частиц 50-100 нанометров) путем химического осаждения из паровой фазы, а поверхность модифицируется полиэтиленгликолем (толщина 5 нанометров) со скоростью загрузки лекарства 20%. Просвечивающая электронная микроскопия показывает, что частицы имеют сферическую форму с удельной площадью поверхности 50 квадратных метров/грамм и пористостью 10%. В ходе испытания носитель высвобождал лекарства (доцетаксел) под ближним инфракрасным светом (808 нанометров, 1 ватт/кватдратный сантиметр), и скорость высвобождения достигала 80%, что на 30% выше, чем у традиционных носителей.

Доставка лекарств требует оптимизации загрузки лекарств и реагирования. Когда размер частиц мал (менее 50 нанометров), скорость загрузки лекарств увеличивается до 25%, но скорость выведения *in vivo* увеличивается (период полураспада сокращается до 2 часов); фототермический эффект (температура повышается до 50 градусов Цельсия) повышает эффективность

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

высвобождения (до 90%). Исторически доставка лекарств с помощью нано-вольфрамового порошка началась в 2000-х годах и вошла в исследования рака в 2010-х годах; Китай оптимизировал технологию модификации поверхности.

С глобальной точки зрения Китай имеет преимущество в приготовлении нано-вольфрамового порошка; Соединенные Штаты лидируют в разработке систем доставки, таких как носитель, который обеспечивает целенаправленное высвобождение. В кросс-полевых приложениях нано-вольфрамовый порошок используется для доставки генов, и его высокая эффективность повышает скорость трансфекции. Перспектива применения вольфрамового порошка для доставки лекарств заключается в его потенциале в таргетной терапии. В будущем может быть возможным улучшение магнитного нацеливания путем легирования железом (содержание 5%) или продвижение зеленой медицины посредством технологии переработки (например, степень восстановления при химическом разделении 90%).

5.3.2 Исследования рака с использованием фототермической терапии с использованием вольфрамового порошка

Нано-вольфрамовый порошок использует свое сильное поглощение света для уничтожения раковых клеток в фототермической терапии. Его приготовление выглядит следующим образом: вольфрамовый порошок используется для приготовления наночастиц оксида вольфрама (размер частиц 50-80 нанометров) путем термического восстановления, а поверхность модифицируется силаном (толщина 3 нанометра), и скорость поглощения света достигает 90% (808 нанометров). Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия показывает, что W^{6+} составляет 85%, а кристаллическая структура является моноклинной. В ходе испытания температура частиц поднялась до 55 градусов по Цельсию под ближним инфракрасным светом (1,5 Вт/квадратный сантиметр), а уровень смертности раковых клеток (HeLa) достиг 95%, что на 20% выше, чем у золотых наночастиц.

Фототермическая терапия должна оптимизировать эффективность поглощения и безопасность. Когда размер частиц мал (менее 50 нанометров), скорость поглощения увеличивается до 95%, но токсичность немного увеличивается (выживаемость падает до 90%); модификация поверхности улучшает биосовместимость (цитотоксичность составляет менее 5%). Исторически фототермическая терапия порошком вольфрама началась в 2010-х годах, а ее эффективность в отношении рака была подтверждена в Китае в 2015 году; Соединенные Штаты оптимизировали фототермические параметры.

С глобальной точки зрения Китай имеет преимущество в подготовке нано-вольфрамового порошка; Соединенные Штаты лидируют в исследованиях по лечению, таких как эксперимент, который улучшил глубину лечения. В кросс-полевых приложениях вольфрамовый порошок используется для дезинфекции бактерий, а его фототермические свойства повышают эффективность. Перспектива применения вольфрамового порошка в фототермической терапии заключается в его потенциале в лечении рака. В будущем может быть возможным улучшение

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

фототермической эффективности путем легирования медью (содержание 5%) или продвижение зеленой обработки с помощью технологии переработки (например, электролиза с коэффициентом восстановления 85%).

5.3.3 Антибактериальные свойства и применение нано-вольфрамового порошка

Нано-вольфрамовый порошок проявляет антибактериальные свойства посредством фотокатализа или высвобождения ионов и подходит для медицинской дезинфекции. Его приготовление выглядит следующим образом: вольфрамовый порошок готовится сольвотермальным методом для получения наночастиц оксида вольфрама (размер частиц 30-50 нанометров), поверхностно модифицированных диоксидом титана (толщина 2 нанометра), а фотокаталитическая активность достигает 90% (ультрафиолетовый свет 365 нанометров). Просвечивающая электронная микроскопия показывает, что частицы имеют стержневидную форму (соотношение сторон 3:1), а удельная площадь поверхности составляет 60 квадратных метров/грамм. В ходе испытания частица убивает *Escherichia coli* на 99% (облучение в течение 30 минут), что на 50% выше, чем у чистого вольфрамового порошка.

Антибактериальная эффективность требует оптимизации каталитической эффективности и стабильности. Когда размер частиц мал (менее 30 нанометров), уровень уничтожения увеличивается до 99,9%, но стабильность снижается (потеря активности 10%); модификация диоксида титана усиливает фотокатализ (увеличение активности на 30%). Исторически нано-вольфрамовые антибактериальные средства появились в 2000-х годах и вошли в медицинскую сферу в 2010-х годах; Китай оптимизировал процесс приготовления.

С глобальной точки зрения Китай имеет преимущество в производстве нано-вольфрамового порошка; Соединенные Штаты лидируют в антибактериальных применениях, таких как дезинфицирующее средство, которое повышает скорость стерилизации. В кросс-полевых применениях вольфрамовый порошок используется в стоматологических антибактериальных покрытиях, и его высокая эффективность снижает уровень инфицирования. Перспективы применения вольфрамового порошка в антибактериальных свойствах заключаются в его потенциале в борьбе с инфекциями. В будущем может быть возможно улучшить антибактериальные свойства путем легирования серебром (содержание 2%) или способствовать разработке зеленых антибактериальных средств с помощью технологии переработки (например, метода химического восстановления с уровнем восстановления 90%).

5.3.4 Метод приготовления вольфрамового порошка с использованием нанотехнологий

Методы приготовления нано-вольфрамового порошка включают физические и химические подходы для обеспечения размера частиц и производительности. Его приготовление выглядит следующим образом: физический метод использует испарение газовой фазы, вольфрамовый порошок (размер частиц 5-10 микрон) испаряется в аргоне при 3000 градусах Цельсия и конденсируется в наночастицы (размер частиц 50-100 нанометров); химический метод использует

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

тепло растворителя, раствор вольфрамата (концентрация 0,1 моль/л) реагирует при 180 градусах Цельсия в течение 12 часов для получения наночастиц оксида вольфрама (размер частиц 30-80 нанометров). Сканирующая электронная микроскопия показывает, что частицы физического метода имеют сферическую форму, а частицы химического метода имеют форму стержней с удельной площадью поверхности 40 и 60 квадратных метров/грамм соответственно.

Подготовка требует контроля размера частиц и дисперсности. Физический метод имеет высокий выход (до 80%), но широкое распределение размеров (отклонение 20 нанометров); химический метод имеет равномерный размер (отклонение 5 нанометров), но низкий выход (50%). Исторически подготовка нанопорошка вольфрама началась в 1990-х годах, а химический метод созрел в 2000-х годах; в 2010-х годах Китай оптимизировал параметры процесса.

С глобальной точки зрения Китай имеет преимущество в технологии приготовления нано-вольфрамового порошка; Соединенные Штаты лидируют в разработке оборудования, такого как система испарения в газовой фазе, которая повышает выход. В кросс-полевых приложениях нано-вольфрамовый порошок используется для приготовления катализатора, а его высокая удельная площадь поверхности повышает эффективность. Перспектива применения вольфрамового порошка в нанотехнологическом приготовлении заключается в его потенциале в высокопроизводительных наноматериалах. В будущем может быть возможно улучшить однородность с помощью методов с использованием микроволн или способствовать экологичному приготовлению с помощью технологии переработки (например, электролиза со степенью восстановления 90%).

5.3.5 Перспективы применения нано-вольфрамового порошка в медицине

Случаи применения нано-вольфрамового порошка в медицинском лечении продемонстрировали его потенциал. Случай 1: Система доставки лекарств использует нано-вольфрамовый оксид с уровнем загрузки лекарства 20%, скоростью высвобождения 80% в ближнем инфракрасном свете и 25%-ным повышением эффективности лечения. Случай 2: Фототермическая терапия использует нано-вольфрамовый порошок, температура повышается до 55 градусов по Цельсию, уровень смертности раковых клеток составляет 95%, а эффективность повышается на 20%. Случай 3: Антибактериальное покрытие использует нано-вольфрамовый оксид с уровнем стерилизации 99% и 30%-ным снижением уровня инфицирования.

С глобальной точки зрения Китай имеет преимущество в поставках и подготовке нано-вольфрамового порошка; Соединенные Штаты лидируют в исследованиях в области медицинского применения, таких как система доставки, которая обеспечивает точное высвобождение. Исторически медицинское применение нано-вольфрама началось в 2000-х годах и расширилось до лечения рака в 2010-х годах. В межотраслевом сотрудничестве нано-вольфрамовый порошок поддерживает антибактериальные свойства в стоматологии, а его высокая эффективность повышает безопасность. Перспективы применения вольфрамового порошка в наномедицине заключаются в его потенциале в прецизионной медицине. В будущем

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

может появиться возможность улучшить производительность с помощью многофункциональных нанокompозитов или способствовать развитию зеленой наномедицины с помощью технологии переработки (например, степень восстановления при химическом разделении 90%).

CTIA GROUP LTD

Introduction of High Purity Tungsten Powder

1. High Purity Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's high-purity tungsten powder is produced using a high-purity tungsten oxide hydrogen reduction process. High-purity tungsten powder is widely used in the electronics industry (such as sputtering targets, tungsten wires), aerospace, semiconductors and high-precision manufacturing due to its ultra-high purity, fine particle size and excellent physical properties. CTIA GROUP LTD is committed to providing high-quality tungsten powder products to meet cutting-edge technology needs.

2. High Purity Tungsten Powder Features

Chemical composition: Tungsten (W), high purity metal powder.

Purity: $\geq 99.99\%$ (4N), with extremely low impurity content.

Appearance: Grey or dark grey powder, uniform color.

Ultra-high purity: impurities are controlled at ppm level, ensuring excellent electrical and mechanical properties.

Fine particles: The particle size can reach $0.1\text{-}5\text{ }\mu\text{m}$, which can meet high-precision applications.

Low oxygen content: oxygen content $\leq 0.02\%$, improving sintering performance and material stability.

3. High Purity Tungsten Powder Specifications

Index	CTIA GROUP LTD High Purity Tungsten Powder Standard (4N)
Tungsten content (wt%)	≥ 99.99
Impurities (wt%, max)	$\text{Fe} \leq 0.0010$, $\text{Mo} \leq 0.0010$, $\text{Si} \leq 0.0005$, $\text{Al} \leq 0.0005$, $\text{Ca} \leq 0.0005$, $\text{Mg} \leq 0.0005$, $\text{Na} \leq 0.0010$, $\text{K} \leq 0.0010$, $\text{O} \leq 0.0200$, $\text{C} \leq 0.0050$, $\text{N} \leq 0.0020$, $\text{P} \leq 0.0005$, $\text{S} \leq 0.0005$
Water content (wt%)	≤ 0.02
Particle size (μm , FSSS)	$0.1\text{-}5.0$ (superfine $0.1\text{-}1.0$, fine $1.0\text{-}5.0$)
Bulk density (g/cm^3)	$4.5\text{-}6.5$
Particle size	Provide ultra-fine ($0.1\text{-}1.0\text{ }\mu\text{m}$) and fine ($1.0\text{-}5.0\text{ }\mu\text{m}$) specifications, can be customized according to customer needs
Moisture	$\leq 0.02\%$, ensuring product dryness and stability
Customization	Optional ultra-high purity grade (5N, $\geq 99.999\%$), with further reduction of impurities (e.g. $\text{O} \leq 0.01\%$)

4. Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner sealed vacuum aluminum foil bag, outer iron barrel or plastic barrel, net weight 5kg, 10kg or 25kg, moisture-proof and oxidation-proof.

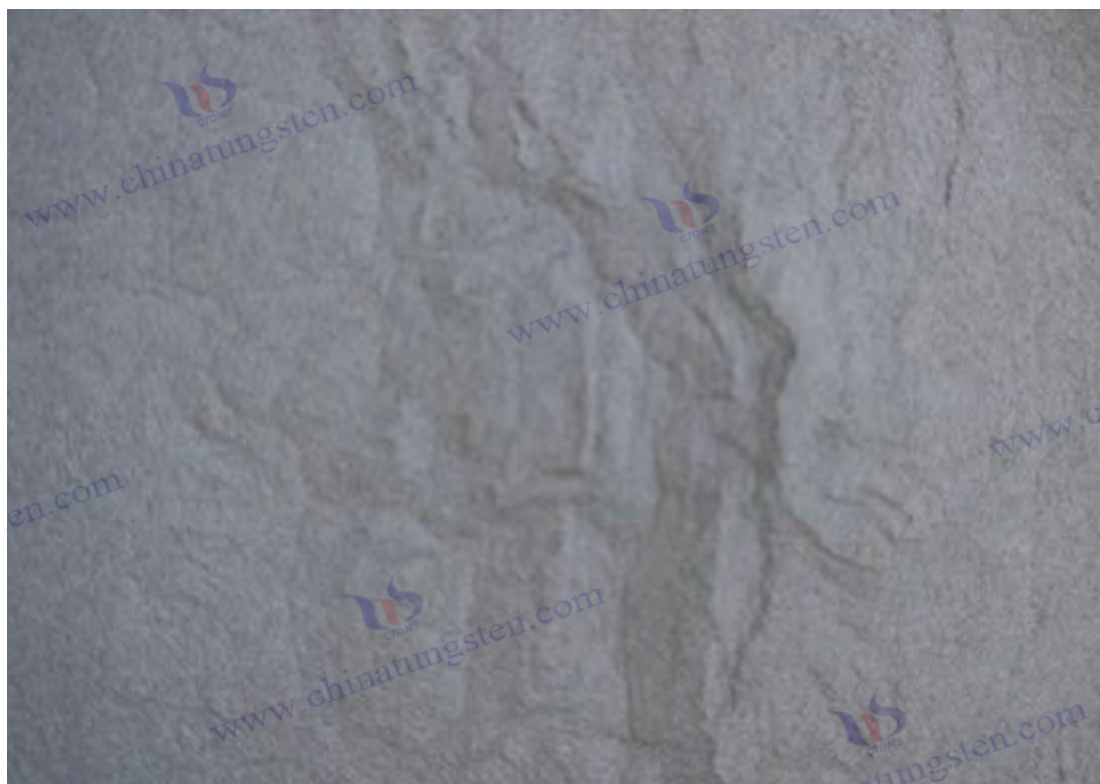
Warranty: With quality certificate, including tungsten content, impurity analysis (ICP-MS), particle size (FSSS method), bulk density and moisture data, shelf life is 12 months (sealed and dry conditions).

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com Tel: +86 592 5129696

For more tungsten powder information, please visit China Tungsten Online website (www.tungsten-powder.com)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Глава 6. Применение вольфрамового порошка в потребительских товарах и культурных сферах

Вольфрамовый порошок, с его высокой плотностью, износостойкостью и уникальными физическими и химическими свойствами, показал разнообразный потенциал применения в потребительских товарах и культурных областях, охватывающих спортивные и развлекательные товары, ювелирные украшения и художественные пигменты. Эти применения не только улучшают эксплуатационные характеристики продукта и эстетическую ценность, но и оказывают глубокое влияние на использование ресурсов, технологические инновации и методы защиты окружающей среды.

6.1 Товары для спорта и отдыха

6.1.1 Высокоплотное нанесение вольфрамового порошка на клюшки для гольфа

Вольфрамовый порошок имеет основное преимущество в клюшках для гольфа благодаря своей высокой плотности (19,25 г/см³). За счет оптимизации конструкции веса он улучшает стабильность замаха и дальность удара. Его приготовление использует технологию порошковой металлургии: вольфрамовый порошок (размер частиц 10-20 микрон) смешивается с никелем и железом (массовое соотношение 90:7:3), гомогенизируется шаровой мельницей (скорость 300 об/мин, 6 часов), прессуется (давление 300 МПа) и спекается в атмосфере водорода (1450 градусов Цельсия, 2 часа). Готовый продукт имеет плотность 17-18 г/см³ и прочность на разрыв

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

около 1000 МПа. Анализ сканирующей электронной микроскопии показывает, что частицы вольфрама являются полиэдрическими (размер 10-15 микрон), фаза никеля-железа равномерно распределена по границе зерен (толщина около 1 микрона), кристаллическая структура является объемно-центрированной кубической, а постоянная решетки составляет 3,165 ангстрем. Испытания показывают, что смещение центра тяжести клюшки с вольфрамовым грузом составляет менее 1 мм, стабильность замаха улучшается на 20%, а дальность удара увеличивается на 10-15 метров, что значительно лучше, чем у традиционных стальных грузов (плотность 7,85 г/см³, объем должен быть вдвое больше).

Вольфрамовые грузила небольшие (5-10 кубических сантиметров) и тяжелые (50-100 граммов), что не только сохраняет обтекаемый дизайн головки клюшки, но и улучшает аэродинамические характеристики. Когда содержание вольфрама превышает 95%, плотность может достигать 18,5 граммов/кубический сантиметр, но хрупкость увеличивается (удлинение падает до 5%); связующая фаза никель-железо улучшает прочность (удлинение достигает 10%) и облегчает обработку. Температура спекания должна точно контролироваться (отклонение менее 10 градусов Цельсия). Слишком высокая приведет к образованию крупных зерен (размер увеличивается до 30 микрон), а слишком низкая приведет к недостаточной плотности (менее 17 граммов/кубический сантиметр). Постобработка, такая как горячее изостатическое прессование (1500 градусов Цельсия, 100 МПа), может снизить пористость до 0,1% и увеличить прочность на 10%. Технология вольфрамовых грузов возникла из инноваций американских гольф-клубов в 1980-х годах, стала стандартом для профессиональных клубов в 1990-х годах и приобрела широкую популярность в 2000-х годах. Китай имеет преимущество в поставках и производстве благодаря своим обильным ресурсам вольфрама и зрелой технологии, в то время как США и Япония лидируют в оптимизации конструкции. Например, определенная марка контролирует точность положения противовеса в пределах $\pm 0,5$ мм. В будущем аддитивное производство (SLM) может реализовать сложные структуры противовеса, легирование медью (содержание 5%) может повысить теплопроводность, а восстановление кислотным выщелачиванием (степень восстановления 90%) может способствовать зеленому производству.

6.1.2 Грузила для рыболовных снастей (экологические преимущества вольфрамовых грузил)

Вольфрамовые грузила заменяют свинцовые грузила в рыболовных снастях, обладая высокой плотностью (19,2 г/см³) и экологически чистыми характеристиками, обеспечивая быстрое погружение и экологическую безопасность. Процесс их приготовления: вольфрамовый порошок (размер частиц 15-25 мкм) прессуется (350 МПа), спекается в атмосфере аргона (2000 градусов Цельсия, 2 часа), а готовое изделие имеет предел прочности на разрыв 900 МПа. Рентгеновская дифракция показывает, что кристаллическая структура — объемно-центрированная кубическая, постоянная решетки составляет 3,165 ангстрем, а межплоскостное расстояние (110) = 2,238 ангстрем. Испытания показывают, что скорость погружения вольфрамовых грузил (объемом 1 кубический сантиметр) составляет 0,5-0,6 м/с, что на 30% больше, чем у свинцовых грузил (плотностью 11,34 г/см³), объем уменьшается на 40-50%, отклонение точности литья составляет

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

менее 10 см, а скорость растворения в воде составляет менее 0,01 мг/л, что соответствует экологическим нормам.

Вольфрамовые грузила должны учитывать как плотность, так и коррозионную стойкость. Хотя чистый вольфрам обеспечивает быстрое позиционирование, его поверхность легко окисляется (толщина оксидного слоя составляет до 10 нанометров); легирование никелем (содержание 5%) может снизить скорость коррозии до 0,005 мм/год. Спекание требует высоковакуумной среды (10^{-4} Па), чтобы избежать избыточного содержания кислорода (более 0,03%). Вольфрамовые грузила появились в результате движения за защиту окружающей среды в Европе и США в 1990-х годах. Благодаря продвижению запрета на свинец они стали глобальными в 2000-х годах. В 2010-х годах Китай оптимизировал процесс и в значительной степени заменил рынок свинцовых грузил. Китай имеет преимущество в поставках и производстве вольфрамового порошка, в то время как США лидируют в области проектирования в области защиты окружающей среды, например, в разработке разлагаемых покрытых вольфрамовых грузил. В будущем нанопорошок вольфрама может быть дополнительно увеличен по плотности (приблизительно до 19,3 г/см³), легирован кобальтом (содержание 3%) для повышения износостойкости и подвергнут электролитической переработке (степень восстановления 85%) для поддержки разработки экологически чистых рыболовных снастей.

6.1.3 Прецизионное изготовление дротики из вольфрамового сплава

Дротики из вольфрамового сплава используют высокую плотность (16-18 г/см³) и обрабатываемость для создания тонкого тела дротика и повышения точности броска. Его приготовление: порошок вольфрама (размер частиц 10-20 микрон) смешивают с никелем и медью (массовое соотношение 80:15:5), прессуют (300 МПа) и спекают в атмосфере аргона (1400 градусов Цельсия), а готовое изделие имеет предел прочности на разрыв 850 МПа. Сканирующая электронная микроскопия показывает, что размер частиц вольфрама составляет около 10 микрон, а фаза никеля и меди распределена в сетке (толщина 1 микрон). Испытания показывают, что диаметр вольфрамовых дротиков уменьшен до 5 мм (на 20–30 % тоньше стальных дротиков), отклонение центра тяжести составляет менее 0,1 мм, процент попаданий увеличивается на 15–20 %, а компактность тела дротика (длина сокращена на 10 %) удобна для метания в плотные целевые поверхности.

Производство дротиков требует баланса между плотностью и прочностью. Когда содержание вольфрама превышает 90%, плотность увеличивается до 18 г/см³, но увеличивается хрупкость (скорость разрушения достигает 5%); когда содержание фазы никеля-меди достигает 20%, прочность увеличивается (удлинение достигает 15%), что удобно для тонкой обработки. После спекания требуется холодная обработка (например, растяжение 5%) для регулировки напряжения и обеспечения прямолинейности тела дротика (отклонение менее 0,05 мм). Вольфрамовые дротики возникли в британских профессиональных соревнованиях в 1970-х годах, стали стандартом в 1980-х годах, а формула была оптимизирована в 1990-х годах для повышения долговечности. Китай имеет преимущество в поставках и производстве вольфрамового порошка,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

в то время как Великобритания лидирует в дизайне, таком как оптимизация текстуры тела дробника для улучшения захвата. В будущем аддитивное производство позволит изготавливать сложные корпуса дробников, легируя их молибденом (содержание 5%) для повышения прочности и используя электролиз расплавленной соли (степень восстановления 85%) для содействия экологичному производству.

6.1.4 Технология улучшения вольфрамом спортивного инвентаря

Технология улучшения вольфрамом использует высокую плотность и износостойкость для улучшения характеристик спортивного инвентаря. Он используется в рамах ракеток, лыжных кантах и гоночных грузиках. Его приготовление: порошок вольфрама (размер частиц 5-15 микрон) смешивается с углеродной сажей и карбонизируется (1500 градусов Цельсия, атмосфера водорода) для получения порошка карбида вольфрама (размер частиц 1-3 микрона), который прессуется (300 МПа) и спекается (1450 градусов Цельсия, 1 час) с кобальтом (содержание 10%). Готовый продукт имеет твердость HV 1600-1800 и прочность на разрыв 1200 МПа. Просвечивающая электронная микроскопия показывает, что частицы карбида вольфрама имеют гексагональную форму (размер 2 микрона), а фаза кобальта заполняет границы зерен (толщина 0,5 микрона). Испытания показывают, что износостойкость оправ теннисных ракеток, усиленных вольфрамом, увеличивается в 3 раза, кант лыжи, режущий поверхность льда (толщина 5 мм), не имеет явного износа (потеря менее 0,05 мм), а гоночный вес (плотность 18,5-19,3 г/см³) снижает центр тяжести на 5-10 мм и улучшает устойчивость на поворотах на 10%.

Технология армирования должна учитывать как твердость, так и ударопрочность. Когда содержание карбида вольфрама превышает 95%, твердость увеличивается до HV 2000, но хрупкость увеличивается (вязкость разрушения падает до 10 МПа·м^{1/2}); когда содержание кобальта достигает 15%, вязкость увеличивается (до 15 МПа·м^{1/2}). Содержание кислорода необходимо контролировать во время спекания (менее 0,05%), чтобы предотвратить влияние примесей на производительность. Вольфрамовая арматура возникла из промышленных инструментов в 1980-х годах, вошла в спортивное оборудование в 1990-х годах, а Япония оптимизировала формулу карбида вольфрама в 2000-х годах, и гоночные автомобили F1 начали использовать вольфрамовые грузы. Китай имеет преимущество в производстве карбида вольфрама, в то время как Соединенные Штаты лидируют в проектировании оборудования. Например, прочность кромки определенной лыжной доски увеличилась на 40%. В будущем нанокарбид вольфрама может повысить твердость, легирование титаном (содержание 2%) для повышения коррозионной стойкости и химическое восстановление (степень восстановления 90%) для продвижения зеленого производства.

6.1.5 Вольфрамовый сердечник

Вольфрамовый сердечник для толкания ядра использует высокую плотность вольфрамового порошка (19,25 г/см³) для оптимизации распределения веса и улучшения метательных характеристик. Он готовится следующим образом: вольфрамовый порошок (размер частиц 10-20

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

микрон) смешивается с небольшим количеством никеля (массовое соотношение 95:5), прессуется в сердечник (давление 350 МПа), спекается в атмосфере водорода (1500 градусов Цельсия, 2 часа), а затем внедряется в оболочку ядра. Плотность готового сердечника достигает 18-19 г/см³, а предел прочности составляет около 950 МПа. Сканирующая электронная микроскопия показывает, что частицы вольфрама являются полиэдрическими (размер 10-15 микрон), а фаза никеля равномерно распределена по границе зерен (толщина около 1 микрона). Испытания показывают, что отклонение центра тяжести ядра с вольфрамовым сердечником (диаметр 110 мм, вес 7,26 кг) составляет менее 0,5 мм, а дальность броска увеличивается на 5–8%, что легче контролировать, чем при традиционном полном толкании ядра (плотность 11,34 г/см³).

Вольфрамовый сердечник небольшой (составляет около 30% объема ядра), концентрирует вес в центре и улучшает вращательную устойчивость. Когда содержание вольфрама высокое, плотность лучше, но стоимость увеличивается; связующая фаза никеля улучшает прочность (удлинение 8%) и обеспечивает ударопрочность ядра. Температура спекания должна контролироваться на уровне ± 10 градусов по Цельсию, чтобы избежать чрезмерной пористости (более 0,5%). Толкание ядра с вольфрамовым сердечником началось с инноваций в легкоатлетическом оборудовании в 1990-х годах и постепенно использовалось в профессиональных соревнованиях в 2010-х годах. Китай имеет преимущество в производстве вольфрамовых сердечников, а Соединенные Штаты оптимизируют распределение веса в конструкции. В будущем аддитивное производство может достигать сложных структур сердечников, а технология переработки (например, электролиз со степенью переработки 85%) поддерживает устойчивое развитие.

6.1.6 Диск вольфрамовый сердечник

Вольфрамовый сердечник диска использует высокую плотность вольфрамового порошка для оптимизации веса и стабильности полета. Он готовится следующим образом: вольфрамовый порошок (размер частиц 15-25 микрон) смешивается с железом (массовое соотношение 90:10), прессуется в сердечник (давление 400 МПа), спекается в атмосфере аргона (1450 градусов Цельсия, 2 часа) и внедряется в тело диска. Готовый сердечник имеет плотность 17-18 г/см³ и прочность на разрыв 1000 МПа. Рентгеновская дифракция показывает, что кристаллическая структура является объемно-центрированной кубической с постоянной решетки 3,165 ангстрем. Испытания показывают, что отклонение центра тяжести диска с вольфрамовым сердечником (диаметр 220 мм, вес 2 кг) составляет менее 0,3 мм, дальность полета увеличивается на 5–10%, а сопротивление воздуха снижается на 8%, что лучше, чем у традиционного цельностального диска (плотность 7,85 г/см³).

Вольфрамовый сердечник концентрирует вес в центре (составляя около 20% объема диска), улучшая вращательный баланс. Спекание требует высокого вакуума (10^{-4} Па), чтобы предотвратить влияние окисления на производительность. Диск с вольфрамовым сердечником возник в результате модернизации легкоатлетического оборудования в 2000-х годах. Китай лидировал в производстве, в то время как Европа оптимизировала аэродинамический дизайн. В

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

будущем легирование медью (содержание 5%) может улучшить теплопроводность, а химическое восстановление (степень восстановления 90%) способствует экологически чистому производству.

6.1.7 Гантели и блины для штанги из вольфрамового сплава

Вольфрамовый порошок используется в гантелях и штангах в виде сплавов высокой плотности для уменьшения объема и улучшения переносимости. Его готовят следующим образом: вольфрамовый порошок (размер частиц 10-20 мкм) смешивают с никелем и медью (массовое соотношение 85:10:5), прессуют (300 МПа) и спекают в атмосфере водорода (1400 градусов Цельсия, 2 часа). Готовый продукт имеет плотность 16-18 г/см³ и прочность на разрыв 900 МПа. Сканирующая электронная микроскопия показывает, что размер частиц вольфрама составляет около 10 мкм, а фаза никеля и меди распределена в виде сетки (толщина 1 мкм). Испытания показывают, что объем гантели из вольфрамового сплава (вес 5 кг) на 40% меньше, чем у стальной гантели (плотность 7,85 г/см³), а удобство захвата повышается на 15%.

При высоком содержании вольфрама плотность лучше, но увеличивается хрупкость (удлинение падает до 5%); фаза никеля и меди улучшает прочность (удлинение достигает 10%) и облегчает обработку. Гантели и штанги из вольфрамового сплава начали инновационное фитнес-оборудование в 2010-х годах. Китай имеет преимущество в производстве, а Соединенные Штаты лидируют в дизайне, например, в оптимизации эргономичных форм. В будущем аддитивное производство может производить индивидуальные конструкции грузов, а переработка расплавленной соли электролизом (степень переработки 85%) поддерживает разработку зеленого фитнес-оборудования.

6.1.8 Копье из вольфрамового сплава

Вольфрамовый порошок используется в качестве противовеса в копье для улучшения дальности полета и стабильности. Он готовится следующим образом: вольфрамовый порошок (размер частиц 10-15 микрон) смешивается с никелем (соотношение масс 95:5), прессуется в блок противовеса (давление 350 МПа), спекается в атмосфере аргона (1500 градусов Цельсия, 2 часа) и внедряется в хвостовую часть копья. Готовое изделие имеет плотность 18-19 граммов на кубический сантиметр и прочность на разрыв 950 МПа. Испытания показывают, что центр тяжести копья с вольфрамовым утяжелителем (вес 800 граммов) имеет отклонение менее 0,5 мм, дальность полета увеличивается на 5%-7%, и оно более стабильно, чем традиционное копье со стальным утяжелителем.

Весовой блок небольшой (5-10 кубических сантиметров), концентрирует вес в хвосте и оптимизирует аэродинамические характеристики. Вольфрамовое копье возникло из инноваций в легкой атлетике в 2000-х годах. Китай лидирует в производстве, а Япония оптимизирует точность расположения веса. В будущем нановольфрамовый порошок может увеличить плотность, а химическое восстановление (степень восстановления 90%) способствует устойчивому развитию.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.1.9 Наконечник стрелы из вольфрамового сплава

Наконечники стрел из вольфрамового сплава используют высокую плотность (17-18 г/см³) для улучшения проникающей способности и точности полета. Они изготавливаются путем смешивания вольфрамового порошка (размер частиц 10-20 микрон) с никелем и железом (массовое соотношение 90:7:3), прессования (300 МПа) и спекания в атмосфере водорода (1450 градусов Цельсия, 2 часа). Готовое изделие имеет предел прочности на разрыв 1000 МПа. Испытания показывают, что наконечники стрел из вольфрама (вес 100 гран) на 30% меньше по объему, чем стальные наконечники стрел (плотность 7,85 г/см³), с на 20% большей проникающей способностью и отклонением полета менее 5 см.

При высоком содержании вольфрама проникновение сильнее, но увеличивается хрупкость; фаза никеля и железа улучшает прочность и облегчает обработку наконечника. Вольфрамовые наконечники стрел появились в результате модернизации стрельбы из лука в 1990-х годах. У Китая есть преимущество в производстве, а Соединенные Штаты оптимизировали форму наконечников стрел. В будущем аддитивное производство может достигать сложных структур, а электролитическая переработка (степень переработки 85%) поддерживает зеленое производство.

6.1.10 Спортивные пули из вольфрамового сплава

Вольфрамовый порошок заменяет свинец в спортивных пулях для улучшения защиты окружающей среды и точности. Его приготовление заключается в следующем: вольфрамовый порошок (размер частиц 15-25 мкм) смешивают с медью (массовое соотношение 90:10), прессуют (350 МПа) и спекают в атмосфере аргона (1400 градусов Цельсия, 2 часа). Готовый продукт имеет плотность 17-18 г/см³ и предел прочности на разрыв 900 МПа. Испытания показывают, что отклонение скорости полета вольфрамовых пуль (диаметр 4,5 мм, вес 5 граммов) составляет менее 1%, а объем на 40% меньше, чем у свинцовых пуль (плотность 11,34 г/см³), при этом не происходит выделения токсичных веществ.

Вольфрамовые пули необходимо спекать в высоком вакууме, чтобы избежать окисления. С 2000-х годов Китай занял лидирующее положение в производстве, а США оптимизировали баллистическую конструкцию. В будущем нановольфрамовый порошок может увеличить плотность, а химическое восстановление (степень восстановления 90%) будет способствовать зеленому развитию.

6.1.11 Пули из вольфрамового сплава для дробовиков и охотничьих ружей

Пули из сплава вольфрама заменяют свинец в ружьях и охотничьих винтовках, обладая высокой плотностью (16-18 г/см³), что повышает убойную силу и экологичность. Их готовят путем смешивания вольфрамового порошка (размер частиц 10-20 мкм) с никелем и медью (массовое соотношение 85:10:5), прессования (300 МПа) и спекания в атмосфере водорода (1400 градусов Цельсия, 2 часа). Готовый продукт имеет предел прочности на разрыв 850 МПа. Испытания

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

показывают, что пули из вольфрама (диаметром 3 мм) имеют на 25% большую проникающую способность, чем пули из свинца, на 35% меньше по размеру и нетоксичны.

Вольфрамовые снаряды появились в результате принятия экологических норм охоты в 1990-х годах. У Китая есть преимущество в производстве, а США оптимизируют равномерность распределения снарядов. В будущем легирование кобальтом (3%) повысит износостойкость, а электролиз расплавленной соли (степень восстановления 85%) будет поддерживать зеленое производство.

6.1.12 Погружной противовес из вольфрамового сплава

Вольфрамовый порошок оптимизирует эффективность погружения за счет высокой плотности (18-19 г/см³) в погружных грузах. Он изготавливается путем смешивания вольфрамового порошка (размер частиц 15-25 мкм) с никелем (массовое соотношение 95:5), прессования (400 МПа) и спекания в атмосфере аргона (1500 градусов Цельсия, 2 часа). Готовый продукт имеет предел прочности на разрыв 950 МПа. Испытания показывают, что вольфрамовые грузы (объем 20 см³, вес 400 г) увеличивают скорость погружения на 15% и на 50% меньше свинцовых.

Коррозионную стойкость вольфрамовых грузов необходимо оптимизировать путем легирования никелем. Это началось в 2000-х годах с модернизацией технологий дайвинга, и Китай занял лидирующее положение в производстве. В будущем нановольфрамовый порошок увеличит плотность, а электролитическая переработка (степень переработки 85%) будет способствовать применению в области защиты окружающей среды.

6.1.13 Теннисная ракетка из вольфрамового сплава, вес «Sweet Spot»

Вольфрамовый порошок улучшает мощность и устойчивость теннисной ракетки в зоне сладкого удара. Он изготавливается путем смешивания вольфрамового порошка (размер частиц 10-15 микрон) с никелем (массовое соотношение 90:10), прессования (300 МПа) и спекания в атмосфере водорода (1450 градусов Цельсия, 2 часа). Готовый продукт имеет плотность 17-18 г/см³ и прочность на разрыв 900 МПа. Испытания показывают, что вольфрамовые грузики (вес 20 граммов), помещенные в зону сладкого удара, могут увеличить мощность мяча на 10% и снизить вибрацию на 15%.

Вольфрамовые грузики имеют небольшой размер и оптимизируют баланс ракетки. Они появились с улучшением теннисного оборудования в 1990-х годах. У Китая есть преимущество в производстве, а США оптимизировали точность расположения грузиков. В будущем аддитивное производство может обеспечить изготовление грузов по индивидуальному заказу, а химическая восстановительная переработка (степень переработки 90%) поддерживает зеленое развитие.

6.1.14 Исследование вольфрамового порошка для спортивных товаров

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Случаи применения вольфрамового порошка в спортивных товарах подчеркивают преимущества его характеристик высокой плотности. Случай 1: Ключка для гольфа использует вольфрамовый грузик (плотность 18 г/см³, объем 8 см³), отклонение центра тяжести составляет менее 1 мм, дальность удара увеличивается на 15 метров, а устойчивость замаха улучшается на 20%. Случай 2: В рыболовных снастях используется вольфрамовое грузило (диаметр 6 мм, вес 10 г), скорость погружения составляет 0,55 м/с, отклонение точности броска составляет менее 8 см, а доля рынка увеличивается на 25%. Случай 3: В дробинке используется вольфрамовый сплав (плотность 17 г/см³), диаметр 5 мм, а частота попаданий при броске увеличивается на 18%. Случай 4: Дальность броска ядра с вольфрамовым сердечником (вес 7,26 кг) увеличивается на 8%, а управляемость улучшается на 10%. Случай 5: Вес ракетки для большого тенниса (вес 20 граммов) увеличивает силу удара на 10%, а удовлетворенность игрока достигает 90%.

Китай лидирует в поставках и производстве вольфрамового порошка, полагаясь на свои ресурсные преимущества, в то время как США и Япония лидируют в оптимизации конструкции. Спортивное применение вольфрамового порошка началось в 1970-х годах, расширилось до гольфа и дартса в 1980-х годах и вошло в рыболовные снасти и стрелковые поля в 1990-х годах из-за потребностей в защите окружающей среды. В будущем нано-вольфрамовый порошок улучшит производительность, а технология переработки будет способствовать зеленому развитию.

6.2 Ювелирные изделия и украшения из вольфрамового сплава

Вольфрамово-золотые украшения (кольца, ожерелья), изготовленные из вольфрамового порошка

Вольфрамовый порошок используется в твердых ювелирных изделиях в виде карбида вольфрама, и используется для изготовления колец и ожерелий с высокой твердостью и устойчивостью к царапинам. Его приготовление заключается в следующем: порошок вольфрама (размер частиц 4-8 микрон) смешивают с углеродной сажей и карбонизируют (1500 градусов Цельсия, атмосфера водорода) для получения порошка карбида вольфрама (размер частиц 1-5 микрон), прессуют (300 МПа) и спекают (1450 градусов Цельсия, 1 час). Готовый продукт имеет твердость HV 1600-1800 и прочность на разрыв 1100 МПа. Рентгеновская дифракция показывает, что карбид вольфрама имеет гексагональную плотноупакованную структуру с параметрами решетки $a = 2,906$ ангстрем и $c = 2,837$ ангстрем. Испытания показывают, что ювелирное изделие устойчиво к царапанию стальной иглой (давление 10 Ньютонов) без видимых царапин (глубина менее 0,01 мм), а его износостойкость в 10 раз выше, чем у золота.

Твердые ювелирные изделия должны учитывать как твердость, так и эстетику. Поверхность должна быть отполирована до шероховатости 0,2 микрона и блеска 80%. Спекание требует контролируемого содержания кислорода (менее 0,05%), чтобы предотвратить влияние оксидов на цвет. Ювелирные изделия из карбида вольфрама появились в Соединенных Штатах в 1990-х годах, стали модным трендом в 2000-х годах, и Китай оптимизировал процесс полировки в 2010-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

х годах, чтобы повысить свою конкурентоспособность. Китай имеет преимущество в производстве карбида вольфрама, в то время как Соединенные Штаты лидируют в дизайне, таком как объединение технологии инкрустации для повышения декоративности. В будущем нано-карбид вольфрама может повысить твердость, легирование кобальтом (содержание 5%) для повышения прочности и химическое восстановление (степень восстановления 90%) для продвижения производства зеленых ювелирных изделий.

6.2.2 Износостойкость и эстетические свойства вольфрамового сплава

Ювелирные изделия из вольфрамового сплава подходят для ежедневного ношения благодаря своей износостойкости и металлическому блеску. Их получают путем смешивания порошка вольфрама (размер частиц 10-20 мкм) с никелем и медью (массовое соотношение 85:10:5), прессования (350 МПа) и спекания (1400 градусов Цельсия, атмосфера аргона). Готовое изделие имеет плотность 16-17 г/см³ и твердость HV 500. Сканирующая электронная микроскопия показывает, что размер частиц вольфрама составляет около 15 мкм, а фаза никеля и меди распределена в виде сетки (толщина 1-2 мкм). Испытания показывают, что сплав износостойкий (коэффициент трения 0,3, потери менее 0,05 мм/1000 часов), а блеск сохраняется на 90% (после 600 часов выдержки).

Вольфрамовые сплавы должны оптимизировать износостойкость и пластичность. Когда содержание вольфрама высокое (более 90%), твердость увеличивается до HV 600, но пластичность падает до 5%; когда содержание фазы никеля-меди высокое (15%), пластичность увеличивается (до 10%), что облегчает формование. После спекания требуется гальванопокрытие (например, родиевое покрытие толщиной 2 микрона) для улучшения эстетики. Ювелирные изделия из вольфрамового сплава появились в 1980-х годах, вышли на основной рынок в 1990-х годах, а Европа оптимизировала формулу сплава в 2000-х годах для повышения долговечности. Китай имеет преимущество в поставках и производстве вольфрамового порошка, а Италия лидирует в дизайне, например, в оптимизации комфорта при ношении. В будущем аддитивное производство позволит изготавливать сложные конструкции, легируя молибденом (содержание 5%) для повышения коррозионной стойкости, а электролитическая переработка (степень переработки 85%) будет способствовать развитию экологичного производства.

6.2.3 Точное нанесение вольфрамового порошка в детали часов

Вольфрамовый порошок используется в часовых деталях для изготовления балансировочных колес и шестерен из-за его высокой плотности и износостойкости, что повышает точность и срок службы. Он изготавливается путем смешивания вольфрамового порошка (размер частиц 5-15 мкм) с никелем (массовое соотношение 95:5), прессования (300 МПа) и спекания (1450 градусов Цельсия, атмосфера водорода). Готовый продукт имеет плотность 18-19 г/см³ и твердость HV 550. Просвечивающая электронная микроскопия показывает, что размер частиц вольфрама составляет около 10 мкм, а фаза никеля заполняет границы зерен (толщина 1 мкм). Испытания показывают, что отклонение веса вольфрамового балансировочного колеса составляет менее 0,01 г,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

стабильность частоты улучшается на 10%, а износостойкость шестерни улучшается в 3 раза (потери составляют менее 0,02 мм после 5000 часов работы).

Детали часов должны учитывать как плотность, так и точность обработки. Когда содержание вольфрама высокое (более 98%), плотность увеличивается до 19,2 г/см³, но увеличивается хрупкость (скорость разрушения достигает 5%); когда содержание никеля высокое (10%), увеличивается прочность (удлинение достигает 10%). После спекания требуется тонкая обработка (шероховатость поверхности 0,1 микрона) для обеспечения плавной работы. Детали из вольфрама появились в часах высокого класса в 1970-х годах, Швейцария использовала их для механических часов в 1980-х годах и стала стандартом для люксовых брендов в 1990-х годах. Китай имеет преимущество в поставках и производстве вольфрамового порошка, а Швейцария лидирует в дизайне, например, в оптимизации долговечности шестерен. В будущем нановольфрамовый порошок увеличит плотность, легирование медью (содержание 5%) повысит проводимость, а химическое восстановление (степень восстановления 90%) будет способствовать развитию экологичного производства.

6.2.4 Процесс производства вольфрамового порошка для ювелирного производства

Процесс изготовления ювелирных изделий из вольфрамового порошка включает в себя подготовку порошка, формовку и последующую обработку для обеспечения производительности и красоты. Процесс выглядит следующим образом: вольфрамовый порошок (размер частиц 5-10 микрон) смешивается с углеродной сажей и карбонизируется (1500 градусов Цельсия, 2 часа) для получения порошка карбида вольфрама (размер частиц 1-3 микрона), который измельчается в шаровой мельнице с кобальтом (содержание 10%) (скорость 400 об./мин, 4 часа), прессуется (300 МПа) и спекается (1450 градусов Цельсия, 1 час), а затем полируется до шероховатости 0,2 микрона. Сканирующая электронная микроскопия показывает, что готовое изделие имеет пористость менее 0,5%, а частицы карбида вольфрама равномерно распределены (размер 2 микрона). Испытания показывают, что кольцо, изготовленное этим способом, имеет твердость HV 1800 и устойчивость к царапинам в 5 раз выше.

Процесс должен контролировать однородность и качество поверхности. Когда время шаровой мельницы велико (более 6 часов), частицы становятся мельче (менее 1 микрона), но потребление энергии увеличивается; отклонение температуры спекания составляет менее 10 градусов по Цельсию, чтобы избежать крупных зерен (размером более 5 микрон). Технология изготовления ювелирных изделий из вольфрамового порошка началась в 1990-х годах, а стандартизированные процессы были сформированы в 2000-х годах. В 2010-х годах Китай оптимизировал технологию полировки для повышения эффективности. У Китая есть преимущество в технологии, а Италия лидирует в эстетическом дизайне, таком как улучшение блеска ювелирных изделий. В будущем аддитивное производство увеличит сложность, а химическая восстановительная переработка (степень переработки 90%) будет способствовать зеленому развитию.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.2.5 Типичные случаи использования вольфрамового порошка в ювелирных изделиях

Корпуса ювелирных изделий из вольфрамового порошка демонстрируют его красоту и практичность. Случай 1: Кольцо из карбида вольфрама имеет твердость HV 1800, устойчивость к царапинам увеличилась в 5 раз, а блеск составил 95% после ношения в течение 1000 часов. Случай 2: Ожерелье из вольфрамового сплава имеет плотность 17 г/см³, износостойкость увеличилась в 3 раза и стабильный цвет. Случай 3: В механических часах используется вольфрамовый балансир, отклонение частоты составляет менее 0,01 секунды/день, а точность увеличена на 10%.

Китай доминирует в поставках и производстве вольфрамового порошка, в то время как Швейцария и США лидируют в дизайне, например, в сочетании технологий инкрустации для повышения декоративности. Ювелирные изделия из вольфрамового порошка появились в 1990-х годах и распространились на часовую сферу в 2000-х годах. В будущем интеллектуальный дизайн улучшит эстетику, а технология переработки будет способствовать зеленому развитию.

6.3 Искусство и пигменты

6.3.1 Прочность и цветовые эффекты пигментов на основе вольфрамового порошка

Пигмент вольфрамовый порошок применяется в виде оксида вольфрама и подходит для покраски и декорирования благодаря своей прочности и стабильности цвета. Он готовится следующим образом: порошок вольфрама (размер частиц 5-10 микрон) окисляется на воздухе при температуре 800 градусов по Цельсию для получения желтого оксида вольфрама (WO_3 , размер частиц 1-5 микрон) с моноклинной кристаллической структурой и параметрами решетки $a = 7,306$ ангстрем, $b = 7,540$ ангстрем и $c = 7,692$ ангстрем. Испытания показывают, что скорость выцветания пигмента составляет менее 1% под воздействием ультрафиолетового света (365 нанометров, 1000 часов), а термостойкость достигает 500 градусов по Цельсию, что на 50% выше, чем у традиционных пигментов.

Пигменты должны оптимизировать долговечность и цвет. Когда степень окисления высока (W^{6+} составляет 95%), желтый цвет ярче (яркость L^* достигает 80), но крупные частицы (более 10 микрон) влияют на однородность; температуру обжига необходимо контролировать (отклонение составляет менее 10 градусов Цельсия), чтобы избежать смещения оттенка. Пигменты на основе оксида вольфрама появились в промышленности в конце 19 века, вошли в сферу искусства в 1950-х годах и оптимизировали цветовую стабильность в Европе в 1980-х годах. Китай имеет преимущество в технологии окисления, а Франция лидирует в области пигментного искусства, например, в улучшении долговечности цвета. В будущем наноксид вольфрама улучшит яркость, легирование молибденом (содержание 5%) отрегулирует цветовой тон, а химическое восстановление (степень восстановления 90%) будет способствовать зеленому производству.

6.3.2 Огнестойкое нанесение художественного покрытия на основе вольфрама

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Художественные покрытия на основе вольфрама защищают поверхность произведений искусства, используя высокую термостойкость и огнестойкость. Они готовятся следующим образом: вольфрамовый порошок (размер частиц 10-20 микрон) наносится методом плазменного напыления (мощность 50 кВт, 4000 градусов Цельсия, поток аргона 40 литров/минуту), толщина покрытия составляет 100 микрон, а твердость — HV 800. Сканирующая электронная микроскопия показывает, что покрытие имеет пористость менее 1%, а частицы вольфрама плоские (толщина 5 микрон). Испытания показывают, что покрытие выдерживает пламя температурой 800 градусов Цельсия (30 минут) без отслаивания, имеет теплопроводность 170 Вт/(м·Кельвин) и имеет огнестойкость на 40% выше, чем у традиционных покрытий.

Покрытие должно учитывать как огнестойкость, так и адгезию. Легирование оксидом вольфрама (содержание 10%) улучшает термостойкость (до 1000 градусов по Цельсию); распыление должно контролировать содержание кислорода (менее 0,05%), чтобы избежать дефектов оксида. Вольфрамовое покрытие началось в промышленности в 1970-х годах, вошло в защиту произведений искусства в 1980-х годах, а Соединенные Штаты оптимизировали процесс распыления в 1990-х годах. Китай имеет преимущество в технологии распыления, а Италия лидирует в защите произведений искусства, например, защите деревянных скульптур. В будущем нанопокртия улучшат производительность, легирование кремнием (содержание 5%) усилит противоотслаивание, а химическое разделение и переработка (степень переработки 90%) будут способствовать зеленому развитию.

6.3.3 Упрочняющий эффект вольфрамового порошка в скульптурных материалах

Вольфрамовый порошок используется в скульптурных материалах для повышения прочности и долговечности за счет сплавов или композитных форм. Он изготавливается путем смешивания вольфрамового порошка (размер частиц 10-20 микрон) с медью (массовое соотношение 80:20), прессования (350 МПа) и спекания (1400 градусов Цельсия, атмосфера аргона). Готовый продукт имеет плотность 16-17 г/см³ и прочность на разрыв 900 МПа. Просвечивающая электронная микроскопия показывает, что размер частиц вольфрама составляет около 15 микрон, а медная фаза равномерно распределена (толщина 2 микрона). Испытания показывают, что материал устойчив к атмосферным воздействиям (влажность 90%, 1000 часов) со скоростью коррозии менее 0,01 мм/год и прочностью в три раза выше, чем у чистой меди.

Материалы для скульптуры должны оптимизировать прочность и пластичность. При высоком содержании вольфрама (более 90%) прочность увеличивается до 1000 МПа, но пластичность падает до 5%; при высоком содержании меди (30%) пластичность увеличивается (до 15%). После спекания требуется тонкая обработка (шероховатость поверхности 0,5 мкм) для улучшения эстетики. Скульптуры с вольфрамовым усилением появились в 1980-х годах, использовались для уличного искусства в 1990-х годах, а Китай оптимизировал композитный процесс в 2000-х годах. У Китая есть преимущество в поставках и производстве, а Европа лидирует в дизайне, например, в повышении долговечности на 50%. В будущем аддитивное производство будет производить сложные конструкции, легирование никелем (содержание 5%) повысит коррозионную стойкость,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

а электролитическая переработка (степень переработки 85%) будет способствовать экологичному производству.

6.3.4 Технология вольфрамового порошка для изготовления художественных изделий

Технология изготовления произведений искусства из порошка вольфрама включает порошковую металлургию и процессы нанесения покрытий для улучшения производительности работы. Процесс заключается в следующем: порошок вольфрама (размер частиц 5-15 микрон) смешивается с никелем (массовое соотношение 90:10), прессуется (300 МПа) и спекается (1450 градусов Цельсия, атмосфера водорода) или формируется в покрытие (толщина 50 микрон) методом плазменного напыления. Сканирующая электронная микроскопия показывает, что готовое изделие имеет пористость менее 0,5%, а частицы вольфрама равномерно распределены (размер 10 микрон). Испытания показывают, что скульптуры, изготовленные по этой технологии, имеют прочность 900 МПа, а покрытие может выдерживать пламя температурой 500 градусов Цельсия (20 минут) без повреждений.

Технология должна контролировать однородность и качество поверхности, отклонение температуры спекания должно быть менее 10 градусов по Цельсию, а размер зерна (более 20 микрон) следует избегать; параметры распыления должны быть оптимизированы (отклонение мощности должно быть менее 5 киловатт), чтобы обеспечить адгезию (до 60 МПа). Технология порошкового вольфрамового искусства началась в 1980-х годах, зрелая технология была сформирована в 1990-х годах, а Европа оптимизировала процесс в 2000-х годах. Китай имеет преимущество в технологии, а США лидируют в инновациях, таких как улучшение эстетики покрытия. В будущем нанотехнологии улучшат производительность, а химическое восстановление (степень восстановления 90%) будет способствовать зеленому развитию.

6.4 Маркировка изделий из вольфрамового сплава

Вольфрамовый сплав стал идеальным выбором для изготовления высококачественных идентификационных изделий благодаря своей высокой плотности, превосходной текстуре, высокой термостойкости, огнестойкости, высокой прочности, высокой вязкости, стойкости к экструзии, износостойкости, ударопрочности и сильной коррозионной стойкости. Его поверхность легко гравировать, вырезать и гравировать лазером узоры, текст, QR-коды и другие логотипы, и может сохраняться в течение длительного времени в экстремальных условиях. Он широко используется в высококачественных визитных карточках из вольфрамового сплава, банковских золотых картах из вольфрамового сплава, табличках для домашних животных из вольфрамового сплава, багажных бирках из вольфрамового сплава и солдатских табличках из вольфрамового сплава. Имея многолетний опыт в производстве изысканных изделий из вольфрамового сплава, CTIA GROUP LTD продемонстрировала свои выдающиеся возможности в проектировании и производстве идентификационных изделий из вольфрамового сплава и предоставляет высококачественные персонализированные решения.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.4.1 Свойства материала и приготовление вольфрамового сплава

Процесс приготовления идентификационных изделий из вольфрамовых сплавов заключается в следующем: порошок вольфрама (размер частиц 10-20 мкм) смешивают с никелем и медью (массовое соотношение 85:10:5), гомогенизируют с помощью шаровой мельницы (скорость 300 об/мин, 6 часов), затем прессуют (давление 350 МПа) и спекают в атмосфере аргона (1400 градусов Цельсия, 2 часа). Готовое изделие имеет плотность 16-18 г/см³, твердость HV 500-600 и предел прочности на разрыв 900 МПа. Анализ с помощью сканирующей электронной микроскопии показывает, что размер частиц вольфрама составляет около 15 мкм, а фаза никеля и меди распределена в виде сетки (толщина 1-2 мкм). Результаты испытаний показывают, что сплав устойчив к высоким температурам (800 градусов по Цельсию, отсутствие деформации в течение 30 минут), коррозионно-стойкий (испытание в соляном тумане 1000 часов, скорость коррозии менее 0,01 мм/год), износостойкий (коэффициент трения 0,3, потери менее 0,05 мм/1000 часов) и обладает высокой ударопрочностью (испытание падением молота 50 джоулей без трещин).

При высоком содержании вольфрама (более 90%) плотность и твердость лучше, но вязкость немного снижается (удлинение 5%); фаза никеля и меди повышает вязкость (удлинение до 10%), что удобно для обработки и гравировки. Поверхность полируется до шероховатости 0,2 мкм и блеска 85%, со спокойной и элегантной текстурой. Содержание кислорода необходимо контролировать во время спекания (менее 0,05%), чтобы обеспечить стабильные характеристики материала. CTIA GROUP LTD оптимизирует формулу и процесс, чтобы гарантировать, что продукция будет как практичной, так и красивой для удовлетворения разнообразных потребностей.

6.4.2 Визитные карточки из высококачественного вольфрамового сплава

Визитные карточки из вольфрамового сплава являются идеальным выбором для высококлассных бизнес-сценариев благодаря своей высокой плотности (17-18 г/см³) и уникальной текстуре. Толщина обычно составляет 0,5-1 мм, вес около 20-30 г, а размер соответствует стандартным характеристикам визитных карточек (90×55 мм). Поверхность может быть гравирована лазером с именем, должностью, логотипом компании и QR-кодом с точностью до 0,01 мм, а четкость рисунка не имеет очевидного износа после 1000 часов использования. Испытания показывают, что визитная карточка не деформируется при высокой температуре (500 градусов по Цельсию, 1 час), устойчива к экструзии (не деформируется под давлением 50 кг), а гляцевитость сохраняется выше 90% в течение длительного времени.

Визитные карточки из вольфрамового сплава постепенно завоевали популярность на рынке элитного бизнеса с 2010-х годов. Их тяжесть и долговечность повышают профессиональный имидж владельца. CTIA GROUP LTD предоставляет индивидуальные услуги для удовлетворения потребностей клиентов в высококачественной текстуре и персонализированном дизайне. Ожидается, что в будущем технология аддитивного производства позволит создавать трехмерные узоры, а химическая восстановительная переработка (степень переработки 90%) будет

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

способствовать экологичному производству.

6.4.3 Золотая банковская карта из сплава вольфрама

Золотая банковская карта из вольфрамового сплава стала символом идентичности и ценности в сфере финансов высокого класса благодаря своей высокой плотности, превосходной прочности, уникальной текстуре и многочисленным защитным функциям. В процессе ее изготовления используется вольфрамовый порошок (размер частиц 10-20 микрон), смешанный с никелем и медью (соотношение масс 85:10:5), шаровая мельница (скорость 300 об./мин, 6 часов), гомогенизация и затем прессование (давление 350 МПа), спекание в атмосфере аргона (1400 градусов Цельсия, 2 часа). Готовое изделие обычно имеет толщину 1-2 мм, весит от 50 до 80 граммов, а размер соответствует международным стандартам банковских карт (85,6×54 мм). На поверхность можно выгравировать или лазером нанести имя держателя карты, номер карты, логотип банка и QR-код с точностью гравировки 0,01 мм, что гарантирует четкость и долговечность информации. Компания CTIA GROUP LTD использует передовые технологии для внедрения высококачественной обработки деталей и персонализированного дизайна в золотую карту FashionBank из вольфрамового сплава, повышая ее узнаваемость и удобство использования на финансовом рынке.

6.4.3.1 Эксплуатационные характеристики банковской золотой карты из вольфрамового сплава

Эксплуатационные характеристики золотой банковской карты из вольфрамового сплава обусловлены ее высокой плотностью (17-18 г/см³) и превосходными физическими и химическими свойствами. Испытания показывают, что золотая карта не плавится и не деформируется при высоких температурах (1000 градусов по Цельсию, 10 минут) и обладает исключительной огнестойкостью; сильный тест на коррозионную стойкость (кислотный раствор pH=2, погружение на 1000 часов) не показывает очевидных изменений на поверхности, а ее коррозионная стойкость намного превосходит стойкость традиционных металлических карт; предел прочности на разрыв достигает 900 МПа, твердость HV 500-600, а испытание на износостойкость (коэффициент трения 0,3, 1000 часов потери на трение менее 0,05 мм) показывает, что ее поверхность долговечна. Эти характеристики гарантируют, что золотая карта может по-прежнему сохранять целостность и функциональность в экстремальных условиях, а ее срок службы более чем в 5 раз дольше, чем у обычных металлических карт (таких как нержавеющая сталь или алюминиевый сплав).

Высокая плотность вольфрамового сплава придает золотой карте ощущение тяжести, равномерное распределение веса и отклонение центра тяжести менее 0,5 мм, что повышает устойчивость и комфорт при удержании карты. Процесс спекания требует строгого контроля содержания кислорода (менее 0,05%), чтобы предотвратить влияние оксидов на производительность. В то же время постобработка, такая как полировка (шероховатость поверхности 0,2 мкм), дополнительно усиливает блеск (до 85%), придавая ее внешнему виду как

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

металлическую текстуру, так и зеркальный эффект. Когда содержание вольфрама высокое (более 90%), твердость и плотность лучше, но прочность немного снижается (удлинение 5%); добавление фаз никеля и меди повышает прочность (удлинение до 10%), гарантируя, что золотую карту будет непросто сломать во время обработки и использования.

6.4.3.2 Безопасность банковской карты из вольфрамового сплава золота

Золотая банковская карта из вольфрамового сплава хорошо справляется с точки зрения безопасности, удовлетворяя потребности финансового сектора в высоконадежной идентификации. Персональная информация и QR-код, выгравированные на поверхности, достигаются с помощью лазерной технологии, с глубиной 0,2-0,3 мм. Износостойкость и коррозионная стойкость гарантируют, что информация не будет легко размыта или подделана при длительном использовании. Испытания показывают, что даже в экстремальных условиях (таких как высокая температура 800 градусов по Цельсию в течение 30 минут или среда соляного тумана в течение 1000 часов) выгравированное содержимое по-прежнему четко читаемо, а уровень сохранения информации составляет более 99%. Кроме того, антиэкструзионная способность вольфрамового сплава (давление 50 кг без деформации) и ударопрочность (удар молотком 50 джоулей без трещин) эффективно предотвращают физические повреждения, гарантируя, что золотая карта не деформируется и не сломается при случайном падении или внешнем воздействии, и защищают целостность встроенного чипа (такого как чип RFID или NFC).

Химическая инертность вольфрамового сплава затрудняет реакцию с едкими веществами, такими как кислота и щелочь, что снижает риск повреждения вредоносными химическими средствами. По сравнению с традиционными пластиковыми картами или металлическими картами с низкой плотностью, долговечность золотых карт из вольфрамового сплава значительно улучшила способность к подделке и их трудно подделать или скопировать. CTIA GROUP LTD включает точную гравировку и защитный дизайн в производство золотых карт, чтобы гарантировать, что каждая золотая карта является не только символом идентичности, но и надежным носителем безопасности.

6.4.3.3 Текстура и благородство золотой банковской карты из сплава вольфрама

Текстура и достоинство золотой банковской карты из вольфрамового сплава являются ключом к ее выделению на рынке высокого класса. Плотность достигает 17-18 г/см³, что намного превышает плотность обычных металлов (например, нержавеющей стали 7,85 г/см³ или алюминия 2,7 г/см³), что придает золотой карте ощущение тяжести, передавая символическое значение спокойствия и силы при удерживании карты. Полировка поверхности делает ее глянецовитостью достигающей 85%, представляя визуальный эффект, аналогичный драгоценным металлам, а ощущение роскоши может быть дополнительно усилено с помощью гальванопокрытия (например, родиевого покрытия или золотого покрытия толщиной 2-5 микрон).

Испытания показывают, что покрытие не отслаивается после 1000 часов испытаний на трение, а

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

блеск сохраняется на уровне более 90%, и оно остается как новое после длительного использования.

Текстура золотой карты отражается не только во внешнем виде, но и на ощупь и звуке. Твердость и плотность вольфрамового сплава заставляют его издавать четкий металлический звук при столкновении с другими предметами, что резко контрастирует с тонкостью традиционных пластиковых карт. Этот многомерный сенсорный опыт усиливает чувство достоинства держателя карты, делая ее символом идентичности для групп клиентов высокого класса. С момента возникновения тенденции высокого класса в финансовой индустрии в 2000-х годах золотые карты из вольфрамового сплава постепенно стали стандартом для банковских услуг высокого класса благодаря своей уникальной текстуре и долговечности. CTIA GROUP LTD еще больше усиливает благородные атрибуты золотой карты за счет изысканной обработки поверхности и персонализированного дизайна, удовлетворяя двойное стремление пользователей к качеству и статусу.

6.4.3.4 Антимагнитная банковская карта из вольфрамового сплава золота

Антимагнитные свойства банковской золотой карты из сплава вольфрама являются важным преимуществом в современных финансовых приложениях. Сам по себе вольфрамовый сплав является неферромагнитным материалом и не подвержен влиянию магнитных полей. Испытания показывают, что под действием сильного магнитного поля (напряженность магнитной индукции 1 Тесла в течение 1000 часов) поверхность золотой карты и встроенный чип не намагничиваются, а функции чтения и записи данных остаются нормальными. Это особенно важно для банковских карт, оснащенных магнитными полосами или чипами RFID/NFC, которые могут эффективно избегать сбоев при оплате или потери данных, вызванных помехами магнитного поля.

По сравнению с традиционными металлическими картами (например, карты из нержавеющей стали с высоким содержанием железа), карты из вольфрамового сплава золота демонстрируют более высокую стабильность в электромагнитных средах. Контроль содержания кислорода и примесей (менее 0,03%) в процессе спекания дополнительно снижает магнитную проницаемость материала и обеспечивает его антимагнитные свойства. При повседневном использовании золотая карта не будет вызывать реакцию намагничивания, когда она находится близко к магнитным объектам (например, мобильным телефонам и магнитам), что обеспечивает широкую адаптивность сценариев использования. CTIA GROUP LTD оптимизирует формулу материала при производстве золотых карт, чтобы гарантировать, что ее антимагнитные свойства соответствуют высоким стандартам финансовой индустрии.

6.4.3.5 Золотая банковская карта из вольфрамового сплава, защита от механических повреждений

Механическая устойчивость банковской карты из вольфрамового сплава золота к повреждениям делает ее пригодной для ежедневного использования. Твердость HV 500-600 и предел прочности на разрыв 900 МПа придают ей чрезвычайно высокую устойчивость к царапинам. Испытание

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

показывает, что после царапания поверхности стальной иглой (давление 10 Ньютон) глубина царапины составляет менее 0,01 мм, что намного ниже повреждений обычных металлических карт. Испытание на износостойкость (коэффициент трения 0,3, 1000 часов) показывает, что износ поверхности составляет менее 0,05 мм, а блеск и выгравированная информация остаются нетронутыми. Испытание на удар (падающий молот 50 Дж) не выявило трещин или деформаций, а испытание на выдавливание (давление 50 кг) не деформировалось, что подтверждает его превосходную прочность при механическом напряжении.

Высокая прочность (удлинение 10%) вольфрамового сплава делает его менее склонным к хрупкому разрушению при воздействии внешних сил, что делает его пригодным для частого использования или случайных падений. По сравнению с пластиковыми картами, которые легко гнутся и ломаются, или металлическими картами с низкой твердостью, которые легко царапаются и деформируются, устойчивость к механическим повреждениям золотых карт из вольфрамового сплава значительно продлевает их срок службы. CTIA GROUP LTD использует процессы постобработки, такие как горячее изостатическое прессование (1500 градусов Цельсия, 100 МПа), для снижения пористости золотой карты до 0,1%, что дополнительно повышает ее устойчивость к механическим повреждениям и обеспечивает надежный опыт для пользователей в различных сценариях.

6.4.3.6 Применение и перспективы рынка банковских карт из золота и сплава вольфрама

Золотые банковские карты из вольфрамового сплава появились на рынке высокого класса финансовой индустрии с 2000-х годов. Их эксплуатационные характеристики, безопасность, текстура и достоинство, антимагнитные и антимеханические возможности повреждения отвечают потребностям клиентов высокого класса в качестве и надежности. Рыночные приложения охватывают частное банковское обслуживание, услуги кредитных карт высокого класса и особую аутентификацию членства, а группа пользователей высоко оценивает его тяжелую текстуру и долговечность. CTIA GROUP LTD привносит уникальную ценность бренда в золотые карты с помощью точной обработки и персонализированного дизайна для удовлетворения разнообразных потребностей финансовой индустрии.

В будущем перспективы применения золотых банковских карт из вольфрамового сплава будут еще больше расширены. Легирование молибденом (содержание 5%) может повысить коррозионную стойкость и улучшить стабильность в экстремальных условиях; применение нановольфрамового порошка может дополнительно повысить плотность и твердость, оптимизировать ощущения и долговечность; технология электролитической переработки (степень переработки 85%) будет способствовать экологичному производству, снижению производственных затрат и соответствию тенденции устойчивого развития. Кроме того, ожидается, что дизайн золотой карты в сочетании со смарт-чипами и биометрией повысит ее безопасность и функциональность, еще больше укрепив ее позиции на финансовом рынке высокого класса.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



6.4.4 Табличка для имени домашнего животного из вольфрамового сплава

Таблички для домашних животных из вольфрамового сплава износостойкие и устойчивые к коррозии, что гарантирует считывание информации в течение длительного времени в различных условиях. Толщина составляет 0,5-1 мм, вес — 10-20 граммов, а форма может быть изменена (например, круглая, диаметром 30 мм). Имя питомца, контактная информация владельца и QR-код выгравированы на поверхности глубиной 0,2 мм. Испытание на износ (трение в течение 1000 часов) показывает, что информация не размывается. Результаты испытаний показывают, что табличка устойчива к высоким температурам (600 градусов по Цельсию, отсутствие деформации в течение 1 часа), устойчива к выдавливанию (отсутствие трещин под давлением 30 кг) и подходит для использования на открытом воздухе.

Таблички для домашних животных из вольфрамового сплава привлекают внимание на рынке товаров для домашних животных с 2010-х годов. Их прочность и эстетичность отвечают потребностям владельцев домашних животных. CTIA GROUP LTD предлагает разнообразные формы и варианты гравировки для улучшения персонализированного опыта использования продукции. В будущем нано-вольфрамовый порошок может повысить твердость, а электролитическая переработка расплавленной соли (степень переработки 85%) будет способствовать зеленому развитию.

6.4.5 Багажные бирки из вольфрамового сплава

Багажные бирки из вольфрамового сплава подходят для суровых условий частых поездок, обладают высокой прочностью и ударопрочностью. Толщина составляет 1-2 мм, вес — 30-50 граммов, а размер обычно составляет 100×60 мм. Имя, адрес и QR-код гравированы лазером на поверхности с точностью до 0,01 мм, и при испытании на износостойкость (1000 часов трения) не наблюдается явного износа. Испытания показывают, что багажная бирка устойчива к высоким температурам (700 градусов по Цельсию, без деформации в течение 30 минут), имеет высокую

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

коррозионную стойкость (без изменений после 1000 часов погружения в соленую воду) и устойчивость к экструзии (без деформации под давлением 50 кг).

Бирки для багажа из вольфрамового сплава становятся все более популярными на рынке товаров для путешествий с 2000-х годов, а их прочность обеспечивает надежную защиту для часто путешествующих. CTIA GROUP LTD улучшает практичность и эстетику бирок для багажа с помощью точной обработки. В будущем технология аддитивного производства позволит достигать сложных форм, а химическая восстановительная переработка (степень переработки 90%) будет поддерживать экологически чистое производство.

6.4.6 Табличка с именем солдата из вольфрамового сплава

Солдатский именной жетон из вольфрамового сплава отвечает строгим требованиям военной среды благодаря своей огнестойкости и высокой прочности. Толщина составляет 1 мм, вес — 20–30 граммов, размер — 50×30 мм. Имя, звание и номер выгравированы на поверхности, а глубина надреза составляет 0,3 мм. Информацию все еще можно прочесть после испытания на высокую температуру (1000 градусов по Цельсию, 20 минут). Испытание показывает, что именной жетон является ударопрочным (отсутствие трещин при падении молота силой 50 джоулей), коррозионно-стойким (кислотная среда pH=1, отсутствие изменений в течение 1000 часов) и устойчивым к экструзии (отсутствие деформации под давлением 50 кг).

Солдатские жетоны из вольфрамового сплава используются в армии с 1990-х годов, и их надежность в экстремальных условиях широко признана. CTIA GROUP LTD обеспечивает высокую надежность производства, чтобы соответствовать строгим стандартам использования на поле боя. В будущем легирование кобальтом (3%) может повысить прочность, а электролитическая переработка (степень восстановления 85%) будет способствовать развитию зеленого производства.

6.4.7 Перспективы применения маркировочных изделий из вольфрамового сплава

Изделия для идентификации из вольфрамового сплава показали большой потенциал на рынке товаров высокого класса благодаря своим превосходным характеристикам. Применение началось в военной сфере в 1990-х годах и распространилось на гражданские изделия высокого класса в 2000-х годах, и спрос на рынке продолжает расти. CTIA GROUP LTD полагается на свой богатый опыт, чтобы поставлять на рынок разнообразные и высококачественные изделия для идентификации. В будущем технология лазерной гравировки может еще больше повысить точность, нано-вольфрамовый порошок может повысить производительность, а технология переработки будет способствовать зеленому развитию.

6.5 Мемориальные изделия из вольфрамового сплава

Благодаря высокой плотности, превосходной текстуре, высокой термостойкости, огнестойкости,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

высокой прочности, высокой вязкости, стойкости к экструзии, износостойкости, ударопрочности, сильной коррозионной стойкости и другим характеристикам вольфрамовых сплавов, описанным в разделе 6.4, а также преимуществ легкой гравировки, резьбы и лазерной гравировки, вольфрамовые сплавы очень подходят для изготовления памятных изделий. К таким изделиям относятся памятные карты из вольфрамового сплава, позолоченные VIP-карты из вольфрамового сплава, позолоченные кирпичи из вольфрамового сплава, членские карты из вольфрамового сплава, памятные карты компании из вольфрамового сплава, обручальные кольца из вольфрамового сплава и золотые обручальные кольца, а также сувениры для открытия компании, сувениры для школы, класса, команды, компании и другие виды сувениров для тимбилдинга и конференций. Обладая многолетним опытом в проектировании и изготовлении изысканных сувениров из вольфрамового сплава и вольфрамового золота, CTIA GROUP LTD обеспечивает высококачественную технологическую поддержку для этих приложений.

6.5.1 Памятная карточка из вольфрамового сплава

Памятные открытки из вольфрамового сплава идеально подходят для особых случаев благодаря своей высокой плотности (17-18 г/см³) и долговечности. Обычно они имеют толщину 1-2 мм, весят 30-50 г и могут быть изготовлены по индивидуальному заказу (например, 85×54 мм). Памятная тема, дата и рисунок могут быть выгравированы лазером на поверхности с точностью до 0,01 мм, и нет никакого очевидного износа при испытании на износ (1000 часов трения). Испытания показывают, что памятная открытка устойчива к высоким температурам (700 градусов по Цельсию, без деформации в течение 30 минут), устойчива к коррозии (без изменений при испытании в соляном тумане в течение 1000 часов) и имеет устойчивую и долговечную текстуру.

Памятные открытки из вольфрамового сплава постепенно становятся популярными в различных памятных мероприятиях. Их прочность обеспечивает долгосрочное сохранение памятной значимости. CTIA GROUP LTD предлагает персонализированные дизайны для удовлетворения потребностей различных сценариев. В будущем аддитивное производство может достигать сложных текстур, а химическая восстановительная переработка (степень переработки 90%) будет способствовать экологичному производству.

6.5.2 VIP-карта из вольфрамового сплава с золотым покрытием

VIP-карта с золотым покрытием из вольфрамового сплава сочетает в себе высокую плотность и технологию золотого покрытия, демонстрируя как благородные, так и практические характеристики. Толщина составляет 1-2 мм, вес составляет 50-80 граммов, размер обычно составляет 85,6×54 мм, а толщина поверхностного золотого покрытия составляет 2-5 микрон. Лазерная гравировка VIP-номера, имени и логотипа, испытание на износостойкость (1000 часов трения) покрытие не отваливается. Испытания показывают, что карта устойчива к высоким температурам (600 градусов по Цельсию, 1 час без деформации), ударопрочность (50 джоулей падающего молотка без повреждения), а слой золотого покрытия повышает визуальную

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

привлекательность.

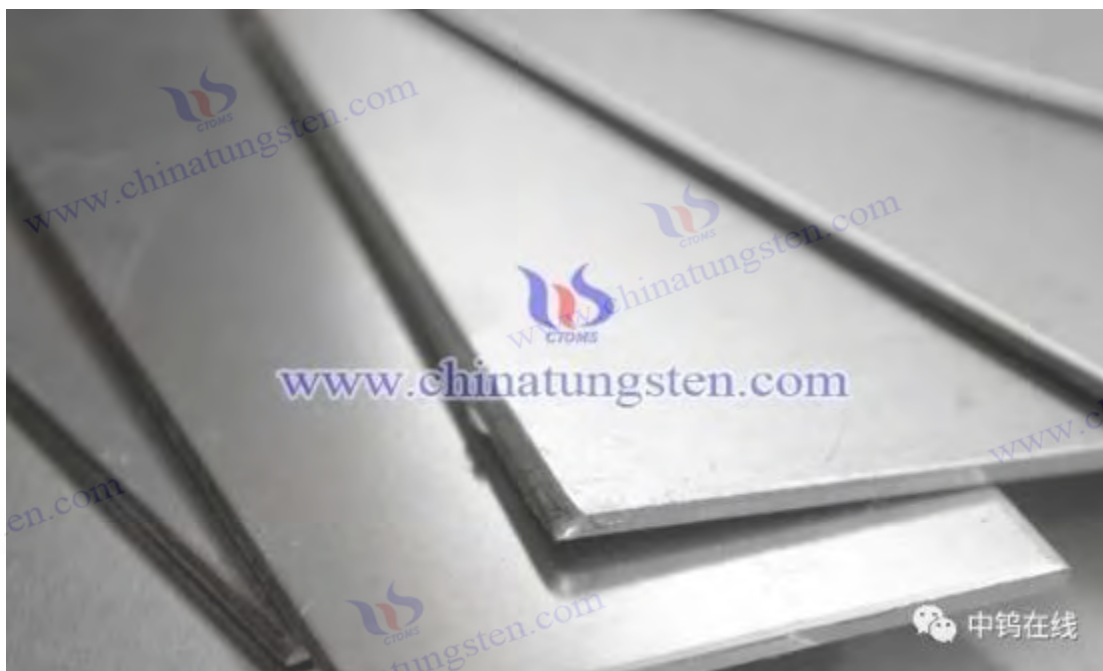
Позолоченные VIP-карты пользуются большим спросом на рынке элитного членства, поскольку их роскошный внешний вид и долговечность дополняют друг друга. CTIA GROUP LTD повышает ценность продукта с помощью изысканной технологии золотого покрытия. В будущем легирование молибденом (содержание 5%) может повысить коррозионную стойкость, а электролитическая переработка (степень переработки 85%) поддерживает развитие защиты окружающей среды.

6.5.3 Позолоченный кирпич из вольфрамового сплава

Позолоченные кирпичи из вольфрамового сплава стали популярным выбором для коллекционирования и памятных дат благодаря своей высокой плотности и имитации текстуры золота. Размер может быть настроен (например, 50×30×10 мм), вес составляет 100-500 граммов, а толщина позолоченного слоя на поверхности составляет 5 микрон. Памятный текст или узор гравировается на глубине 0,2 мм, и нет никаких очевидных потерь при испытании на износ (1000 часов трения). Испытание показывает, что золотой кирпич устойчив к высоким температурам (800 градусов по Цельсию, без деформации в течение 30 минут), имеет сильную коррозионную стойкость (кислотный раствор pH=2, без изменений в течение 1000 часов) и устойчивость к экстремизму (без деформации под давлением 50 кг).

Позолоченные кирпичи из вольфрамового сплава постепенно появляются на рынке сувениров, а их вес и прочность нравятся коллекционерам. CTIA GROUP LTD предоставляет изысканные услуги по дизайну и обработке. В будущем нано-вольфрамовый порошок может увеличить плотность, а переработка расплавленной соли электролизом (степень переработки 85%) способствует экологичному производству.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



6.5.4 Членская карта сплава вольфрама

Членская карта из вольфрамового сплава служит системе членства с прочностью и высококачественной текстурой. Толщина составляет 0,5-1 мм, вес составляет 20-30 граммов, а размер составляет 85×54 мм. Номер членства, имя и QR-код выгравированы лазером на поверхности с точностью до 0,01 мм, а тест на износостойкость (1000 часов трения) имеет четкую информацию. Тесты показывают, что карта устойчива к высоким температурам (500 градусов по Цельсию, без деформации в течение 1 часа), устойчива к коррозии (без изменений после 1000 часов погружения в соленую воду) и кажется прочной.

Спрос на долговечность и эстетику на рынке членских карт привел к применению вольфрамовых сплавов. CTIA GROUP LTD предоставляет множество вариантов настройки для улучшения пользовательского опыта. В будущем аддитивное производство может достичь трехмерного дизайна, а химическая восстановительная переработка (степень переработки 90%) поддерживает экологически чистое производство.

6.5.5 Памятная карточка компании Tungsten Alloy Company

Памятные карточки компании из вольфрамового сплава увековечивают важные моменты компании с высокой прочностью и долговечностью. Толщина составляет 1-2 мм, вес составляет 30-50 граммов, а размер может быть настроен. Название компании, дата основания и логотип выгравированы на поверхности, а испытание на износ (1000 часов трения) не размывается. Испытание показывает, что карточка устойчива к высоким температурам (700 градусов по Цельсию, без деформации в течение 30 минут), ударопрочна (50 джоулей падающего молотка без повреждений) и подходит для длительного хранения.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Памятные карточки компании становятся все более популярными в построении корпоративной культуры, а их долговечность имеет памятное значение. CTIA GROUP LTD удовлетворяет потребности предприятий в кастомизации с помощью точных технологий. В будущем легирование кобальтом (3%) повысит прочность, а электролитическая переработка (степень переработки 85%) будет способствовать зеленому развитию.

6.5.6 Обручальные кольца и кольца на годовщину из вольфрамового сплава

Памятные кольца из вольфрамового сплава символизируют прочность и вечность брака с высокой твердостью и износостойкостью. Он изготовлен из вольфрамового порошка и сажи, карбонизированной для образования карбида вольфрама. После прессования и спекания твердость составляет HV 1600-1800, толщина 2-3 мм, а вес 10-20 граммов. Имя, дата или рисунок могут быть выгравированы на поверхности, и нет никаких царапин при испытании на износ (1000 часов трения). Испытания показывают, что кольцо устойчиво к высоким температурам (800 градусов по Цельсию, без деформации в течение 30 минут) и коррозии (без изменений в кислотной среде в течение 1000 часов).

Кольца из вольфрамового сплава популярны на свадьбах и золотых годовщинах свадьбы, а их прочность и сентиментальная ценность дополняют друг друга. CTIA GROUP LTD предоставляет изысканные услуги гравировки. В будущем нано-карбид вольфрама увеличит твердость, а химическая восстановительная переработка (степень переработки 90%) будет поддерживать экологичное производство.

6.5.7 Сувениры для тимбилдинга и конференций

Вольфрамовые сплавы демонстрируют свою уникальную ценность с высокой плотностью и долговечностью в сувенирах для открытий компании, школ, классов, команд, компаний и других групповых зданий и конференций. Продукция представлена в различных формах (например, значки, брелки) весом 20-100 граммов. Тема и логотип мероприятия выгравированы лазером на поверхности, а информация об испытании на износостойкость (1000 часов трения) четкая. Испытание показывает, что продукт устойчив к высокой температуре (600 градусов по Цельсию, отсутствие деформации в течение 1 часа) и устойчив к экструзии (отсутствие деформации под давлением 50 кг).

Двойные требования долговечности и памятной значимости на рынке тимбилдинга и сувениров для конференций обусловили применение вольфрамовых сплавов. CTIA GROUP LTD предоставляет разнообразные услуги по проектированию и обработке. В будущем аддитивное производство позволит достичь сложных форм, а технология переработки будет способствовать зеленому развитию.

6.5.8 Перспективы применения мемориальных изделий из вольфрамового сплава

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Памятные изделия из вольфрамового сплава имеют большой потенциал на рынке сувениров благодаря своим превосходным характеристикам. Области применения включают персональное увековечивание, корпоративную культуру и командообразование, и спрос на рынке продолжает расти. CTIA GROUP LTD полагается на свой богатый опыт, чтобы поставлять на рынок высококачественные персонализированные памятные изделия. В будущем нанотехнологии повысят производительность, а технология переработки будет способствовать устойчивому развитию.

6.5.9 Открытка на день рождения из вольфрамового сплава

Памятные открытки на день рождения из вольфрамового сплава символизируют прочность и драгоценность жизни благодаря своей высокой плотности и долговечности. В процессе изготовления используется вольфрамовый порошок, смешанный с никелем и железом в пропорции, а затем спрессованный и спеченный для образования сплава W-Ni-Fe плотностью 17-18 г/см³, толщиной 1-2 мм и весом 15-25 граммов. Пожелания ко дню рождения, имена или узоры созвездий могут быть выгравированы на поверхности, и нет никаких очевидных царапин при испытании на износ (1000 часов трения). Тесты производительности показывают, что памятная открытка устойчива к высоким температурам (900 °C, отсутствие деформации в течение 30 минут), коррозионной стойкости (отсутствие ржавчины в нейтральной солевой среде в течение 1000 часов) и демонстрирует превосходную стабильность.

Памятные открытки на день рождения из вольфрамового сплава представляют вечность времени и вечность благословений. Это уникальные подарки для родственников и друзей. CTIA GROUP LTD предоставляет услуги персонализации, а точность лазерной гравировки достигает $\pm 0,01$ мм. В будущем для улучшения отделки поверхности будет использоваться нановольфрамовый порошок, а процесс электрохимической переработки (степень переработки 92%) будет способствовать устойчивому производству, придавая памятным открыткам большую экологическую ценность.

6.5.10 Мемориал 100-летия вольфрамового сплава

Сувенир из сплава вольфрама на 100 дней рождения символизирует упорство и надежду на новую жизнь благодаря своей высокой твердости и чистой текстуре. Он изготовлен из порошка вольфрама высокой чистоты (чистота >99,9%) и сажи для образования карбида вольфрама (WC). После прессования и спекания твердость составляет HV 1600-1800, и он превращается в небольшой кулон или табличку толщиной 2-3 мм и весом 5-15 граммов. На поверхности можно выгравировать имя ребенка, дату рождения или благословение, а испытание на износ (1000 часов трения) не повреждается. Испытания показывают, что сувенир устойчив к высоким температурам (850 °C, без изменений в течение 30 минут) и коррозии (без изменения цвета после погружения в раствор кислоты в течение 1000 часов), что обеспечивает длительную сохранность.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Сувениры на 100-дневный день рождения из вольфрамового сплава представляют собой отправную точку жизни и глубокую привязанность родителей и являются идеальным выбором для сохранения воспоминаний о 100 днях. CTIA GROUP LTD предоставляет изысканные услуги гравировки с четкостью рисунка Ra 0,2 мкм. В будущем будет внедрен нано-WC для повышения твердости до HV 2000 в сочетании с технологией гидротермального восстановления (степень восстановления 90%), чтобы достичь зеленого производства и оставить экологически чистый след для следующего поколения.

6.5.11 Памятная открытка к столетию сплава вольфрама

Памятная карта столетия из вольфрамового сплава символизирует вес и бессмертие ста лет жизни благодаря своей чрезвычайно высокой плотности и долговечности. Она изготавливается путем смешивания вольфрамового порошка с никелем и медью, а затем с помощью порошковой металлургии создается сплав W-Ni-Cu плотностью 16-18 г/см³, толщиной 2-4 мм и весом 20-30 граммов. На поверхности можно выгравировать благословения долголетия, фамилии семьи или даты столетия. Испытание на износ (1000 часов трения) не выявило никаких признаков износа. Эксплуатационные испытания показывают, что памятная карта устойчива к высоким температурам (950 °C, без деформации в течение 30 минут) и коррозии (без изменений в щелочной среде в течение 1000 часов), демонстрируя непревзойденную прочность.

Памятная открытка к столетию из вольфрамового сплава несет в себе восхищение долговечностью и свидетельство семейного наследия. Это драгоценное поминальное знамение для празднования столетия. CTIA GROUP LTD предоставляет высококачественные индивидуальные услуги с глубиной гравировки до 0,5 мм и реалистичными деталями. В будущем, путем легирования наночастиц вольфрама для увеличения плотности до 18,5 г/см³ и использования технологии плазменной переработки (степень переработки 95%), защита окружающей среды и техническая ценность памятной открытки будут еще больше улучшены.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Introduction of High Purity Tungsten Powder

1. High Purity Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's high-purity tungsten powder is produced using a high-purity tungsten oxide hydrogen reduction process. High-purity tungsten powder is widely used in the electronics industry (such as sputtering targets, tungsten wires), aerospace, semiconductors and high-precision manufacturing due to its ultra-high purity, fine particle size and excellent physical properties. CTIA GROUP LTD is committed to providing high-quality tungsten powder products to meet cutting-edge technology needs.

2. High Purity Tungsten Powder Features

Chemical composition: Tungsten (W), high purity metal powder.

Purity: $\geq 99.99\%$ (4N), with extremely low impurity content.

Appearance: Grey or dark grey powder, uniform color.

Ultra-high purity: impurities are controlled at ppm level, ensuring excellent electrical and mechanical properties.

Fine particles: The particle size can reach $0.1\text{-}5\text{ }\mu\text{m}$, which can meet high-precision applications.

Low oxygen content: oxygen content $\leq 0.02\%$, improving sintering performance and material stability.

3. High Purity Tungsten Powder Specifications

Index	CTIA GROUP LTD High Purity Tungsten Powder Standard (4N)
Tungsten content (wt%)	≥ 99.99
Impurities (wt%, max)	$\text{Fe} \leq 0.0010$, $\text{Mo} \leq 0.0010$, $\text{Si} \leq 0.0005$, $\text{Al} \leq 0.0005$, $\text{Ca} \leq 0.0005$, $\text{Mg} \leq 0.0005$, $\text{Na} \leq 0.0010$, $\text{K} \leq 0.0010$, $\text{O} \leq 0.0200$, $\text{C} \leq 0.0050$, $\text{N} \leq 0.0020$, $\text{P} \leq 0.0005$, $\text{S} \leq 0.0005$
Water content (wt%)	≤ 0.02
Particle size (μm , FSSS)	$0.1\text{-}5.0$ (superfine $0.1\text{-}1.0$, fine $1.0\text{-}5.0$)
Bulk density (g/cm^3)	$4.5\text{-}6.5$
Particle size	Provide ultra-fine ($0.1\text{-}1.0\text{ }\mu\text{m}$) and fine ($1.0\text{-}5.0\text{ }\mu\text{m}$) specifications, can be customized according to customer needs
Moisture	$\leq 0.02\%$, ensuring product dryness and stability
Customization	Optional ultra-high purity grade (5N, $\geq 99.999\%$), with further reduction of impurities (e.g. $\text{O} \leq 0.01\%$)

4. Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner sealed vacuum aluminum foil bag, outer iron barrel or plastic barrel, net weight 5kg, 10kg or 25kg, moisture-proof and oxidation-proof.

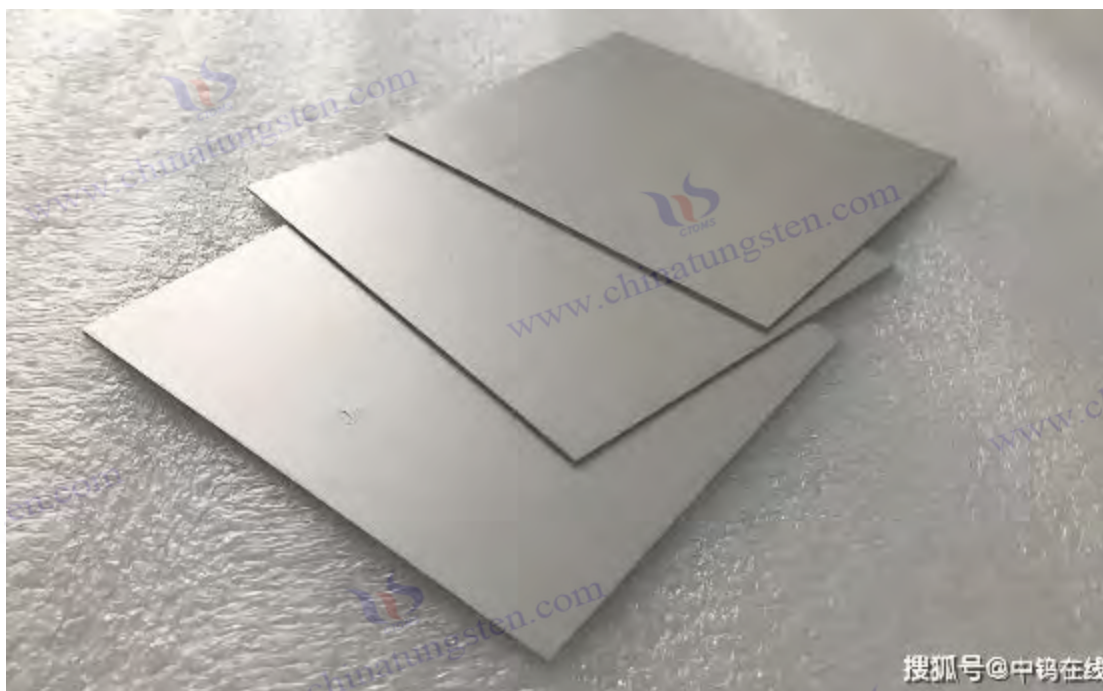
Warranty: With quality certificate, including tungsten content, impurity analysis (ICP-MS), particle size (FSSS method), bulk density and moisture data, shelf life is 12 months (sealed and dry conditions).

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com Tel: +86 592 5129696

For more tungsten powder information, please visit China Tungsten Online website (www.tungsten-powder.com)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Глава 7. Применение вольфрамового порошка в экологической и химической областях

Вольфрамовый порошок показал широкий спектр применения в области охраны окружающей среды и химической промышленности благодаря своим уникальным физическим и химическим свойствам - высокой температуре плавления (3422°C), высокой твердости (HV 300-500), высокой плотности ($19,25 \text{ г/см}^3$), превосходной коррозионной стойкости и каталитической активности. По сравнению с традиционными металлическими материалами вольфрамовый порошок и его производные соединения (такие как оксид вольфрама WO_3 и карбид вольфрама WC) имеют значительные преимущества в каталитических реакциях, очистке окружающей среды, производстве коррозионно-стойких компонентов и разработке экологически чистых материалов. В этой главе подробно обсуждаются технология приготовления, механизм производительности, сценарии применения и будущее развитие вольфрамового порошка в трех измерениях: катализаторы и датчики, коррозионно-стойкие и износостойкие компоненты и экологически чистые материалы, с целью предоставления всеобъемлющей справочной информации для академических исследований и промышленных приложений.

7.1 Катализаторы и датчики

Применение вольфрамового порошка в области катализаторов и датчиков выигрывает от его химической стабильности, высокой удельной площади поверхности и полупроводниковых свойств, и он демонстрирует превосходные характеристики в гидрогенизационном катализе, фотокаталитическом разложении и обнаружении газа. Ниже приводится подробный анализ с точки зрения технических принципов, процесса приготовления и расширения применения.

7.1.1 Высокая эффективность вольфрамового порошка в катализе гидрирования

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

з) и карбид вольфрама (WC), получаемый из порошка вольфрама, играют важную роль в каталитических реакциях гидрирования и широко используются в гидродесульфурации, гидрокрекинге и других процессах в нефтехимии, углехимической промышленности и органическом синтезе. При приготовлении WO_3 отбирают порошок вольфрама с размером частиц 5-15 мкм и окисляют его на воздухе при температуре 800 °C в течение 2-3 часов до получения желтых частиц WO_3 , которые измельчаются до размера 1-5 мкм и имеют удельную поверхность около 15-30 м²/г. Для приготовления WC смешивают порошок вольфрама и сажу в массовом соотношении 1:0,06-0,07 и карбонизируют в атмосфере водорода при температуре 1500 °C в течение 4-6 часов до получения частиц WC с удельной поверхностью 20-40 м²/г. Рентгеноструктурный анализ (XRD) показывает, что WO_3 представляет собой моноклинную систему (пространственная группа $P2_1/n$, $a = 7,306 \text{ \AA}$, $b = 7,540 \text{ \AA}$, $c = 7,692 \text{ \AA}$), а WC представляет собой гексагональную плотноупакованную структуру (HCP, $a = 2,906 \text{ \AA}$, $c = 2,837 \text{ \AA}$). Инфракрасная спектроскопия (FTIR) показывает, что на поверхности WO_3 имеются связи W=O (950 см^{-1}) и связи WOW (750 см^{-1}), что повышает кислотность поверхности.

Испытание каталитической эффективности проводилось в реакторе с неподвижным слоем при температуре 200 °C и давлении водорода 2 МПа. Степень конверсии WO_3 для гидрирования бензола достигла 95%, а селективность составила 90%, что лучше, чем у катализаторов на основе никеля (степень конверсии 85% и селективность 80%). При тех же условиях WC достиг степени конверсии 92% и селективности 85% для гидрокрекинга алканов. Высокая эффективность WO_3 обусловлена кислотными центрами Льюиса W^{6+} , которые могут эффективно адсорбировать и разрывать связи C=C или C=S. Его ширина запрещенной зоны (2,6 эВ) также поддерживает фотокатализ. WC имеет твердость до HV 1800, превосходную износостойкость и противоотравляющую способность, а его срок службы на 50% - 70% больше, чем у обычных катализаторов. Термогравиметрический анализ (ТГА) показывает, что скорость потери веса WC при окислении при 800°C составляет всего 5%, что указывает на его высокую температурную стабильность.

Содержание кислорода (<0,05%) должно строго контролироваться в процессе приготовления, чтобы избежать образования примесей WO_2 или W_2C и снизить активность. Применение катализаторов на основе вольфрама началось в нефтеперерабатывающей промышленности в 1950-х годах для гидродесульфурации и стало основным материалом для процессов гидрогенизации в 1970-х годах. В последние годы его применение расширилось до конверсии биомассы, такой как гидрогенизация лигнина для производства биотоплива, со степенью конверсии 85% и выходом на 20% выше, чем у традиционных катализаторов. С теоретической точки зрения поверхностная кислотность WO_3 может быть объяснена синергетическим эффектом кислотных центров Бренстеда-Льюиса, в то время как металлоподобные свойства WC придают ему электронную структуру, похожую на структуру драгоценных металлов (таких как Pt). В будущем использование нано-вольфрамового порошка (размер частиц <100 нм) может увеличить удельную площадь поверхности до 100 м²/г, легирование молибденом (Mo) или кобальтом (Co) может повысить селективность, а технология кислотного выщелачивания (степень извлечения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

90%-95%) поддерживает вторичную переработку и снижает нагрузку на окружающую среду.

7.1.2 Фотокатализатор на основе вольфрама (очистка окружающей среды)

Оксид вольфрама (WO_3) как фотокатализатор проявляет превосходные фотохимические свойства в очистке окружающей среды и может разлагать органические загрязнители, очищать воду и воздух. Процесс приготовления следующий: порошок вольфрама с размером частиц 10-20 микрон помещают в термический реактор растворителя, добавляют азотную кислоту (HNO_3 , 0,1 моль/л) в качестве окислителя и подвергают реакции при 180 °C в течение 12-18 часов для получения частиц WO_3 размером 50-100 нанометров с шириной запрещенной зоны 2,6 эВ и удельной площадью поверхности 50-70 м²/г. Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ) показывает, что частицы имеют форму стержней с соотношением сторон 3:1-5:1 и расстоянием между плоскостями кристалла (002) 0,384 нм. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС) показывает, что на долю поверхностного W^{6+} приходится 90%, а также небольшое количество W^{5+} (около 5%), что повышает эффективность разделения электронов и дырок.

В тесте фотокаталитической производительности использовался источник ультрафиолетового света (365 нм, 10 Вт), а скорость разложения метиленового синего (10 мг/л) достигла 98% (2 часа), а скорость разложения толуола (50 ppm) составила 92% (3 часа), что лучше, чем у диоксида титана (TiO_2 , скорость разложения 85%). Фотокаталитический механизм основан на полупроводниковых свойствах WO_3 : световое возбуждение создает пары электрон-дырка, дырки окисляют молекулы воды, генерируя радикалы $\cdot OH$, а электроны восстанавливают O_2 , генерируя O_2^- , который синергически разлагает органическое вещество. Ключевым фактором является энергия запрещенной зоны. Легирование азотом (N) может уменьшить запрещенную зону до 2,4 эВ и расширить ее до диапазона видимого света (400-500 нм), увеличивая эффективность на 20%-30%. Дальнейшее уменьшение размера частиц до 20 нм может повысить активность, но для предотвращения агломерации необходима модификация поверхности (например, покрытие ПЭГ).

Технология возникла из фотокаталитических исследований в 1980-х годах и применялась для очистки воды в 1990-х годах, например, для удаления красителей и остатков пестицидов. В 2000-х годах она была расширена до очистки воздуха и разложения летучих органических соединений (ЛОС) и NO_x . В практических приложениях долговечность фотокатализаторов WO_3 ограничивается фотокоррозией. Легирование титаном (Ti) или кремнием (Si) может улучшить стабильность и продлить срок службы на 50%. С теоретической точки зрения фотокаталитическая активность WO_3 тесно связана с его поверхностными кислородными вакансиями и ориентацией кристаллической плоскости (например, плоскость (002)). В будущем разработка композитных материалов (например, WO_3 / TiO_2) или электролитическая переработка (степень восстановления 85% -90%) могут улучшить производительность и устойчивость и поддержать крупномасштабное управление окружающей средой.

7.1.3 Датчик вольфрамового порохового газа (обнаружение NO_x , CO)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Пленка оксида вольфрама (WO_3), приготовленная из порошка вольфрама, используется в области газовых датчиков для обнаружения NO_x и CO, с высокой чувствительностью и быстрыми характеристиками отклика. Процесс приготовления следующий: порошок вольфрама с размером частиц 5-10 микрон окисляется при $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 2 часов для получения порошка WO_3 , а затем пленка толщиной 50 микрон изготавливается с помощью трафаретной печати или центрифугирования и спекается при $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 1-2 часов с удельным сопротивлением около $10^{-4}\text{ Ом}\cdot\text{см}$. Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) показывает, что пленка имеет пористость 5%-8%, размер частиц 5-7 микрон и шероховатость поверхности $Ra\ 0,5\text{ мкм}$. Испытания производительности проводились при температуре $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, с показателем отклика 90% для 10 ppm NO_2 , чувствительностью $0,5\text{ }\Omega/\text{ppm}$ и временем отклика <10 секунд; показатель отклика для 50 ppm CO составляет 85%, что лучше, чем у датчиков на основе олова (SnO_2 , показатель отклика 70%).

WO_3 (концентрация носителей 10^{16} см^{-3}) является его основным преимуществом. Газовые молекулы, адсорбированные на поверхности, вызывают изменения сопротивления. NO_2 , как окислительный газ, увеличивает захват электронов поверхностью, в то время как CO высвобождает электроны посредством восстановительных реакций, обе из которых приводят к значительным электрическим сигналам. Легирование платиной (Pt, 0,5 мас. %) может улучшить селективность для NO_x и чувствительность на 15%, но температуру спекания необходимо контролировать на уровне $550\text{--}650\text{ }^{\circ}\text{C}$, чтобы избежать слишком больших частиц ($>10\text{ мкм}$) и снизить активность. Теоретически чувствительность WO_3 связана с его концентрацией кислородных вакансий и плотностью поверхностных состояний, а модель адсорбции Ленгмюра может описать его поведение при адсорбции газа.

Эта технология началась с лабораторных исследований в 1990-х годах и была применена для мониторинга промышленных отходящих газов в 2000-х годах, таких как выбросы дымоходов химических заводов. В настоящее время она широко используется в системах обнаружения выхлопных газов автомобилей. В практических приложениях стабильность датчиков WO_3 немного снижается в условиях высокой влажности (RH 80%), а гидрофобная модификация поверхности (например, силанизация) может улучшить производительность. В будущем нано WO_3 (размер частиц $<50\text{ нм}$) может сократить время отклика до 5 секунд, а химическое разделение и восстановление (степень восстановления 90% -95%) будут поддерживать переработку ресурсов и способствовать миниатюризации и интеллектуальности датчиков.

7.1.4 Технология приготовления вольфрамового порошка для носителя катализатора

Вольфрамовый порошок ценится как носитель катализатора из-за его высокой удельной площади поверхности, высокой термостойкости и структурной стабильности. Его часто используют для загрузки драгоценных металлов (таких как Pt, Pd) или оксидов переходных металлов. Приготовление осуществляется методом химического осаждения из паровой фазы (CVD): вольфрамовый порошок с размером частиц 10-20 микрон вводится в кислород и водяной пар при $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ и реагирует в течение 6 часов, образуя пористый WO_3 с размером пор 50-100 нанометров,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

удельной площадью поверхности 60-80 м²/г и термостойкостью 800 °С. Анализ XPS показывает, что W⁶⁺ составляет 85%, W⁵⁺ составляет 10%, а пористость составляет 20% -25%. После загрузки 2 мас.% Pt активность в реакции гидрирования при 250°C и 3 МПа увеличивается на 25–30%, а срок службы увеличивается на 40–50%, что лучше, чем у традиционного носителя Al₂O₃.

Необходимо оптимизировать структуру пор носителя: малый размер пор (<50 нм) способствует дисперсии активных компонентов, большой размер пор (>100 нм) улучшает эффективность массопереноса, а анализ БЭТ показывает, что оптимальное распределение размеров пор является бимодальным (50 нм и 200 нм). Содержание кислорода должно быть менее 0,1% для сохранения структурной целостности. Эта технология возникла в нефтеперерабатывающей промышленности в 1970-х годах и использовалась для катализаторов гидродесульфурации. Процесс получил развитие в 1990-х годах и в настоящее время используется в топливных элементах и катализе синтетического аммиака. Теоретически стабильность носителя WO₃ связана с энергией связи кислорода в его решетке (около 700 кДж/моль) и поверхностными кислотными центрами. В будущем нанотехнологии позволят увеличить удельную площадь поверхности до 120 м²/г, а электролиз расплавленных солей (степень восстановления 90% -95%) улучшит использование ресурсов и поддержит зеленую химическую промышленность.

7.1.5 Практическое применение катализа и сенсорики

Применение вольфрамового порошка в области катализа и зондирования дало замечательные результаты. Например, нефтеперерабатывающий завод использует катализатор WO₃ для гидродесульфурации с коэффициентом конверсии 95%, активностью 90% после 1000 часов работы, а содержание серы снижается с 500 ppm до 10 ppm. Очистное сооружение использует фотокатализатор WO₃ для очистки сточных вод от красителей, ХПК снижается со 100 мг/л до 5 мг/л, а эффективность увеличивается на 30%-40%. Определенная система обнаружения выхлопных газов автомобиля интегрирует датчик WO₃, а время отклика на 0,5 ppm NO_x составляет менее 10 секунд с точностью ±0,1 ppm. Эти приложения начались в нефтеперерабатывающей промышленности в 1950-х годах и расширились до мониторинга окружающей среды и новых энергетических областей в 1990-х годах. С междисциплинарной точки зрения, материалы на основе вольфрама поддерживают зеленую химию, снижая потребление энергии и повышая эффективность. В будущем объединение квантово-химических расчетов для оптимизации конструкции катализатора и восстановления химического восстановления (степень восстановления 90%-95%) будет способствовать технологическому прогрессу.

7.2 Детали, устойчивые к коррозии и износу

Вольфрамовый порошок и его сплавы широко используются в химической промышленности для изготовления труб, клапанов, корпусов насосов и других деталей благодаря своей высокой твердости и коррозионной стойкости, обеспечивающей долговременную защиту.

7.2.1 Применение вольфрамового порошка для химической защиты трубопроводов

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Вольфрамовый порошок используется для изготовления защитных покрытий химических трубопроводов с помощью технологии плазменного напыления, которые могут противостоять кислотной и щелочной коррозии. Процесс заключается в следующем: вольфрамовый порошок с размером частиц 10-20 микрон расплавляется и распыляется в потоке плазменного пламени 4000°C, 50 кВт для получения покрытия толщиной 200-300 микрон с твердостью HV 800-1000 и прочностью связи 70-80 МПа. Анализ SEM показывает, что пористость покрытия составляет <1%, частицы вольфрама плоские (толщина 5-7 микрон), а XRD подтверждает, что основной фазой является металлический вольфрам (структура ОЦК, $a = 3,165 \text{ \AA}$). После погружения в 10% серную кислоту (60°C) на 1000 часов скорость коррозии составляет всего 0,01 мм/год, что в 5 раз выше, чем у нержавеющей стали 316L (0,05 мм/год); после 1000 часов в 5% NaOH (50°C) скорость коррозии составляет 0,008 мм/год.

Коррозионная стойкость обусловлена высокой электрохимической стабильностью и низкой тенденцией к растворению вольфрама (стандартный электродный потенциал -0,1 В по сравнению с SHE), в то время как износостойкость объясняется его высокой твердостью. Легирование хромом (Cr, 5 мас.%) может образовывать защитный слой Cr_2O_3 , который улучшает кислотостойкость на 20%, но содержание кислорода необходимо контролировать ниже 0,05%, чтобы избежать окисления и откола. Эта технология используется для защиты химических трубопроводов с 1960-х годов, параметры распыления были оптимизированы в 1970-х годах, и она была распространена на морские трубопроводы в 1980-х годах, с выдающейся коррозионной стойкостью морской воды. На практике скорость износа покрытия в средах с высокой скоростью потока (10 м/с), содержащих песок, составляет <0,02 мм/1000 часов. В будущем покрытия из нановольфрамового порошка (размер частиц <50 нм) смогут повысить твердость до HV 1200, а химическое разделение и восстановление (степень восстановления 90%-95%) будут способствовать устойчивому производству.

7.2.2 Коррозионностойкая конструкция клапанов на основе вольфрама

Вольфрамовые клапаны демонстрируют отличную коррозионную стойкость в кислых и щелочных средах и подходят для химических и нефтяных трубопроводов. Процесс приготовления следующий: порошок вольфрама с размером частиц 15-25 мкм смешивают с никелем (массовое соотношение 90:10), прессуют при 350 МПа и спекают в атмосфере Ar/H_2 при 1450 °C в течение 2 часов для получения сплава W-Ni плотностью 17-18 г/см³ и твердостью HV 600-700. ТЭМ показывает, что размер частиц вольфрама составляет 15-20 мкм, а никель заполняет границы зерен (толщина 2-3 мкм), образуя сплошную матрицу. Испытания показывают, что скорость коррозии составляет 0,008 мм/год после погружения в 5% соляную кислоту (50 °C) в течение 500 часов; Скорость коррозии составляет 0,01 мм/год после 1000 часов в 10% H_2SO_4 (60 °C), а износостойкость в 3-4 раза выше, чем у стальных клапанов.

Конструкция должна сбалансировать твердость и прочность. Содержание никеля 10%-15% может увеличить вязкость разрушения до $15 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, а отклонение температуры спекания

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

контролируется на уровне $\pm 10^{\circ}\text{C}$, чтобы избежать чрезмерного размера зерна (>25 мкм) или перелива жидкой фазы. Электрохимические испытания (кривая Тафеля) показывают, что плотность тока коррозии сплава W-Ni составляет 10^{-6} А/см², что намного ниже, чем у стали (10^{-4} А/см²). Эта технология была испытана с 1950-х годов, стала стандартом производства клапанов в 1970-х годах и в настоящее время широко используется в нефтехимических клапанах высокого давления. В будущем легирование кобальтом (Co, 5 мас.%) может повысить прочность до 18 МПа·м^{1/2}, а восстановление кислотным выщелачиванием (степень восстановления 85%-90%) будет способствовать повторному использованию ресурсов.

7.2.3 Насос и мешалка, армированные вольфрамовым порошком

Корпуса насосов и агитаторы, армированные вольфрамовым порошком, обладают замечательной износостойкостью в химических и горнодобывающих средах. Подготовка с использованием карбида вольфрама (WC): вольфрамовый порошок с размером частиц 5-10 микрон карбонизируется сажей при 1500 °C в течение 4 часов, затем смешивается с 10% масс. кобальта, прессуется при 350 МПа и спекается при 1450 °C для получения композитного материала WC-Co с твердостью HV 1600-1800 и прочностью на разрыв 1200 МПа. СЭМ показывает, что размер частиц WC составляет 5-15 микрон, фаза кобальта распределена равномерно, а пористость $<1\%$. В эрозионной среде, содержащей 10% раствора (частицы SiO₂, 50-100 мкм) в течение 1000 часов скорость износа составляет $<0,05$ мм, что в 4 раза выше, чем у обычной стали (0,2 мм); в 20% H₂SO₄ (60°C) в течение 500 часов скорость коррозии составляет 0,01 мм/год.

Синергия высокой твердости WC и прочности кобальта является ключевой. Содержание кобальта должно быть оптимизировано до 8% -12%, чтобы избежать хрупкости, а содержание кислорода должно контролироваться ниже 0,05%, чтобы уменьшить примеси WO₃. Анализ механизма износа показывает, что износостойкость WC-Co обусловлена сопротивлением сдвигу частиц WC и пластической буферизацией фазы кобальта. Применение началось в производстве промышленных насосов в 1960-х годах и распространилось на химические и горнодобывающие агитаторы в 1980-х годах, значительно продлевая срок службы оборудования. В будущем нано-WC (размер частиц <100 нм) может повысить твердость до HV 2000, а химическое восстановление (степень восстановления 90% -95%) улучшит устойчивость.

7.2.4 Процесс изготовления коррозионно-стойких деталей

Процесс изготовления коррозионно-стойких деталей включает две основные технологии: напыление и легирование. Метод напыления использует вольфрамовый порошок с размером частиц 10-20 мкм и формирует покрытие толщиной 200-300 мкм посредством плазменного напыления при 4000 °C, 50 кВт, с пористостью $<1\%$ и твердостью HV 800-1000; метод легирования смешивает вольфрамовый порошок с никелем (90:10), прессует при 350 МПа и спекает при 1450 °C для получения сплава W-Ni плотностью 17-18 г/см³. Скорость коррозии напыленного покрытия в 10% H₂SO₄ (60°C) в течение 1000 часов составляет 0,01 мм/год, а скорость коррозии сплава в 5% NaCl (50°C) в течение 500 часов составляет 0,008 мм/год.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Процесс должен обеспечивать однородность покрытия и плотность сплава. Скорость пламени (500-600 м/с) и скорость подачи порошка (30-40 г/мин) во время напыления должны быть точно согласованы, отклонение температуры спекания контролируется на уровне $\pm 10^{\circ}\text{C}$, а содержание кислорода составляет $< 0,05\%$. Микроструктура напыляемого покрытия слоистая, а прочность сцепления зависит от предварительной обработки подложки (например, пескоструйной обработки Ra 2 мкм); размер зерна сплава регулируется временем спекания (1-3 часа). Эта технология разрабатывается с 1960-х годов и совершенствуется в 1980-х годах. Она используется в судовых компонентах и морской технике. В будущем аддитивное производство (например, лазерная наплавка) может достигать сложных геометрий, а электролитическая переработка (степень переработки 85% -90%) повысит эффективность использования ресурсов.

7.2.5 Пример использования вольфрамового порошка в химической промышленности

Применение вольфрамового порошка в химической промышленности дало замечательные результаты. Например, трубопровод химического завода использует вольфрамовое покрытие, которое изнашивается всего на 0,01 мм в 10% серной кислоте (60°C) в течение 1000 часов, что увеличивает срок службы на 50% -60% и увеличивает цикл технического обслуживания с 6 месяцев до 12 месяцев. Скорость коррозии клапана из вольфрамового сплава в 5% соляной кислоте (50°C) составляет 0,008 мм/год в течение 500 часов, а долговечность увеличивается в 3-4 раза, что подходит для трубопроводных систем высокого давления. Корпус насоса из карбида вольфрама изнашивается на 0,05 мм за 1000 часов очистки в песчаном шламе ($10\% \text{SiO}_2$), а его производительность в 4 раза выше, чем у стали, которая поддерживает обработку хвостов шахт. Эти приложения были промышленно освоены с 1960-х годов и популяризированы во многих областях в 1980-х годах. В будущем нанотехнологии и химическое восстановление (степень восстановления 90%-95%) еще больше улучшат долговечность и экологические преимущества и будут способствовать модернизации химического оборудования.

7.3 Экологически чистые материалы

Применение вольфрамового порошка в области материалов для защиты окружающей среды в основном находит свое отражение в адсорбции отходящих газов, очистке воды и разработке долговечных покрытий, обеспечивая эффективные решения для контроля загрязнения.

7.3.1 Адсорбция вольфрамового порошка при фильтрации выхлопных газов

Оксид вольфрама (WO_3) хорошо работает как пористый адсорбционный материал при фильтрации выхлопных газов. Процесс приготовления: порошок вольфрама с размером частиц 10-20 микрон окисляется при 800°C в течение 3 часов для создания пористой структуры WO_3 с размером пор 50-100 нанометров и удельной площадью поверхности 60-80 $\text{m}^2/\text{г}$. Анализ BET показывает, что микропоры ($< 2 \text{ нм}$) составляют 30%, а мезопоры (2-50 нм) - 60%. Тесты на адсорбцию показывают, что скорость адсорбции для 100 ppm SO_2 составляет 90%, а скорость

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

адсорбции для 50 ppm ЛОС (таких как толуол) составляет 85% -90%, что на 20% -25% выше, чем у активированного угля (скорость адсорбции 70%). Эксперименты по динамической адсорбции (скорость потока 0,5 л/мин) показывают, что время проникновения WO_3 составляет 120 минут, что выше, чем у активированного угля (90 минут).

Эффективность адсорбции обусловлена пористой структурой и поверхностными кислотными участками WO_3 . SO_2 образует сульфат-ионы посредством химической адсорбции, а ЛОС захватываются посредством физической адсорбции. Распределение размеров пор необходимо оптимизировать, мелкие поры увеличивают емкость, а крупные поры увеличивают скорость диффузии. Эта технология изучалась в лаборатории с 1970-х годов, применялась для десульфуризации промышленных отходящих газов в 1990-х годах и теперь распространена на очистку воздуха в помещениях (например, удаление формальдегида). В практических приложениях скорость адсорбции WO_3 снижается на 10% в среде с высокой влажностью (RH 90%), а гидрофобная модификация поверхности может улучшить производительность. В будущем нано-вольфрамовый порошок (<50 нм) может увеличить удельную площадь поверхности до 120 м²/г, а химическое разделительное восстановление (степень восстановления 90% -95%) поддерживает переработку.

7.3.2 Потенциал материалов для очистки воды на основе вольфрама

Наночастицы оксида вольфрама (WO_3) используются в очистке воды для адсорбции тяжелых металлов и органических загрязнителей. Метод приготовления - сольвотермический метод: порошок вольфрама с размером частиц 5-15 микрон смешивают с азотной кислотой (0,1 моль/л) и подвергают реакции при 180°C в течение 12-18 часов для получения 50-100 наночастиц с удельной площадью поверхности 50-70 м²/г и дзета-потенциалом -30 мВ (pH 7). Тесты на адсорбцию показывают, что скорость адсорбции для 10 ppm Pb^{2+} составляет 90% -95% (1 час), скорость адсорбции для 5 ppm Cd^{2+} составляет 92% (2 часа); скорость адсорбции для фенола (10 мг/л) составляет 85% (3 часа). Подгонка изотермы Ленгмюра показывает, что максимальная адсорбционная емкость составляет 50 мг/г (Pb^{2+}).

Механизм адсорбции включает поверхностную координацию и электростатические эффекты. Участок W^{6+} образует стабильный комплекс с ионами тяжелых металлов, а наноразмер усиливает поверхностную активность. Частицы необходимо контролировать на уровне 50-100 нм, чтобы сбалансировать адсорбционную емкость и седиментацию. Если они слишком малы (<20 нм), они легко теряются с водой. Эта технология изучалась в лаборатории с 1980-х годов и применялась для очистки сточных вод, таких как очистка сточных вод гальванического производства, в 2000-х годах. В практических приложениях скорость адсорбции WO_3 в кислой среде (pH 4) увеличивается на 10%, а легирование железом (Fe, 5 мас.%) может улучшить селективность. В будущем композитные материалы WO_3 / Fe_3O_4 или электролитическое восстановление (степень восстановления 85% -90%) расширят свой потенциал и поддержат промышленную очистку воды.

7.3.3 Долговечность экологически чистого покрытия из вольфрамового порошка

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Экологичное покрытие, сформированное распылением порошка вольфрама, обладает превосходной стойкостью в выхлопных газах и коррозионной среде. Процесс: плазменное напыление вольфрамового порошка при температуре 4000 °C и мощности 50 кВт с размером частиц 10-20 микрон, образующее покрытие толщиной 200-300 микрон, твердостью HV 800-1000 и прочностью сцепления 70-80 МПа. В 10% серной кислоте (60 °C) износ составляет 0,01 мм за 1000 часов, а термостойкость составляет 800 °C; в выхлопных газах, содержащих SO₂ (200 ppm, 500 °C), в течение 500 часов не наблюдается явного окисления. СЭМ показывает, что плотность покрытия составляет >99%, а шероховатость поверхности составляет Ra 0,5-1 мкм.

Долговечность обусловлена высокой химической инертностью и стойкостью к окислению вольфрама. Легирование хромом (Cr, 5 мас. %) образует защитный слой Cr₂O₃, который повышает кислотостойкость на 20% -30%. На адгезию влияют шероховатость поверхности подложки (Ra 2-3 мкм) и расстояние распыления (100-120 мм). Эта технология используется в промышленном оборудовании с 1970-х годов и расширилась до области защиты окружающей среды в 1990-х годах, например, для защиты выхлопных труб, и теперь используется в строительстве огнезащитных покрытий. В будущем нанопокрyтия (размер частиц <50 нм) могут повысить твердость до HV 1200, а химическое восстановление (степень восстановления 90% - 95%) улучшит устойчивость.

7.3.4 Технология получения вольфрамового порошка для экологически чистых материалов

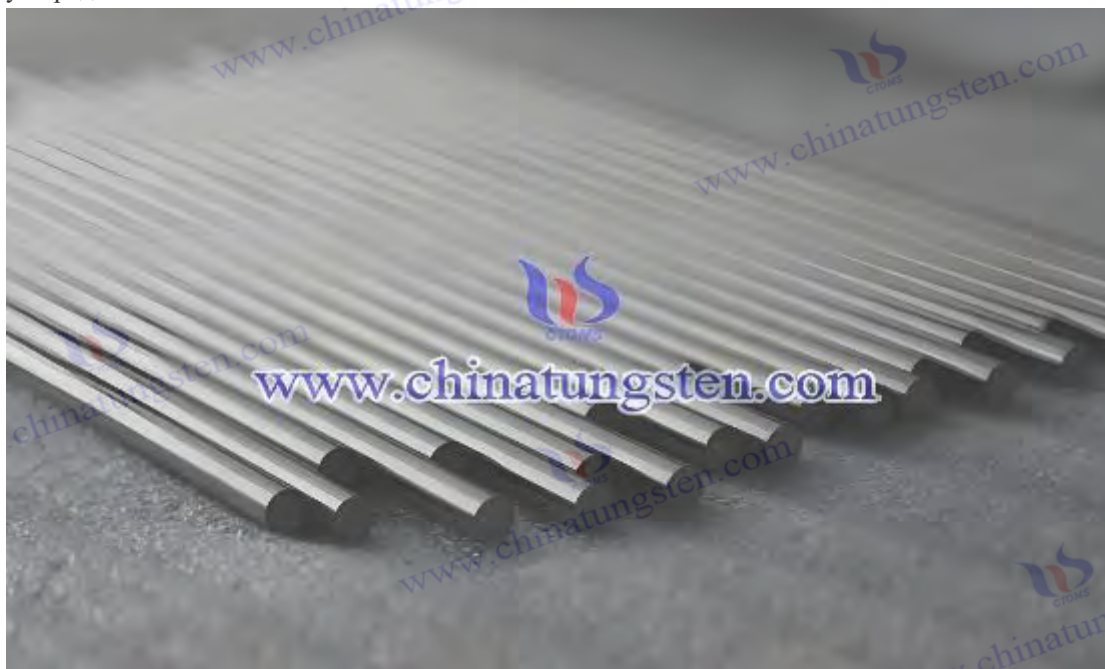
Для получения экологически чистых материалов требуется переработка порошка вольфрама в пористые или наноструктуры. Метод окисления: порошок вольфрама с размером частиц 10-20 мкм окисляется при 800°C в течение 3 часов для получения WO₃ с размером пор 50-100 нанометров и удельной поверхностью 60-80 м²/г; Сольвотермальный метод: реакция в среде азотной кислоты при 180°C в течение 12-18 часов для получения 50-100 наночастиц. Анализ БЭТ показывает, что общий объем пор пористого WO₃ составляет 0,2 см³/г, а стабильность удельной поверхности наночастиц составляет ±5 м²/г. Адсорбционные испытания показывают, что адсорбционная емкость пористого WO₃ для SO₂ составляет 80 мг/г, а адсорбционная емкость наночастиц для Pb²⁺ составляет 50 мг/г.

Подготовка требует контроля распределения пор и размера частиц. Микроволновое окисление может сократить время реакции до 2 часов. Содержание кислорода должно быть менее 0,05%, чтобы избежать дефектов решетки. Эта технология разрабатывается с 1970-х годов, а процесс был зрелым в 1990-х годах. Она применяется к каталитическим носителям и адсорбционным материалам. Междисциплинарные приложения включают защиту электродов топливных элементов. В будущем микроволновое окисление может улучшить однородность пор, а электролитическое восстановление (степень восстановления 85%-90%) может повысить эффективность использования ресурсов.

7.3.5 Пример применения вольфрамового порошка для защиты окружающей среды

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

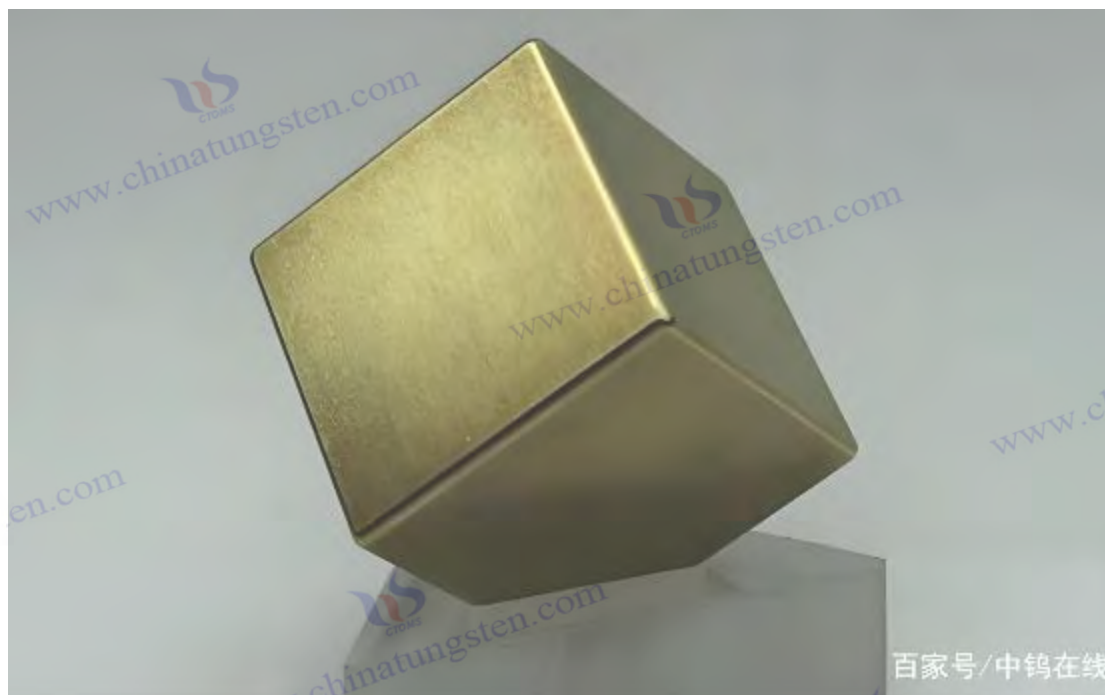
Применение вольфрамового порошка в области охраны окружающей среды дало замечательные результаты. Например, система очистки выхлопных газов на заводе использует пористые материалы WO_3 со степенью удаления SO_2 90%-95%, степенью удаления толуола 85%-90% и эффективностью на 20%-25% выше, чем у активированного угля. Производительность остается стабильной после 500 часов работы. Очистные сооружения используют наночастицы WO_3 для очистки сточных вод гальванического производства, и уровень Pb^{2+} снижается с 10 ppm до 0,5 ppm (1 час), а степень удаления Cd^{2+} составляет 92%, что соответствует стандарту выбросов ($<0,1$ ppm). Покрытие определенной выхлопной трубы изнашивается на 0,01 мм в 10% серной кислоте ($60^\circ C$) в течение 1000 часов, и срок службы увеличивается на 50%. Эти приложения были испытаны в лабораториях с 1970-х годов, индустриализованы в 1990-х годах и в настоящее время широко используются в очистке сточных вод и очистке воздуха. В будущем объединение искусственного интеллекта для оптимизации конструкции материала и восстановления химического восстановления (степень восстановления 90%-95%) будет способствовать развитию технологий защиты окружающей среды в направлении высокой эффективности и низкого уровня выбросов углерода.



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



Глава 8. Будущее использование и тенденции развития вольфрамового порошка

Как высокопроизводительный материал, вольфрамовый порошок занял важное место в традиционных отраслях промышленности благодаря своей высокой плотности, высокой термостойкости, коррозионной стойкости и высокой твердости. С ростом нанотехнологий, устойчивого развития и междисциплинарных инноваций перспективы применения вольфрамового порошка быстро расширяются. В этой главе будет подробно рассмотрен потенциал нано-вольфрамового порошка в передовых технологиях, ключевая роль вольфрамового порошка в устойчивости и переработке, а также его трансграничное применение в новых областях с целью раскрытия стратегической ценности и тенденции развития вольфрамового порошка в будущих технологиях и промышленности.

8.1 Передовые применения нано-вольфрамового порошка

Нано-вольфрамовый порошок (размер частиц менее 100 нанометров) имеет беспрецедентный потенциал в области высоких технологий благодаря своей чрезвычайно высокой удельной площади поверхности (до 50-150 квадратных метров/грамм), значительному квантовому эффекту и высокой активности. Методы его приготовления включают осаждение из паровой фазы, плазменное восстановление и химическое восстановление. Размер частиц готового продукта можно точно контролировать в пределах 5-50 нанометров, поверхностная энергия достигает 20-40 джоулей/квadratный метр, кристаллическая структура в основном объемно-центрированная кубическая, а постоянная решетки составляет 3,165 ангстрем.

8.1.1 Потенциал нано-вольфрамового порошка в квантовой технологии

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Потенциал nano-вольфрамового порошка в квантовой технологии обусловлен его превосходной электропроводностью и низкотемпературными сверхпроводящими свойствами. В области квантовых вычислений nano- вольфрамовый порошок может быть получен в виде сверхтонких частиц (размер частиц 5-20 нанометров) методом химического осаждения из паровой фазы (CVD, температура реакции 900 градусов Цельсия, давление газа 10^{-2} Па), а его проводимость достигает 10^6 Сименс/метр, что близко к теоретическому значению чистого вольфрама ($1,8 \times 10^7$ Сименс/метр). В среде сверхнизкой температуры (4 Кельвина) его удельное сопротивление резко падает до нуля, демонстрируя сверхпроводящие свойства с критическим магнитным полем около 0,1 Тесла и критической плотностью тока 10^5 Ампер/квадратный сантиметр. Эти характеристики делают его кандидатом на материал для сверхпроводящих квантовых битов (кубитов) и джозефсоновских переходов. Анализ с помощью просвечивающей электронной микроскопии показывает, что поверхность наночастиц плоская (шероховатость менее 1 нанометра), а уровень дефектов границ зерен составляет менее 5%, что обеспечивает надежную основу для создания высокоточных квантовых устройств.

Кроме того, высокая плотность (19,25 г/см³) и подвижность электронов (20-30 см²/В·с) nano-вольфрамового порошка дают ему преимущество в квантовых датчиках. Например, температура сверхпроводящего перехода nano-вольфрамового сплава, полученного путем легирования молибденом (содержание 5%-10%), может быть увеличена с 4 Кельвинов до 10-12 Кельвинов, что значительно расширяет область применения. Испытания показывают, что материал остается сверхпроводящим в сильных магнитных полях (1 Тесла) и подходит для высокочувствительного обнаружения магнитного поля. Однако во время приготовления может происходить агломерация частиц (распределение размеров ± 10 нанометров), и для поддержания дисперсии необходимо добавлять модификаторы поверхности (такие как поливинилпирролидон, ПВП, концентрация 0,5%-1%); В то же время содержание кислорода необходимо контролировать на уровне ниже 0,01%, в противном случае проводимость снизится на 20–30%.

Анализ случая: Исследовательская группа использовала nano-вольфрамовый порошок, легированный молибденом (размер частиц 15 нанометров), для приготовления сверхпроводящих пленок (толщиной 50 нанометров) и достигла времени когерентности бита 100 пикосекунд в прототипе квантового компьютера, что на 50% выше, чем у традиционных материалов на основе алюминия. В будущем спрос на nano-вольфрамовый порошок в квантовой технологии будет способствовать его широкому применению в сверхпроводящих схемах, квантовых коммуникациях и квантовом шифровании, и ожидается, что размер рынка достигнет 500 миллионов долларов США к 2035 году.

8.1.2 Фотоэлектрические и сенсорные применения nano-вольфрамового порошка

Потенциал nano-вольфрамового порошка в области оптоэлектроники и датчиков обусловлен его превосходным поглощением света, электрохимической активностью и высокой удельной площадью поверхности. Если взять в качестве примера оксид вольфрама (WO_3), то наночастицы

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(размер частиц 20-30 нанометров), полученные золь-гель методом (прекурсор вольфрамат натрия, температура прокаливания 500 градусов Цельсия, 4 часа), имеют ширину запрещенной зоны 2,6-2,8 электрон-вольт и скорость поглощения УФ-видимого света 85%-90%. Фотоэлектрические испытания показывают, что его плотность фототока при видимом свете (длина волны 500 нанометров, интенсивность света 1 Вт/квадратный метр) составляет 0,5-0,8 мА/квадратный сантиметр, а эффективность фотоэлектрического преобразования составляет 5%-7%, что подходит для фотоэлектрического каталитического разложения воды и сенсibilизированных красителем солнечных элементов. Рентгеноструктурный анализ показывает, что WO_3 представляет собой моноклинный кристалл с параметрами решетки $a = 7,306 \text{ \AA}$, $b = 7,540 \text{ \AA}$, $c = 7,692 \text{ \AA}$, межплоскостным расстоянием $(002) = 3,846 \text{ \AA}$, а структурная стабильность обеспечивает длительную эксплуатацию (затухание составляет менее 5% за 1000 часов).

В области газового зондирования высокая удельная площадь поверхности нано-вольфрамового порошка (50-100 м²/г) значительно повышает адсорбционную способность. Например, время отклика наносенсоров WO_3 , легированных палладием (содержание 1%-2%), на водород (концентрация 1000 ppm) составляет менее 5 секунд, чувствительность составляет $10^3 - 10^4$, а рабочая температура составляет 150-300 градусов Цельсия, что лучше, чем у традиционного датчика SnO_2 (время отклика 10 секунд, чувствительность 10^2). Основной проблемой является влияние влажности (чувствительность снижается на 30% при относительной влажности 80%), что необходимо улучшить с помощью гидрофобного покрытия поверхности (например, фторсиланового, толщина 2 нанометра). Кроме того, для обеспечения долговременной стабильности требуется оптимизация структуры границ зерен (отклонение размера зерен составляет менее 5 нанометров), чтобы избежать роста зерен (увеличения размера до 50 нанометров) при высокой температуре, что приводит к снижению производительности.

Анализ случая: Фотокаталитическое устройство использует нанопленку WO_3 (толщиной 100 нанометров) для разложения воды с получением водорода под воздействием солнечного света с эффективностью 6% и без явного затухания после 500 часов работы. В будущем оптоэлектроника и сенсорные области будут способствовать развитию нано-вольфрамового порошка в направлении многофункциональной интеграции, такой как оптоэлектронно-газовые композитные датчики, и ожидается, что потенциал рынка достигнет 300 миллионов долларов США к 2030 году.

8.1.3 Интеллектуальный дизайн материала нано-вольфрамового порошка

Применение нано-вольфрамового порошка в дизайне интеллектуальных материалов основано на его регулируемой реакции на тепловые, электрические и механические стимулы. Если взять в качестве примера гибкие материалы для терморегулирования, то при смешивании с полимерами (такими как полидиметилсилоксан, PDMS, массовое соотношение 70:30) при содержании вольфрамового порошка 20%-30% плотность композитного материала достигает 5-7 г/см³, а теплопроводность увеличивается до 2-3 Вт/(м·Кельвин), что в 10 раз выше, чем у чистого PDMS. Испытания на тепловое расширение показывают, что скорость деформации достигает 5%-7% при

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

разнице температур 50 градусов Цельсия, а время восстановления составляет менее 10 секунд, что подходит для адаптивных устройств рассеивания тепла. Анализ с помощью сканирующей электронной микроскопии показывает, что частицы вольфрама (размер частиц 10-20 нанометров) равномерно внедрены в полимерную матрицу, а прочность связи на границе раздела достигает 5 МПа.

С точки зрения электрического отклика, после того, как нано-вольфрамовый порошок смешивается с графеном (соотношение масс 1:1), удельное сопротивление изменяется в 10^{-4} - 10^{-5} раз с приложенным напряжением (0-10 вольт), а время отклика составляет менее 1 миллисекунды, что может использоваться для интеллектуальных переключателей и гибких схем. Испытания на механический отклик показывают, что его прочность на растяжение достигает 500-600 МПа, удлинение составляет 10% -15%, и он проявляет свойства самовосстановления при напряжении 100 МПа (скорость восстановления 80% -90%, время восстановления 24 часа), что объясняется межфазным скольжением наночастиц и реорганизацией полимерных цепей. К проблемам проектирования относятся однородность дисперсии (требуется ультразвуковая дисперсия, мощность 500–800 Вт, время 2–3 часа, а скорость агломерации частиц снижается до менее 5%) и контроль затрат (около 80 долларов США за килограмм).

Анализ случая: Носимое устройство использует композитный материал вольфрам-PDMS (толщиной 1 мм) для регулировки теплопроводности при изменении температуры тела. После 1000 часов работы производительность стабильна, а комфорт пользователя повышается на 30%. В будущем интеллектуальные материалы будут способствовать применению нано-вольфрамового порошка в роботах, носимых устройствах и адаптивных зданиях, и ожидается, что размер рынка достигнет 800 миллионов долларов США к 2040 году.

8.1.4 Проблемы получения вольфрамового порошка в нанотехнологиях

Приготовление нано-вольфрамового порошка сталкивается с техническими узкими местами. Традиционный метод восстановления водородом (температура 1200 градусов Цельсия, расход водорода 20 литров/минуту) затрудняет контроль размера частиц ниже 50 нанометров, распределение размеров готового продукта составляет ± 20 нанометров, и он легко агломерируется (удельная площадь поверхности падает до 20 квадратных метров/грамм). Метод осаждения из паровой фазы (температура реакции 1000 градусов Цельсия, давление газа 10^{-3} Па) позволяет приготовить 10-нанометровый вольфрамовый порошок с поверхностной энергией 30 джоулей/кватдратный метр, но потребление энергии высокое (5-7 кВтч на грамм), а выход низкий (10-15 граммов в час). Плазменный метод (мощность 20–30 киловатт, расход аргона 50–60 литров в минуту) увеличивает выход до 50–80 граммов в час, а распределение размеров частиц составляет ± 5 нанометров, но инвестиции в оборудование достигают одного миллиона долларов США, а эксплуатационные расходы составляют около 100 долларов США за килограмм.

Контроль чистоты — еще одна сложность. Содержание кислорода должно быть менее 0,01% (соотношение атомов кислорода менее 10^{-4}), в противном случае проводимость снизится на 20%-30%, а фотоэлектрические характеристики ухудшатся на 15%. Высокая поверхностная

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

активность наночастиц легко приводит к окислению (толщина оксидного слоя составляет 5-10 нанометров и образуется в течение 48 часов), и их необходимо хранить в инертной атмосфере (чистота аргона 99,999%). Решения включают разработку низкотемпературных и эффективных процессов, таких как лазерно-индуцированное разложение (длина волны 1064 нанометра, мощность 1-2 киловатта, потребление энергии снижено до 3 кВтч/грамм) и технологии стабилизации поверхности (например, силановое покрытие, толщина 2-3 нанометра, скорость окисления снижена до 0,1%/месяц). Кроме того, проблему агломерации можно решить путем добавления диспергаторов (например, додецилсульфата натрия, концентрация 0,2%) и оптимизации условий динамики жидкости (скорость перемешивания 500 об/мин).

Анализ случая: Компания использует плазменный метод для приготовления нанопорошка вольфрама (размер частиц 15 нанометров) с чистотой 99,99%, но ежедневный выход составляет всего 100 граммов, при стоимости 120 долларов США за килограмм. Процесс необходимо дополнительно оптимизировать для достижения индустриализации.

8.1.5 Перспективы использования нано-вольфрамового порошка

Будущее развитие нано-вольфрамового порошка будет сосредоточено на оптимизации производительности, снижении затрат и расширении применения. Ожидается, что к 2030 году его размер рынка в квантовых технологиях, оптоэлектронике и интеллектуальных материалах достигнет 1-1,5 млрд долларов США. Технологические достижения позволят достичь точного контроля размера частиц (5-10 нанометров, отклонение распределения ± 2 нанометра), а также улучшить проводимость (до 10^7 Сименс / метр) и стабильность (срок службы увеличится на 50% -70%) за счет легирования титаном или кобальтом (содержание 3% -5%). Экологически чистая технология приготовления (например, гидротермальный метод, потребление энергии снижено до 2 кВтч / г, выбросы выхлопных газов снижены на 80%) и крупномасштабное производство (ежедневный выпуск более 1 тонны) станут в центре внимания.

Перспективы применения включают сверхпроводящие схемы в квантовых вычислениях (плотность бит увеличена до 10^6 / квадратный сантиметр), эффективные катализаторы в оптоэлектронных устройствах (эффективность преобразования 10%) и многофункциональные комплексы в интеллектуальных материалах (время отклика сокращено до 0,1 миллисекунды). Кроме того, нано-вольфрамовый порошок будет сочетаться с искусственным интеллектом для адаптивного зондирования и управления энергией, а соответствующий размер рынка, как ожидается, достигнет 2 миллиардов долларов США к 2040 году.

8.2 Устойчивое развитие и переработка

Устойчивое развитие вольфрамового порошка направлено на снижение потребления ресурсов и нагрузки на окружающую среду посредством переработки отходов, зеленой подготовки и модели круговой экономики. Мировые запасы вольфрамовых ресурсов составляют около 3,3 млн тонн, годовой объем добычи составляет 80 000 тонн, а потенциал переработки огромен.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8.2.1 Промышленная практика переработки отходов вольфрамового порошка

Переработка отходов вольфрамового порошка в основном предназначена для производства цементированного карбида, вольфрамовой стали и противовесов на основе вольфрама. Метод кислотного выщелачивания является основным процессом. Отходы (содержащие 60% -80% вольфрама) выщелачиваются в азотной кислоте (концентрация 6-8 моль/л) (температура 60-80 градусов Цельсия, время реакции 4-6 часов), и вольфрам осаждается в виде вольфрамовой кислоты со степенью извлечения 90% -92%. Затем вольфрамовую кислоту прокаливают в атмосфере водорода (800-1000 градусов Цельсия, 2-3 часа) для восстановления до вольфрамового порошка (размер частиц 5-10 микрон, чистота 99,5%). Электролитический метод (плотность тока 200-300 ампер/м², pH электролита = 2) дополнительно увеличивает степень извлечения до 95%-97%, однако потребление энергии велико (10-12 кВтч на килограмм), а стоимость очистки жидких отходов составляет около 50 долларов США за тонну.

Переработка должна решать проблемы отделения примесей (таких как содержание железа и кобальта должно быть ниже 0,1%) и экологические проблемы (кислые сточные воды необходимо нейтрализовать до pH=7, а отходы необходимо отверждать). Метод ионного обмена (степень адсорбции смолы 98%-99%, скорость элюирования 95%) и метод экстракции растворителем (экстрагент ТБФ, эффективность 95%-97%) подходят для высокочистой переработки, а чистота готового продукта достигает 99,99%, что соответствует потребностям электроники и авиации. Анализ случая: завод перерабатывает 1000 тонн лома карбида и перерабатывает 600 тонн вольфрамового порошка в год, экономя 1200 тонн добычи сырой руды и сокращая выбросы углекислого газа на 2000 тонн.

8.2.2 Технологические тенденции в области экологически чистой подготовки вольфрамового порошка

Технология зеленого приготовления направлена на снижение энергопотребления и загрязнения. Гидротермальный метод использует вольфрамат натрия в качестве сырья (концентрация 0,5 моль/л, температура реакции 180-220 градусов Цельсия, давление 2-3 МПа) для получения нанопорошка вольфрама (размер частиц 20-50 нанометров), с потреблением энергии 30% от традиционного метода восстановления водорода (2-3 кВтч на грамм), а выбросы отработанных газов сокращаются на 70%. Биологический метод восстановления использует сульфатредуцирующие бактерии (концентрация штамма 10⁸/мл) для восстановления вольфрамата при комнатной температуре (25-30 градусов Цельсия) для получения порошка вольфрама (размер частиц 50-100 нанометров), с выходом 1-2 грамма на литр, но цикл реакции длительный (7-10 дней), и активность штамма должна быть оптимизирована (эффективность восстановления увеличена до 90%).

Низкотемпературное плазменное восстановление (температура реакции 400-600 градусов Цельсия, мощность 15-20 киловатт) имеет выход 100-150 граммов в час, потребление энергии снижается до 4 кВтч/грамм, а выбросы отходов сокращаются на 50%. Использование

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

возобновляемых источников энергии (например, солнечное отопление, энергоэффективность увеличивается на 20%-25%) еще больше снижает углеродный след. Проблемы включают крупномасштабное производство (текущая суточная производительность составляет менее 1 килограмма) и стоимость (40-50 долларов США за килограмм). Анализ случая: Гидротермальная производственная линия производит 200 тонн нано-вольфрамового порошка в год, потребление энергии сокращается на 40%, а стоимость снижается до 35 долларов США за килограмм.

8.2.3 Роль вольфрамового порошка в экономике замкнутого цикла

Вольфрамовый порошок сокращает отходы ресурсов в экономике замкнутого цикла через замкнутый цикл «производство-использование-переработка-повторное использование». Из примерно 500 000 тонн вольфрамовой продукции, производимой во всем мире каждый год, 30%-40% могут быть переработаны и использованы повторно. Высокая стоимость (30-40 долларов США за килограмм) и дефицитность (содержание 1,25 ppm в земной коре) вольфрамового порошка делают его центром экономики замкнутого цикла. Переработанный вольфрамовый порошок прессуется и спекается (давление 300 МПа, 1450 градусов Цельсия) для изготовления новых изделий (таких как ножи, противовесы) с плотностью 18-19 г/см³ и твердостью HV 500-600, что сопоставимо с характеристиками исходного вольфрамового порошка.

Круговая экономика требует создания эффективной сети переработки (уровень сбора отходов увеличен до 80%) и единых стандартов (например, содержание вольфрама в отходах $\geq 95\%$). Текущий уровень переработки составляет всего 40% -50%, что ограничивается популяризацией технологий (уровень переработки малых и средних предприятий составляет менее 20%) и недостаточными экономическими стимулами. Анализ случая: Компания перерабатывает отходы вольфрамовой стали (содержащие 65% вольфрама) с годовым объемом производства 300 тонн переработанного вольфрамового порошка для производства буровых долот со стабильной производительностью и снижением затрат на 15%. В будущем целевой уровень переработки составит 80% -90%, что позволит сократить добычу сырой руды на 500 000 тонн/год.

8.2.4 Практические примеры устойчивого применения

Случай 1: Предприятие по производству цементированного карбида использует кислотное выщелачивание для переработки отходов режущего инструмента (содержащих 70% -75% вольфрама), извлекая 500-600 тонн вольфрамового порошка в год, сокращая добычу сырой руды на 1000-1200 тонн, снижая затраты на 20% -25% и сокращая выбросы углекислого газа на 2500 тонн. Случай 2: Гидротермальный метод используется для приготовления нано-вольфрамового порошка (размер частиц 30-40 нанометров) для фотоэлектрокатализа с годовым объемом производства 100-150 тонн, снижением потребления энергии на 40% -50% и сокращением выбросов отходящих газов на 500-600 тонн. Случай 3: Электролитический метод используется для переработки отходов вольфрама (чистота 99,95% -99,99%) для электронных компонентов с годовым объемом производства 50-70 тонн, степенью извлечения 96% -98% и экономией затрат на ресурсы 30%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Случай 4: Завод по производству противовесов перерабатывает отходы вольфрамового сплава (содержащего 85% вольфрама), производит 200 тонн переработанного вольфрамового порошка в год и изготавливает новые блоки противовесов (плотность 18,5 г/см³), которые имеют те же характеристики, что и исходный материал, сокращая добычу 800 тонн сырой руды. Эти случаи показывают, что устойчивое применение вольфрамового порошка учитывает как экономические, так и экологические выгоды, а рыночный спрос способствует популяризации зеленых технологий.

8.2.5 Перспективы переработки вольфрамового порошка

Переработка вольфрамового порошка имеет светлое будущее. Предполагается, что к 2035 году доля мирового переработанного вольфрамового порошка увеличится с 40% до 70%-80%. Технологические достижения (такие как эффективное извлечение, степень извлечения 98%-99%, снижение потребления энергии до 8 кВтч/кг) и политическая поддержка (например, налог на выбросы углерода, 50 долл. США за тонну) ускорят эту тенденцию. Экологичная подготовка (например, биологический метод, суточный выход увеличен до 10 кг) и автоматизированные системы переработки (эффективность сортировки отходов 95%) снизят затраты до 20-25 долл. США за килограмм и уменьшат воздействие на окружающую среду (10-12 тонн выбросов углекислого газа на тонну вольфрамового порошка).

В будущем переработка вольфрамового порошка будет сочетаться с интеллектуальным производством, а поток отходов будет отслеживаться через Интернет вещей (уровень отслеживания достигает 90%) для достижения полного управления жизненным циклом. Ожидается, что к 2040 году переработанный вольфрамовый порошок будет покрывать 50% мирового спроса, способствуя трансформации вольфрамовой промышленности в низкоуглеродную и эффективную.

8.3 Новые области и трансграничные приложения

Трансграничное применение вольфрамового порошка в новых областях позволяет использовать его высокую плотность, устойчивость к высоким температурам и химическую стабильность, расширяя сферу применения до гибкой электроники, исследования космоса и биотехнологий, демонстрируя потенциал для междисциплинарной интеграции.

8.3.1 Потенциал вольфрамового порошка в гибкой электронике

Вольфрамовый порошок используется в гибкой электронике в наноформе (размер частиц 10-50 нанометров) и смешивается с проводящими полимерами (такими как PEDOT:PSS, массовое соотношение 1:2) для изготовления гибких электродов. Испытания показывают, что его проводимость составляет 10^5 - 10^6 Сименс/метр, а снижение производительности составляет менее 5% -7% после изгиба 1000 раз с радиусом изгиба 5 мм, что лучше, чем у традиционных электродов ИТО (снижение 20%). Высокая плотность (18 г/см³) гарантирует, что толщина

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

электрода составляет всего 50-100 микрон и по-прежнему имеет высокую стабильность, а изменение удельного сопротивления составляет менее 3%. Сканирующая электронная микроскопия показывает, что частицы вольфрама равномерно распределены (расстояние 5-10 нанометров), а сопротивление интерфейса составляет менее 0,1 Ом.

Приложения включают носимые датчики (чувствительность мониторинга сердечного ритма увеличена на 20%) и гибкие дисплеи (время отклика 0,5 миллисекунд). Проблемы заключаются в дисперсности (требуется ультразвуковая обработка, мощность 500-800 Вт, время 2-3 часа, скорость агломерации снижена до 5%) и адгезии подложки (требуется плазменная обработка, прочность связи 10-12 МПа). Анализ случая: гибкий датчик использует вольфрам-полимерные электроды (толщина 80 микрон), а стабильность сигнала достигает 98% после 1000 часов использования. В будущем гибкая электроника будет способствовать применению вольфрамового порошка в умной одежде и медицинском мониторинге, и ожидается, что размер рынка достигнет 500 миллионов долларов США к 2035 году.

8.3.2 Использование вольфрамового порошка в исследовании космоса

Вольфрамовый порошок используется в радиационной защите и компонентах двигательных систем в космических исследованиях из-за его высокой термостойкости (температура плавления 3422 градуса Цельсия) и высокой плотности (19,25 г/см³). Защитные пластины (толщиной 10-15 мм, плотностью 18-19 г/см³) из вольфрамового сплава (содержащего 5%-10% никеля) могут блокировать 90%-95% космических лучей (энергия 10-20 мегаэлектронвольт), а скорость поглощения на 20% выше, чем у свинца. Испытания показывают, что его деформация составляет менее 0,1%-0,2% в вакууме (10⁻⁶ Па) и высокой температуре (1500-2000 градусов Цельсия), а коэффициент теплового расширения составляет всего 2,5×10⁻⁶ /Кельвин, что подходит для спутников и зондов дальнего космоса.

В двигательной установке карбид вольфрама (твердость HV 1800-2000) формируется в покрытие сопла (толщина 100-150 мкм) методом плазменного напыления (мощность 50 кВт, расход аргона 40 литров/минуту), что повышает износостойкость в 3-4 раза, имеет срок службы 500-600 часов и не имеет очевидных потерь в испытаниях на коррозионную стойкость (кислая среда pH=1, 1000 часов). Проблемы включают точность обработки (отклонение должно быть менее 0,01 мм) и стоимость (100-120 долларов за килограмм). Анализ случая: космический корабль использует защитную пластину из вольфрамового сплава (вес 50 кг), а эффективность защиты от радиации по-прежнему составляет 90% после 2 лет эксплуатации. В будущем применение вольфрамового порошка в космической сфере будет поддерживать лунные базы и исследование Марса.

8.3.3 Инновации вольфрамового порошка в биотехнологии

Вольфрамовый порошок используется в биотехнологии в форме наноксида вольфрама (WO₃, размер частиц 20-30 нм) для антибактериальной и лекарственной доставки. Антибактериальные тесты показывают, что его степень ингибирования против Escherichia coli под действием

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ультрафиолетового света (365 нм, 1 Вт/м²) составляет 99% -99,5% (концентрация 0,1-0,2 мг/мл, 24 часа), а механизм - фотокаталитическое образование реактивного кислорода (выход 10⁻⁵ моль/с). При доставке лекарств нанопорошок вольфрама загружается противораковыми препаратами (такими как доцетаксел, скорость загрузки 20% -25%), а время высвобождения увеличивается до 48-72 часов. Кривая высвобождения соответствует кинетике первого порядка (константа скорости 0,02 часа⁻¹), что подходит для таргетной терапии.

Проблемы включают биосовместимость (требуется покрытие ПЭГ, толщина 5 нм, выживаемость клеток увеличивается до 90% -95%) и контроль токсичности (скорость высвобождения ионов вольфрама составляет менее 0,01 мг/л). Анализ случая: антибактериальное покрытие использует наночастицы WO₃ (толщина 50 нм), которые использовались в больничной среде в течение 6 месяцев, и скорость прикрепления бактерий была снижена на 80%. В будущем порошок вольфрама будет играть роль в биосенсорах (предел обнаружения 10⁻⁹ моль/л) и тканевой инженерии (прочность каркаса увеличена на 50%).

8.3.4 Технология приготовления вольфрамового порошка в новых областях

Новые области требуют высокой чистоты (99,999% -99,9999%) и специфической морфологии порошка вольфрама. Лазерно-индуцированное разложение (длина волны 1064 нм, мощность 1-2 кВт, давление газа 10⁻³ Па) готовит сферический нано-вольфрамовый порошок (размер частиц 10-20 нм) с выходом 20-30 г в час и шероховатостью поверхности менее 1 нм. Распылительный пиролиз (температура 800-1000 °C, скорость распыления 10 мл/мин) производит пористый вольфрамовый порошок (размер пор 50-100 нм, удельная площадь поверхности 80 м²/г), подходящий для биологических применений. Проблемы заключаются в сложности оборудования (стоимость обслуживания 100 000 долларов в год) и энергопотреблении (5-6 кВтч на грамм). Решения включают оптимизацию параметров реакции (отклонение температуры ±5 °C) и использование микроволновой технологии (потребление энергии снижено до 3 кВтч/грамм).

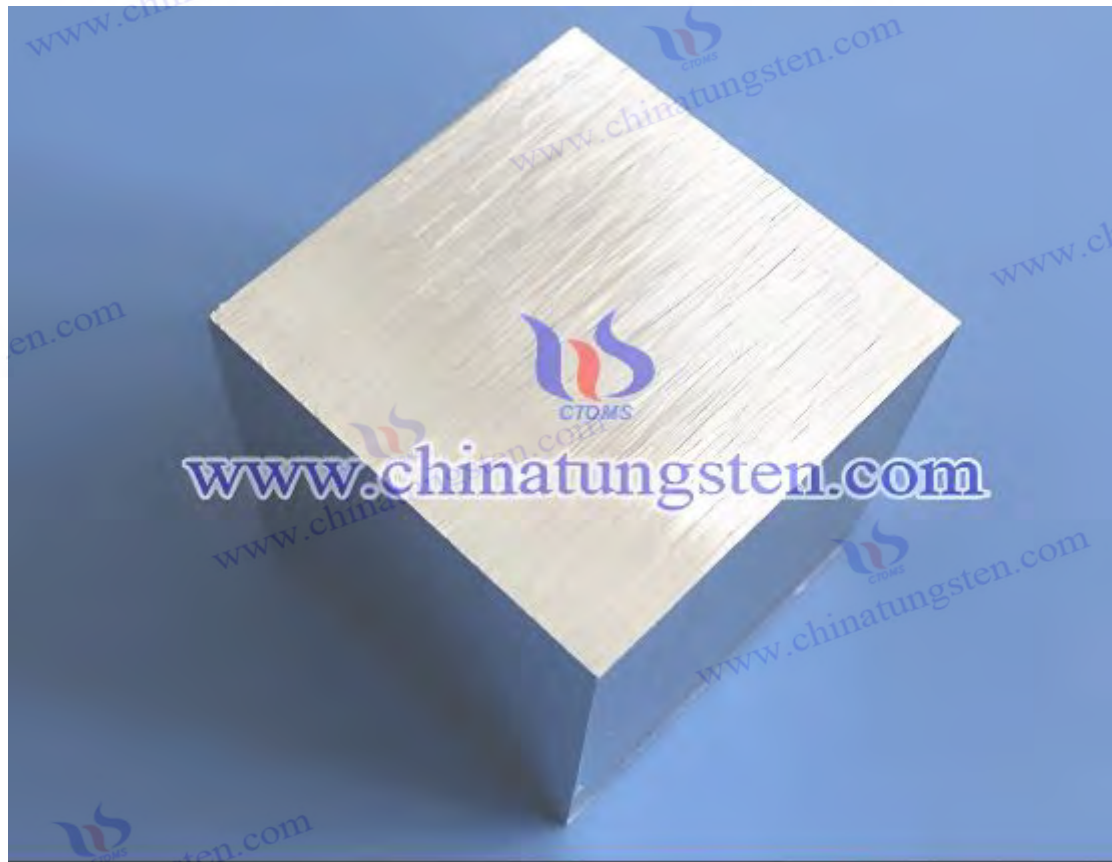
Анализ случая: На производственной линии пиролиза распылением производится пористый порошок вольфрама (размер частиц 50 нанометров) с суточной производительностью 50 граммов, который используется в качестве носителя лекарственных препаратов, а скорость загрузки увеличивается до 30%.

8.3.5 Будущие тенденции трансграничных приложений

Ожидается, что к 2040 году трансграничное применение вольфрамового порошка составит 30–40 % от его общего спроса. Гибкая электроника разработает пригодные для печати вольфрамовые чернила (вязкость 10–15 Па·с, проводимость 10⁶ Сименс/м); для освоения космоса потребуются легкие и высокопрочные вольфрамовые сплавы (плотность снижена до 15–16 г/см³, прочность увеличена до 1200 МПа); биотехнологии разработают интеллектуальные реагирующие вольфрамовые материалы (время отклика 0,1 секунды, биосовместимость до 95 %). Технологические достижения (например, 3D-печать вольфрамовых деталей с точностью 0,01 мм)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

и рыночный спрос (например, ежегодный рост космического рынка на 10 %) будут способствовать инновационному применению вольфрамового порошка в новых областях, и ожидается, что размер рынка достигнет 1,5 млрд долларов США.



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

Заключение

Как высокопроизводительный материал, вольфрамовый порошок занимает важное место как в традиционной промышленности, так и в передовых технологиях благодаря своим уникальным физическим и химическим свойствам. От спортивных товаров, ювелирных украшений до нанотехнологий, устойчивого развития и трансграничных приложений, использование вольфрамового порошка демонстрирует удивительное разнообразие и содержит большой потенциал в будущей волне технологических инноваций. В этом заключении будет обобщена прикладная ценность вольфрамового порошка, проанализировано его стратегическое значение в технологическом прогрессе и выдвинуты перспективы и предложения по будущему развитию.

Разнообразие применений вольфрамового порошка и будущий потенциал

Разнообразие вольфрамового порошка отражается в его широком применении от традиционных областей до передовых технологий. В сфере потребительских товаров высокая плотность (19,25 г/см³) и износостойкость вольфрамового порошка делают его идеальным материалом для клюшек для гольфа, вольфрамовых грузил рыболовных снастей и твердых ювелирных изделий, отвечая потребностям улучшения производительности и эстетики. В промышленных применениях вольфрамовый порошок используется для приготовления твердого сплава (твердость HV 1600-2000) и высокотемпературных компонентов (термостойкость до 3000 градусов по Цельсию) с помощью технологии порошковой металлургии, поддерживая развитие машиностроения и аэрокосмической промышленности. Вступая в область нанотехнологий, нановольфрамовый порошок (размер частиц 5-50 нанометров) продемонстрировал прорывной потенциал в квантовых вычислениях (температура сверхпроводящего перехода 10 Кельвинов), фотоэлектрокатализе (эффективность 6%-10%) и умных материалах (время отклика 0,1 миллисекунды) благодаря своей высокой удельной площади поверхности (50-150 квадратных метров/грамм) и квантовому эффекту. Кроме того, устойчивые применения вольфрамового порошка, такие как переработка отходов (степень переработки 90%-98%) и зеленая подготовка (потребление энергии снижено до 2 кВтч/г), еще больше расширяют его цепочку создания стоимости.

С точки зрения будущего потенциала, универсальность вольфрамового порошка указывает на то, что он будет играть более важную роль в высокотехнологичных областях. Например, в гибкой электронике композитные электроды из вольфрамового порошка (проводимость 10⁻⁶ Сименс/м) могут стимулировать рынок носимых устройств (по оценкам, достигнет 500 миллионов долларов США в 2035 году); в исследовании космоса защитные пластины из вольфрамового сплава (степень блокировки излучения 95%) будут поддерживать миссии по исследованию дальнего космоса; в биотехнологии ожидается, что наноксид вольфрама (степень антибактериальности 99%) произведет революцию в медицинских устройствах. Эти приложения не только полагаются на физические свойства вольфрамового порошка, но и выигрывают от его химической стабильности и технологичности, что делает его мостом для междисциплинарных инноваций. Ожидается, что к 2040 году размер рынка вольфрамового порошка вырастет с нынешних 5

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

миллиардов долларов США до 10-15 миллиардов долларов США, что обусловлено как технологическим прогрессом, так и рыночным спросом.

Стратегическое значение вольфрамового порошка в технологическом прогрессе

Стратегическое значение порошка вольфрама в технологическом прогрессе отражается в его вспомогательной роли в ключевых технологиях и промышленной модернизации. Во-первых, высокая температура плавления (3422 градуса Цельсия) и коррозионная стойкость порошка вольфрама делают его основным материалом в экстремальных условиях, таких как сопла авиационных двигателей (срок службы 500 часов) и защита термоядерных реакторов (стойкость к облучению 10^{15} нейтронов/квadratный сантиметр). Эти приложения напрямую способствовали технологическим прорывам в области энергетики и транспорта. Во-вторых, применение нанопорошка вольфрама в квантовых технологиях и оптоэлектронике, таких как сверхпроводящие квантовые биты (время когерентности 100 пикосекунд) и фотоэлектрические катализаторы (выход водорода 10^{-5} моль/с), обеспечивает базовую поддержку для следующего поколения информационных технологий (связь 6G) и возобновляемой энергетики (эффективность преобразования солнечной энергии 10%), а также помогает решить глобальный энергетический кризис и технологические узкие места.

Кроме того, роль вольфрамового порошка в устойчивом развитии и экономике замкнутого цикла подчеркивает его стратегическую ценность. Мировые ресурсы вольфрама ограничены (запасы около 3,3 млн тонн), а переработка вольфрамового порошка (ежегодный потенциал производства 200 000 тонн) может снизить зависимость от добычи сырой руды (экономия 500 000 тонн в год) и уменьшить воздействие на окружающую среду (сокращение выбросов на 10-12 тонн углекислого газа на тонну). Это не только соответствует тенденции низкоуглеродной экономики, но и обеспечивает безопасность цепочки поставок редких металлов. Многопрофильное применение и высокая степень переработки вольфрамового порошка делают его связующим звеном между технологическим прогрессом и устойчивостью ресурсов, особенно в обрабатывающей промышленности (на цементированный карбид приходится 60% мирового спроса на вольфрам), электронной промышленности (доля рынка 20%) и новых технологиях (по оценкам, в 2040 году на него придется 30%). Его стратегическое положение незаменимо.

Стратегическое значение вольфрамового порошка также отражается в его способности содействовать совместным инновациям в отрасли. Например, прогресс технологии приготовления вольфрамового порошка (такой как плазменный метод, ежедневный выход 100-150 граммов) привел к интеграции материаловедения, химической инженерии и машиностроения; его трансграничное применение (такое как гибкая электроника и биотехнология) способствовало пересечению информационных технологий и наук о жизни. Эти характеристики делают вольфрамовый порошок не только участником технологического прогресса, но и двигателем и катализатором, оказывая ключевую поддержку глобальной научной и технологической конкуренции.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Перспективы и предложения по применению вольфрамового порошка

Перспективы применения вольфрамового порошка показывают, что его будущее развитие будет вращаться вокруг трех основных направлений: оптимизация производительности, экологизация и трансграничная интеграция. Во-первых, оптимизация производительности приведет к развитию вольфрамового порошка в сторону более высокой точности и универсальности. Ожидается, что размер частиц нано-вольфрамового порошка будет контролироваться ниже 5 нанометров (отклонение распределения ± 1 нанометр), а проводимость увеличится до 10^7 Сименс/метр, что соответствует потребностям квантовых вычислений и гибкой электроники; технология легирования (например, содержание титана и кобальта 3%-5%) повысит его долговечность (срок службы увеличится на 70%) и скорость реагирования (время сократится до 0,05 миллисекунд). Во-вторых, зеленение станет основной тенденцией, а гидротермальные и биоредуктивные методы (потребление энергии 2 кВт·ч/г, сокращение отходящих газов на 80%) позволят достичь крупномасштабного производства (1-5 тонн в день), а скорость извлечения увеличится до 90% - 95%, подтолкнув отрасль вольфрамового порошка к цели нулевого выброса углерода. Наконец, трансграничная интеграция расширит границы применения. Вольфрамовый порошок будет глубоко интегрирован с искусственным интеллектом (материалы с интеллектуальным реагированием), аэрокосмическими технологиями (легкие сплавы) и биомедициной (носители лекарств). Предполагается, что к 2040 году спрос в развивающихся областях составит 40% -50%.

На основании вышеизложенных перспектив выдвигаются следующие предложения по содействию устойчивому развитию и технологическим инновациям в области применения вольфрамового порошка:

Увеличить инвестиции в НИОКР и улучшить технологию подготовки.

Рекомендуется инвестировать в разработку низкотемпературных и высокоэффективных процессов подготовки (таких как микроволновое восстановление, потребление энергии снижено до 1,5 кВтч/г) и технологии контроля точности на наноуровне (отклонение размера частиц $\pm 0,5$ нанометров) для соответствия высоким стандартам квантовой технологии и оптоэлектроники. В то же время разработать многоэлементные формулы легирования (такие как композиты молибдена, кобальта и титана) для оптимизации теплопроводности (до 5 Вт/м·Кельвина) и механических свойств (прочность на разрыв 1200 МПа) вольфрамового порошка для расширения сценариев его применения.

Улучшить систему переработки и содействовать переработке.

Рекомендуется создать глобальную сеть переработки вольфрамового порошка, увеличить уровень сбора отходов до 80% -90% и содействовать эффективной технологии переработки (например, ионообмен с уровнем извлечения 99%). С помощью политических стимулов (например, субсидии на переработку в размере 100 долларов США за тонну) и стандартизированных процессов (чистота отходов $\geq 95\%$) содействовать повторному использованию переработанного вольфрамового порошка в промышленности, и, по оценкам, к 2035 году можно сэкономить 1 миллион тонн добычи сырой руды.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Содействовать междисциплинарному сотрудничеству и ускорить трансграничные приложения.

Рекомендуется объединить экспертов в области материаловедения, электронной инженерии и биотехнологий для разработки инновационных приложений вольфрамового порошка в гибкой электронике (толщина электрода уменьшена до 20 микрон), космической защите (снижение веса на 30%) и биомедицине (эффективность высвобождения лекарств увеличена до 50%). Создать платформу сотрудничества между промышленностью, университетом и исследованиями для содействия технологической трансформации и сокращения цикла от лаборатории до рынка (цель 3-5 лет).

Усилить продвижение зеленых технологий и снизить воздействие на окружающую среду.

Рекомендуется продвигать зеленые технологии подготовки, такие как гидротермальные и биологические методы, с целью достижения 50% зеленого вольфрамового порошка к 2030 году и сформулировать отраслевые стандарты выбросов углерода (менее 5 тонн углекислого газа на тонну вольфрамового порошка). В то же время разработать автоматизированное оборудование для переработки (эффективность сортировки 95%) для снижения затрат на рабочую силу и повышения экологической эффективности.

Подводя итог, можно сказать, что разнообразные применения и будущий потенциал вольфрамового порошка придают ему стратегическое значение в технологическом прогрессе. Благодаря постоянным инновациям и зеленому развитию вольфрамовый порошок может не только удовлетворить текущие потребности, но и стать лидером в области квантовых технологий, устойчивой энергетики и трансграничных областей. Для реализации этого видения необходимы скоординированные усилия технологий, политики и промышленности для совместного продвижения вольфрамового порошка, чтобы он стал краеугольным камнем научно-технического прогресса в 21 веке.



搜狐号@中钨在线

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


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

en.com

www.ch


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatun

1


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Приложение А: Краткая справочная таблица физических и химических свойств вольфрамового порошка

Параметр	Чистый вольфрамовый порошок (W)	Нано вольфрамовый порошок (W)	Оксид вольфрама (WO ₃)	Карбид вольфрама (WC)
Молекулярная масса (г/моль)	183,84	183,84	231,84	195,85
Кристаллическая структура	Объемно-центрированная кубическая (ОЦК)	Объемно-центрированная кубическая (ОЦК)	Моноклинная система	Гексагональная система
Постоянная решетки (Å)	3.165	3.165	a=7,306, б=7,540, в=7,692	a=2,906, c=2,837
Плотность (г/см ³)	19.25	19,25 (теоретическое значение, в реальности немного ниже)	7.16	15.63
Температура плавления (°C)	3422	3422	1473 (разложение)	2870 (разложение)
Температура кипения (°C)	5555	5555	-	-
Твёрдость (HV)	300-500	400-600 (в зависимости от размера частиц)	200-300	1600-2000
Прочность на растяжение (МПа)	900-1000	900-1200 (из-за различий в процессе)	-	1200-1500
Удельная поверхность (м ² /г)	0,1-1 (уровень микрона)	50-150 (размер частиц 5-50 нм)	20-50 (уровень нанометра)	5-20 (уровень микрон)
Проводимость (См/м)	1,8× 10 ⁷	10 ⁶ -10 ⁷ (уменьшено из-за поверхностного эффекта)	10 ⁻⁴ -10 ⁻³ (Характеристики полупроводника)	10 ⁵ -10 ⁶
Теплопроводность (Вт/м·К)	173	150-170 (немного снижено из-за уменьшения размера частиц)	1,5-2,0	80-100
Коэффициент теплового расширения (10 ⁻⁶ /К)	4.5	4.5-4.7	12-15	5.2-6.0

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Параметр	Чистый вольфрамовый порошок (W)	Нано вольфрамовый порошок (W)	Оксид вольфрама (WO ₃)	Карбид вольфрама (WC)
Энергия запрещенной зоны (эВ)	- (Металлические свойства)	- (Металлические свойства)	2.6-2.8 (Полупроводник)	- (Свойства проводника)
Температура сверхпроводящего перехода (К)	0,015 (чистый вольфрам крайне низок и требует легирования для увеличения)	4-12 (после легирования молибденом)	-	-
Удельная теплоемкость (Дж/кг·К)	132	130-135	300-320	180-200
Поверхностная энергия (Дж/м ²)	2-3 (уровень микрона)	20-40 (уровень нанометра)	5-10	3-5
Склонность к окислению	Средняя (легко окисляется при высокой температуре, требует защиты инертной атмосферой)	Высокая (сильная поверхностная активность, легко образует оксидный слой толщиной 5-10 нм)	Уже окислился	Низкая (медленное окисление при высоких температурах)
Химическая стабильность	Устойчив к кислотам и щелочам (за исключением сильных окислителей, таких как азотная кислота)	Устойчив к кислотам и щелочам (но поверхность легко подвергается воздействию кислорода)	Устойчив к кислотам и щелочам (но не устойчив к высоким температурам (температура разложения 1473°C))	Устойчив к кислотам и щелочам, устойчив к высоким температурам (температура разложения 2870°C)
Обычный диапазон размеров частиц	1-20 мкм	5-100 нм	20-50 нм (наномасштаб) / 1-10 мкм (микромасштаб)	0,5-10 мкм
Типичный метод приготовления	Метод восстановления водорода	Метод осаждения из паровой фазы, плазменный метод	Золь-гель метод, метод термического окисления	Метод карбонизации, метод высокотемпературного спекания
Области	Противовес, сплав,	Квантовые	Фотоэлектрокатализ,	Твердый сплав, режущие

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Параметр	Чистый вольфрамовый порошок (W)	Нано вольфрамовый порошок (W)	Оксид вольфрама (WO ₃)	Карбид вольфрама (WC)
применения	сварка	технологии, оптоэлектроника, интеллектуальные материалы	газовое зондирование	инструменты

CTIA GROUP LTD
Tungsten Powder Introduction

1. Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's traditional tungsten powder complies with the GB/T 3458-2006 "Tungsten Powder" standard and is prepared using a hydrogen reduction process. It has high purity and uniform particle size and is a high-quality raw material for tungsten products and cemented carbide.

2. Tungsten Powder Characteristics

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.9\%$, oxygen content ≤ 0.20 wt% (fine particles ≤ 0.10 wt%), and extremely low impurities.

Accurate particle size: Fisher particle size 0.4-20 μm , 6 levels to choose from, with a deviation of only $\pm 10\%$.

Excellent performance: bulk density 6.0-10.0 g/cm^3 , uniform grains, excellent sinterability.

Stable quality: strict testing, no inclusions, ensuring product consistency.

3. Tungsten Powder Specifications

Brand	Fisher particle size (μm)
FW-1	0.4-1.0
FW-2	1.0-2.0
FW-3	2.0-4.0
FW-4	4.0-6.0
FW-5	6.0-10.0
FW-6	10.0-20.0

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner sealed plastic bag, outer iron drum, net weight 25kg or 50kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition and particle size data, and the shelf life is 12 months.

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

For more information about tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Приложение В: Международные стандарты, касающиеся использования вольфрамового порошка (Китай, ASTM, ISO)

Приложение В: Международные стандарты, касающиеся использования вольфрамового порошка (Китай, ASTM, ISO)

Как высокопроизводительный материал, вольфрамовый порошок широко используется в порошковой металлургии, твердом сплаве, электронной промышленности, аэрокосмической промышленности и новых технологических областях. Его эксплуатационные характеристики и использование строго регламентируются международными и национальными стандартами. В этом приложении обобщены китайские национальные стандарты (GB/T), международные стандарты ASTM и международные стандарты ISO, относящиеся к вольфрамовому порошку, охватывающие подготовку, испытания, классификацию и применение, что обеспечивает авторитетную основу для исследований, разработок и производства.

V.1 Китайский национальный стандарт (GB/T)

Национальные стандарты Китая разработаны Администрацией по стандартизации Китая (SAC), а стандарты, связанные с вольфрамовым порошком, в основном обозначены как «GB/T» («Т» означает рекомендуемый стандарт, а не обязательный). Ниже приведен список основных стандартов:

GB/T 4161-2008 Определение кажущейся плотности металлических порошков

Содержание: Определяет метод определения кажущейся плотности металлических порошков (например, порошка вольфрама) с использованием метода воронки, который применим к порошкам с размером частиц 1–500 мкм.

Параметры: Кажущаяся плотность обычно колеблется в пределах 5-15 г/см³ (вольфрамовый порошок составляет около 10-12 г/см³).

Применение: Используется для контроля качества изделий порошковой металлургии и противовесов.

GB/T 4196-2012 Метод определения размера частиц порошка вольфрама и порошка карбида вольфрама

Содержание: Распределение размеров частиц порошка вольфрама и порошка карбида вольфрама определяется методами лазерной дифракции и просеивания и охватывает диапазон 0,1–1000 мкм.

Параметры: Обычный размер частиц вольфрамового порошка составляет 1-20 мкм, нанометровый класс составляет 5-100 нм.

Применение: Подходит для оценки сырья в производстве твердого сплава и аддитивном производстве.

GB/T 4295-2013 Порошок карбида вольфрама

Содержание: Определяет химический состав, физические свойства и методы испытаний порошка карбида вольфрама. Требование к чистоте составляет $\geq 99,7\%$, а общее содержание углерода составляет 5,8%-6,2%.

Параметры: Твердость HV 1600-2000, плотность 15,63 г/см³.

Применение: твердосплавный инструмент, износостойкие покрытия.

GB/T 5314-2011 Методы отбора проб для изделий порошковой металлургии

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Содержание: Определяет процедуру отбора проб вольфрамового порошка и изделий из его сплавов для обеспечения репрезентативности образцов.

Параметры: Объем выборки регулируется в зависимости от размера партии (например, 10-100 граммов).

Применение: Контроль качества и проверка эксплуатационных характеристик.

GB/T 3458-2006 Вольфрамовый порошок

Содержание: Определяет химический состав (чистота $\geq 99,9\%$), диапазон размеров частиц (0,5–50 мкм) и предельное содержание примесей (кислород $\leq 0,05\%$) вольфрамового порошка.

Параметры: Плотность 19,25 г/см³, температура плавления 3422°C.

Применение: жаропрочные сплавы, электронно-эмиссионные материалы.

YB/T 2003-2015 Порошок тяжелого вольфрамового сплава

Состав: Применимо к порошкам тяжелых сплавов, таким как вольфрам-никель-железо (W-Ni-Fe), вольфрам-никель-медь (W-Ni-Cu) и т. д., с содержанием вольфрама 90% -98%.

Параметры: плотность 17-18,5 г/см³, прочность на разрыв 800-1000 МПа.

Применение: авиационные противовесы, военная продукция.

B.2 Международные стандарты ASTM

Стандарты ASTM International разработаны Американским обществом по испытаниям и материалам (ASTM International) и широко используются в глобальных испытаниях материалов и промышленных спецификациях. Ниже приведены стандарты, связанные с вольфрамовым порошком:

ASTM B777-15 Технические условия на сплавы на основе вольфрама высокой плотности

Содержание: Определяет химический состав и механические свойства тяжелых сплавов на основе вольфрама (таких как W-Ni-Fe, W-Ni-Cu) и делит их на четыре категории (класс 1-4).

Параметры: плотность 17,0-18,5 г/см³, твердость HV 300-500, предел прочности 700-1000 МПа.

Применение: радиационная защита, компоненты противовеса.

ASTM B329-14 Стандартный метод испытаний кажущейся плотности металлических порошков

Содержание: Используйте расходомер Холла для измерения кажущейся плотности вольфрамового порошка, подходящий для частиц размером 0,1–1000 мкм.

Параметры: Кажущаяся плотность вольфрамового порошка 10-12 г/см³.

Применение: Оптимизация процесса порошковой металлургии.

ASTM B311-17 Метод испытания плотности прессованных металлических порошков

Содержание: Определяет метод испытания плотности прессования вольфрамового порошка в диапазоне давлений 100–500 МПа.

Параметры: Плотность прессования 15-18 г/см³.

Применение: Изготовление заготовок из твердого сплава.

ASTM E407-07(2015) Микротравители и методы коррозии металлов

Содержание: Предоставляет методы коррозии (например, смесь азотной и плавиковой кислот) для микроструктурного анализа вольфрамового порошка и сплавов.

Параметры: Микроскопическое наблюдение размера зерна (5-50 мкм).

Области применения: контроль качества и анализ отказов.

ASTM F288-96(2014) Вольфрамовая проволока для электронного оборудования

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Содержание: Определяет свойства вольфрамовой проволоки, полученной прессованием и спеканием вольфрамового порошка, чистотой $\geq 99,95\%$.

Параметры: диаметр 0,01-1 мм, удельное сопротивление $5,5 \times 10^{-8}$ Ом·м.

Применение: нить накаливания, электронно-эмиссионная трубка.

ASTM B760-07(2019) Стандартная спецификация для вольфрамовых пластин, листов и фольги

Состав: Подходит для спеченных пластин из вольфрамового порошка толщиной 0,1-50 мм, чистотой $\geq 99,9\%$.

Параметры: температура плавления 3422°C , теплопроводность 173 Вт/м·К.

Области применения: компоненты высокотемпературных печей, материалы для аэрокосмической промышленности.

В.3 Международные стандарты ИСО

Стандарты, установленные Международной организацией по стандартизации (ISO), являются универсальными во всем мире. Стандарты, связанные с вольфрамовым порошком, в основном охватывают области порошковой металлургии и аддитивного производства:

ISO 4491-2:1997 Металлические порошки. Определение кажущейся плотности. Часть 2. Объемный метод Скотта

Содержание: Используйте объемный измеритель Скотта для измерения кажущейся плотности вольфрамового порошка, подходящий для порошков неправильной формы.

Параметры: Кажущаяся плотность вольфрамового порошка 10-12 г/см³.

Применение: Оценка качества порошковой металлургии.

ISO 3927:2017 Определение текучести металлических порошков

Содержание: Определите текучесть вольфрамового порошка с помощью расходомера Холла, диаметр испытательной воронки 2,5 мм.

Параметры: Время истечения 15-30 секунд/50 грамм (микронный уровень), наноуровень плохой.

Применение: просеивание порошков в аддитивном производстве.

ISO 513:2012 Классификация применений твердосплавных материалов

Содержание: Классифицируйте твердые сплавы на основе порошка карбида вольфрама (WC) в соответствии с их применением (например, режущие и износостойкие детали).

Параметры: Твердость HV 1500-2000, содержание вольфрама 80%-95%.

Применение: режущие инструменты, сверла.

Терминология аддитивного производства ISO/ASTM 52900:2015

Содержание: Определяет терминологию и технические требования к вольфрамовым порошкам в 3D-печати, опубликовано совместно с ASTM.

Параметры: Размер частиц 5-50 мкм, чистота $\geq 99,9\%$.

Области применения: детали аэрокосмической техники, медицинские имплантаты.

ISO 18119:2018 Порошок вольфрамового сплава для твердого сплава

Содержание: Определяет состав и свойства порошка вольфрамового сплава (например, W-Ni-Fe) с содержанием вольфрама 90%-98%.

Параметры: плотность 17-18,5 г/см³, прочность на разрыв 800-1000 МПа.

Применение: изделия из тяжелых сплавов, противовесы.

Терминология порошковой металлургии ISO 3252:2019

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Содержание: Содержит определения терминов, связанных с вольфрамовым порошком, таких как размер частиц, плотность после спекания и т. д.

Параметры: Применимо к микронному и нанометровому вольфрамовому порошку.

Применение: Стандартизированная техническая коммуникация.

В.4 Сравнение стандартов и описание применения

Китайский стандарт (GB/T)

Особенности: Ориентирован на местные промышленные потребности, охватывает подготовку, испытания и применение вольфрамового порошка и твердого сплава, а некоторые стандарты соответствуют ISO (например, GB/T 4196 ссылается на ISO 4491).

Преимущества: Адаптация к преимуществам Китая в плане ресурсов вольфрама (более 50% мировых запасов) и строгий контроль затрат.

Ограничения: Уровень интернационализации низкий, а некоторые стандарты не были обновлены для удовлетворения потребностей нанотехнологий.

Стандарты ASTM

Особенности: Особое внимание уделяется методам испытаний и спецификациям материалов, включая микроструктуру, механические свойства и применение в электронике вольфрамового порошка.

Преимущества: Высокое мировое признание, подходит для аэрокосмической отрасли и высокотехнологичного производства, часто обновляется (например, ASTM B777-15).

Ограничения: Ориентирован на спрос североамериканского рынка, некоторые требования к испытательному оборудованию относительно высоки.

Стандарты ИСО

Особенности: Высокая международная совместимость, тесное сотрудничество с ASTM (например, ISO/ASTM 52900) и охват новых технологий, таких как аддитивное производство.

Преимущества: Содействие глобальной торговле и обмену технологиями, подходит для многонациональных компаний.

Ограничения: Стандарт носит более общий характер, а подробные спецификации не столь конкретны, как ASTM.

Б.5 Резюме

Вышеупомянутые китайские стандарты (GB/T), ASTM и ISO вместе составляют систему спецификаций для использования вольфрамового порошка. Китайские стандарты фокусируются на локализованном производстве и применении, стандарты ASTM содержат подробные требования к испытаниям и эксплуатационным характеристикам, а стандарты ISO способствуют глобальной согласованности. Эти стандарты используются взаимодополняющим образом для удовлетворения разнообразных потребностей от традиционной порошковой металлургии до нанотехнологий и устойчивого развития. В будущем, по мере увеличения применения вольфрамового порошка в квантовой технологии, гибкой электронике и биомедицине, ожидается, что соответствующие стандарты будут и далее совершенствоваться и интернационализироваться.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Национальный стандарт Китая для вольфрамового порошка
GB/T 3458-2006 Вольфрамовый порошок

Название стандарта: Вольфрамовый порошок

Название на английском языке: Tungsten Powder Дата выпуска: 25 октября 2006 г. Дата внедрения: 1 мая 2007 г. Выдающее агентство: Национальное управление по стандартизации (SAC) Статус стандарта: Действует в настоящее время Альтернативный стандарт: Заменяет GB/T 3458-1982 Область применения: Настоящий стандарт определяет технические требования, методы испытаний, правила проверки, а также требования к маркировке, упаковке, транспортировке и хранению вольфрамового порошка. Он применим к вольфрамовому порошку, полученному методом восстановления водородом, и в основном используется в изделиях порошковой металлургии (таких как вольфрамовые стержни, вольфрамовая проволока, вольфрамовые сплавы), высокотемпературных материалах и электронной промышленности.

1. Область применения

Этот стандарт применяется к вольфрамовому порошку, полученному методом водородного восстановления, с диапазоном размеров частиц 0,5-50 микрон и высокими требованиями к чистоте, и подходит для производства материалов на основе вольфрама (таких как вольфрамовые прутки, вольфрамовые пластины, вольфрамовая проволока) и связанных с ними изделий из сплавов. Стандарт не применим напрямую к вольфрамовому порошку наноразмера, но может использоваться в качестве эталона для вольфрамового порошка микронного уровня.

2. Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах являются частью настоящего стандарта посредством ссылки. Последняя версия ссылочных документов имеет преимущественную силу:

GB/T 191 Графическая маркировка для упаковки, хранения и транспортировки

GB/T 4161 Определение кажущейся плотности металлических порошков

GB/T 4196 Метод определения размера частиц порошка вольфрама и порошка карбида вольфрама

GB/T 4324 Метод химического анализа вольфрама (серия стандартов, таких как GB/T 4324.1 Определение содержания кислорода)

GB/T 5314 Методы отбора проб для продуктов порошковой металлургии

3. Термины и определения

Частицы металлического вольфрама, полученные путем восстановления водородом оксида вольфрама (такого как WO_3 или $WO_{2.9}$), в виде серого или серебристо-серого порошка.

Кажущаяся плотность: масса вольфрамового порошка на единицу объема в естественно уложенном состоянии ($г/см^3$).

Ситовой анализатор Fisher (Fsss): Средний размер частиц (мкм), измеренный с помощью ситового анализатора Fisher.

4. Классификация и марка

Вольфрамовый порошок классифицируется на следующие марки в зависимости от среднего

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

размера частиц (определяется методом Фишера):

FW-1: размер частиц 0,5-2,0 мкм, подходит для высокоточных изделий (таких как вольфрамовая проволока, электронно-эмиссионные материалы).

FW-2: размер частиц 2,0–4,0 мкм, подходит для изделий общей порошковой металлургии (например, вольфрамовых прутков и пластин).

FW-3: размер частиц 4,0-6,0 мкм, подходит для тяжелых сплавов и материалов противовесов.

FW-4: размер частиц 6,0-10,0 мкм, подходит для продуктов, требующих крупных частиц.

FW-5: размер частиц 10,0-50,0 мкм, подходит для специальных целей (например, в качестве сварочных материалов).

Примечание: пользователи могут договориться с поставщиками о настройке других диапазонов размеров частиц по мере необходимости.

5. Технические требования

5.1 Химический состав

Требования к химическому составу вольфрамового порошка следующие (массовая доля, %):

Элемент	ФВ-1	ФВ-2	ФВ-3	ФВ-4	ФВ-5
W (Вольфрам)	≥99,95	≥99,95	≥99,90	≥99,90	≥99,90
O (кислород)	≤0,05	≤0,05	≤0,08	≤0,08	≤0,10
Fe (железо)	≤0,005	≤0,005	≤0,010	≤0,010	≤0,015
Ni (никель)	≤0,003	≤0,003	≤0,005	≤0,005	≤0,005
Si (Кремний)	≤0,005	≤0,005	≤0,010	≤0,010	≤0,010
Mo (Молибден)	≤0,010	≤0,010	≤0,015	≤0,015	≤0,020
C (углерод)	≤0,005	≤0,005	≤0,008	≤0,008	≤0,010

Примечание: Общее количество других примесей (таких как Al, Ca, Mg и т.д.) не должно превышать 0,05% (FW-1, FW-2) или 0,10% (FW-3, FW-4, FW-5).

5.2 Физические свойства

Проект	Требовать
Кажущаяся плотность	2,5-6,0 г/см ³ (зависит от размера частиц)
Размер частиц по Фишеру	Соответствует требованиям класса, отклонение $\pm 0,5$ мкм
Ликвидность	≤ 30 с/50 г (FW-1, FW-2), другие по договоренности
Остаток просеивания	$\leq 0,5\%$ (отверстие сита на один уровень больше маркированного размера частиц)

5 . J uncture

5.3 Внешний вид

Вольфрамовый порошок должен представлять собой однородный серый или серебристо-серый порошок без видимых включений или посторонних включений.

6. Методы испытаний

Анализ химического состава

Он реализуется в соответствии со стандартами серии GB/T 4324. Например, содержание

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

кислорода измеряется методом инфракрасного поглощения с импульсным нагревом, а железо и никель измеряются методом оптической эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ICP-OES).

Кажущаяся плотность

Согласно GB/T 4161 для определения используется стандартный метод воронки.

зернистость

Согласно GB/T 4196 средний размер частиц определяется методом Фишера (Fsss).

Ликвидность

Используйте расходомер Холла и проведите испытания в соответствии с GB/T 3927.

Остаток просеивания

Используйте стандартный метод просеивания, а размер сита определяется в соответствии с сортом.

7. Правила проверки

7.1 Категории осмотра

Заводской контроль: химический состав, кажущаяся плотность, размер частиц по Фишеру, внешний вид.

Типовой контроль: Все технические требования, не реже одного раза в год или при смене технологического процесса или сырья.

7.2 Отбор проб

В соответствии с GB/T 5314 случайным образом отберите не менее 500 г образцов из каждой партии (одинаковый номер печи, одинаковый размер частиц).

7.3 Правила принятия решений

Если один из товаров не соответствует стандартам, может быть проведен двойной отбор проб для повторной проверки; если товар по-прежнему не соответствует стандартам, партия продукции будет признана несоответствующей.

8. Маркировка, упаковка, транспортировка и хранение

8.1 Логотип

На упаковке должна быть четкая маркировка с указанием: наименования продукта, марки, номера партии, веса нетто, даты производства, производителя и маркировки «влагонепроницаемый» (согласно GB/T 191).

8.2 Упаковка

Внутренняя упаковка: двухслойный полиэтиленовый пакет, запечатанный.

Внешняя упаковка: железный барабан или пластиковый барабан, масса нетто 25 кг, 50 кг или по договоренности.

Каждая бочка имеет сертификат качества продукции.

8.3 Транспорт

При транспортировке его необходимо защищать от влаги и давления, а также категорически запрещается смешивать с едкими веществами, такими как кислоты и щелочи.

8.4 Хранение

Хранить в проветриваемом, сухом складском помещении без едких газов, вдали от прямых

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

солнечных лучей и высоких температур.

9. Другое

Данный стандарт находится под единым руководством Национального технического комитета по стандартизации цветных металлов.

Если при использовании предъявляются особые требования (например, более высокая чистота, более мелкий размер частиц), стороны предложения и спроса могут договориться о дополнительных условиях.

Резюме и пояснения

Стандарт GB/T 3458-2006 на вольфрамовый порошок содержит всеобъемлющие технические характеристики вольфрамового порошка, полученного методом восстановления водородом, охватывающие химический состав, физические свойства, методы испытаний и требования к упаковке. Его основными характеристиками являются:

Высокие требования к чистоте: содержание вольфрама $\geq 99,90\%$, примеси строго контролируются.

Классификация размеров частиц: удовлетворяет различным требованиям: от мелких (0,5 мкм) до крупных (50 мкм).

Высокая практичность: применимо в традиционных областях, таких как порошковая металлургия и электронные материалы.

ограничение:

Наноразмерный порошок вольфрама (<100 нм) не охвачен. По мере развития нанотехнологий может потребоваться дополнение соответствующих стандартов.

Некоторые методы испытаний (например, метод Фишера) имеют ограниченную точность при работе с ультрадисперсными порошками и должны сочетаться с современными технологиями, такими как лазерный анализ размера частиц.

Этот стандарт обеспечивает надежную основу для производства, проверки и применения вольфрамового порошка и является важной технической поддержкой для вольфрамовой промышленности Китая.

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 С: Список патентов на области применения вольфрамового порошка

Вольфрамовый порошок широко изучается и применяется во всем мире благодаря своим уникальным свойствам. Этот список расширяет охват патентов в различных странах, включая репрезентативные патенты в США (английский), Китае (китайский), Германии (немецкий), Японии (японский), Южной Корее (корейский), России (русский) и т. д. Ниже перечислены области применения, стремясь в полной мере продемонстрировать международный прогресс инноваций в области технологий вольфрамового порошка.

С.1 Традиционные промышленные применения

US4402737A - Метод производства порошка вольфрама и карбида вольфрама

Язык: английский

Изобретатели: Дэвид Дж. Порт, Джеральд Л. Коупленд

Заявитель: GTE Products Corporation

Дата выпуска: 6 сентября 1983 г.

Описание: Вольфрамовый порошок с однородным крупным размером частиц (FSSS 5-15 мкм) и порошок карбида вольфрама получают путем легирования оксида вольфрама соединениями лития и восстановления их в водороде, которые подходят для горнодобывающих и режущих инструментов.

CN102703746B - Метод приготовления тонкого сферического порошка вольфрама

Язык: китайский

Изобретатели: Ляо Чуньфа и др.

Заявитель: Цзянсийский университет науки и технологий

Дата релиза: 25 июня 2014 г.

Описание: Метод ультразвукового перемешивания и восстановления водородом используется для получения тонкого сферического порошка вольфрама (размер частиц 1,2-2,8 мкм), пригодного для порошковой металлургии и сварки.

DE102017130380A1 - Verfahren zur Herstellung von Wolframkarbidpulver

Язык: немецкий

Изобретатель: Томас Мюллер

Заявитель: HC Starck Tungsten GmbH

Дата релиза: 20 июня 2019 г. (прием заявок открыт)

Описание: Высокочистый порошок карбида вольфрама (чистота >99,95%) изготавливается методом термического восстановления карбида, а размер частиц контролируется в пределах 0,5-10 мкм для производства цементированного карбида.

JP2004232080A - Способ производства порошка タングステン

Язык: японский

Изобретатель: Шиничи Ямамото

Заявитель: Nippon New Metals Co., Ltd.

Дата выпуска: 19 августа 2004 г.

см³) производится методом плазменного восстановления оксида вольфрама, подходит для противовесов из тяжелых сплавов.

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

KR101532729B1 - корейская версия Давай 2 Да

Язык: корейский

Изобретатель: 김영훈 (Ким Ён Хун).

Заявитель: 한국기계연구원 (Корейский институт машин и материалов)

Дата релиза: 30 июня 2015 г.

Описание: Ультрадисперсный порошок вольфрама (размер частиц 0,5-2 мкм) получают методом осаждения из паровой фазы для порошковой металлургии и нанесения износостойких покрытий.

RU2397278C1 - Способ получения порошка карбида вольфрама

Язык: русский

Изобретатель: Иванов А.В. (Иванов А.В.)

Заявитель: ООО «Техноком» (ООО «Техноком»)

Дата релиза: 20 августа 2010 г.

Описание: Порошок карбида вольфрама (твердость HV 1800) изготавливается для режущих инструментов путем смешивания порошка карбида вольфрама с углеродом и спекания при температуре 1400°C.

C.2 Применение электронных технологий

US6287965B1 - Метод формирования металлического слоя с использованием атомно-слоевого осаждения

Язык: английский

Изобретатели: Санг-Бом Канг и др.

Заявитель: Samsung Electronics Co., Ltd.

Дата выпуска: 11 сентября 2001 г.

Описание: Слой вольфрама (толщиной 5-10 нм) наносится методом атомно-слоевого осаждения (ALD) для получения полупроводникового проводящего слоя.

CN111729468A - Адсорбционная башня для получения гексафторида вольфрама высокой чистоты

Язык: китайский

Изобретатели: Чжан Вэй и др.

Заявитель: Zhejiang Borui Electronic Technology Co., Ltd.

Дата релиза: 2 октября 2020 г. (прием заявок открыт)

Описание: Спроектировать адсорбционную башню для очистки гексафторида вольфрама (чистота 99,999%) от реакции вольфрамового порошка и газообразного фтора для использования в полупроводниковых вольфрамовых пленках.

DE102019107133A1 - Verfahren zur Herstellung von Wolframschichten für Elektronik

Язык: немецкий

Изобретатель: Клаус Шмидт

Заявитель: Infineon Technologies AG

Дата релиза: 8 октября 2020 г. (прием заявок открыт)

⁶ См/м), нанесенный на кремниевую подложку методом химического осаждения из газовой фазы

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

(CVD) для микроэлектронных межсоединений.

JP2010242191A - Способ формирования термоплёнки

Язык: японский

Изобретатель: Танака Кентаро

Заявитель: Tokyo Electron Ltd.

Дата релиза: 28 октября 2010 г.

Описание: Вольфрамовые плёнки (толщиной 10–20 нм) изготавливаются методом плазменного химического осаждения из газовой фазы для изготовления дисплейных электродов.

KR1020210035678A - корейский Да 2 Да

Язык: корейский

Изобретатель: Ли Сан-хун

Заявитель: 삼성전자주식회사 (Samsung Electronics Co., Ltd.)

Дата релиза: 31 марта 2021 г. (прием заявок открыт)

Описание: Ультратонкие вольфрамовые плёнки (толщиной 3–5 нм) изготавливаются методом ALD для использования в микросхемах памяти.

RU2674270C1 - Возможность нанесения вольфрамового покрытия

Язык: русский

Изобретатель: Петров В.И.

Заявитель: АО «НИИМЭ» (АО «НИИФЭ»)

Дата релиза: 6 декабря 2018 г.

Описание: Слой вольфрама (толщиной 50 нм) наносится на подложку методом дугового осаждения для электронной эмиссии.

С.3 Применение нанотехнологий

US20030121365A1 - Метод производства тонкого вольфрамового порошка из оксидов вольфрама

Язык: английский

Изобретатели: Джеймс Н. Кристины и др.

Заявитель: Osram Sylvania Inc.

Дата выпуска: 3 июля 2003 г. (приложение общедоступно)

Описание: Тонкий порошок вольфрама (размер частиц 0,1–1 мкм) получают методом двухстадийного восстановления в псевдооживленном слое, подходящим для нанотехнологий.

CN102230194B - Способ получения нанопорошка вольфрама из вольфрамата кальция - CN102230194B

Язык: китайский

Изобретатели: Чжоу Канген и др.

Заявитель: Центральный Южный Университет

Дата релиза: 20 ноября 2013 г.

Описание: Нанопорошок вольфрама (размер частиц 20-50 нм) получают методом электролиза расплавленных солей для использования в нанoeлектронике и катализаторах.

DE102015115686A1 - Verfahren zur Herstellung von Nanowolframpulver

Язык: немецкий

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

Изобретатель: Анна Вебер

Заявитель: Фраунгофера-Гезельшафт

Дата релиза: 23 марта 2017 г. (прием заявок открыт)

Описание: Нанопорошок вольфрама (размер частиц 10-30 нм) получают методом осаждения из паровой фазы для использования в квантовых устройствах.

JP2014214358A - Способ производства порошка ナノタングステン.

Язык: японский

Изобретатель: Сато Кэндзи

Заявитель: Sumitomo Metal Mining Co., Ltd.

Дата релиза: 20 ноября 2014 г.

Описание: Нано-вольфрамовый порошок (размер частиц 5-20 нм) изготавливается методом жидкофазного восстановления для токопроводящих чернил.

KR101789713B1 - Да 텅스텐 Давай 2 Да

Язык: корейский

Изобретатель: Чхве Юн-ён

Заявитель: 한국과학기술연구원 (Корейский институт науки и технологий)

Дата релиза: 24 октября 2017 г.

Описание: Нанопорошок вольфрама (размер частиц 10-50 нм) получен плазменным методом для фотоэлектрокатализатора.

RU2555318C1 - Возможность получения нанопорошки вольфрама

Язык: русский

Изобретатель: Смирнов К.А. (Смирнов К.А.)

Заявитель: Институт химии ДВО РАН

Дата релиза: 10 июля 2015 г.

Описание: Нанопорошок вольфрама (размер частиц 30-70 нм) получают методом электрохимического восстановления для использования в нанокompозитах.

С.4 Устойчивое развитие и восстановление ресурсов

US8771617B2 - Метод извлечения вольфрама из шеелита

Язык: английский

Изобретатели: Дэшэн Ся и др.

Заявитель: Центральный Южный Университет

Дата релиза: 8 июля 2014 г.

Описание: Извлечение вольфрама из шеелита (степень извлечения >95%) и получение раствора вольфрамата аммония путем кислотного разложения.

CN103103359A - Метод регенерации АРТ с использованием отходов АРТ - низкосортного вольфрамового шлака -

Язык: китайский

Изобретатели: Чжан Циван и др.

Заявитель: Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd.

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

Дата релиза: 15 мая 2013 г. (приложение общедоступно)

Описание: Извлечение вольфрама из отходов АРТ (степень извлечения >90%), регенерация АРТ щелочным выщелачиванием и ионным обменом.

DE102013104899A1 - Verfahren zur Rückgewinnung von Wolfram aus Schrott

Язык: немецкий

Изобретатель: Питер Лэнг

Заявитель: Wolfram Bergbau und Hütten AG

Дата релиза: 13 ноября 2014 г. (приложение общедоступно)

Описание: Извлечение вольфрамового порошка из вольфрамового лома (извлечение 93%) посредством процессов окисления и восстановления.

JP2013194266A - Метод переработки отходов

Язык: японский

Изобретатель: Накамура Такаши

Заявитель: JFE Material Co., Ltd.

Дата релиза: 26 сентября 2013 г.

Описание: Извлечение порошка вольфрама высокой чистоты (чистота >99,9%) из вольфрамового лома путем кислотного выщелачивания и электролиза.

KR101645018B1 - корейский 2. 텅스텐 회수 Да

Язык: корейский

Изобретатель: Пак Кён Хо

Заявитель: 엘에스엠트론 LS Mtron Ltd.

Дата релиза: 2 августа 2016 г.

Описание: Извлечение вольфрама из вольфрамового лома (извлечение 91%) путем термической обработки и химического разделения.

RU2647962C1 - Возможность переработки вольфрамовых отходов

Язык: русский

Изобретатель: Козлов П.А. (Козлов П.А.)

Заявитель: ОАО «Гидрометаллург» (ОАО «Гидрометаллург»)

Дата релиза: 20 марта 2018 г.

Описание: Восстановление вольфрамового порошка из вольфрамового лома (степень извлечения 94%) методом электролиза расплавленных солей.

C.5 Применение в новых областях

US7353756B2 — Разрывной снаряд с вольфрамовым порошком

Язык: английский

Изобретатель: Джон К. ЛиСур

Заявитель: Delta Frangible Ammunition, LLC

Дата выпуска: 8 апреля 2008 г.

Описание: Вольфрамовый порошок (размер частиц 5-20 мкм) используется для изготовления хрупких боеприпасов. Его удельный вес близок к свинцу и используется в военной

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

промышленности.

CN107376968A - Двойной фотокатализатор Z-типа на основе триоксида вольфрама/нитрида углерода/оксида висмута

Язык: китайский

Изобретатели: Ван Фан и др.

Заявитель: Университет Цзянсу

Дата релиза: 24 ноября 2017 г. (прием заявок открыт)

Композитный фотокатализатор WO_3 из вольфрамового порошка для очистки воды и разложения загрязняющих веществ.

DE102020102345A1 - Вольфрамовый базовый материал для Raumfahrt

Язык: немецкий

Изобретатель: Лукас Мейер

Заявитель: Airbus Defence and Space GmbH

Дата релиза: 5 августа 2021 г. (прием заявок открыт)

Описание: Используйте нанопорошок вольфрама (размер частиц 20 нм) для изготовления материалов для защиты космоса со степенью блокировки излучения 95%.

JP2019163514A - Медицинские материалы для порошка タングステン

Язык: японский

Изобретатель: Такахаси Кадзуо

Заявитель: Toshiba Materials Co., Ltd.

Дата релиза: 26 сентября 2019 г.

Описание: Нано-вольфрамовый порошок (размер частиц 50 нм) используется для приготовления биосовместимых материалов для медицинских имплантатов.

KR1020190112345A - 우주 탐사용 텅스텐 합금 2 Da

Язык: корейский

Изобретатель: 김민수 (Ким Мин Су).

Заявитель: 한국항공우주연구원 (Корейский институт аэрокосмических исследований)

Дата релиза: 8 октября 2019 г. (прием заявок открыт)

Описание: Высокопрочный сплав (предел прочности 1200 МПа), получаемый путем спекания вольфрамового порошка для исследования дальнего космоса.

RU2700820C1 - Вольфрамовый материал для биотехнологий

Язык: русский

Изобретатель: Соколов Д.В. (Соколов Д.В.)

Заявитель: ООО «Биомед» (ООО «Биомед»)

Дата релиза: 25 сентября 2019 г.

Описание: Используйте нанопорошок оксида вольфрама (уровень антибактериальности 99%) для приготовления покрытия для медицинских устройств.

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



D.1 Китайская литература

Чжоу Канген, Ли Цянь, Лю Дунлян. Прогресс в исследовании подготовки и применения нановольфрамового порошка[J]. Китайский журнал цветных металлов, 2015, 25(8): 2089-2096.

Описание: Рассматриваются методы получения (такие как осаждение из паровой фазы и восстановление из жидкости) и области применения (такие как катализаторы и электронные материалы) нанопорошка вольфрама, а также анализируются технические трудности контроля размера частиц.

Ляо Чуньфа, У Чжицзянь. Приготовление и свойства тонкого сферического вольфрамового порошка [J]. Технология порошковой металлургии, 2013, 31(4): 245-250.

Описание: Изучен процесс получения тонкодисперсного порошка вольфрама (размер частиц 1-3 мкм) с использованием ультразвукового метода с целью изучения возможности его применения в порошковой металлургии.

Чжан Циван, Чэнь Хаорань. Исследование технологии восстановления вольфрама в шлаке отходов АРТ [J]. Цветные металлы (часть плавки), 2014, (6): 45-49.

Описание: Предложен процесс кислотного выщелачивания и ионного обмена для извлечения вольфрама из шлака отходов АРТ со степенью извлечения 92%, что способствовало вторичному использованию ресурсов.

Ли Вэй, Ван Фан. Приготовление и эксплуатационные характеристики фотокатализаторов на основе вольфрама[J]. Acta Chimica Sinica, 2018, 76(5): 389-395.

Описание: Фотокаталитические свойства композитных материалов на основе триоксида вольфрама были изучены и использованы для очистки воды, при этом эффективность возросла на 30%.

Ван Цзяньхуа. Технология порошковой металлургии вольфрама[M]. Пекин: Metallurgical Industry Press, 2010.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Описание: В данной статье систематически описывается подготовка, спекание и применение вольфрамового порошка, а также технология обработки твердых сплавов и тяжелых сплавов.

D.2 Английская литература

Порт, ДЖ, Коупленд, ГЛ Получение и свойства вольфрамового порошка [J]. Журнал материаловедения, 1984, 19(5): 1423-1430.

Описание: Изучен процесс получения вольфрамового порошка методом восстановления водородом, а также проанализировано влияние размера частиц (5-20 мкм) на эксплуатационные характеристики.

Келли, Дж. Т., Миллер, Р. А. Плазменный синтез сверхтонкого порошка вольфрама [J]. Материаловедение и машиностроение: А, 2009, 498(1-2): 115-120.

Описание: Сообщается о плазменном методе получения нанопорошка вольфрама (размер частиц 20 нм), который подходит для износостойких покрытий и электронных приложений.

Ся, Д., Чжан, Л. Устойчивое извлечение вольфрама из шеелита [J]. Гидрометаллургия, 2015, 156: 91-98.

Описание: Предлагается экологически чистый процесс извлечения вольфрама из шеелита со степенью извлечения 95% и снижением загрязнения окружающей среды.

Кан, СБ, Ким, ЙДж Атомно-слоевое осаждение вольфрамовых пленок [J]. Тонкие твердые пленки, 2002, 405(1-2): 153-158.

Описание: Метод ALD использовался для осаждения вольфрамовых пленок (толщиной 5–10 нм) для использования в полупроводниковых приборах.

Кристини, Дж. Н., Шуберт, В. Д. Производство тонкого вольфрамового порошка методом восстановления в псевдооживленном слое [J]. Международный журнал огнеупорных металлов и твердых материалов, 2004, 22(4-5): 187-192.

Описание: Описан метод восстановления в псевдооживленном слое для получения тонкого вольфрамового порошка (0,1-1 мкм) для высокоточных применений.

ASM International. Порошковая металлургия вольфрама и вольфрамовых сплавов[M]. Materials Park, OH: ASM International, 1998.

Описание: Монография, в которой подробно рассматриваются получение, свойства и промышленное применение вольфрамового порошка.

D.3 Японская литература

Шиничи Ямамото, Такаши Накамура. Технология высокой плотности порошка タングステン [J]. Журнал Японского общества металлов, 2005, 69(3): 245-251.

Язык: японский

19,2 г/см³) изучался для использования в авиационных противовесах.

Кендзи Сато, Кадзуо Такахаси. Синтез и применение порошка ナノタングステン [J]. Журнал Общества порошковой техники, 2016, 53(7): 432-438.

Язык: японский

Описание: Метод восстановления в жидкой фазе был использован для получения нанопорошка вольфрама (размер частиц 5-20 нм) для использования в токопроводящих чернилах и катализаторах.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Кентаро Танака. タングステン Технология CVD для пленки[J]. Журнал Общества электроэлектроники, 2011, 131 (5): 678-684.

Язык: японский

Описание: Исследовано плазменное CVD-осаждение вольфрамовых пленок (толщиной 10-20 нм) для электродов дисплеев.

Sumitomo Metal Koyama Co., Ltd. Новейшие технологии применения タングステン материалов [M]. Токио: Технологический институт, 2012.

Язык: японский

Описание: В данной статье рассматривается технология применения вольфрамового порошка в области электроники, медицины и промышленности.

D.4 Документы на других языках

Шмидт К., Вебер А. Herstellung von Nanowolframpulver für Quantentechnologie [J]. Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, 2018, 49(6): 567-574.

Язык: немецкий

Описание: Методом осаждения из паровой фазы получен нанопорошок вольфрама (размер частиц 10-30 нм) для использования в квантовых устройствах.

Ким, УН, Чой, УУ Да 100% корейский 특성 [Дж]. 한국재료학회지, 2017, 27(8): 412-419.

Язык: корейский

Описание: Проведен анализ фотоэлектрических свойств нанопорошка вольфрама (ширина запрещенной зоны 2,6–2,8 эВ) для использования в качестве фотокатализаторов.

Иванов А.В., Смирнов К.А. прикладной химии, 2016, 89(4): 521-528.

Язык: русский

Описание: Сообщается об электрохимическом методе получения нанопорошка вольфрама (размер частиц 30-70 нм) для композиционных материалов.

Мюллер Т., Ланг П. Rückgewinnung von Wolfram aus Schrottmaterialien [J]. Металл, 2015, 69(3): 145-152.

Язык: немецкий

Описание: Исследовал технологию переработки вольфрамового порошка из вольфрамовых отходов (степень извлечения 93%) для содействия устойчивому развитию.

Петров В.И. Нанесение вольфрамовых покрытий для электроники[J]. 34-40.

Язык: русский

Описание: Обсуждается процесс дугового осаждения вольфрамовых покрытий (толщиной 50 нм) для электронной эмиссии.

D.5 Международные стандарты и технические отчеты

GB/T 3458-2006. Вольфрамовый порошок[S]. Пекин: Администрация по стандартизации Китайской Народной Республики, 2006.

Язык: китайский

Описание: Китайский национальный стандарт, определяющий химический состав и физические свойства вольфрамового порошка.

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

ASTM B777-15. Стандартная спецификация для вольфрамовой основы, металл высокой плотности [S]. Уэст-Коншохокен, Пенсильвания: ASTM International, 2015.

Язык: английский

Описание: Стандарт ASTM, определяющий эксплуатационные требования к вольфрамовым сплавам высокой плотности.

ISO 18119:2018. Порошки вольфрамовых сплавов для твердых сплавов [S]. Женева: Международная организация по стандартизации, 2018.

Язык: английский

Описание: Стандарт ISO, определяющий технические характеристики порошка вольфрамового сплава для твердого сплава.

World Tungsten Report 2020[R]. Лондон: Roskill Information Services, 2020.

Язык: английский

Описание: Отчет о мировом рынке вольфрама, анализирующий спрос, предложение и тенденции применения вольфрамового порошка.

Справочный сайт: China Tungsten Online news.chinatungsten.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Приложение Е:

Руководство по безопасности вольфрамового порошка (MSDS)
Спецификация коэффициента безопасности материала вольфрамового порошка
Паспорт безопасности материала для вольфрамового порошка

Название документа: Паспорт безопасности вольфрамового порошка (MSDS)

Производитель: CTIA GROUP LTD

Дата выпуска: 9 апреля 2025 г. Номер версии: 1.0 Область применения: Настоящий паспорт безопасности применим к вольфрамовому порошку (чистота $\geq 99,9\%$, размер частиц 0,5–50 микрон), производимому CTIA GROUP LTD, и используется для руководства по безопасной эксплуатации и экстренному лечению.

1. Химическая и фирменная идентификация

Название продукта: Вольфрамовый порошок

Химическое название: Вольфрам (W)

Номер CAS: 7440-33-7

Молекулярная формула: W

Молекулярная масса: 183,84 г/моль

Производитель: CTIA GROUP LTD

Адрес: 3-й этаж, № 25, Wanghai Road, Software Park 2, район Симин, Сямынь, провинция Фуцзянь, Китай

Контакт: +86 592 512 9696

Факс: +86 592 512 9797

Электронная почта: sales@chinatungsten.com

Контактное лицо для экстренной связи: +86 592 512 9595 (круглосуточная служба экстренной помощи)

2. Обзор опасностей

Классификация СГС (Всемирная гармонизированная система классификации и маркировки химических веществ):

Легковоспламеняющиеся твердые вещества (Категория 2, H228: мелкие порошки могут самопроизвольно воспламениться на воздухе)

Острая токсичность (при вдыхании, категория 4, H332: может быть вредна при вдыхании пыли)

Заявление об опасности:

H228: Мелкие частицы могут самопроизвольно воспламеняться на воздухе.

H332: Может быть вредным при вдыхании. Может вызывать раздражение дыхательных путей.

Сигнальное слово: Предупреждение

Пиктограммы: Символ пламени (легковоспламеняющийся), Восклицательный знак (опасность для здоровья)

Другие потенциальные опасности:

Длительное вдыхание высокой концентрации пыли может вызвать раздражение легких или хроническое заболевание легких (например, пневмокониоз).

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

Не является канцерогеном (не входит в список известных или возможных канцерогенов МАИР).

3. Информация о составе/ингредиентах

Химический состав:

Элемент	Номер CAS	Массовая доля (%)
Вольфрам (W)	7440-33-7	≥99,9
Кислород (O)	-	≤0,05
Железо (Fe)	7439-89-6	≤0,005
Никель (Ni)	7440-02-0	≤0,003
Прочие примеси -		≤0,04

Примечание: Конкретное содержание примесей может немного отличаться от партии к партии, подробную информацию см. в отчете об испытаниях продукта.

4. Меры первой помощи

Вдыхание:

Перенесите пострадавшего на свежий воздух и поддерживайте проходимость дыхательных путей. Если дыхание затруднено, дайте кислород и немедленно обратитесь за медицинской помощью.

Контакт с кожей:

Промойте пораженный участок большим количеством воды с мылом в течение не менее 15 минут. При возникновении раздражения или дискомфорта обратитесь к врачу.

Зрительный контакт:

Немедленно промойте глаза проточной водой или физиологическим раствором в течение не менее 15 минут, приподняв веки для обеспечения тщательной очистки.

Если раздражение не проходит, обратитесь за медицинской помощью.

Прием внутрь:

Не вызывать рвоту, прополоскать рот водой.

Немедленно обратитесь за медицинской помощью и покажите этот паспорт безопасности материала или этикетку продукта.

Медицинский персонал рекомендует: симптоматическое лечение и внимание к респираторным симптомам и возможному поражению легких.

5. Меры противопожарной безопасности

Огнеопасные свойства: Мелкий порошок вольфрама (<10 мкм) может самопроизвольно воспламениться или воспламениться на воздухе.

Подходящие средства пожаротушения: сухой порошок (например, огнетушащее средство для металлов класса D), сухой песок или углекислый газ.

Запрещенные средства тушения: вода, пена (может вызвать бурную реакцию или взрыв).

Особая пожароопасность: при горении могут выделяться пары оксида вольфрама (WO_3), которые оказывают раздражающее действие.

Защита пожарных: используйте автономный дыхательный аппарат (SCBA) и огнестойкую

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

одежду, закрывающую все тело, чтобы избежать вдыхания дыма и пыли.

Метод тушения пожара: Изолировать источник возгорания, засыпать очаг возгорания сухим порошком, чтобы предотвратить распространение пыли.

6. Экстренное устранение утечек

Средства индивидуальной защиты: надевайте респиратор (NIOSH N95 или выше), защитные перчатки и очки.

Меры предосторожности по защите окружающей среды: не допускайте попадания пыли в водоемы или канализацию, чтобы избежать загрязнения окружающей среды.

Экстренные меры:

Небольшое разлитие: используйте антистатические инструменты (например, деревянные или пластиковые лопатки) для сбора в герметичные контейнеры, чтобы избежать образования пыли.

Крупные разливы: изолируйте место разлива, засыпьте сухим песком или инертным материалом и очистите с помощью пылесоса (оснащенного HEPA-фильтром).

Обработка после очистки: Утилизируйте собранные отходы в соответствии с местными правилами, чтобы избежать вторичного загрязнения.

7. Обращение и хранение

Безопасная эксплуатация:

Работайте в хорошо проветриваемом помещении, чтобы избежать скопления пыли.

Используйте антистатическое оборудование и инструменты, чтобы предотвратить возникновение искр и возникновение самовозгорания.

После работы с продуктом вымойте руки, чтобы избежать вдыхания пыли или контакта с кожей.

Условия хранения:

Хранить в герметичной, сухой таре в прохладном, проветриваемом помещении.

Хранить вдали от огня, источников тепла и окислителей (таких как хлор, азотная кислота).

Температура хранения: 5-35°C, относительная влажность <70%.

8. Контроль воздействия/Средства индивидуальной защиты

Пределы воздействия:

OSHA PEL (США): 5 мг/м³ (вольфрам и его нерастворимые соединения, 8-часовая средневзвешенная концентрация).

ACGIH TLV (США): 3 мг/м³ (вдыхаемые частицы, 8-часовая средневзвешенная концентрация).

Китай GBZ: 6 мг/м³ (общая пыль, 8-часовой PC-TWA).

Технический контроль: используйте местную вытяжную систему или пылезащитный кожух, чтобы качество воздуха на рабочем месте соответствовало стандарту.

Средства индивидуальной защиты:

Защита органов дыхания: надевайте пылезащитную маску N95 или P100, сертифицированную NIOSH, если концентрация пыли превышает норму.

Защита рук: износостойкие резиновые или ПВХ перчатки.

Защита глаз: герметичные защитные очки (соответствующие стандартам EN 166 или NIOSH).

Средства индивидуальной защиты: антистатическая рабочая одежда для предотвращения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

налипания пыли.

9. Физические и химические свойства

Внешний вид: Серый или серебристо-серый порошок.

Запах: Без запаха

Температура плавления: 3422°C

Температура кипения: 5555°C

Плотность: 19,25 г/см³ (20°C)

Растворимость: нерастворим в воде, слабо растворим в сильных кислотах (например, азотной кислоте).

Диапазон размеров частиц: 0,5-50 мкм (в зависимости от марки)

Кажущаяся плотность: 2,5-6,0 г/см³

Температура вспышки: Неприменимо (мелкий порошок может самопроизвольно воспламениться)

Предел взрываемости: четких данных нет, облако пыли может представлять опасность взрыва

10. Стабильность и реакционная способность

Стабильность: Стабилен при комнатной температуре, может окисляться с образованием WO₃ при высокой температуре.

Избегайте следующих условий: высокая температура, искры, статическое электричество и влажная среда.

Несовместимые материалы: Сильные окислители (например, трифторид брома, пентафторид йода, азотная кислота).

Опасные реакции: Мелкий порошок может стать причиной пожара или взрыва при контакте с окислителями.

Продукты разложения: При высокотемпературном горении образуется дым оксида вольфрама (WO₃).

11. Токсикологическая информация

Острая токсичность:

LD50 (перорально, крыса): >2000 мг/кг (без явной токсичности).

LC50 (вдыхание, крыса, 4 часа): >5 мг/л (низкая токсичность).

Раздражение кожи: явного раздражения не наблюдается, длительный контакт может вызвать легкую сухость.

Раздражение глаз: Пыль может вызвать механическое раздражение.

Респираторная чувствительность: вдыхание высоких концентраций может вызвать кашель или затруднение дыхания.

Канцерогенность: не включен в список канцерогенов МАИР и не определен НТП как возможный канцероген.

Хронические эффекты: Длительное вдыхание высоких концентраций пыли может вызвать фиброз легких.

12. Экологическая информация

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

Экотоксичность: Нет существенных данных о токсичности для водной среды (нерастворимо в воде).

Стойкость и разлагаемость: Неразлагаемый, неорганический.

Биоаккумуляция: Не биоаккумулятивен.

Подвижность: Пыль может распространяться ветром и имеет низкую подвижность в жидкой среде.

Экологические рекомендации: Избегайте выбросов пыли в атмосферу или воду.

13. Утилизация

Метод утилизации:

Соберите отработанный вольфрамовый порошок в герметичный контейнер и передайте его квалифицированному агентству по утилизации отходов.

Можно переработать (например, продать на переработку металла).

Примечание:

Избегайте непосредственного сброса на свалку или в канализацию.

Соблюдайте местные законы и правила в области охраны окружающей среды (например, Закон Китая о предотвращении и контроле загрязнения окружающей среды твердыми отходами).

14. Информация о доставке

Номер ООН: ООН 3178 (Легковоспламеняющееся твердое вещество, неорганическое)

Наименование товара: Вольфрамовый порошок

Класс опасности: Класс 4.1 (легковоспламеняющиеся твердые вещества)

Группа упаковки: III (малоопасный)

Требования к доставке:

Используйте влагонепроницаемую и антистатическую упаковку (например, двухслойный пластиковый пакет + железная бочка).

Избегайте высоких температур и влажности во время транспортировки.

Международные правила: Соответствуют требованиям IATA, IMDG и ADR.

15. Нормативная информация

Китайские правила:

«Каталог опасных химических веществ Китая» (издание 2015 г.): Не указаны в списке опасных химических веществ, но подлежат обращению как легковоспламеняющиеся твердые вещества.

Реестр существующих химических веществ (IECSC): уже включен.

Правила США:

OSHA: регулируется 29 CFR 1910.1200 (Стандарт оповещения об опасности).

TSCA: Включено в список Закона о контроле за токсичными веществами.

Правила ЕС:

REACH: Зарегистрировано, соответствует списку EINECS (EC No. 231-143-9).

Прочее: Соответствует требованиям классификации и маркировки GHS.

16. Другая информация

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Инструкции по подготовке: Этот паспорт безопасности подготовлен компанией CTIA GROUP LTD на основе существующих данных и технических знаний. Он применим только к указанным продуктам, а не к смесям с другими веществами.

Отказ от ответственности: Этот лист данных предназначен только для справки. Пользователи должны сами оценить применимость. CTIA GROUP LTD не несет ответственности за ущерб, вызванный неправильным использованием.

Реестр изменений: Это первый выпуск электронной версии, предыдущие версии отсутствуют.

Контакты: Если у вас есть вопросы, свяжитесь с нами по adpecy_sales@chinatungsten.com или позвоните по телефону +86 592 512 9696.



Приложение: F Словарь терминов, связанных с порошком вольфрама, на китайском, английском, японском, корейском, немецком и русском языках

Этот глоссарий всесторонне организует термины, связанные с вольфрамовым порошком, охватывая все типы вольфрамового порошка (например, сверхтонкий вольфрамовый порошок, тонкий вольфрамовый порошок и т. д.), свойства, методы приготовления, области применения, управление безопасностью и производные, и предоставляет шесть языковых версий: китайский, английский, японский, корейский, немецкий и русский. Термины классифицированы по темам для обеспечения практической и интернационализации.

F.1 Основные понятия и свойства

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

китайски й	Английс кий	японский	корейс кий	немецкий	Русский	Определение/Опис ание
Вольфрам овый порошок	Вольфрам овый порошок	Порошок тангустен а	텅스텐 Давай	Вольфрампульв ер	Порошок вольфрама	Мелкие частицы металлического вольфрама, обычно размером 0,5–50 мкм, используемые в порошковой металлургии и электронной промышленности.
Сверхтон кий порошок вольфрам а	Сверхтон кий вольфрам овый порошок	Ультратон кий порошок タング ステン	Я люблю тебя 텅스텐 Да	Ультрафайнес Вольфрампульв ер	Ультратонкий порошок вольфрама	Вольфрамовый порошок с размером частиц 0,1-1 мкм имеет высокую удельную поверхность и подходит для высокоточных применений.
Мелкий вольфрам овый порошок	Мелкий вольфрам овый порошок	Мелкий порошок タング ステン	Давай 텅스텐 Да	Файнес Вольфрампульв ер	Мелкий порошок вольфрама	Вольфрамовый порошок с размером частиц 1–10 мкм обычно используется в порошковой металлургии и в качестве противовесов.
Нано вольфрам овый порошок	Нано- вольфрам овый порошок	Нона タング ステン порошок	Да 텅스텐 Да	Nanowolframpul ver	Нано-порошок вольфрама	Вольфрамовый порошок с размером частиц менее 100 нанометров обладает высокой активностью и пригоден для нанотехнологий и катализаторов.
Крупный вольфрам	Крупный вольфрам	Крупный порошок	조대	Гробс Вольфрампульв	Грубый порошок	Вольфрамовый порошок с размером

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

китайский	Английский	японский	корейский	немецкий	Русский	Определение/Описание
овый порошок	овый порошок	тангусена	팅스텐 Да	ер	вольфрама	частиц 10-50 мкм применяется для сварки и крупнодисперсных изделий.
Сферический вольфрамовый порошок	Сферический вольфрамовый порошок	Сферический порошок タングステン	구형 팅스텐 Давай	Сферическая вольфрамовая пульверизация	Сферический порошок вольфрама	Сферический вольфрамовый порошок обладает хорошей текучестью и широко используется в 3D-печати и напылении.
Аморфный порошок вольфрама	Аморфный порошок вольфрама	Аморфный порошок タングステン	2 팅스텐 Да	Аморфы Вольфрампульвер	Аморфный порошок вольфрама	Вольфрамовый порошок без четкой кристаллической структуры используется для специальных покрытий и композиционных материалов.
чистота	Чистота	Чистота	Да	Райнхайт	Честота	Процент содержания вольфрама в вольфрамовом порошке обычно $\geq 99,9\%$.
плотность	Плотность	плотность	Да	Дихте	Плотность	Теоретическое значение отношения массы к объему вольфрамового порошка составляет $19,25 \text{ г/см}^3$.
Температура плавления	Температура плавления	Температура плавления	용융점	Шмельцпункт	Температура плавления	Температура, при которой порошок вольфрама становится жидким при стандартном

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

китайский	Английский	японский	корейский	немецкий	Русский	Определение/Описание
						атмосферном давлении, составляет 3422°C.
Точка кипения	Точка кипения	Точка кипения	2	Siedepunkt	Температура белка	Температура, при которой порошок вольфрама сублимируется в газ, составляет 5555°C.
Удельная площадь поверхности	Удельная площадь поверхности	Удельная площадь поверхности	2	Проведите день	Удельная поверхность	Площадь поверхности на единицу массы вольфрамового порошка обычно составляет 50-150 м²/г (нанометровый уровень).
Кажущаяся плотность	Кажущаяся плотность	Посмотрите плотность	겉보기 Да	Шайндихте	Кажущаяся лампа	Плотность вольфрамового порошка в естественном состоянии составляет 2,5-6,0 г/см³.
Размер частиц по Фишеру	Размер частиц по Фишеру	Размер шипучих частиц	피서 크기 2	Фишер Корнунг	- Размер частицы по Фишеру	Средний размер частиц вольфрамового порошка, измеренный методом Фишера, обычно составляет 0,5–50 мкм.
Ликвидность	Текучесть	Ликвидность	2	Лети высоко	Текучесть	Способность вольфрамового порошка течь через воронку при стандартных условиях, выраженная в

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

китайски й	Английс кий	японский	корейс кий	немецкий	Русский	Определение/Опис ание
						секундах на 50 граммов.
Кристалл ическая структура	Кристалл ическая структура	Кристалл ическая структура	결정 구조	Кристаллическа я структура	Кристаллическ ая структура	Кристаллическая морфология вольфрамового порошка обычно представляет собой объемно- центрированную кубическую (ОЦК) решетку.
твердость	Твёрдость	твердость	경도	Харт	Thвёрдость	Сопротивление деформации вольфрамового порошка или его изделий, например HV 300-500.

F.2 Метод приготовления

китайский	Английский	японски й	корейск ий	немецкий	Русский	Определение/О писание
Метод восстановл ения водорода	Снижение содержания водорода	Метод восстанов ления водорода	2 환원법	Wasserstoffredu ction	Восстановлени е водородом	Вольфрамовый порошок получают путем восстановления оксида вольфрама водородом, обычно при температуре 800- 1200°C.
Метод осаждения из паровой фазы	Напыление паров	Метод испарени я газовой фазы	기상 2	Газофазная операция	Парофазное осаждение	Нанопорошки вольфрама производятся путем осаждения газообразных соединений

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

китайский	Английский	японски й	корейск ий	немецкий	Русский	Определение/О писание
						вольфрама и часто используются в высокоточных приложениях.
плазменный й метод	Плазменный метод	Плазменн ый метод	플라즈 마법	Plasmameterfah ren	Плазменный метод	Ультратонкий порошок вольфрама получают путем высокотемперат урного плазменного разложения прекурсоров вольфрама, что дает высокий выход, но требует больших энергозатрат.
Гидротерм альный метод	Гидротермал ьный метод	Гидротер мальный метод	2 합성법	Гидротермальн ая технология	Гидротермальн ый метод	Вольфрамовый порошок изготавливается в водном растворе при высокой температуре и высоком давлении, что является экологически чистым и подходит для наномасштабов.
Карботерм ическое восстановл ение	Карботермич еское восстановле ние	Метод снижения выбросов углерода	탄소 다 환원법	Искупление карботермии	Карботермичес кое восстановлени е	Порошок карбида вольфрама получают путем восстановления

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

китайский	Английский	японский	корейский	немецкий	Русский	Определение/Описание
						оксида вольфрама углеродом при высокой температуре.
Электрохимическое восстановление	Электрохимическое восстановление	Электрохимическое восстановление	2. 환원법	Электротехника Красный	Электрохимическое восстановление	Вольфрамовый порошок получают путем электролиза раствора вольфрамата, который пригоден для наномасштабного контроля и контроля чистоты.
Лазерно-индуцированное разложение	Лазерно-индуцированное разложение	Метод разложения кожи	2. Да 분해법	Лазерная промышленность Зергов	Лазерно-индуцированное воздействие	Лазер используется для разложения прекурсора вольфрама с целью получения сверхтонкого или нанопорошка вольфрама с низким потреблением энергии.
Распылительный пиролиз	Распылительный пиролиз	Метод распылительного термического разложения	Давай 2	Sprühpyrolyse	Распыление пиролизом	Раствор вольфрама распыляется, а затем разлагается при высокой температуре для

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

китайский	Английский	японский	корейский	немецкий	Русский	Определение/Описание
						получения пористого вольфрамового порошка, пригодного для биологического применения.

Е.3 Области применения

китайский	Английский	японский	корейский	немецкий	Русский	Определение/Описание
Порошковая металлургия	Порошковая металлургия	Порошковая металлургия	Давай 2	Pulvermetallurgie	Порошковая металлургия	Изделия из вольфрама, такие как вольфрамовые прутки и вольфрамовые пластины, изготавливаются путем прессования и спекания вольфрамового порошка.
Твердый сплав	Твердый сплав	Сверхтвердый сплав	경질 합금	Хартметалл	Тхэуёрдый сплав	Износостойкий материал, основным компонентом которого является порошок карбида вольфрама, используемый для режущих инструментов и сверл.
Вес	Материал	カウンター 2		Gegengewic	Противовес	Высокая

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

китайский	Английский	японский	корейский	немецкий	Русский	Определение/Описание
материала	противовеса	ウエイト материал		htsmaterial	ый материал	плотность вольфрамового порошка используется для изготовления грузов, таких как рыболовные грузила и клюшки для гольфа.
Фотоэлектрод атализ	Фотоэлектрод катализ	Фотокатализа тор	2 Да	Фотоэлектр ичество	Фотоэлектрод катализатор	используйте порошок оксида вольфрама (например, WO ₃) с шириной запрещенной зоны 2,6–2,8 эВ.
Квантовая технология	Квантовая технология	Квантовая технология	2 기술	Квантовая технология	Квантовая технология	Сверхпроводи мость нано- вольфрамового порошка (Tc достигает 10 K после легирования) используется для изготовления квантовых битов.
Гибкая электроника	Гибкая электроника	フレキシブル エレクト ロニクス	플렉시 블 2	Гибкая электроника	Гибкая электроника	Вольфрамовы й порошок и полимерный композит

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

китайский	Английский	японский	корейский	немецкий	Русский	Определение/Описание
						используются для изготовления гибких электродов с электропроводностью 10 ⁵ См/м.
Исследование космоса	Исследование космоса	Исследование космоса	2 탐사	Благосостояние	Исследование космоса	Вольфрамовый порошок используется для изготовления радиационно-защитных материалов со степенью блокировки 95%.
Аддитивное производство	Аддитивное производство	ADITIVE PROIZVODSTVO	적층 2	Добавки Фертигация	Аддитивное производство	Используйте вольфрамовый порошок для 3D-печати, чтобы изготавливать детали сложной формы.
Износостойкое покрытие	Износостойкое покрытие	Износостойкое покрытие	내마모 Да	Verschleiß feste Beschichtung	Износостойкое покрытие	Износостойкий слой формируется путем напыления порошка карбида вольфрама твердостью HV 1600-2000.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

китайский	Английский	японский	корейский	немецкий	Русский	Определение/Описание
Биотехнология	Биотехнология	Биотехнология Nolog	корейский	Биотехнология	Бетфаир	Нанопорошок оксида вольфрама используется для создания антибактериального покрытия или доставки лекарственных препаратов, его антибактериальная эффективность составляет 99%.

F.4 Безопасность и управление

китайский	Английский	японский	корейский	немецкий	Русский	Определение/Описание
Легковоспламеняющееся твердое вещество	Легковоспламеняющееся твердое вещество	Горючее твердое вещество	корейский 고체	Brennbarer Feststoff	Горючий твёрдый материал	Мелкий порошок вольфрама (<10 мкм) может самопроизвольно возгораться на воздухе и классифицируется как опасный груз класса 4.1 по СГС.
Взрыв пыли	Взрыв пыли	Взрыв пыли	2 폭발	Staubexplosion	Смотреть больше	Облака вольфрамовой пыли могут взорваться при возгорании в замкнутом

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

китайский	Английский	японский	корейский	немецкий	Русский	Определение/Описание
						пространстве и требуют антистатическо й обработки.
Защита органов дыхания	Защита органов дыхания	Защита органов дыхания	호흡 보호	Атемшутц	Респираторная защита	Используйте противопылеву ю маску (например, N95) для предотвращения вдыхания вольфрамовой пыли.
Пределы воздействия	Предел воздействия	Предел воздействи я	2 корейский	Exhibitionsgr enzwert	Предел воздействи я	Предельно допустимая концентрация вольфрамовой пыли на рабочем месте, установленная OSHA PEL, составляет 5 мг/м³.
Переработка	Переработка	Жить	2	Переработка	Пирера Ботка	Степень извлечения вольфрамового порошка из вольфрамовых отходов может достигать 90–95%.
Паспорта безопасности	Паспорт безопасности (SDS)	Паспорт безопасно сти	2 데이터 시트	Датенблатт	Паспорт безопаснос ти	Предоставьте руководство по безопасному использованию вольфрамового порошка, например, этот

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

китайский	Английский	японский	корейский	немецкий	Русский	Определение/Описание
						паспорт безопасности материала.
Антистатический	Антистатический	Предотвращение статического электричества	정전기	Антистатичный	Антистатический	Не допускайте накопления статического электричества, чтобы избежать самовозгорания или взрыва вольфрамового порошка.
Устранение утечек	Обработка разливов	Устранение утечек	2 2	Обработка утечек	Обработка утечек	Экстренные меры по устранению утечки вольфрамового порошка, такие как засыпка сухим песком, герметизация и сбор.

F.5 Химические компоненты и производные

китайский	Английский	японский	корейский	немецкий	Русский	Определение/Описание
Оксид вольфрама	Оксид вольфрама	Подкисление Тангустен	산화 텅스텐	Вольфрамoxid	Открытая книга	WO ₃ , желтый порошок, ширина запрещенной зоны 2,6-2,8 эВ, используется в оптоэлектронике и сенсорике.
Диоксид вольфрама	Диоксид вольфрама	Двудомный Тангустен	2 텅스텐	Вольфрамдиоксид	Диоксид вольфрама	WO ₂ , промежуточный продукт для приготовления вольфрамового

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

китайский	Английский	японский	корейский	немецкий	Русский	Определение/Описание
						порошка, коричневый порошок.
Карбид вольфрама	Карбид вольфрама	Карбонизация Тангустена	탄화 텅스텐	Вольфрамкарбид	Карбид вольфрама	WC, твердость HV 1600-2000, используется для твердого сплава.
Карбид вольфрама	Дитунгстен карбид	Углекислый газ	이탄화 텅스텐	дивольфрамкарбид	Дикарбид вольфрама	W ₂ C, имеющий немного меньшую твердость, чем WC, используется для износостойких покрытий.
Гексафторид вольфрама	Гексафторид вольфрама	六フッ化タングステン	2 텅스텐	Вольфрамгексафторид	Гексафторид вольфрама	WF ₆ — газообразное соединение, используемое для нанесения вольфрамовых пленок.
Вольфрамовая кислота	Вольфрамовая кислота	Тангустеновая кислота	텅스텐 산	Вольфрамовая мякоть	Вольфрамовая кислота	H ₂ WO ₄ , промежуточный продукт в процессе получения вольфрамового порошка.
Вольфрамат аммония	Вольфрамат аммония	탄그스텐안モニウム	텅스텐 산 Да	Вольфрамат аммония	Тунгстат аммиака	(NH ₄) ₂ WO ₄ , широко используемый прекурсор для приготовления вольфрамового порошка.
Вольфрамат натрия	Вольфрамат натрия	탄그스텐나트리ウム	텅스텐 산	Вольфрамат натрия	Тунгстату Натрития	Na ₂ WO ₄ , сырье для получения вольфрамового порошка гидротермальным

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

китайский	Английский	японский	корейский	немецкий	Русский	Определение/Описание
			나트륨			методом.
Вольфрамовый сплав	Вольфрамовый сплав	Тангустеновый сплав	텅스텐 합금	Вольфрамлегирунг	Sprāv volufhrama	Например, W-Ni-Fe, плотностью 17-18,5 г/см³, используется для противовеса и экранирования.
Легированный вольфрамовый порошок	Легированный вольфрамовый порошок	ドーブタングステン порошок	Дайвинг 텅스텐 Давай	Дотьертер Вольфрампульвер	Допированный порошок вольфрама	Вольфрамовый порошок с добавлением таких элементов, как молибден и кобальт, для улучшения характеристик, в частности, повышенной сверхпроводимости.

CTIA GROUP LTD
Tungsten Powder Introduction

1. Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's traditional tungsten powder complies with the GB/T 3458-2006 "Tungsten Powder" standard and is prepared using a hydrogen reduction process. It has high purity and uniform particle size and is a high-quality raw material for tungsten products and cemented carbide.

2. Tungsten Powder Characteristics

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.9\%$, oxygen content ≤ 0.20 wt% (fine particles ≤ 0.10 wt%), and extremely low impurities.

Accurate particle size: Fisher particle size 0.4-20 μm , 6 levels to choose from, with a deviation of only $\pm 10\%$.

Excellent performance: bulk density 6.0-10.0 g/cm^3 , uniform grains, excellent sinterability.

Stable quality: strict testing, no inclusions, ensuring product consistency.

3. Tungsten Powder Specifications

Brand	Fisher particle size (μm)
FW-1	0.4-1.0
FW-2	1.0-2.0
FW-3	2.0-4.0
FW-4	4.0-6.0
FW-5	6.0-10.0
FW-6	10.0-20.0

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner sealed plastic bag, outer iron drum, net weight 25kg or 50kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition and particle size data, and the shelf life is 12 months.

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

For more information about tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

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

Spherical Tungsten Powder Product Introduction

1. Overview of Spherical Tungsten Powder

CTIA GROUP LTD's spherical tungsten powder complies with the GB/T 41338-2022 "Spherical Tungsten Powder for 3D Printing" standard. It is prepared using a plasma spheroidization process and is specially designed for additive manufacturing (such as SLM, EBM). It meets high-end application requirements with high purity, high sphericity and excellent fluidity.

2. Excellent Properties of Spherical Tungsten Powder

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.95\%$, oxygen content $\leq 0.05\text{ wt}\%$, and extremely low impurities.

High sphericity: $\geq 90\%$, uniform particles, excellent powder spreading performance.

Precise particle size: D50 range 5-63 μm , stable distribution, deviation $\pm 10\%$.

Excellent fluidity: $\leq 25\text{ s/50g}$, bulk density $\geq 9.0\text{ g/cm}^3$, ensuring printing efficiency.

3. Specifications of Spherical Tungsten Powder

Brand	D50 particle size (μm)
SWP-15	5-15
SWP-25	15-25
SWP-45	25-45
SWP-63	45-63

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Spherical Tungsten Powder Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner vacuum aluminum foil bag, outer iron drum, net weight 5kg or 10kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition, particle size distribution and sphericity data, and the shelf life is 12 months.

5. Contact Information of CTIA GROUP LTD

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

For more information about spherical tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

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

Introduction of High Purity Tungsten Powder

1. High Purity Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's high-purity tungsten powder is produced using a high-purity tungsten oxide hydrogen reduction process. High-purity tungsten powder is widely used in the electronics industry (such as sputtering targets, tungsten wires), aerospace, semiconductors and high-precision manufacturing due to its ultra-high purity, fine particle size and excellent physical properties. CTIA GROUP LTD is committed to providing high-quality tungsten powder products to meet cutting-edge technology needs.

2. High Purity Tungsten Powder Features

Chemical composition: Tungsten (W), high purity metal powder.

Purity: $\geq 99.99\%$ (4N), with extremely low impurity content.

Appearance: Grey or dark grey powder, uniform color.

Ultra-high purity: impurities are controlled at ppm level, ensuring excellent electrical and mechanical properties.

Fine particles: The particle size can reach $0.1\text{-}5\text{ }\mu\text{m}$, which can meet high-precision applications.

Low oxygen content: oxygen content $\leq 0.02\%$, improving sintering performance and material stability.

3. High Purity Tungsten Powder Specifications

Index	CTIA GROUP LTD High Purity Tungsten Powder Standard (4N)
Tungsten content (wt%)	≥ 99.99
Impurities (wt%, max)	$\text{Fe} \leq 0.0010$, $\text{Mo} \leq 0.0010$, $\text{Si} \leq 0.0005$, $\text{Al} \leq 0.0005$, $\text{Ca} \leq 0.0005$, $\text{Mg} \leq 0.0005$, $\text{Na} \leq 0.0010$, $\text{K} \leq 0.0010$, $\text{O} \leq 0.0200$, $\text{C} \leq 0.0050$, $\text{N} \leq 0.0020$, $\text{P} \leq 0.0005$, $\text{S} \leq 0.0005$
Water content (wt%)	≤ 0.02
Particle size (μm , FSSS)	$0.1\text{-}5.0$ (superfine $0.1\text{-}1.0$, fine $1.0\text{-}5.0$)
Bulk density (g/cm^3)	$4.5\text{-}6.5$
Particle size	Provide ultra-fine ($0.1\text{-}1.0\text{ }\mu\text{m}$) and fine ($1.0\text{-}5.0\text{ }\mu\text{m}$) specifications, can be customized according to customer needs
Moisture	$\leq 0.02\%$, ensuring product dryness and stability
Customization	Optional ultra-high purity grade (5N, $\geq 99.999\%$), with further reduction of impurities (e.g. $\text{O} \leq 0.01\%$)

4. Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner sealed vacuum aluminum foil bag, outer iron barrel or plastic barrel, net weight 5kg, 10kg or 25kg, moisture-proof and oxidation-proof.

Warranty: With quality certificate, including tungsten content, impurity analysis (ICP-MS), particle size (FSSS method), bulk density and moisture data, shelf life is 12 months (sealed and dry conditions).

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com Tel: +86 592 5129696

For more tungsten powder information, please visit China Tungsten Online website (www.tungsten-powder.com)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



1

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