

Энциклопедия вольфрамовых стержней

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

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

ЗНАКОМСТВО С CTIA GROUP

CTIA GROUP LTD, дочерняя компания с независимой правосубъектностью, учрежденная 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 — первый в Китае веб-сайт высшего уровня по вольфрамовым продуктам — является новаторской компанией электронной коммерции в стране, специализирующейся на вольфрамовой, молибденовой и редкоземельной промышленности. Опираясь на почти тридцатилетний опыт работы в области вольфрама и молибдена, CTIA GROUP наследует исключительные возможности своей материнской компании в области проектирования и производства, превосходные услуги и глобальную деловую репутацию, став поставщиком комплексных прикладных решений в области химических веществ вольфрама, металлов вольфрама, твердых сплавов, сплавов высокой плотности, 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 элементами. С 2013 года официальный аккаунт WeChat «CHINATUNGSTEN ONLINE» опубликовал более 40 000 единиц информации, обслуживая почти 100 000 подписчиков и ежедневно предоставляя бесплатную информацию сотням тысяч профессионалов отрасли по всему миру. Благодаря совокупному количеству посещений веб-сайта и официального аккаунта, достигшему миллиардов раз, компания стала признанным глобальным и авторитетным информационным центром для вольфрамовой, молибденовой и редкоземельной отраслей, предоставляющим 24/7 многоязычные новости, характеристики продукции, рыночные цены и услуги по рыночным тенденциям.

Опираясь на технологии и опыт CHINATUNGSTEN ONLINE, CTIA GROUP фокусируется на удовлетворении индивидуальных потребностей клиентов. Используя технологию искусственного интеллекта, она совместно с клиентами разрабатывает 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 интегрированные услуги, начиная от вскрытия пресс-форм, пробного производства и заканчивая отделкой, упаковкой и логистикой. За последние 30 лет компания CHINATUNGSTEN ONLINE предоставила услуги по исследованиям и разработкам, проектированию и производству более 500 000 видов вольфрамовых и молибденовых изделий для более чем 130 000 клиентов по всему миру, заложив основу для индивидуального, гибкого и интеллектуального производства. Опираясь на эту основу, CTIA GROUP еще больше углубляет интеллектуальное производство и интегрированные инновации в области вольфрама и молибдена в эпоху промышленного интернета.

Д-р Ханнс и его команда в CTIA GROUP, основываясь на своем более чем 30-летнем опыте работы в отрасли, также написали и обнародовали знания, технологии, цены на вольфрам и рыночные тенденции, связанные с вольфрамом, молибденом и редкоземельными элементами, свободно делясь ими с вольфрамовой промышленностью. Д-р Хан, обладая более чем 30-летним опытом работы с 1990-х годов в электронной коммерции и международной торговле вольфрамовыми и молибденовыми изделиями, а также в разработке и производстве цементированных карбидов и сплавов высокой плотности, является признанным экспертом в области вольфрама и молибдена как внутри страны, так и за рубежом. Придерживаясь принципа предоставления профессиональной и качественной информации отрасли, команда CTIA GROUP постоянно пишет технические исследовательские работы, статьи и отраслевые отчеты, основанные на производственной практике и потребностях клиентов на рынке, завоевав широкое признание в отрасли. Эти достижения обеспечивают надежную поддержку технологических инноваций, продвижения продукции и отраслевых обменов CTIA GROUP, что позволяет ей стать лидером в мировом производстве вольфрамовой и молибденовой продукции и информационных услугах.



Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

CTIA GROUP LTD Tungsten Rods Introduction

1. Overview of Tungsten Rods

Tungsten rods are high-performance metallic bars made from tungsten powder (purity $\geq 99.95\%$) using powder metallurgy processes such as pressing, sintering, and swaging. With their extremely high melting point, excellent mechanical properties, and outstanding chemical stability, tungsten rods are widely used in industrial fields that demand extreme conditions.

2. Characteristics of Tungsten Rods

- ✓ Ultra-high melting point: Up to 3410°C , suitable for extreme high-temperature environments
- ✓ Excellent strength and hardness: Maintains mechanical performance even at temperatures
- ✓ Good thermal and electrical conductivity: Ideal for precision applications in electronics and heating systems
- ✓ High-density material: Suitable for counterweights and radiation shielding
- ✓ Corrosion and wear resistance: Long service life and excellent stability
- ✓ Low thermal expansion coefficient: Suitable for precision structural components

3. The Main Applications Tungsten Rods

- ✓ Aerospace and defense: Rocket nozzles, armor-piercing projectile cores, high-temperature structural parts
- ✓ Electronics industry: Cathodes, heat sinks, electrodes, contact materials
- ✓ High-temperature furnaces and metallurgy: Heating elements for vacuum furnaces, tungsten crucibles, support components
- ✓ Medical technology: Radiation shielding parts, precision surgical instruments
- ✓ Mechanical engineering: Counterweights, mold inserts, vibration dampers
- ✓ Scientific research equipment: Ultra-high temperature reactors, physical property testing components

4. Basic Data of Tungsten Rods

Item	Parameter
Density	19.3 g/cm ³
Hardness (Vickers HV)	340–400 HV
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Thermal Conductivity	~170 W/(m·K)
Coefficient of Thermal Expansion	~ 4.5×10^{-6} /K
Diameter Range	Ø1.0 mm – Ø100 mm (customizable)
Length Range	100 mm – 1000 mm (up to 2000 mm maximum)
Surface Condition	As-sintered (black), ground, polished

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Каталог

Глава 1 Введение

- 1.1 Определение и обзор вольфрамовых стержней
- 1.2 Важность вольфрамовых стержней в промышленности
- 1.3 Историческая справка и развитие

Глава 2 Виды вольфрамовых стержней

- 2.1 Вольфрамовые стержни классифицируются по составу
 - 2.1.1 Стержни из чистого вольфрама
 - 2.1.2 Вольфрамовые стержни высокой чистоты ($\geq 99.95\%$)
 - 2.1.3 Легированные вольфрамовые стержни (редкоземельное легирование, оксидное легирование)
- 2.2 Вольфрамовые стержни классифицируются в соответствии с технологическим процессом
 - 2.2.1 Стержни из спеченного вольфрама
 - 2.2.2 Кованные вольфрамовые стержни
 - 2.2.3 Прокатанные вольфрамовые стержни
 - 2.2.4 Вытягивание вольфрамовых стержней
 - 2.2.5 Экструдированные вольфрамовые стержни
- 2.3 Вольфрамовые стержни классифицируются в зависимости от их использования
 - 2.3.1 Вольфрамовые стержни промышленного назначения
 - 2.3.2 Вольфрамовые стержни для электроники
 - 2.3.3 Вольфрамовые стержни военного назначения
 - 2.3.4 Прочие вольфрамовые стержни специального назначения
- 2.4 Вольфрамовые стержни классифицируются в соответствии со спецификациями
 - 2.4.1 Вольфрамовые стержни малого диаметра (< 5 мм)
 - 2.4.2 Вольфрамовые стержни среднего диаметра ($5-20$ мм)
 - 2.4.3 Вольфрамовые стержни большого диаметра (> 20 мм)
- 2.5 Вольфрамовые стержни классифицируются в зависимости от состояния их поверхности
 - 2.5.1 Черные кожаные палочки
 - 2.5.2 Палочки для картовых фонарей
 - 2.5.3 Полировальные стержни
- 2.6 Специальные вольфрамовые стержни
 - 2.6.1 Калийно-вольфрамовые стержни
 - 2.6.2 Вольфрамовые стержни, легированные торием
 - 2.6.3 Вольфрамовые стержни, легированные церием
 - 2.6.4 Вольфрамовые стержни, легированные лантаном
 - 2.6.5 Вольфрамовые стержни, легированные цирконием
 - 2.6.6 Вольфрамовые стержни, легированные иттрием
 - 2.6.7 Композитные редкоземельные вольфрамовые стержни
- 2.7 Сравнение международных моделей и марок
 - 2.7.1 Марки стержней из чистого вольфрама
 - 2.7.2 Марки легированных вольфрамовых стержней

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

2.7.4 Отечественные и зарубежные марки (GB/T, ASTM, ISO)

Глава 3 Характеристики вольфрамовых стержней

3.1 Физические свойства вольфрамовых стержней

3.1.1 Высокая температура плавления вольфрамовых стержней

3.1.2 Высокая плотность вольфрамовых стержней

3.1.3 Низкий коэффициент теплового расширения вольфрамовых стержней

3.1.4 Тепло- и электропроводность вольфрамовых стержней

3.1.5 Низкое давление пара вольфрамовых стержней

3.2 Химические свойства вольфрамовых стержней

3.2.1 Коррозионная стойкость вольфрамовых стержней

3.2.2 Химическая стабильность вольфрамовых стержней

3.2.3 Реакционная способность вольфрамовых стержней с другими элементами

3.3 Механические свойства вольфрамовых стержней

3.3.1 Высокая прочность и твердость вольфрамовых стержней

3.3.2 Сопротивление ползучести вольфрамовых стержней

3.3.3 Ударная вязкость и обрабатываемость вольфрамовых стержней

3.4 Сравнение характеристик различных типов вольфрамовых стержней

3.4.1 Стержни из чистого вольфрама и прутья из вольфрама высокой чистоты

3.4.2 Особые свойства легированных вольфрамовых стержней

3.5 Вольфрамовые стержни MSDS от CTIA GROUP LTD

Глава 4 Подготовка и технология производства вольфрамовых стержней

4.1 Подготовка сырья для вольфрамовых стержней

4.1.1 Добыча и очистка вольфрамовой руды

4.1.2 Приготовление вольфрамового порошка

4.1.3 Добавление легирующих элементов и легирующих примесей

4.2 Технология порошковой металлургии вольфрамовых стержней

4.2.1 Смешивание и прессование порошка

4.2.2 Высокотемпературное спекание

4.2.3 Оптимизация эксплуатационных характеристик спеченных вольфрамовых стержней

4.3 Технология обработки деформации вольфрамового стержня

4.3.1 Горячая штамповка (молотковая ковка, ротационная ковка)

4.3.2 Горячая экструзия

4.3.3 Прокатка

4.3.4 Вытягивание

4.4 Подготовка крупногабаритных вольфрамовых стержней

4.4.1 Технические трудности и проблемы

4.4.2 Способ получения вольфрамовых стержней высокой плотности

4.4.3 Оптимизация процессов и инновации

4.5 Технология последующей обработки вольфрамовых стержней

4.5.1 Термическая обработка

4.5.2 Обработка поверхности (полировка, чистка)

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

- 4.5.3 Прецизионная обработка и резка
- 4.6 Технологические характеристики различных типов вольфрамовых стержней
- 4.6.1 Процесс получения стержня из чистого вольфрама
- 4.6.2 Процесс получения вольфрамовых стержней высокой чистоты
- 4.6.3 Процесс легирования вольфрамовым стержнем

Глава 5 Использование вольфрамовых стержней

- 5.1 Промышленное применение вольфрамовых стержней
- 5.1.1 Стержни с вольфрамовым сердечником для кварцевой печи
- 5.1.2 Получение монокристаллических кремниевых пластин
- 5.1.3 Очистка редкоземельных элементов
- 5.1.4 Вольфрамовый тигель для печи из сапфирового стекла
- 5.2 Вольфрамовые стержни используются в военной и национальной обороне
- 5.2.1 Бронебойные ядра
- 5.2.2 Взрывчатые вольфрамовые стержни
- 5.3 Вольфрамовые стержни используются в электронике и освещении
- 5.3.1 Вольфрамовая нить (нить, опорная проволока)
- 5.3.2 Электроды (вольфрамовые электроды, редкоземельные вольфрамовые электроды)
- 5.3.3 Распыление мишеней
- 5.4 Вольфрамовые стержни используются в автомобилестроении и аэрокосмической промышленности
- 5.4.1 Компоненты автомобильной автоматики
- 5.4.2 Высокотемпературные компоненты для аэрокосмической промышленности
- 5.5 Вольфрамовые стержни используются в медицинских и научных исследованиях
- 5.5.1 Медицинские устройства (радиационная защита)
- 5.5.2 Экспериментальное оборудование (высокотемпературные эксперименты)
- 5.6 Вольфрамовые стержни используются в других областях
- 5.6.1 Спортивные товары (дротики из карбида вольфрама)
- 5.6.2 Ювелирные изделия (ювелирные изделия из карбида вольфрама)
- 5.6.3 Специальные инструменты и пресс-формы

Глава 6 Оборудование для производства вольфрамовых стержней

- 6.1 Оборудование для порошковой металлургии вольфрамовых стержней
- 6.1.1 Смесители
- 6.1.2 Прессы
- 6.1.3 Высокотемпературная печь для спекания
- 6.2 Оборудование для обработки деформации вольфрамового стержня
- 6.2.1 Пневматические молоты и электрогидравлические молоты
- 6.2.2 Ротационные обжимные машины
- 6.2.3 Горячие экструдеры
- 6.2.4 Прокатные станы и волочильные машины
- 6.3 Оборудование для последующей обработки вольфрамовых стержней
- 6.3.1 Печи для термообработки

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

- 6.3.2 Оборудование для полировки и очистки
- 6.3.3 Оборудование для прецизионной обработки (токарные станки, шлифовальные станки)
- 6.4 Передовое производственное оборудование для вольфрамовых стержней
 - 6.4.1 Оборудование для плазменного спекания
 - 6.4.2 Вакуумные плавильные печи
 - 6.4.3 Системы автоматического управления и контроля
- 6.5 Выбор оборудования и обслуживание вольфрамовых стержней
 - 6.5.1 Требования к оборудованию для различных типов вольфрамовых стержней
 - 6.5.2 Техническое обслуживание оборудования и управление его жизненным циклом

Глава 7 Отечественные и зарубежные стандарты на вольфрамовые стержни

- 7.1 Международные стандарты на вольфрамовые стержни
 - 7.1.1 Стандарт ISO (ISO 24370: Вольфрам и вольфрамовые сплавы)
 - 7.1.2 Стандарт ASTM (ASTM B777: вольфрамовый сплав высокой плотности)
 - 7.1.3 RWMA класс 13
 - 7.1.4 Другие международные стандарты
- 7.2 Китайский стандарт для вольфрамовых стержней
 - 7.2.1 GB/T 4187-2017 (Национальный стандарт на вольфрамовый стержень)
 - 7.2.2 GB/T 3459-2017 (Вольфрам и вольфрамовые сплавы)
 - 7.2.3 Промышленный стандарт (YS/T 695-2009: Вольфрамовый электрод)
- 7.3 Сравнение стандартов и применимость вольфрамовых стержней
 - 7.3.1 Различия между отечественными и зарубежными стандартами
 - 7.3.2 Стандартные требования к различным типам вольфрамовых стержней
 - 7.3.3 Руководящее значение стандартов для производства и испытаний

Глава 8 Обнаружение вольфрамовых стержней

- 8.1 Испытание физических свойств вольфрамовых стержней
 - 8.1.1 Испытание вольфрамовых стержней на плотность
 - 8.1.2 Испытание на твердость вольфрамовых стержней (Виккерса, Бринелля)
 - 8.1.3 Испытание вольфрамовых стержней на прочность и ударную вязкость
 - 8.1.4 Испытание вольфрамовых стержней на тепловое расширение и теплопроводность
- 8.2 Анализ химического состава вольфрамовых стержней
 - 8.2.1 Спектроскопический анализ (ИСП-МС, РФБ)
 - 8.2.2 Обнаружение микроэлементов и примесей
- 8.3 Анализ микроструктуры вольфрамовых стержней
 - 8.3.1 Наблюдение под микроскопом (СЭМ, ПЭМ)
 - 8.3.2 Размер зерна и однородность микроструктуры
- 8.4 Неразрушающий контроль вольфрамовых стержней
 - 8.4.1 Ультразвуковой контроль
 - 8.4.2 Рентгеновский контроль
 - 8.4.3 Магнитопорошковые испытания
- 8.5 Проверка эксплуатационных характеристик вольфрамовых стержней
 - 8.5.1 Испытание на работу при высоких температурах

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

- 8.5.2 Испытание на коррозионную стойкость
- 8.5.3 Испытание на проводимость и ползучесть
- 8.6 Ключевые моменты обнаружения различных типов вольфрамовых стержней
- 8.6.1 Обнаружение чистых вольфрамовых стержней
- 8.6.2 Обнаружение вольфрамовых стержней высокой чистоты
- 8.6.3 Обнаружение легированных вольфрамовых стержней

Глава 9 Состояние отрасли вольфрамовых стержней и тенденции развития

- 9.1 Обзор рынка вольфрамовых стержней в Китае
- 9.1.1 Анализ рыночного спроса и предложения
- 9.2 Обзор международного рынка вольфрамовых стержней
- 9.2.1 Основные страны и регионы-экспортеры
- 9.2.2 Зависимость от импорта и состояние цепочки поставок
- 9.3 Тенденции развития технологий вольфрамовых стержней
- 9.3.1 Новые материалы и технологии легирования
- 9.3.2 Зеленое производство и энергосберегающие технологии
- 9.3.3 Интеллектуальное и автоматизированное производство
- 9.4 Проблемы и возможности вольфрамовых стержней
- 9.4.1 Технические узкие места и прорывы
- 9.4.2 Рыночная конкуренция и глобализация
- 9.4.3 Требования в области охраны окружающей среды и устойчивого развития

Глава 10 Выводы

- 10.1 Основная ценность и перспективы применения вольфрамовых стержней
- 10.2 Будущее направление развития вольфрамовых стержней
- 10.3 Рекомендации по развитию отрасли

Приложение

- A. Глоссарий
- B. Ссылки

Глава 1 Введение

1.1 Определение и обзор вольфрамовых стержней

Вольфрамовый стержень представляет собой металлический материал в форме стержня, изготовленный из вольфрама (символ химического элемента W, атомный номер 74) или его сплава в качестве основного компонента, с помощью процессов порошковой металлургии,ковки, волочения или экструзии. Вольфрамовые стержни известны своими превосходными физическими, химическими и механическими свойствами, включая чрезвычайно высокую температуру плавления (3410°C), высокую плотность (19,25 г/см³), отличную коррозионную стойкость и отличную механическую прочность. Эти свойства делают вольфрамовые стержни незаменимыми во многих требовательных отраслях промышленности, таких как аэрокосмическая, электронная, военная, медицинская и высокотемпературная промышленность.

Основной состав вольфрамового стержня

Вольфрамовые стержни можно разделить на три категории в зависимости от их состава: чистые вольфрамовые стержни, вольфрамовые стержни высокой чистоты и легированные вольфрамовые стержни.

Чистый вольфрамовый стержень: с вольфрамом высокой чистоты (чистота $\geq 99,9\%$) в качестве основного компонента, он подходит для высокотемпературных, высокопрочных и коррозионностойких сред, таких как катоды вакуумных трубок, мишени рентгеновских трубок и стержни сердечника высокотемпературных печей в электронной промышленности.

Вольфрамовый стержень высокой чистоты ($\geq 99,95\%$): вольфрам с чистотой 99,95% или более и очень низким содержанием примесей (<50 ppm) предназначен для полупроводниковых, медицинских и высокотехнологичных электронных устройств, требующих высокой чистоты и точности, таких как компоненты устройств ионной имплантации и мишени для распыления.

Легированный вольфрамовый стержень (легирование редкоземельными элементами, легирование оксидами): редкоземельные элементы (такие как церий, лантан, иттрий) или оксиды (такие как оксид тория, цирконий) добавляются в вольфрамовую матрицу для улучшения стабильности дуги, сопротивления ползучести и производительности обработки, а также широко используются в сварочных электродах (таких как аргонодуговые сварочные электроды) и элементах высокотемпературных печей.

Форма и технические характеристики вольфрамового стержня

Вольфрамовые стержни бывают различных форм, с диаметром от микрон (например, тянутые вольфрамовые стержни для нитей) до десятков миллиметров (например, крупномасштабные промышленные вольфрамовые стержни). Их длина часто настраивается в соответствии с потребностями приложения, варьируясь от нескольких сантиметров до нескольких метров. Состояние поверхности также варьируется в зависимости от процесса обработки, включая черные стержни (необработанные с оксидным слоем), полировальные стержни (гладкая поверхность после обработки) и полировальные стержни (с чрезвычайно

высокой чистотой поверхности для прецизионных работ).

Процесс подготовки вольфрамового стержня

Вольфрамовые стержни обычно получают по технологии порошковой металлургии, а основной процесс включает в себя:

Приготовление вольфрамового порошка: вольфрамовый порошок высокой чистоты очищается от вольфрамовой руды (например, вольфрамита или шеелита).

Прессование порошка и спекание: вольфрамовый порошок прессуется в заготовку и спекается при высокой температуре (2000-3000°C) с образованием плотного спеченного вольфрамового стержня.

Деформационная обработка: дальнейшая обработка методом горячей штамповки, ротационной обжимки, прокатки или волочения для улучшения плотности и механических свойств материала.

Постобработка: включая термическую обработку, полировку поверхности или очистку в соответствии с конкретными потребностями применения.

Уникальные свойства вольфрамовых стержней

Вольфрамовым стержням отдают предпочтение из-за их уникального сочетания свойств:

Высокая температура плавления: вольфрам имеет самую высокую температуру плавления среди всех металлов и подходит для сред с экстремально высокими температурами, таких как кварцевые печи и печи с сапфировым кристаллом.

Высокая плотность: близость к плотности золота дает ему преимущество в областях, где требуются высококачественные противовесы, таких как аэрокосмические весы.

Коррозионная стойкость: Вольфрам обладает отличной коррозионной стойкостью к большинству кислот и оснований при комнатной температуре и будет медленно реагировать только в высокотемпературных и сильных окислительных средах (таких как азотная кислота).

Механическая прочность: вольфрамовый стержень по-прежнему сохраняет высокую прочность и сопротивление ползучести при высоких температурах и подходит для деталей с длительными нагрузками.

Электро- и теплопроводность: Хотя он менее проводящий, чем металлы, такие как медь, его стабильность при высоких температурах делает его отличным для электродов и нитей.

Классификация и номенклатура вольфрамовых стержней

Вольфрамовые стержни часто называют в зависимости от их состава, использования или международных стандартов. Например:

Международные стандарты: такие как ASTM B760 (чистый вольфрамовый стержень).

Марки легированных вольфрамовых стержней: такие как WT20 (вольфрамовый стержень, легированный торием), WL15 (вольфрамовый стержень, легированный лантаном, 1,5%), в соответствии со стандартом AWS A5.12.

Национальные стандарты, такие как GB/T 4187-2017, определяют химический состав,

допуски по размерам и требования к эксплуатационным характеристикам вольфрамовых стержней. Эти системы номенклатуры облегчают глобальную торговлю и применение, обеспечивая единообразие и прослеживаемость спецификаций материалов.

Обзор мирового рынка вольфрамовых прутков

Будучи высокоэффективным материалом, вольфрамовый стержень широко используется в глобальных промышленных системах. Китай является крупнейшим в мире производителем вольфрама и вольфрамовой продукции, на долю которого приходится более 80% мирового производства вольфрама, в основном экспортируемого в США, Европу и Японию. Производство вольфрамовых стержней сосредоточено на небольшом количестве специализированных предприятий, а рыночный спрос в основном обусловлен производством полупроводников, новой энергетикой, аэрокосмической и оборонной промышленностью.

Вольфрамовый стержень является экологически чистым и устойчивым

Производство вольфрамовых прутков включает в себя добычу вольфрамовой руды и высокотемпературную обработку, которая является энергоемкой и может производить выхлопные газы и отходы. В последние годы для снижения воздействия на окружающую среду стали внедряться экологически чистые производственные технологии (например, агломерация с низким энергопотреблением, переработка отходов). Кроме того, высокая прочность и пригодность вольфрамовых стержней для вторичной переработки делают их устойчивыми на протяжении всего срока службы.

1.2 Значение вольфрамовых стержней в промышленности

Вольфрамовые стержни играют ключевую роль в мировой промышленности благодаря своим превосходным характеристикам и широко используются в высокотехнологичных, требовательных областях, таких как производство полупроводников, аэрокосмическая, оборонная, энергетическая, медицинская и легкая промышленность. Его важность отражается в его уникальных свойствах, которые отвечают материальным потребностям экстремальных условий, стимулируя технологический прогресс и промышленную эффективность. Важность вольфрамовых стержней в промышленности подробно обсуждается с разных точек зрения.

Основные области применения в высокотемпературных средах

Высокая температура плавления вольфрамового стержня (3410°C) делает его незаменимым материалом в условиях высоких температур. В кварцевой плавильной печи непрерывного действия вольфрамовый стержень используется в качестве стержня, выдерживающего экстремальные температуры более 2000 °C для производства кварцевого стекла высокой чистоты, которое широко используется в оптическом волокне и полупроводниковой промышленности. Точно так же в печи для производства сапфирового стекла вольфрамовые стержни перерабатываются в тигли или подложки для производства искусственных кристаллов сапфира, которые используются в светодиодных подложках и оптических окнах. Сопротивление ползучести вольфрамовых стержней обеспечивает стабильность конструкции даже при длительных высоких температурных нагрузках, которые не имеют

себе равных среди других металлических материалов, таких как никель и молибден.

Основа полупроводниковой и электронной промышленности

Производство полупроводников требует чрезвычайно высокой чистоты и производительности материала, и вольфрамовые стержни играют в этом важную роль. Например, при производстве монокристаллического кремния вольфрамовые стержни используются в качестве нагревательных элементов или опорных конструкций для высокотемпературных печей для обеспечения стабильности и равномерности роста кристаллов. Кроме того, легированные вольфрамовые стержни (такие как вольфрамовые стержни, легированные церием или лантаном) широко используются в качестве аргонодуговых сварочных электродов для прецизионной сварки полупроводникового оборудования, а их превосходная стабильность дуги и износостойкость повышают качество и эффективность сварки. Вольфрамовые стержни также перерабатываются в мишени для распыления для использования в процессах физического осаждения из газовой фазы (PVD) для изготовления тонких пленочных слоев для интегральных схем и дисплеев.

Стратегические материалы в сфере обороны и военного дела

Высокая плотность и твердость вольфрамовых стержней делают их стратегическим материалом для военной промышленности. Стержни из вольфрамового сплава (например, вольфрамового никелево-железного сплава, плотностью до 18,5 г/см³) перерабатываются в бронебойные сердечники для поражения противотанковых и бронированных целей, обладающие высокой кинетической энергией и пробивной способностью, значительно превосходящими таковые у обычных сталей. Кроме того, вольфрамовые стержни были задуманы в концепции «кинетического оружия» как кинетические боеголовки высокой плотности, и хотя они еще не были фактически развернуты, их потенциал показывает важность вольфрамовых стержней в будущих военных технологиях. Высокая термостойкость и коррозионная стойкость вольфрамовых стержней также делают их пригодными для сопел ракет и броневых деталей.

Надежный выбор для аэрокосмической промышленности

Вольфрамовые стержни широко используются в аэрокосмической промышленности, где материалы чрезвычайно требовательны к весу, прочности и устойчивости к высоким температурам. Стержни из вольфрамового сплава используются в качестве противовесов для самолетов и спутников благодаря своей высокой плотности, обеспечивающей точное распределение веса и устойчивость в полете. Например, в несущих винтах вертолетов и системах ориентации космических аппаратов противовесы из вольфрамовых стержней значительно снижают требования к объему. Кроме того, вольфрамовые стержни превращаются в высокотемпературные компоненты, такие как футеровка сопел ракетных двигателей и компоненты тепловой защиты для возвращаемых аппаратов, чьи антиабляционные свойства продлевают срок службы компонентов.

Критически важные компоненты в светотехнической и энергетической промышленности

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

В светотехнической промышленности вольфрамовые стержни являются основным материалом традиционных ламп накаливания и галогенных ламп. Вольфрамовые стержни вытягиваются в нити (которые могут быть до нескольких микрон в диаметре) и используются в качестве нитей, которые излучают свет в течение длительных периодов времени при высоких температурах из-за их высокой температуры плавления и низкого давления пара. Несмотря на то, что светодиодная технология постепенно вытесняет традиционное освещение, вольфрамовая нить по-прежнему незаменима в специальном освещении, таком как фотосветильники и сценические светильники. В области новой энергетики вольфрамовые стержни используются в контрольных стержнях и высокотемпературных экспериментальных устройствах ядерных реакторов для обеспечения безопасности и точности экспериментов.

Уникальный вклад в медицину и науку

Высокая плотность и радиационно-защитная способность вольфрамовых стержней позволяют им сиять в медицинской сфере. Стержни из вольфрамового сплава перерабатываются в коллиматоры и экраны для радиотерапевтического оборудования, которые используются для точного направления рентгеновских или гамма-лучей для защиты пациентов и медицинского персонала от нежелательного излучения. В области научных исследований вольфрамовые стержни используются в качестве нагревательных элементов или электродов в высокотемпературных экспериментальных печах, поддерживая передовые исследования в области материаловедения, физики и химии. Например, в экспериментах по высокотемпературной сверхпроводимости стабильность вольфрамовых стержней обеспечивает надежность экспериментальной среды.

Повышение эффективности и инноваций в промышленности

Разнообразные области применения вольфрамовых стержней не только отвечают существующим промышленным потребностям, но и способствуют технологическим инновациям. Например, в автомобильной промышленности вольфрамовые стержни используются для изготовления износостойких инструментов и пресс-форм для автоматизированных производственных линий, повышая эффективность производства и однородность продукции. В производстве спортивных товаров (например, клюшек для гольфа, дартса) и ювелирной промышленности стержни из вольфрамового сплава обрабатываются в прецизионные компоненты благодаря их высокой плотности и износостойкости для удовлетворения потребительского спроса на высокопроизводительную продукцию. Эти новые области применения демонстрируют широкие возможности адаптации вольфрамовых стержней как в традиционных, так и в современных отраслях промышленности.

Важность экономики и цепочки поставок

Будучи продуктом из редких металлов, вольфрамовый прут занимает важное положение в мировой экономике. Китай является крупнейшим в мире производителем вольфрама, контролируя около 80% рынка вольфрама и продуктов из него, а экспорт вольфрамовых прутков имеет решающее значение для международной цепочки поставок. Высокая

добавленная стоимость и незаменимость вольфрамового прутка делают его стратегическим резервным материалом для промышленной системы многих стран. Например, Соединенные Штаты и Европейский союз классифицируют вольфрам как критически важный минерал, обеспечивая безопасность своей цепочки поставок для поддержки обороны и высокотехнологичного производства.

Вызовы и непреходящее значение

Несмотря на то, что вольфрамовые стержни незаменимы в промышленности, их производство сталкивается с такими проблемами, как высокое энергопотребление, загрязнение окружающей среды и нехватка ресурсов. В центре внимания отрасли стало развитие технологий «зеленого» производства и переработки вольфрамовых отходов. Тем не менее, эти проблемы не уменьшили важности вольфрамовых стержней, а привели к технологическому прогрессу, который позволит им продолжать играть центральную роль в отрасли будущего.

1.3 Историческая справка и развитие

Как важный материал в современной промышленности, процесс разработки вольфрамового стержня тесно связан с открытием, технологией очистки и промышленным применением вольфрама. От открытия вольфрама в конце 18 века до широкого использования вольфрамового стержня в 21 веке, история вольфрамового стержня отражает эволюцию материаловедения, металлургических технологий и промышленных потребностей. Ниже приведена подробная информация об истории вольфрамового стержня и траектории развития его технологии и применения.

Открытие вольфрама и ранние исследования

Открытие вольфрама датируется 1781 годом, когда шведский химик Карл Вильгельм Шееле обнаружил наличие вольфрамовой кислоты, анализируя вольфрамит. В 1783 году испанские братья Хуан Хосе и Фаусто Эльуар впервые выделили вольфрам из вольфрамовой кислоты и назвали ее «вольфрам» (по-шведски «тяжелый камень»), названную так из-за высокой плотности. Ранние исследования вольфрама были в основном сосредоточены на химических свойствах, ограниченных лабораторными масштабами, а промышленное применение вольфрама еще не проводилось из-за его высокой температуры плавления и сложности обработки.

В середине 19 века, с развитием металлургических технологий, постепенно проявилась потенциальная промышленная ценность вольфрама. В 1850-х годах вольфрам начали испытывать в производстве легированных сталей для повышения твердости и износостойкости стали. Однако технология очистки и формовки чистого вольфрама еще не отработана, что ограничивает ее широкое применение.

Первоначальная индустриализация вольфрамовых стержней

Индустриализация вольфрамовых стержней началась в начале 20 века и тесно связана с потребностями светотехнической промышленности. В 1904 году венгерские инженеры

Шандор Юст и Франц Ханаман разработали вольфрамовые лампы накаливания, которые должны были заменить неэффективные лампы с углеродной нитью. Высокая температура плавления вольфрама и низкое давление пара делают его идеальным материалом для филамента, но ранние вольфрамовые нити легко охрупчиваются, что затрудняет их переработку в стержни или нити.

В 1909 году Уильям Д. Кулидж из General Electric изобрел процесс подготовки пластичного вольфрама для производства вольфрамовых стержней и вольфрамовой проволоки с лучшей ударной вязкостью с помощью порошковой металлургии и технологии высокотемпературной штамповки. Этот прорыв позволил наладить массовое производство вольфрамовых стержней, значительно снизив стоимость ламп накаливания и произведя революцию в светотехнической промышленности. Процесс Кулича лежит в основе современного производства вольфрамовых прутков, включая основные этапы прессования порошка, спекания и текстурирования.

Применение вольфрамовых стержней в 20 веке расширилось

В первой половине 20 века применение вольфрамовых стержней распространилось от освещения до нескольких промышленных областей.

Электроника: В 1920-х годах вольфрамовые стержни использовались в катодах и электродах для вакуумных и рентгеновских трубок, а также хорошо зарекомендовали себя в высокотемпературной электронике благодаря своей высокой температуре плавления и электропроводности.

Военная промышленность: Во время Первой мировой войны вольфрам использовался для изготовления высокопрочных легированных сталей для улучшения характеристик танковой брони и артиллерийских снарядов. Во время Второй мировой войны стержни из вольфрамового сплава начали превращать в бронебойные сердечники, что значительно повысило эффективность противотанковых средств.

Технология сварки: В 1940-х годах вольфрамовые стержни были разработаны в качестве электродов для аргонодуговой сварки (сварки TIG), а вольфрамовые стержни, легированные торием (содержащие 2% оксида тория), стали стандартным материалом в сварочной промышленности благодаря их превосходной стабильности дуги.

В этот период технология производства вольфрамовых стержней продолжала совершенствоваться. Оптимизация процесса порошковой металлургии улучшает плотность и механические свойства вольфрамовых стержней, в то время как внедрение технологий деформационной обработки, таких как ротационная ковка и волочение, значительно повышает точность размеров и качество поверхности вольфрамовых стержней.

Стратегическое положение времен холодной войны и вольфрамовые стержни

Во время холодной войны вольфрамовые стержни стали стратегическим материалом для их применения в оборонном и аэрокосмическом секторах. В 1950-1970-е годы стержни из вольфрамового сплава широко использовались в лопатках турбин реактивных двигателей,

компонентах ракет и противовесах космических аппаратов. И США, и Советский Союз включили вольфрам в список критически важных ресурсов, создав запасы для обеспечения безопасности цепочки поставок. Вольфрамовая промышленность Китая также быстро развивалась в этот период, опираясь на богатые ресурсы вольфрамовой руды, став крупнейшим в мире поставщиком вольфрамовой катанки.

В 1960-х годах был сделан прорыв в исследованиях и разработках легированных вольфрамовых стержней. Легированный калием вольфрамовый стержень (WK) улучшает сопротивление ползучести при высоких температурах за счет добавления следовых количеств калия и подходит для высокотемпературных печных элементов. Редкоземельные вольфрамовые стержни (например, легированные церием, лантаном) повышают долговечность и стабильность дуги электрода, постепенно заменяя легированные торием вольфрамовые стержни, которые слабо радиоактивны.

Современные технологии изготовления вольфрамовых стержней и глобализация

В 21 веке применение и технология производства вольфрамового прутка вступили в новый этап.

Полупроводники и новая энергетика: Использование вольфрамовых стержней в производстве монокристаллического кремния, кристаллов сапфира и тонкопленочных солнечных элементов получило широкое распространение. Например, вольфрамовые стержни используются в качестве стержней для высокотемпературных печей и мишеней для распыления, способствуя быстрому развитию полупроводниковой и фотоэлектрической промышленности.

Экологичное производство: С повышением требований к защите окружающей среды, производство вольфрамовых прутков начало внедрять технологию спекания с низким энергопотреблением и процесс переработки отходов. Например, отходы вольфрамовых стержней могут быть химически очищены для переработки в вольфрамовый порошок, что снижает потребление ресурсов.

Новые сплавы и легирование: стержни из вольфрам-никель-медных сплавов используются в медицинских устройствах из-за их немагнитности и высокой плотности, а вольфрамовые стержни, легированные лантаном (WL20), стали основным выбором для сварочных электродов из-за их экологичности.

Мировой рынок вольфрамовых прутков сосредоточен в Китае, на долю которого приходится более 80% мирового производства. Некоторые международные компании присутствуют на рынке высококачественных вольфрамовых прутков, специализируясь на производстве высокоточных и специальных вольфрамовых прутков. Разработка международных стандартов (например, ASTM B777, ISO 24370) и национальных стандартов (например, GB/T 4187-2017) способствовала стандартизированной торговле вольфрамовыми стержнями.

Проблемы и будущее развития вольфрамовых стержней

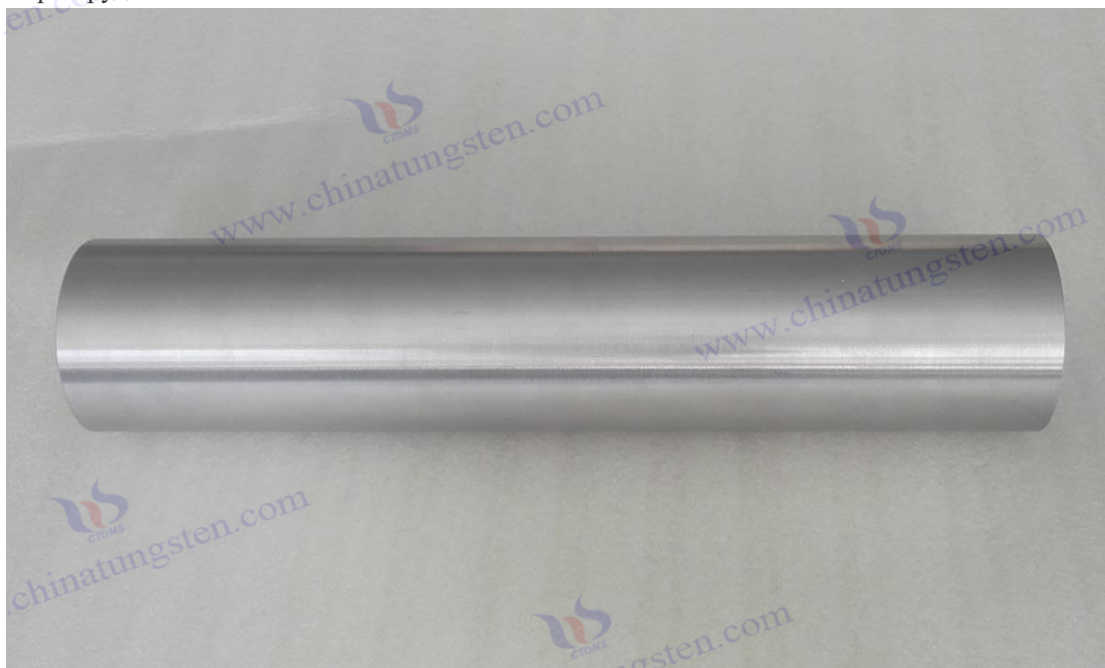
Разработка вольфрамовых стержней сталкивается с такими проблемами, как нехватка

ресурсов, давление на окружающую среду и высокая стоимость. Экологический ущерб, наносимый добычей вольфрама, побудил страны ужесточить регулирование, а высокая температура плавления и высокая твердость вольфрама увеличили сложность переработки и потребление энергии. В дальнейшем направление развития индустрии вольфрамовых прутков включает в себя:

Новые процессы, такие как плазменное спекание и аддитивное производство (3D-печать) для производства деталей вольфрамовых стержней сложной формы.

Новые материалы: разработка низкотоксичных легированных вольфрамовых стержней, которые полностью заменят торий-легированные вольфрамовые стержни.

Экономика замкнутого цикла: увеличение извлечения вольфрама и снижение зависимости от сырой руды.



Вольфрамовые стержни CTIA GROUP LTD

Глава 2 Виды вольфрамовых стержней

Будучи высокоэффективным металлическим материалом, вольфрамовый стержень широко используется в промышленности, электронике, военной, медицинской и научной сферах исследований благодаря своим превосходным физическим, химическим и механическим свойствам. Существует множество их типов, которые можно классифицировать по составу, процессу изготовления, использованию, спецификации, состоянию поверхности, специальному типу и международным стандартам. Цель этой главы — предоставить систематическую и всестороннюю систему классификации, которая обеспечивает углубленное обсуждение определения, характеристик, производственного процесса, сценариев применения, отраслевых проблем и тенденций развития каждого вольфрамового стержня.

2.1 Вольфрамовые стержни классифицируются по составу

Состав вольфрамовых стержней является ключевым фактором при определении его производительности и применения. По различиям в основных компонентах и добавляемых элементах, вольфрамовые стержни можно разделить на три категории: вольфрамовые стержни из чистого вольфрама, вольфрамовые стержни высокой чистоты и легированные вольфрамовые стержни. Давайте разберем каждый из них подробно.

2.1.1 Стержни из чистого вольфрама

Определения и обзор

Чистый вольфрамовый стержень представляет собой стержневой материал, изготовленный из вольфрама (чистота обычно $\geq 99,9\%$) в качестве основного ингредиента благодаря порошковой металлургии и технологии деформационной обработки. Вольфрам (химический символ W, атомный номер 74) известен своей чрезвычайно высокой температурой плавления (3410°C), высокой плотностью ($19,25 \text{ г/см}^3$) и отличной коррозионной стойкостью, что делает чистые вольфрамовые стержни идеальными для высокотемпературных, высокопрочных и устойчивых к коррозии сред. Чистые вольфрамовые стержни обычно содержат следовые примеси (например, железо, никель, углерод), но строго контролируются на уровне ppm для обеспечения химической стабильности и высокотемпературных характеристик.

характерный

Физические свойства: Температура плавления вольфрама является самой высокой из всех металлов, уступая только точке сублимации углерода (около 3550°C). Чистые вольфрамовые стержни имеют плотность, близкую к теоретическому значению $19,25 \text{ г/см}^3$, что сравнимо с золотом, что делает их пригодными для высококачественных противовесов. Чрезвычайно низкий коэффициент теплового расширения ($4,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) обеспечивает стабильность размеров при высоких температурах. Теплопроводность составляет около $173 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, а электропроводность — 18% IACS (Международный стандарт отожженной меди), что подходит для высокотемпературных проводящих применений.

Химические характеристики: Чистый вольфрамовый стержень обладает отличной коррозионной стойкостью к кислотам, щелочам и большинству окислителей при комнатной температуре. Например, соляная кислота, серная кислота и фтористоводородная кислота

мало действуют при комнатной температуре и медленно реагируют только в концентрированной азотной кислоте или расплавленной щелочи при высоких температурах. Низкое давление пара ($<10^{-4}$ Па при 3000 °C) делает его превосходным в вакууме и высокотемпературных средах.

Механические характеристики: высокая твердость (твердость по Виккерсу 350–450 HV), прочность на разрыв 700–1000 МПа, но низкая ударная вязкость, легко образуются микротрещины при обработке. Отличное сопротивление ползучести, длительное напряжение при 2500°C, подходит для деталей, подвергающихся высокотемпературным нагрузкам.

Микроструктура: размер зерна составляет 10–50 мкм после спекания и может быть уточнен до 5–20 мкм после деформации, что снижает пористость и повышает прочность.

Производственный процесс

При производстве чистого вольфрамового стержня в основном используется процесс порошковой металлургии, и процесс выглядит следующим образом:

Приготовление вольфрамового порошка: вольфрамовый порошок экстрагируют из вольфрама (FeMnWO_4) или шеелита (CaWO_4), а вольфрамовый порошок высокой чистоты (размер частиц 0,5–5 мкм, чистота $\geq 99,9\%$) получают методом восстановления водорода. Для процесса восстановления требуется контролируемая температура (600–900 °C) и атмосфера, чтобы избежать окисления или загрязнения углекислым газом.

Прессование: Вольфрамовый порошок формуют в стержневидные заготовки методом холодного изостатического прессования или формования при давлении 100–200 МПа, с плотностью около 50–60% теоретической плотности.

Спекание: спекание при температуре 2000–2800°C в течение 1–3 часов в водородной или вакуумной печи с плотностью заготовок 90–95%. Температура спекания и время выдержки должны точно контролироваться, чтобы сбалансировать рост зерна и устранение пористости.

Деформация: Улучшение механических свойств путем горячей штамповки (ротационная или молотковая обжимная обработка, 1200–1500 °C) или горячей прокатки для увеличения плотности (около 19,25 г/см³). Ротационная обжимная система обеспечивает многократные проходы с небольшой деформацией (10–20%), снижая риск образования трещин.

Последующая обработка: отжиг (1000–1200°C) для снятия внутренних напряжений, токарная обработка или полировка для улучшения качества поверхности, шероховатость поверхности обычно составляет Ra 1,6–3,2 мкм, что соответствует требованиям промышленной точности.

применять

Стержни из чистого вольфрама широко используются в условиях высоких температур и высокой чистоты:

Электронная промышленность: используется в качестве катода вакуумной трубки, мишени для рентгеновской трубки и электроэрозионной обработки (EDM).

Светотехническая промышленность: Вытягивается в вольфрамовые нити накаливания (диаметр 0,01–0,1 мм) для производства ламп накаливания, галогенных ламп и специальных источников света (например, фотографических ламп).

Высокотемпературная печь: используется в качестве стержня кварцевой плавильной печи непрерывного действия, которая может выдерживать высокие температуры выше 2000 °C для

производства кварцевого стекла для оптических волокон; Или в качестве опоры для печи из сапфирового стекла, выращивая кристаллы для светодиодных подложек.

Научные исследования: Используется в качестве нагревательного элемента или электрода в высокотемпературном экспериментальном оборудовании, например, в качестве источника тепла при исследованиях высокотемпературной сверхпроводимости.

Аэрокосмическая промышленность: Перерабатывается в небольшие противовесы для использования в системах ориентации спутников.

Прочие: Используется для высокотемпературных форм и износостойких инструментов, таких как формы для формовки стекла.

Вызовы и тенденции

Задача: Низкая ударная вязкость, легкое растрескивание во время обработки, особенно при волочении малого диаметра, что требует многократного отжига, что увеличивает затраты. Высокотемпературное технологическое оборудование, такое как вакуумные печи для спекания, потребляет энергию и сложно в обслуживании. Примеси может быть трудно контролировать, а следовые количества кислорода или углерода могут привести к снижению производительности.

Тенденция:

Технология плазменного спекания (SPS) используется для снижения температуры спекания до 1800°C, экономии энергии на 30% и уменьшения количества крупнозерен.

Наноразмерный вольфрамовый порошок (размер частиц < 100 нм) используется для увеличения плотности спекания до 98% и улучшения механических свойств.

Разработка автоматизированной системы управления спеканием для мониторинга температуры и атмосферы с помощью датчиков для улучшения однородности продукта.

Изучена технология получения вольфрамового порошка с низким содержанием кислорода (например, плазменная восстановительная терапия) для снижения содержания кислорода до менее чем 10 ppm.

Плюсы и минусы:

Преимущества: Чрезвычайно высокая температура плавления и химическая стабильность, подходит для экстремальных условий; Высокая плотность подходит для противовесов; Нерadioактивный и экологически чистый.

Недостатки: низкая ударная вязкость, сложная обработка; Высокие производственные затраты, особенно при высокоточных вычислениях.

Рынки и стандарты

На долю чистых вольфрамовых стержней приходится около 30% мирового рынка вольфрамовой продукции. Соответствие стандартам включает в себя ASTM B760, GB/T 4187-2017 и ISO 24370. Объем мирового рынка чистых вольфрамовых стержней составил примерно 1 миллиард долларов в 2023 году и, как ожидается, вырастет до 1,5 миллиарда долларов к 2030 году, что обусловлено спросом на полупроводники и аэрокосмическую промышленность.

CTIA GROUP LTD Tungsten Rods Introduction

1. Overview of Tungsten Rods

Tungsten rods are high-performance metallic bars made from tungsten powder (purity $\geq 99.95\%$) using powder metallurgy processes such as pressing, sintering, and swaging. With their extremely high melting point, excellent mechanical properties, and outstanding chemical stability, tungsten rods are widely used in industrial fields that demand extreme conditions.

2. Characteristics of Tungsten Rods

- ✓ Ultra-high melting point: Up to 3410°C , suitable for extreme high-temperature environments
- ✓ Excellent strength and hardness: Maintains mechanical performance even at temperatures
- ✓ Good thermal and electrical conductivity: Ideal for precision applications in electronics and heating systems
- ✓ High-density material: Suitable for counterweights and radiation shielding
- ✓ Corrosion and wear resistance: Long service life and excellent stability
- ✓ Low thermal expansion coefficient: Suitable for precision structural components

3. The Main Applications Tungsten Rods

- ✓ Aerospace and defense: Rocket nozzles, armor-piercing projectile cores, high-temperature structural parts
- ✓ Electronics industry: Cathodes, heat sinks, electrodes, contact materials
- ✓ High-temperature furnaces and metallurgy: Heating elements for vacuum furnaces, tungsten crucibles, support components
- ✓ Medical technology: Radiation shielding parts, precision surgical instruments
- ✓ Mechanical engineering: Counterweights, mold inserts, vibration dampers
- ✓ Scientific research equipment: Ultra-high temperature reactors, physical property testing components

4. Basic Data of Tungsten Rods

Item	Parameter
Density	19.3 g/cm^3
Hardness (Vickers HV)	340–400 HV
Electrical Conductivity (20°C)	$\sim 30\%$ IACS
Thermal Conductivity	$\sim 170 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
Coefficient of Thermal Expansion	$\sim 4.5 \times 10^{-6} / \text{K}$
Diameter Range	$\varnothing 1.0 \text{ mm} - \varnothing 100 \text{ mm}$ (customizable)
Length Range	$100 \text{ mm} - 1000 \text{ mm}$ (up to 2000 mm maximum)
Surface Condition	As-sintered (black), ground, polished

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

2.1.2 Вольфрамовые стержни высокой чистоты ($\geq 99,95\%$)

Определения и обзор

Вольфрамовый стержень высокой чистоты относится к вольфрамовым стержням с чистотой вольфрама 99,95% и более, а содержание примесей (таких как Fe, Ni, C, O) контролируется ниже 50 ppm, который готовится путем многократной очистки и специальных процессов. Вольфрамовые стержни высокой чистоты предназначены для полупроводниковых, медицинских и высокотехнологичных электронных устройств, отвечающих строгим требованиям к чистоте и чистоте. Его свойства близки к теоретическим пределам вольфрама и широко используются в чистых помещениях и высокоточных приложениях.

характерный

Физические свойства: плотность 19,2–19,3 г/см³, близкая к теоретическому значению; Температура плавления составляет 3410 °C, а коэффициент теплового расширения — $4,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. Благодаря чрезвычайно низкому содержанию примесей кристаллическая структура более однородна, а качество поверхности отличное.

Химические свойства: Чрезвычайно химически стабилен, практически не вступает в реакцию с химическими веществами окружающей среды. При высоких температурах он медленно реагирует только с газообразным фтором или сильными окислителями, такими как расплавленная натриевая селитра. Низкое давление пара обеспечивает стабильность в вакуумной среде.

Механические свойства: мелкозернистость (5–15 мкм), твердость по Виккерсу 400–500 HV, прочность на разрыв 800–1100 МПа. Ударная вязкость по-прежнему низкая, и при обработке необходимо избегать образования микротрещин.

Электро- и теплопроводность: удельное сопротивление составляет около 5,3 мОм·см, что немного лучше, чем у чистого вольфрамового стержня (5,5 мОм·см), из-за уменьшения количества примесей. Теплопроводность составляет 173 Вт/м·К, что подходит для высокотемпературной теплопроводности.

Производственный процесс

Производство вольфрамового стержня высокой чистоты добавляет очистку и контроль очистки на основе чистого вольфрамового стержня:

Приготовление вольфрамового порошка высокой чистоты: химическое осаждение из газовой фазы (CVD) или многократное восстановление водорода, содержание примесей снижается до менее чем 50 ppm. В восстановительной печи используется водород высокой чистоты (99,999%), чтобы избежать загрязнения азотом и кислородом.

Вакуумное спекание: спекание при температуре 2600–2800°C в течение 2–4 часов в сверхвысоковакуумной печи (10^{-5} Па) с пористостью <1%. Вакуумная среда препятствует образованию оксидов.

Прецизионная обработка: многопроходная ротационная обжимная или прокатка, температура обработки 1200–1400°C, деформация 10–15%. Поверхность точеная или полированная с шероховатостью Ra 1,6–3,2 мкм.

Контроль качества: Примеси были обнаружены с помощью ICP-MS (масс-спектрометрия с

индуктивно связанной плазмой), а микроэлементы были проанализированы с помощью GD-MS (масс-спектрометрия с тлеющим разрядом). Упаковка для чистых помещений (класс ISO 5) для предотвращения загрязнения поверхности.

применять

Вольфрамовые стержни высокой чистоты используются в областях, где чистота и чистота имеют решающее значение:

Полупроводниковая промышленность: компоненты, используемые в устройствах ионной имплантации (например, электроды ионного источника) диаметром 5–20 мм для обеспечения чистоты пластины.

Мишени для распыления: перерабатываются в мишени (диаметр 50–100 мм) для физического осаждения из газовой фазы (PVD) для производства тонких пленочных слоев для интегральных схем, OLED-дисплеев и солнечных батарей.

Медицинские изделия: для мишеней рентгеновского и компьютерного оборудования для снижения радиационных помех, вызванных примесями, диаметром 10–30 мм.

Аэрокосмическая промышленность: прецизионные компоненты, используемые в качестве оборудования для высокотемпературных испытаний, такие как защитные рукава термпар или высокотемпературные испытательные элементы в аэродинамической трубе.

Научные исследования: используется в качестве электрода высокой чистоты в ускорителях частиц и плазменных исследованиях, выдерживая высокоэнергетические среды.

Новые области применения: Используется в компонентах оборудования EUV (литография в экстремальном ультрафиолетовом диапазоне) для удовлетворения потребностей производства микросхем ниже 7 нм.

Вызовы и тенденции

Задача: высокая стоимость приготовления вольфрамового порошка высокой чистоты, большие инвестиции в оборудование для CVD; Сверхвысоковакуумное спекание предъявляет чрезвычайно высокие требования к герметичности и стабильности оборудования; Обработка в чистых помещениях увеличивает эксплуатационные расходы.

Тенденция:

Технология электролитической очистки была разработана для замены CVD и снижения затрат, с целевой примесью < 20 ppm.

Лазерная обработка поверхности используется для улучшения качества поверхности и снижения зависимости от механической полировки.

Исследования вольфрама сверхвысокой чистоты (99,9999%) для использования в полупроводниковых устройствах следующего поколения, таких как 3-нм литографы.

Внедрите систему контроля качества на основе искусственного интеллекта для мониторинга примесей и дефектов кристаллов в режиме реального времени для повышения выхода продукции.

Плюсы и минусы:

Преимущества: Чрезвычайно высокая чистота обеспечивает стабильную работу и подходит для чистой окружающей среды; Кристаллы однородные, уменьшающие дефекты.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Недостатки: высокая себестоимость продукции, сложная обработка; Строгие требования к оборудованию и окружающей среде.

Рынки и стандарты

Рынок вольфрамовых прутков высокой чистоты сосредоточен на высокотехнологичном производстве. Соответствует требованиям к высокой чистоте ASTM B760, стандарту SEMI (полупроводниковая промышленность) и GB/T 4187-2017. Мировой рынок вольфрамовых стержней высокой чистоты в 2023 году составит около 300 миллионов долларов, в основном за счет полупроводниковой и фотоэлектрической промышленности.

2.1.3 Легированные вольфрамовые стержни (легирование редкоземельными элементами, оксидное легирование)

Определения и обзор

Легированные вольфрамовые стержни — это специальные вольфрамовые стержни, изготовленные путем добавления в вольфрамовую матрицу небольших количеств редкоземельных элементов (например, церия, лантана, иттрия) или оксидов (например, оксида тория, циркония), при этом легирующее количество обычно составляет 0,5–2 мас.%. Легирование улучшает стабильность дуги, сопротивление ползучести, обрабатываемость и срок службы электродов вольфрама, а также широко используется в сварочных электродах, компонентах высокотемпературных печей и электронных устройствах. Легированный вольфрамовый стержень стал ключевым материалом в современной промышленности благодаря своим индивидуальным свойствам.

характерный

Физические свойства: Температура плавления и плотность близки к таковым у чистого вольфрама (3410°C , $19,0\text{--}19,2\text{ г/см}^3$), а легированные элементы измельчают зерно ($5\text{--}15\text{ мкм}$) для улучшения однородности.

Химические свойства: Сохраняет коррозионную стойкость вольфрама, но в высокотемпературных окислительных средах некоторые легированные элементы (например, торий) могут незначительно снижать стабильность. Легирование оксидом тория вносит незначительную радиоактивность и требует специальной обработки.

Механические свойства: Измельчение зерна и упрочнение легирующей примесью повышают прочность на разрыв ($1000\text{--}1200\text{ МПа}$) и ударную вязкость, а также уменьшают количество трещин при обработке. Улучшенное сопротивление ползучести, подходит для длительного использования при высоких температурах.

Электро- и теплопроводность: легирование снижает удельное сопротивление (например, около $5,0\text{ мОм}\cdot\text{см}$ вольфрамового стержня, легированного торием) и улучшает стабильность дуги. Теплопроводность немного ниже, чем у чистого вольфрама (около $160\text{ Вт/м}\cdot\text{К}$).

Основные виды

Легированный редкоземельными элементами вольфрамовый стержень: оксид церия (CeO_2), оксид лантана (La_2O_3) или оксид иттрия (Y_2O_3) добавляются для улучшения характеристик дуги и долговечности, не радиоактивны и соответствуют требованиям защиты окружающей

среды.

Легированные оксидами вольфрамовые стержни: оксид тория (ThO_2) и диоксид циркония (ZrO_2) добавляются для улучшения высокотемпературных характеристик и срока службы электродов, а некоторые типы (например, легированные торием) постепенно исключаются.

Композитные легированные вольфрамовые стержни: комбинируйте различные легирующие примеси (например, $\text{La}_2\text{O}_3 + \text{CeO}_2$) для оптимизации стабильности дуги, срока службы и огнестойкости.

Легированные калием вольфрамовые стержни: добавлено следовое количество калия (50–100 ppm) для улучшения сопротивления ползучести, предназначены для высокотемпературных печей.

Производственный процесс

Добавление легирующей примеси: Порошок вольфрама равномерно смешивается с оксидами редкоземельных элементов или солями металлов (например, нитратом лантана), а для обеспечения равномерного распределения используется шаровое измельчение или распылительная сушка.

Прессование и спекание: спекание при температуре 2300–2600°C в печи с водородной защитой, ниже температуры спекания чистого вольфрама, чтобы предотвратить испарение легирующей примеси. После спекания плотность составляет 95–98%.

Деформация: Ротационное обжимное (1200–1400°C) или волочение (800–1000°C) для формирования стержня, легирующая примесь для уменьшения обрабатываемых трещин.

Обработка поверхности: точеная или полированная, шероховатость поверхности Ra 1,6–3,2 мкм, для электродов или высокотемпературных компонентов.

Контроль качества: РФА (рентгенофлуоресцентная спектроскопия) для определения содержания легирующей примеси, СЭМ (сканирующая электронная микроскопия) для анализа распределения зерен.

применять

Сварочные электроды: легированные торием (WT20), церием (WC20), легированными лантаном (WL20) вольфрамовые стержни используются для аргонодуговой сварки (TIG) и плазменной сварки, с быстрым запуском дуги и низкой скоростью выгорания.

Высокотемпературный печной элемент: легированный калием или редкоземельными элементами вольфрамовый стержень, используемый для нагрева элементов вакуумной печи и водородной печи, который может выдерживать температуру более 2500 °C.

Электроника: легированные вольфрамовые стержни используются в излучателях электронно-лучевых трубок, микроволновых устройств и лазеров.

Аэрокосмическая промышленность: Редкоземельные вольфрамовые стержни используются в высокотемпературном экспериментальном оборудовании, таком как плазменные пропеллерные электроды.

Новое применение: высокотемпературные сопла для 3D-печати металлических устройств, устойчивые к высокотемпературным расплавам металла.

Вызовы и тенденции

Задача: Однородность легирующей примеси трудно контролировать, а высокотемпературное спекание может привести к испарению; Радиоактивность легированных торием вольфрамовых стержней ограничивает его применение, поэтому необходимо разрабатывать экологически чистые альтернативы.

Тенденция:

Исследования и разработки новых композитных редкоземельных легирующих элементов (таких как $\text{La}_2\text{O}_3 + \text{Y}_2\text{O}_3$) для улучшения комплексных характеристик и увеличения целевого ресурса на 20%.

Для снижения количества допинга ($<0,5$ мас.%) и улучшения эффекта была использована технология нанолегирования.

Разработка нерадиоактивных высокоэффективных электродов, отвечающих мировым экологическим стандартам, таким как директива EC RoHS.

Используйте искусственный интеллект для оптимизации составов легирующих примесей и прогнозирования характеристик дуги и срока службы.

Плюсы и минусы:

Преимущества: индивидуальная производительность, стабильность дуги и срок службы лучше, чем у чистого вольфрама; Подходит для сложных условий эксплуатации.

Недостатки: процесс производства сложный, а стоимость высокая; Некоторые виды допинга (например, торий) имеют экологические ограничения.

Рынки и стандарты

Легированные вольфрамовые стержни составляют более 70% рынка сварочных электродов. Соответствует требованиям AWS A5.12, YS/T 695-2009 и ISO 24370. Мировой рынок легированных вольфрамовых прутков в 2023 году составит около 500 миллионов долларов США, в основном за счет сварочной и аэрокосмической промышленности.

2.2 Вольфрамовые стержни классифицируются в соответствии с технологическим процессом изготовления

Процесс производства вольфрамовых стержней оказывает значительное влияние на их производительность, точность и применение. Ниже подробно рассматриваются характеристики спекания,ковки, прокатки, волочения и экструзии вольфрамовых стержней в соответствии с классификацией основных технологических процессов.

2.2.1 Спеченные вольфрамовые стержни

Определения и обзор

Спеченный вольфрамовый стержень представляет собой вольфрамовый стержень, непосредственно сформированный прессованием и высокотемпературным спеканием в порошковой металлургии, с плотностью 90–95% теоретической плотности и шероховатой поверхностью с оксидным слоем (черной кожей). В качестве полуфабриката спеченные вольфрамовые прутки являются основой для последующейковки, прокатки или волочения и подходят для черновой обработки или высокотемпературных применений.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

характерный

Физические свойства: плотность 17,5–18,5 г/см³, шероховатость поверхности Ra 3,2–6,4 мкм, с черным оксидным слоем.

Механические характеристики: твердость по Виккерсу 300–400 HV, прочность на разрыв 500–800 МПа, плохая ударная вязкость, легко образуются микротрещины.

Микроструктура: крупные зерна (10–50 мкм) и пористость 5–10%, влияющие на прочность и проводимость.

Производственный процесс

Прессование вольфрамового порошка: вольфрамовый порошок высокой чистоты или легированный вольфрамовый порошок холодно изостатически прессуется в стержневые заготовки при давлении 100–200 МПа.

Высокотемпературное спекание: спекание при температуре 2000–2800°C в течение 1–3 часов в водородной или вакуумной печи с образованием плотной структуры частиц.

Охлаждение и проверка: Медленное охлаждение (10–20°C/мин) снижает внутреннее напряжение, а также ультразвуковое обнаружение пористости и трещин.

применять

Полуфабрикаты: ковка, прокатка или волочение для производства высокоточных вольфрамовых прутков.

Высокотемпературная печь: непосредственно используется в качестве основы для кварцевой печи, выдерживает высокую температуру 2000°C.

Электроэрозионная обработка: используется в качестве электрода для электроэрозионной обработки с низкой точностью после черновой обработки.

Прочее: Временные детали для высокотемпературных экспериментальных печей, такие как опоры тиглей.

Вызовы и тенденции

Задача: Механические свойства с высокими пределами пористости; Энергопотребление при спекании велико, и водородная защита должна строго контролироваться; Крупногабаритные спеченные стержни подвержены внутренним дефектам.

Тенденция:

Технология микроволнового спекания используется для снижения температуры до 1800°C и экономии энергии на 30%.

Разработан процесс спекания методом горячего изостатического прессования (HIP) для увеличения плотности до 97%.

Моделирование процесса спекания с помощью технологии цифровых двойников для оптимизации контроля температуры и атмосферы.

Плюсы и минусы:

Преимущества: простой процесс, низкая стоимость; Подходит для вольфрамовых стержней большого размера.

Недостатки: низкая плотность и производительность, плохое качество поверхности,

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

требуется дополнительная обработка.

2.2.2 Кованые вольфрамовые стержни

Определение и обзор Кованые вольфрамовые стержни деформируются методом горячей штамповки (молотковой ковки или ротационной ковки), что приводит к плотности, близкой к теоретическому значению ($19,0\text{--}19,25\text{ г/см}^3$) и значительному улучшению механических свойств. Кованые мелкие зерна для повышения прочности и сопротивления ползучести, подходят для высокоточных и высокопрочных применений.

характерный

Физические свойства: плотность $19,0\text{--}19,25\text{ г/см}^3$, шероховатость поверхности Ra $1,6\text{--}3,2\text{ мкм}$ (после поворота света).

Механические свойства: размер зерна $5\text{--}20\text{ мкм}$, прочность на разрыв $1000\text{--}1400\text{ МПа}$, ударная вязкость немного лучше, чем у спеченного вольфрамового стержня.

Микроструктура: сильная ориентация волокон, пористость $<1\%$ и повышенное сопротивление ползучести.

Производственный процесс

Предварительный нагрев: спеченный вольфрамовый стержень нагревается до $1200\text{--}1500\text{ }^\circ\text{C}$ под защитой водорода или аргона для предотвращения окисления.

Горячая штамповка: Используйте пневматический молот или роторную обжимную машину для выполнения многопроходной ковки с контролируемой деформацией $10\text{--}20\%$ каждый раз, чтобы снизить риск растрескивания.

Отжиг: отжиг для снятия напряжения при $1000\text{--}1200\text{ }^\circ\text{C}$ для предотвращения распространения трещин.

Обработка поверхности: Точеная или полированная до шероховатости поверхности Ra $1,6\text{--}3,2\text{ мкм}$ для удовлетворения требуемых требований к точности.

применять

Промышленные детали: для сердечников кварцевых печей или тиглей печей из сапфирового стекла.

Аэрокосмическая промышленность: Обрабатывается в противовесы или высокотемпературные компоненты, такие как сопла двигателей.

Электрод: Высокоточный кованый вольфрамовый стержень используется для плазменной резки и сварки.

Другие: используются для высокотемпературных форм, таких как керамические формы для спекания.

Вызовы и тенденции

Задача: Для высокотемпературной ковки требуется специальное оборудование; Стержни большого диаметра ($>50\text{ мм}$) склонны к растрескиванию; Ковка отличается высоким энергопотреблением.

Тенденция:

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Используйте моделирование методом конечных элементов для оптимизации параметровковки и уменьшения количества дефектов.

Разработайте гибридный процессковки и прокатки для повышения эффективности и снижения затрат.

Технология индукционного нагрева используется для точного контроля температурыковки и экономии 20% энергии.

Плюсы и минусы:

Преимущества: высокая плотность и механическая прочность; Подходит для сложных условий эксплуатации; Измельчение зерна улучшает производительность.

Недостатки: высокая стоимость обработки; Строгие требования к оборудованию; Сложно обрабатывать большие спецификации.

2.2.3 Прокатные вольфрамовые прутки

Определения и обзор

Прокатанные вольфрамовые прутки дополнительно обрабатываются методом горячей или холодной прокатки, с высокой точностью размеров и хорошим качеством поверхности, подходят для массового производства вольфрамовых прутков малого и среднего диаметра (5–20 мм).

характерный

Физические свойства: плотность, близкая к теоретической (19,0–19,25 г/см³), шероховатость поверхности Ra 1,6–3,2 мкм.

Механические характеристики: ориентация зерна при качении, прочность на разрыв 1200–1500 МПа, ударная вязкость несколько лучше, чем у деформируемого вольфрамового прутка.

Микроструктура: мелкий и однородный размер зерна (5–15 мкм), пористость <1%, отличная прочность и проводимость.

Производственный процесс

Предварительный нагрев: спеченные или кованные вольфрамовые стержни нагреваются до 1000–1300 °C для улучшения пластичности.

Горячая прокатка: При многопроходной прокатке диаметр постепенно уменьшается, а деформация составляет 15–25%.

Холодная прокатка (опция): холодная прокатка вольфрамовых прутков малого диаметра для повышения точности размеров.

Отжиг: Отжиг при температуре 900–1100°C устраняет деформационное упрочнение.

применять

Электронная промышленность: прокатная вольфрамовая катанка, втянутая в вольфрамовую проволоку, изготовление нити накала и электрода.

Медицинские приборы: перерабатываются в рентгеновские мишени или радиационные щиты.

Прецизионные компоненты: используются для высокоточных механических деталей, таких как пресс-формы и инструменты.

Прочее: Используется в высокотемпературном экспериментальном оборудовании, таком как

опора для термопары.

Вызовы и тенденции

Задача: Дорогостоящее прокатное оборудование; Плохая однородность прокатки большого диаметра (>20 мм); Холодная прокатка увеличивает затраты.

Тенденция:

Непрерывная линия прокатки используется для повышения эффективности производства на 30%.

Для обеспечения постоянства размеров используется автоматизированная система управления качеством.

Разработка валков из жаропрочных сплавов для продления срока службы оборудования.

Плюсы и минусы:

Преимущества: высокая точность размеров, хорошее качество поверхности, пригодность для серийного производства.

Недостатки: высокая стоимость оборудования; Ограничен малыми и средними диаметрами; Холодная прокатка потребляет много энергии.

2.2.4 Вытягивание вольфрамовых стержней

Определения и обзор

Волочение вольфрамового стержня - это процесс волочения для постепенного уменьшения диаметра спеченного или кованого вольфрамового стержня с помощью алмазной матрицы, обычно < 5 мм, с высоким качеством поверхности и отличной точностью размеров, подходящей для вольфрамовой проволоки и прецизионных электродов.

характерный

Физические свойства: плотность, близкая к теоретической ($19,2-19,25$ г/см³), шероховатость поверхности Ra $1,6-3,2$ мкм.

Механические свойства: волокнистая кристаллическая структура, предел прочности $1500-2000$ МПа, низкая ударная вязкость.

Микроструктура: зерна сильно ориентированы в направлении волочения, а пористость близка к 0%.

Производственный процесс

Подготовка заготовки: Используйте кованые или катаные вольфрамовые стержни (диаметр $5-10$ мм).

Волочение: Протяжка через алмазную матрицу при температуре $800-1000^{\circ}\text{C}$ с уменьшением диаметра на $5-10\%$.

Смазка и отжиг: Смазка графитом или дисульфидом молибдена и периодический отжиг ($900-1100^{\circ}\text{C}$) для снятия напряжения.

Чистка и полировка: Химическая очистка удаляет смазочные материалы и полирует до Ra $1,6-3,2$ мкм.

применять

Производство вольфрамовых нитей: вольфрамовый стержень, тянутый для изготовления ламп накаливания, галогенных ламп и вольфрамовых нитей накаливания для специальных источников света.

Сварочный электрод: используется для аргонно-дуговой сварки и плазменной сварки электродом, с высокой точностью размеров.

Микроэлектроника: перерабатывается в миниатюрные электроды или зонды для тестирования полупроводников.

Прочее: Высокоточные комплектующие для лазерного оборудования.

Вызовы и тенденции

Проблема: Алмазные штампы быстро изнашиваются и стоят дорого; Многократный отжиг увеличивает потребление энергии; Чертеж малого диаметра легко сломать.

Тенденция:

Формы из поликристаллических алмазов (PCD) используются для продления срока службы на 50%.

Разработка непрерывного процесса волочения для увеличения производства на 20%.

Лазерный нагрев и волочение используются для точного контроля температуры и уменьшения поломки.

Плюсы и минусы:

Преимущества: Чрезвычайная точность и качество поверхности; Высокая интенсивность; Подходит для микропроизводства.

Недостатки: сложный процесс; Большой износ формы; Ограничен небольшими диаметрами.

2.2.5 Экструдированные вольфрамовые стержни

Определения и обзор

Экструдированный вольфрамовый стержень формируется методом горячей экструзии, который подходит для вольфрамового прутка большого диаметра (>20 мм) или сложного сечения, обладающего отличной плотностью и прочностью.

характерный

Физические свойства: плотность 19,0–19,2 г/см³, шероховатость поверхности Ra 1,6–3,2 мкм (после обработки).

Механические характеристики: прочность на разрыв 1000–1300 МПа, сильная ориентация волокон, хорошая ударопрочность.

Микроструктура: однородная зернистость (10–20 мкм) и пористость <2%, подходит для высокоинтенсивного применения.

Производственный процесс

Предварительный нагрев заготовки: спеченная заготовка нагревается до 1300–1600 °C и защищается водородом или аргоном.

Горячая экструзия: экструзия гидравлическим экструдером (500–1000 МПа).

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Охлаждение и выпрямление: Контролируйте скорость охлаждения (10–20 °C/мин) для коррекции деформации.

Обработка поверхности: Точеная или полированная до Ra 1,6–3,2 мкм.

применять

Аэрокосмическая промышленность: Экструдированные вольфрамовые стержни большого диаметра используются для противовесов для самолетов и спутников.

Военные: Перерабатываются в бронебойные ядра или компоненты кинетической энергии высокой плотности.

Промышленные: используются для опор высокотемпературных печей и больших форм.

Прочие: используется в качестве основного материала для стержней управления ядерными реакторами.

Вызовы и тенденции

Задача: Экструзия под высоким давлением требует большого оборудования; Сильный износ формы; Управление технологическим процессом является сложным процессом.

Тенденция:

Разработаны формы для керамических покрытий для снижения износа на 30%.

Используйте программное обеспечение для моделирования для оптимизации параметров экструзии и повышения производительности.

Исследования по сочетанию аддитивного производства и экструзии для получения сложных форм вольфрамовых стержней.

Плюсы и минусы:

Преимущества: подходит для больших спецификаций и сложных сечений; Высокая плотность и прочность.

Недостатки: большие вложения в оборудование; Качество поверхности уступает тяговым вольфрамовым стержням; Процесс сложный.

2.3 Вольфрамовые стержни классифицируются в зависимости от их использования

Вольфрамовые стержни используются в самых разных областях, включая промышленную, электронную, военную и другие специальные области. Ниже приведена подробная разбивка.

2.3.1 Вольфрамовые стержни промышленного назначения

Определения и обзор

Промышленные вольфрамовые стержни используются в высокотемпературных, высокопрочных или износостойких средах, таких как кварцевые печи, печи с сапфировым кристаллом и оборудование для очистки редкоземельных элементов, включая стержни из чистого вольфрама, стержни из вольфрамового сплава и легированные вольфрамовые стержни.

Особенности и приложения

Кварцевая печь: ковка или экструзия чистых вольфрамовых стержней (диаметр 20–50 мм) в

качестве стержней, выдерживающих высокие температуры выше 2000°C, для производства кварцевого стекла для оптических волокон.

Печь для изготовления сапфирового стекла: вольфрамовые стержни перерабатываются в тигли или опоры для выращивания кристаллов сапфира для светодиодных подложек.

Очистка редкоземельных элементов: вольфрамовый стержень используется в качестве высокотемпературного контейнера или электрода для плавки и рафинирования редкоземельных элементов.

Штампы и инструменты: Стержни из вольфрамового сплава (W-Ni-Fe) используются в штампах штампов и режущих инструментах из-за их высокой твердости и износостойкости.

Другие: используются для опор печей для высокотемпературного керамического спекания.

Производство и требования

Ковка или экструзия обеспечивает высокую плотность, шероховатость поверхности Ra 1,6–3,2 мкм и допуски на размеры $\pm 0,1$ мм.

2.3.2 Вольфрамовые стержни для электроники

Определения и обзор

Вольфрамовые стержни для электроники используются при изготовлении нитей, электродов и мишеней для напыления, в том числе чистых вольфрамовых стержней, вольфрамовых стержней высокой чистоты и легированных вольфрамовых стержней.

Особенности и приложения

Нить: Вольфрамовая нить изготавливается путем волочения чистых вольфрамовых стержней, которые используются в лампах накаливания, галогенных лампах и специальных источниках света.

Электрод: легированный вольфрамовый стержень (например, WT20, WC20) используется для аргонодуговой сварки и плазменной сварки электродов.

Мишень для распыления: вольфрамовый стержень высокой чистоты обрабатывается в мишень для осаждения полупроводников и пленки дисплея.

Вакуумные трубки и рентгеновские трубки: вольфрамовые стержни высокой чистоты используются для катодов и мишеней.

Прочие: для лазерных излучателей.

Производство и требования

Волочение и полировка до Ra 1,6–3,2 мкм, высокой чистоты по стандартам ASTM B760 и SEMI.

2.3.3 Вольфрамовый стержень военного назначения

Определения и обзор

Вольфрамовые стержни для военного использования — это в основном стержни из вольфрамового сплава, которые используются для высокоплотных и высокопрочных военных компонентов, таких как бронебойные сердечники пуль и кинетическое оружие.

Особенности и приложения

Бронебойный сердечник: стержень из вольфрамо-никель-железного сплава (плотность 18,0–18,5 г/см³) для противотанковых боеприпасов с высокой пробивной способностью.

Кинетическое оружие: стержни из вольфрамового сплава большого диаметра используются в высококинетических боеголовках, теоретически для оружия концепции «Скипетр Бога».

Броневые детали: вольфрамовые стержни выточены в облицовках ракетных сопел или бронезащите.

Прочее: Радиационная защита компонентов ядерного оружия.

Производство и требования

Экструзия или ковка обеспечивает высокую плотность в соответствии с ASTM B777 и шероховатость поверхности Ra 1,6–3,2 мкм.

2.3.4 Прочие вольфрамовые стержни специального назначения

Определения и обзор

К другим специальным вольфрамовым стержням относятся медицинские, научные и потребительские товары, такие как радиационная защита, лабораторное оборудование и спортивные товары.

Особенности и приложения

Медицина: стержни из вольфрамового сплава используются в экранировании и коллиматорах для рентгеновского и компьютерного оборудования.

Научные исследования: легированный вольфрамовый стержень используется в нагревательном элементе высокотемпературной экспериментальной печи.

Товары народного потребления: стержни из вольфрамового сплава перерабатываются в дартс, утяжелители клюшек для гольфа и украшения из вольфрамовой стали.

Прочее: Износостойкие детали для геологического бурового инструмента.

Производство и требования

В зависимости от области применения выбирается процесс волочения, экструзии иликовки с шероховатостью поверхности Ra 1,6–3,2 мкм.

2.4 Вольфрамовые стержни классифицируются в соответствии со спецификациями

Технические характеристики вольфрамовых стержней в основном основаны на диаметре и делятся на три категории: малый диаметр, средний диаметр и большой диаметр.

2.4.1 Вольфрамовые стержни малого диаметра (<5мм)

Определения и обзор

Вольфрамовые стержни малого диаметра (диаметр <5 мм) изготавливаются методом волочения с высокой точностью размеров и хорошим качеством поверхности.

Особенности и приложения

Характеристики: диаметр 0,1–5 мм, шероховатость поверхности Ra 1,6–3,2 мкм, прочность

на разрыв 1500–2000 МПа.

Применение: сырье для вольфрамовых нитей, сварочные электроды, микроэлектронные датчики, лазерные компоненты.

Производство волочения является основным процессом, который требует высокоточных форм и многократного отжига.

2.4.2 Вольфрамовые стержни среднего диаметра (5–20 мм)

Определения и обзор

Вольфрамовые прутки среднего диаметра (5–20 мм) подготавливаются методомковки или прокатки для обеспечения прочности и технологичности.

Особенности и приложения

Характеристики: плотность 19,0–19,25 г/см³, шероховатость поверхности Ra 1,6–3,2 мкм.

Применение: компоненты высокотемпературных печей, противовесы, сварочные электроды, медицинские мишени.

Производство процессовковки или прокатки, пригодных для массового производства.

2.4.3 Вольфрамовые стержни большого диаметра (>20 мм)

Определения и обзор

Вольфрамовые прутки большого диаметра (>20 мм) подготавливаются методомэкструзии иликовки и подходят для деталей большого формата.

Особенности и приложения

Характеристики: плотность 19,0–19,2 г/см³, высокая ударопрочность, шероховатость поверхности Ra 1,6–3,2 мкм.

Применение: сердечник военной пули, авиационный противовес, большая форма, ядерные компоненты.

Производствоэкструзионного процесса в основном базируется на крупнотоннажном оборудовании.

2.5 Вольфрамовые стержни классифицируются в зависимости от состояния их поверхности

Состояние поверхности влияет на нанесение и технологичность вольфрамовых стержней, которые делятся на черные кожаные стержни, полировальные стержни и полировальные стержни.

2.5.1 Черные кожаные палочки

Определения и обзор

Стержень из черной кожи представляет собой спеченный или предварительно обработанный вольфрамовый стержень с оксидным слоем на поверхности и не прошедший отделку.

Особенности и приложения

Характеристики: шероховатость поверхности Ra 3,2–6,4 мкм, плотность 17,5–18,5 г/см³.

Применение: полуфабрикаты для последующейковки или прокатки; Компоненты для черновой обработки в высокотемпературных печах.

Непосредственно после спекания продукцию охлаждают для сохранения оксидного слоя.

2.5.2 Палочки для картлайтов

Определения и обзор

Токарный стержень удаляет черную кожу путем точения или шлифования, поверхность становится гладкой, а точность размеров высокой.

Особенности и приложения

Характеристики: шероховатость поверхности Ra 1,6–3,2 мкм, допуск на размеры $\pm 0,05$ мм.

Применение: сварочные электроды, высокотемпературные элементы печей, прецизионные противовесы.

Производство токарных или шлифовальных процессов требует высокоточных станков.

2.5.3 Стержни полировальные

Определения и обзор

Полировальный стержень обеспечивает высокое качество поверхности за счет тонкой полировки, что делает его пригодным для работы в условиях высокой точности и чистоты.

Особенности и приложения

Характеристики: шероховатость поверхности Ra 1,6–3,2 мкм, допуск на размеры $\pm 0,02$ мм.

Применение: Электроды полупроводникового оборудования, мишени для напыления, медицинские компоненты.

Производство многопроходной полировки, с использованием алмазных шлифовальных кругов или химической полировки.

2.6 Специальные вольфрамовые стержни

Специальные вольфрамовые стержни могут быть легированы или оптимизированы в соответствии с конкретными потребностями применения.

2.6.1 Калийные вольфрамовые стержни

Определения и обзор

Калий-вольфрамовые стержни (WK) используются в элементах высокотемпературных печей для повышения сопротивления ползучести при высоких температурах путем добавления следовых количеств калия (50–100 ppm).

Особенности и приложения

Характеристики: мелкозернистость, сильное сопротивление ползучести, увеличение срока службы на 20–30%.

Применение: Нагревательный элемент высокотемпературной печи, опора вакуумной печи.

Производство производится путем добавления солей калия в вольфрамовый порошок, спекания и последующего волочения иликовки.

2.6.2 Вольфрамовые стержни, легированные торием

Определения и обзор

Легированный торием вольфрамовый стержень (WT20, содержащий 2% ThO₂) когда-то был стандартным материалом для сварочных электродов из-за его хорошей стабильности дуги.

Особенности и приложения

Характеристики: быстрый запуск дуги, длительный срок службы, шероховатость поверхности Ra 1,6–3,2 мкм, слабо радиоактивный.

Применение: Сварочные электроды TIG постепенно заменяются экологически чистыми электродами.

Оксид тория добавляют в производство, причем после спекания, волочения и формования.

2.6.3 Вольфрамовые стержни, легированные церием

Определения и обзор

Легированный церием вольфрамовый стержень (WC20, с 2% CeO₂) не радиоактивен и обладает отличными характеристиками дуги.

Особенности и приложения

Характеристики: стабильность дуги, низкая скорость выгорания, шероховатость поверхности Ra 1,6–3,2 мкм, подходит для слаботочной сварки.

Применение: сварка TIG, плазменный сварочный электрод.

В производство добавляют оксид церия, спекают, а затем вытягивают.

2.6.4 Вольфрамовые стержни, легированные лантаном

Определения и обзор

Легированные лантаном вольфрамовые стержни (WL15/WL20 с 1,5–2% La₂O₃) являются первым выбором для экологически чистых сварочных электродов.

Особенности и приложения

Характеристики: высокая стабильность дуги, длительный срок службы, нерадиоактивность, шероховатость поверхности Ra 1,6–3,2 мкм.

Применение: высокоточная сварка, полупроводниковое оборудование, электроды.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Оксид лантана добавляют в производство, спекают, а затем тянут или полируют.

2.6.5 Вольфрамовый стержень, легированный цирконием

Определения и обзор

Вольфрамовый стержень, легированный цирконием (WZ8, содержащий 0,8% ZrO_2), подходит для сварки переменным током и обладает высокой устойчивостью к загрязнениям.

Особенности и приложения

Характеристики: устойчив к загрязнению электродами, подходит для сварки алюминием и магнием, шероховатость поверхности Ra 1,6–3,2 мкм.

Применение: сварочный электрод AC TIG.

Диоксид циркония добавляется в производство, спекается, а затем вытягивается.

2.6.6 Вольфрамовый стержень, легированный иттрием

Определения и обзор

Легированные иттрием вольфрамовые стержни (WY20 с 2% Y_2O_3) используются для специальной сварки из-за их высокой электронно-излучательной способности.

Особенности и приложения

Характеристики: Высокий коэффициент излучения электронов, подходит для высокочастотной сварки, шероховатость поверхности Ra 1,6–3,2 мкм.

Применение: плазменная резка, специальный электрод.

Оксид иттрия добавляют в производство, спекают, а затем вытягивают.

2.6.7 Композитный редкоземельный вольфрамовый стержень

Определения и обзор

Композитные редкоземельные вольфрамовые стержни сочетают в себе различные оксиды редкоземельных элементов (например, $La_2O_3+CeO_2$) для оптимизации комплексных характеристик.

Особенности и приложения

Характеристики: Отличная дуговая стабильность, долговечность и огнестойкость, шероховатость поверхности Ra 1,6–3,2 мкм.

Применение: сложная сварка, аэрокосмические электроды, сопла для 3D-печати.

В производство добавляют композитные редкоземельные элементы, тянутые или полируемые после спекания.

2.7 Сравнение международных моделей и марок

Типы и марки вольфрамовых стержней основаны на международных и отечественных стандартах, которые легко продавать и применять.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

CTIA GROUP LTD Tungsten Rods Introduction

1. Overview of Tungsten Rods

Tungsten rods are high-performance metallic bars made from tungsten powder (purity $\geq 99.95\%$) using powder metallurgy processes such as pressing, sintering, and swaging. With their extremely high melting point, excellent mechanical properties, and outstanding chemical stability, tungsten rods are widely used in industrial fields that demand extreme conditions.

2. Characteristics of Tungsten Rods

- ✓ Ultra-high melting point: Up to 3410°C , suitable for extreme high-temperature environments
- ✓ Excellent strength and hardness: Maintains mechanical performance even at temperatures
- ✓ Good thermal and electrical conductivity: Ideal for precision applications in electronics and heating systems
- ✓ High-density material: Suitable for counterweights and radiation shielding
- ✓ Corrosion and wear resistance: Long service life and excellent stability
- ✓ Low thermal expansion coefficient: Suitable for precision structural components

3. The Main Applications Tungsten Rods

- ✓ Aerospace and defense: Rocket nozzles, armor-piercing projectile cores, high-temperature structural parts
- ✓ Electronics industry: Cathodes, heat sinks, electrodes, contact materials
- ✓ High-temperature furnaces and metallurgy: Heating elements for vacuum furnaces, tungsten crucibles, support components
- ✓ Medical technology: Radiation shielding parts, precision surgical instruments
- ✓ Mechanical engineering: Counterweights, mold inserts, vibration dampers
- ✓ Scientific research equipment: Ultra-high temperature reactors, physical property testing components

4. Basic Data of Tungsten Rods

Item	Parameter
Density	19.3 g/cm ³
Hardness (Vickers HV)	340–400 HV
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Thermal Conductivity	~170 W/(m·K)
Coefficient of Thermal Expansion	~ 4.5×10^{-6} /K
Diameter Range	Ø1.0 mm – Ø100 mm (customizable)
Length Range	100 mm – 1000 mm (up to 2000 mm maximum)
Surface Condition	As-sintered (black), ground, polished

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

2.7.1 Чисто вольфрамовый стержень обзор

Чисто вольфрамовые стержни включают WP (AWS A5.12), W1 (GB/T 4187-2017) и чистый вольфрамовый стержень ASTM B760.

Сорта и требования

WP: $\geq$ чистотой 99,9%, используется для сварки электродов и нитей.

W1: Чистота $\geq$ 99,95%, примеси строго контролируются.

ASTM B760: Определяет чистоту и механические свойства.

2.7.2 Марки легированных вольфрамовых стержней

Марки легированных вольфрамовых стержней основаны на AWS A5.12 и YS/T 695-2009, к распространенным моделям относятся:

WT20: 2% легированный торием, с красной маркировкой, сварной электрод.

WC20: 2% легирование церием, серый логотип, экологически чистый электрод.

WL15/WL20: 1,5–2% легированный лантаном, золотой или синий логотип, высокоэффективный электрод.

WZ8: 0,8% цирконий, белый логотип, сварка переменным током.

WY20: 2% легирование иттрием, голубой логотип, специальная сварка.

2.7.3 Сравнительная таблица отечественных и зарубежных марок (GB/T, ASTM, ISO)

тип	Стандарт GB/T	Стандарты ASTM	Стандарт ISO	APM A5.12
Чистый вольфрамовый стержень	П1	ASTM B760	ИСО 24370	РП
Вольфрамовый стержень, легированный торием	ВТ	ASTM B776	ИСО 24370	ВТ20
Вольфрамовый стержень, легированный церием	ТУАЛЕТ	ASTM B776	ИСО 24370	ТУАЛЕТ20
Вольфрамовый стержень, легированный лантаном	ВЛ	ASTM B776	ИСО 24370	WL15/WL20
Вольфрамовый стержень, легированный цирконием	WZ	ASTM B776	ИСО 24370	WZ8

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Стержни из вольфрамового сплава	W-Ni-Fe/Cu	ASTM B777	ИСО 24370	-
---------------------------------------	------------	-----------	-----------	---

Иллюстрировать

GB/T 4187-2017 и YS/T 695-2009 оговаривают химический состав и свойства вольфрамовых стержней в Китае.

ASTM B760 и B777 являются международными стандартами для чистого вольфрама и вольфрамовых сплавов.

Стандарт ISO 24370 устанавливает общие требования к вольфраму и вольфрамовым сплавам.

AWS A5.12 определяет марку и цветовую шкалу легированных вольфрамовых стержней для сварочных электродов.



Вольфрамовые стержни CTIA GROUP LTD

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

Глава 3 Характеристики вольфрамовых стержней

Будучи высокоэффективным огнеупорным металлическим материалом, вольфрамовый стержень имеет широкий спектр применения в промышленности, электронике, аэрокосмической отрасли, медицине и научных исследованиях благодаря своим превосходным физическим, химическим и механическим свойствам. В этой главе подробно обсуждаются физические свойства вольфрамовых стержней (в том числе высокая температура плавления, высокая плотность, низкий коэффициент теплового расширения, теплопроводность и низкое давление пара), химические свойства (коррозионная стойкость, химическая стабильность и реакционная способность с элементами), механические свойства (высокая прочность, сопротивление ползучести, ударная вязкость и обрабатываемость), а также сравниваются характеристики различных типов вольфрамовых стержней (чистых вольфрамовых стержней, вольфрамовые стержни высокой чистоты, легированные вольфрамовые стержни), и, наконец, предоставляет информацию о вольфрамовых стержнях в MSDS (Паспорт безопасности материала).

3.1 Физические свойства вольфрамовых стержней

Физические свойства вольфрамовых стержней являются основой для широкого спектра применений в экстремальных условиях, включая высокую температуру плавления, высокую плотность, низкий коэффициент теплового расширения, хорошую теплопроводность и низкое давление пара. Благодаря этим свойствам вольфрамовые стержни хорошо работают при высоких температурах, высоких нагрузках и вакууме.

3.1.1 Высокая температура плавления вольфрамовых стержней

Вольфрам имеет температуру плавления 3410°C, что является самым высоким показателем среди всех металлов, уступая только точке сублимации углерода (около 3550°C). Это свойство делает вольфрамовые стержни незаменимым материалом в высокотемпературных средах, подходящим для применений, выдерживающих экстремальные тепловые нагрузки. Высокая температура плавления вольфрама обусловлена его объемно-центрированной кубической решетчатой структурой (BCC), высокой энергией межатомных металлических связей и высокой силой связывания, что позволяет вольфрамовым стержням сохранять структурную стабильность при температурах, близких к температуре плавления.

Сценарии применения:

Высокотемпературные элементы печей: вольфрамовые стержни используются в качестве стержней стержней кварцевых печей, которые выдерживают высокие температуры 2000–2500 °C для производства кварцевого стекла для оптических волокон.

Печь для изготовления сапфирового стекла: вольфрамовый стержень используется в качестве тигля или опоры для роста кристаллов сапфира для светодиодных подложек с рабочей температурой до 2200°C.

Аэрокосмическая промышленность: вольфрамовые стержни используются в футеровке сопел для высокотемпературных двигателей, таких как плазменные двигатели, чтобы выдерживать высокотемпературные плазменные удары.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Светотехническая промышленность: вольфрамовый стержень, втянутый в вольфрамовую нить, используется в лампах накаливания, галогенных лампах и специальных источниках света, рабочая температура может достигать 2800°C.

Технические проблемы:

При высоких температурах вольфрамовые стержни могут вступать в реакцию в небольших количествах с атмосферой печи (например, кислородом или азотом) и должны быть защищены водородом или вакуумом.

Высокая температура плавления требует специального высокотемпературного оборудования (например, вакуумных печей для спекания), которое потребляет много энергии и увеличивает производственные затраты.

Длительная эксплуатация при высоких температурах может привести к росту зерна и повлиять на механические свойства.

Тенденции развития:

Разрабатываются усовершенствованные конструкции высокотемпературных печей, сочетающие в себе индукционный нагрев и инертную атмосферу для снижения энергопотребления и повышения эффективности.

Были изучены композиты с вольфрамовой матрицей, и устойчивость к высоким температурам была дополнительно улучшена за счет добавления жаропрочных фаз (таких как диоксид циркония), а целевая термостойкость составила до 3000 °C.

Технология плазменного спекания (SPS) используется для снижения температуры спекания до 1800°C, снижения негабаритности зерна и энергопотребления.

3.1.2 Вольфрамовые стержни высокой плотности

Плотность вольфрамовых стержней близка к теоретическому значению 19,25 г/см³, что сравнимо с золотом и уступает только осмию и иридию. Высокая плотность обусловлена плотной упаковкой атомов вольфрама и большим атомным весом (183,84 мкл), что придает ему большую массу в небольшом объеме, что делает его пригодным для высококачественных противовесов и применений в области радиационной защиты.

Сценарии применения:

Противовесы для аэрокосмической промышленности: вольфрамовые стержни превращаются в противовесы спутников или дронов для оптимизации использования пространства и регулировки центра тяжести.

Военные: стержни из вольфрамового сплава (W-Ni-Fe или W-Ni-Cu) используются в бронебойных сердечниках пуль или кинетическом оружии для повышения пробивной способности и кинетической энергии.

Медицина: вольфрамовые стержни используются в экранировании рентгеновского и компьютерного оборудования для поглощения высокоэнергетического излучения и защиты операторов.

Потребительские товары: Стержни из вольфрамового сплава используются в утяжелителях клюшек для гольфа, дротиках или высококачественных украшениях из вольфрамовой стали

для повышения стабильности и ощущений.

Технические проблемы:

Высокая плотность увеличивает сложность механической обработки, требуя высокоточного оборудования для контроля размерных допусков, особенно при вытяжке малого диаметра. Крупноформатные вольфрамовые стержни (> диаметром 50 мм) подвержены образованию внутренних дефектов, таких как пористость или трещины во время экструзии иликовки. Добавление никеля, железа и других элементов в стержень из вольфрамового сплава может снизить коррозионную стойкость, и соотношение сплавов необходимо оптимизировать.

Тенденции развития:

Разработка композитов с вольфрамовой матрицей высокой плотности (например, W-Ni-Cu) для оптимизации баланса между плотностью и ударной вязкостью и улучшения технологичности.

Методы аддитивного производства, такие как 3D-печать, используются для создания противовесов сложной формы, сокращая отходы материала и затраты на обработку.

Моделирование методом конечных элементов используется для оптимизации процессаковки и экструзии больших вольфрамовых стержней, уменьшения внутренних дефектов и повышения производительности.

3.1.3 Низкий коэффициент теплового расширения вольфрамовых стержней

Вольфрамовые стержни имеют очень низкий коэффициент теплового расширения $4,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ (20–1000 $^{\circ}\text{C}$), что значительно ниже, чем у стали ($11\text{--}13 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) и меди ($16\text{--}18 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$). Низкий коэффициент теплового расширения позволяет вольфрамовому стержню сохранять превосходную стабильность размеров при высоких температурах, снижает термическое напряжение и деформацию, а также подходит для высокоточных и высокотемпературных сред.

Сценарии применения:

Полупроводниковое оборудование: Вольфрамовые стержни высокой чистоты используются для электродов оборудования для ионной имплантации, а стабильность размеров обеспечивает точность обработки пластин.

Высокотемпературная печь: вольфрамовый стержень используется в качестве стержня стержня кварцевой печи или сапфировой опоры печи, которая может выдерживать высокие температуры выше 2000 $^{\circ}\text{C}$ без деформации.

Оптическая промышленность: Вольфрамовые стержни используются в компонентах лазерного оборудования для удержания оптической системы в горизонтальном положении и предотвращения влияния термической деформации на оптический путь.

Аэрокосмическая промышленность: Вольфрамовые стержни используются в высокотемпературных компонентах для испытаний в аэродинамической трубе для противостояния термической деформации и поддержания экспериментальной точности.

Технические проблемы:

Сочетание низкого коэффициента теплового расширения и низкой ударной вязкости делает вольфрамовые стержни чувствительными к тепловому удару, а быстрые перепады температуры могут привести к образованию микротрещин.

Несоответствие теплового расширения с другими материалами при высоких температурах может привести к межфазным напряжениям, которые влияют на характеристики композитных деталей.

Прецизионная обработка должна учитывать разницу в тепловом расширении для обеспечения контроля допусков.

Тенденции развития:

Исследование композитов с вольфрамовой матрицей для регулировки коэффициента теплового расширения в соответствии с другими материалами (например, керамикой или сплавами) и снижения межфазных напряжений.

Моделирование методом конечных элементов используется для оптимизации конструкции компонентов, прогнозирования распределения термического напряжения и снижения риска термической деформации.

Разработка технологий нанесения высокотемпературных покрытий (например, покрытий из диоксида циркония) для повышения термостойкости вольфрамовых стержней.

3.1.4 Тепло- и электропроводность вольфрамовых стержней

Вольфрамовый стержень обладает хорошей теплопроводностью и умеренной электропроводностью, с теплопроводностью около 173 Вт/м·К (20°C) и электропроводностью 18% IACS (Международный стандарт для отожженной меди, около 9,8 МС/м). Эти свойства обусловлены металлической структурой связи вольфрама и подвижностью электронов, что делает его пригодным для применения в высокотемпературных и теплопроводящих системах. Несмотря на то, что проводимость ниже, чем у меди (100% IACS), стабильность вольфрамовых стержней при высоких температурах и низкая скорость изменения сопротивления дают им преимущество в определенных сценариях.

Сценарии применения:

Электроника: Вольфрамовые стержни используются в катодах вакуумных трубок, мишенях рентгеновских трубок и электроэрозионных электродах (EDM), сочетая в себе проводимость и высокую температурную стабильность.

Сварочные электроды: легированные вольфрамовые стержни (например, легированные церием или лантаном) используются для аргонодуговой сварки (TIG) и плазменной сварки, а стабильность дуги зависит от ее проводимости.

Высокотемпературная печь: вольфрамовый стержень используется в качестве нагревательного элемента, используя теплопроводность для быстрой передачи тепла, а рабочая температура может достигать 2500 °C.

Научные исследования: Вольфрамовый стержень используется в качестве электрода для экспериментов по высокотемпературной сверхпроводимости, а его проводимость и

устойчивость к высоким температурам обеспечивают надежность эксперимента.

Технические проблемы:

Проводимость ниже, чем у меди и серебра, что ограничивает конкурентоспособность вольфрамовых стержней в приложениях с низким сопротивлением.

Удельное сопротивление немного увеличивается при высоких температурах (около $0,004/^{\circ}\text{C}$), и для компенсации необходимо оптимизировать конструкцию схемы.

Теплопроводность немного снижается при очень высоких температурах ($>2000^{\circ}\text{C}$), поэтому необходимо учитывать конструкцию управления температурой.

Тенденции развития:

Разработка легированных вольфрамовых стержней (например, легированных лантаном или церием) для снижения удельного сопротивления и улучшения стабильности дуги.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ВОЛЬФРАМОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОВОДИМОСТИ С ПОМОЩЬЮ ИНЖЕНЕРНОЙ СНЕЖИНКИ НА ГРАНИЦЕ ЗЕРЕН.

Проводящее покрытие (например, графеновое покрытие) используется для улучшения проводимости поверхности вольфрамовых стержней для специальных электродов.

3.1.5 Низкое давление паров вольфрамовых стержней

Вольфрамовые стержни имеют очень низкое давление пара ($<10^{-4}$ Па при 3000°C) при высоких температурах, что делает их стабильными в вакууме или высокотемпературных средах и нелегко испаряющимися или загрязняющими окружающую среду. Это свойство обусловлено высокой температурой плавления и прочными металлическими связями вольфрама, которые снижают испарение атомов при высоких температурах.

Сценарии применения:

Вакуумная печь: вольфрамовый стержень используется в качестве нагревательного элемента или опоры для вакуумной высокотемпературной печи для предотвращения испарения материала и загрязнения окружающей среды печи.

Производство полупроводников: вольфрамовые стержни высокой чистоты используются в оборудовании для ионной имплантации и мишенях для распыления, а низкое давление пара обеспечивает экологически чистую среду в помещении.

Аэрокосмическая промышленность: вольфрамовые стержни используются в высокотемпературном вакуумном экспериментальном оборудовании, таком как плазменные исследовательские устройства, для поддержания долговременной стабильности.

Электроника: Вольфрамовые стержни используются в вакуумных электронных трубках (например, рентгеновских трубках) для предотвращения влияния испарения материала при высоких температурах на производительность.

Технические проблемы:

Следовые примеси, такие как кислород или углерод, могут увеличивать давление пара, и чистота сырья должна строго контролироваться.

Для вакуумной системы требуется сверхвысокий вакуум (менее 10^{-5} Па), что требует высокой герметичности оборудования.

Длительная эксплуатация при высоких температурах может привести к окислению поверхности, требующему защитной атмосферы или покрытия.

Тенденции развития:

Разработан вольфрам сверхвысокой чистоты (99,9999%) для дальнейшего снижения давления пара и удовлетворения потребностей полупроводников нового поколения.

Исследуйте высокотемпературные антиокислительные покрытия (например, SiC или Al_2O_3) для уменьшения поверхностного испарения.

Оптимизируйте конструкцию вакуумной печи в сочетании с низкотемпературным плазменным спеканием для снижения рабочей температуры.

3.2 Химические свойства вольфрамовых стержней

Химические свойства вольфрамовых стержней включают превосходную коррозионную стойкость, химическую стабильность и ограниченную элементную реакцию способность, что делает их превосходными в суровых химических средах и пригодными для широкого спектра промышленных и научных применений.

3.2.1 Коррозионная стойкость вольфрамовых стержней

Вольфрамовые стержни обладают отличной коррозионной стойкостью к кислотам, щелочам и большинству окислителей (таких как соляная кислота, серная кислота, фтористоводородная кислота) при комнатной температуре и медленно реагируют только в высокотемпературной концентрированной азотной кислоте или расплавленной щелочи (например, гидроксиде натрия). Коррозионная стойкость обусловлена плотным оксидным слоем (WO_3), образующимся на поверхности вольфрама, который эффективно изолирует внешние химические вещества.

Сценарии применения:

Химическая промышленность: Вольфрамовые стержни используются в коррозионностойких электродах или контейнерах, таких как оборудование для электрохимической обработки.

Высокотемпературная печь: вольфрамовый стержень используется в качестве нагревательного элемента в водородной или инертной атмосфере и устойчив к воздействию агрессивных газов.

Медицинское оборудование: Вольфрамовый стержень используется в качестве мишени для рентгеновского оборудования для устойчивости к высокотемпературным средам окисления.

Морская: стержень из вольфрамового сплава используется в качестве противовеса в морской воде, устойчив к коррозии в солевом тумане.

Технические проблемы:

Оксидный слой может утолщаться или отслаиваться при высоких температурах, что требует защитной атмосферы (например, водорода или аргона).

Некоторые сильные окислители, такие как царская водка, могут вызывать коррозию

вольфрамовых стержней при высоких температурах, ограничивая область применения. Добавление никеля или железа в стержни из вольфрамового сплава может снизить коррозионную стойкость, и соотношение сплавов необходимо оптимизировать.

Тенденции развития:

Разработка антикоррозионных покрытий (например, диоксида циркония или нитрида кремния) для повышения коррозионной стойкости при высоких температурах.

Исследования вольфрамовых матричных композитов с добавлением коррозионностойких элементов, таких как хром, для улучшения эксплуатационных характеристик.

Оптимизируйте процессы обработки поверхности (например, плазменное напыление) для создания более плотного защитного слоя.

3.2.2 Химическая стабильность вольфрамовых стержней

Вольфрамовые стержни химически стабильны при температуре окружающей среды и умеренных температурах (<500°C) и практически не вступают в реакцию с кислородом, азотом или другими распространенными газами. При высоких температурах (>1000°C) вольфрамовые стержни могут медленно образовывать WO₃ с кислородом или твердые соединения (например, WC, WN) с углеродом и азотом, но скорость реакции низкая и должна быть вызвана определенными условиями.

Сценарии применения:

Вакуумная среда: Вольфрамовый стержень используется в нагревательном элементе вакуумной печи, а химическая стабильность обеспечивает длительную работу без загрязнения.

Производство полупроводников: вольфрамовые стержни высокой чистоты используются в устройствах для ионной имплантации для предотвращения химических реакций, загрязняющих пластины.

Высокотемпературные эксперименты: вольфрамовые стержни используются в исследованиях высокотемпературной сверхпроводимости или плазмы, чтобы оставаться химически инертными.

Электроника: Вольфрамовые стержни используются в катоде вакуумных трубок для предотвращения влияния химических реакций на производительность.

Технические проблемы:

Следовые реакции с кислородом или углеродом при высоких температурах могут привести к ухудшению состояния поверхности, что требует строгого контроля атмосферы.

Легирование добавками в вольфрамовые стержни, такими как оксид тория, может снизить химическую стабильность и потребовать оптимизации рецептуры.

Длительная эксплуатация при высоких температурах может спровоцировать накопление поверхностных соединений, которые могут повлиять на проводимость.

Тенденции развития:

Вольфрам сверхвысокой чистоты (99,999%) был разработан для уменьшения химических

реакций, вызванных примесями.

Покрывание методом химического осаждения из газовой фазы (CVD) используется для формирования стабильного защитного слоя и продления срока службы.

Исследования в области технологии самовосстанавливающегося покрытия для автоматического восстановления повреждений поверхности при высоких температурах.

3.2.3 Реакционная способность вольфрамовых стержней с другими элементами

Вольфрамовые стержни имеют очень низкую реакционную способность с другими элементами при комнатной температуре и имеют ограниченные реакции с кислородом, углеродом, азотом, фтором и другими элементами только при определенных условиях высокой температуры. Например, WO_3 образуется с кислородом при $> 1000\text{ }^{\circ}C$, карбид вольфрама (WC) с углеродом при $>1500\text{ }^{\circ}C$, а нитрид вольфрама (WN) с азотом при $>2000\text{ }^{\circ}C$. Эти реакции требуют высокой энергетической активации, а продуктами реакции обычно являются соединения высокой твердости, некоторые из которых могут быть использованы для усиления свойств вольфрамовых стержней.

Сценарии применения:

Твердое покрытие: Используя реакционную способность вольфрама и углерода, на поверхности вольфрамового стержня образуется покрытие WC для повышения износостойкости.

Высокотемпературный эксперимент: вольфрамовый стержень используется в высокотемпературном реакторе в инертной атмосфере для управления реакцией с углеродом или азотом.

Сварочный электрод: легированный вольфрамовый стержень вступает в реакцию с кислородом в высокотемпературной дуге для поддержания стабильности дуги.

Химическая промышленность: вольфрамовые стержни используются в специальных химических реакционных сосудах для защиты от коррозии определенными газами.

Технические проблемы:

Высокотемпературная реакция может изменить поверхностные свойства вольфрамового стержня и повлиять на электрическую или теплопроводность.

Продукты реакции (например, WO_3) могут ухудшить качество поверхности и нуждаются в регулярной очистке или защите.

Легирующие элементы могут вызывать сложные реакции, требующие точного контроля количества легирования и условий процесса.

Тенденции развития:

Исследуются селективные реакционные технологии для управления реакцией вольфрама с определенными элементами при высокой температуре с образованием функциональных покрытий.

Разработка многослойных композитных покрытий (например, WC/Al_2O_3), которые сочетают в себе коррозионную стойкость и функциональность.

Оптимизируйте технологию контроля атмосферы, уменьшите ненужные реакции при

высоких температурах и увеличьте срок службы вольфрамовых стержней.

3.3 Механические свойства вольфрамовых стержней

Механические свойства вольфрамовых стержней включают высокую прочность и твердость, отличное сопротивление ползучести, а также ограниченную ударную вязкость и обрабатываемость, что делает их превосходными в условиях высоких нагрузок и высоких температурных напряжений, но их трудно обрабатывать.

3.3.1 Высокая прочность и твердость вольфрамовых стержней

Вольфрамовые стержни обладают чрезвычайно высокой прочностью и твердостью, с диапазоном твердости по Виккерсу (HV) 350–500 и прочностью на разрыв от 700 до 2000 МПа (в зависимости от процесса обработки и легирования). Высокая прочность обусловлена прочными металлическими связями и центрированной по телу кубической решеткой вольфрама, а высокая твердость делает его износостойким и пригодным для применения с высокими нагрузками.

Сценарии применения:

Высокотемпературные формы: вольфрамовые стержни используются в формовках стекла или керамических формах для спекания для защиты от высокого давления и износа.

Военные: стержни из вольфрамового сплава используются для бронебойных сердечников пуль, в сочетании с высокой твердостью и плотностью, для усиления пробивной способности.

Промышленные инструменты: вольфрамовые стержни превращаются в режущие инструменты или штампы и устойчивы к высоким нагрузкам.

Аэрокосмическая промышленность: вольфрамовые стержни используются в компонентах высокотемпературных двигателей, чтобы выдерживать механические нагрузки.

Технические проблемы:

Высокая твердость увеличивает сложность резки и шлифовки, требующей алмазных инструментов или лазерной обработки.

Высокая прочность, но высокая хрупкость, легко образуются микротрещины в процессе обработки.

Крупноформатные вольфрамовые стержни (>50 мм) выковываются или экструдированы с концентрацией внутренних напряжений, и процесс необходимо оптимизировать.

Тенденции развития:

Нанокристаллический вольфрамовый материал используется для измельчения зерна до <100 нм для повышения прочности и твердости.

Разработка технологии плазменной обработки для уменьшения трещин при обработке и повышения точности.

Исследуются композиты с вольфрамовой матрицей с добавлением фаз, повышающих ударную вязкость (например, никеля) для обеспечения баланса прочности и ударной вязкости.

3.3.2 Сопротивление ползучести вольфрамовых стержней

Вольфрамовые стержни обладают отличным сопротивлением ползучести при высоких температурах ($>2000^{\circ}\text{C}$) и могут выдерживать напряжение в течение длительного времени без существенной деформации. Сопротивление ползучести обусловлено высокой температурой плавления и стабильной кристаллической структурой вольфрама, а легированные вольфрамовые стержни (например, калия или редкоземельных элементов) дополнительно усиливаются за счет упрочнения границ зерен.

Сценарии применения:

Высокотемпературная печь: вольфрамовый стержень используется в качестве опоры для кварцевой печи или сапфировой печи и подвергается длительному высокотемпературному напряжению.

Аэрокосмическая промышленность: вольфрамовые стержни используются в высокотемпературных компонентах для испытаний в аэродинамической трубе для сопротивления деформации ползучести.

Научные исследования: Вольфрамовые стержни используются в высокотемпературном экспериментальном оборудовании для поддержания долговременной стабильности размеров.

Промышленность: вольфрамовые стержни используются в высокотемпературных формах для защиты от деформации при длительных нагрузках.

Технические проблемы:

Рост зерна при очень высоких температурах ($>2500^{\circ}\text{C}$) может снизить сопротивление ползучести, поэтому необходимо контролировать микроструктуру.

Длительная эксплуатация может привести к окислению поверхности или испарению легирующей примеси, что повлияет на производительность.

Легированные вольфрамовые стержни должны оптимизировать распределение легирующей примеси, чтобы избежать локальных неравномерных характеристик.

Тенденции развития:

Разработка легирующих технологий (например, легирование композитных редкоземельных элементов) для дальнейшего повышения сопротивления ползучести и продления целевого ресурса на 30%.

Процесс горячего изостатического прессования (HIP) используется для уменьшения дефектов границы зерен и улучшения стабильности при высоких температурах.

Исследования технологии высокотемпературного мониторинга in-situ для оценки характеристик ползучести в режиме реального времени и оптимизации конструкции.

3.3.3 Ударная вязкость и обрабатываемость вольфрамовых стержней

Вольфрамовые стержни имеют низкую ударную вязкость и хрупкие, особенно при комнатной температуре. Центрированная по центру структура кубической решетки и высокая твердость приводят к плохой пластичности и обрабатываются при высоких температурах ($800\text{--}1500^{\circ}\text{C}$) или многократном отжиге для улучшения пластичности. Легированные вольфрамовые стержни могут немного улучшить ударную вязкость за счет добавления редкоземельных

элементов или оксидов (таких как оксид церия, оксид лантана), но они все еще сложны в обработке.

Сценарии применения:

Волочение: Вольфрамовые стержни втягиваются в вольфрамовые нити (диаметр 0,01–0,1 мм), для производства которых требуется высокая температура и многократный отжиг.

Прецизионные детали: Вольфрамовые стержни превращаются в полупроводниковые щупы или электроды, которые требуют высокоточной технологии обработки.

Сварочный электрод: легированный вольфрамовый стержень (WC20, WL20) перерабатывается в электрод, а ударная вязкость оптимизируется для увеличения срока службы.

Изготовление пресс-форм: вольфрамовые стержни обрабатываются в формы сложной формы, которые требуют лазерной или электроэрозионной обработки.

Технические проблемы:

Хрупкость высока при комнатной температуре, а при обработке легко образуются микротрещины, что снижает коэффициент текучести.

Для высокотемпературной обработки требуется специализированное оборудование, такое как вакуумные печи или индукционные нагреватели, что увеличивает затраты.

Вольфрамовые стержни малого диаметра (<1 мм) имеют высокий риск вытягивания и требуют точного контроля деформации.

Тенденции развития:

Разработана технология наноразмерного спекания вольфрамового порошка для измельчения зерен и повышения ударной вязкости и технологичности.

Лазерная обработка или электроэрозионная обработка используется для снижения механического напряжения и повышения точности обработки.

Исследования новых легирующих примесей (таких как композитные редкоземельные элементы) для улучшения ударной вязкости при комнатной температуре и снижения сложности обработки.

3.4 Сравнение характеристик различных типов вольфрамовых стержней

Существуют значительные различия в физических, химических и механических свойствах различных типов вольфрамовых стержней (чистых вольфрамовых стержней, вольфрамовых стержней высокой чистоты, легированных вольфрамовых стержней), которые влияют на области их применения и эксплуатационные характеристики.

3.4.1 Чистый вольфрамовый стержень и вольфрамовый стержень высокой чистоты

Сравнение физических свойств:

Чистый вольфрамовый стержень (чистота $\geq 99,9\%$): плотность 19,0–19,25 г/см³, температура плавления 3410°C, коэффициент теплового расширения $4,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, теплопроводность 173 Вт/м·К, электропроводность 18% IACS. Размер зерна 10–50 мкм и следовые примеси (100–500 ppm) могут влиять на работу при высоких температурах.

Вольфрамовый стержень высокой чистоты (чистота $\geq 99,95\%$): плотность, близкая к теоретическому значению $19,25 \text{ г/см}^3$, более мелкое зерно ($5\text{--}15 \text{ мкм}$), содержание примесей $< 50 \text{ ppm}$, немного лучшая проводимость (удельное сопротивление около $5,3 \text{ мОм}\cdot\text{см}$ против $5,5 \text{ мОм}\cdot\text{см}$), более низкое давление пара, подходит для чистых сред.

Сравнение химических свойств:

Чистый вольфрамовый стержень: высокая коррозионная стойкость, но следовая реакция на кислород или углерод более очевидна при высоких температурах, и атмосфера нуждается в защите.

Вольфрамовые стержни высокой чистоты: более высокая химическая стабильность, почти не вступает в реакцию с химическими веществами при комнатной температуре, более низкая скорость образования WO_3 при высоких температурах, подходят для применения в вакууме или чистых помещениях.

Сравнение механических характеристик:

Чистый вольфрамовый стержень: твердость по Виккерсу $350\text{--}450 \text{ HV}$, прочность на разрыв $700\text{--}1000 \text{ МПа}$, низкая ударная вязкость, для обработки требуется высокотемпературный отжиг.

Вольфрамовый стержень высокой чистоты: твердость немного выше ($400\text{--}500 \text{ HV}$), прочность на разрыв составляет $800\text{--}1100 \text{ МПа}$, а измельчение зерен повышает прочность, но ударная вязкость все еще ограничена и требует точной механической обработки.

Различия в применении:

Чистый вольфрамовый стержень: подходит для общих высокотемпературных применений, таких как стержни кернов кварцевых печей, сырье для филамента, противовесы.

Вольфрамовые стержни высокой чистоты: Специально разработаны для высокоточных и чистых сред, таких как электроды для оборудования для ионной имплантации полупроводников, мишени для распыления и компоненты машин для литографии EUV.

Технические проблемы:

Чистые вольфрамовые стержни дешевле, но примеси могут повлиять на стабильность работы. Производство вольфрамовых прутков высокой чистоты требует очистки CVD и обработки в чистых помещениях, что имеет высокую стоимость и строгие требования к оборудованию.

Тенденции развития:

Чистый вольфрамовый стержень: оптимизируйте процесс спекания, уменьшите количество примесей и улучшите стабильность работы.

Вольфрамовый стержень высокой чистоты: разработка вольфрама сверхвысокой чистоты ($99,9999\%$) для удовлетворения потребностей производства чипов ниже 3 нм .

3.4.2 Особые свойства легированных вольфрамовых прутков

Физические свойства: легированные вольфрамовые стержни (содержащие $0,5\text{--}2 \text{ мас.}\%$ редкоземельных элементов или оксидов, таких как оксид церия, оксид лантана, оксид тория)

немного менее плотные, чем чистые вольфрамовые стержни ($19,0\text{--}19,2\text{ г/см}^3$) из-за более низкой плотности легирующих примесей. Измельченность зерен составляет $5\text{--}15\text{ мкм}$, а коэффициент теплового расширения и теплопроводности (около $160\text{ Вт/м}\cdot\text{К}$) немного ниже, чем у чистого вольфрамового стержня, но электропроводность немного выше (около $5,0\text{ }\mu\text{Ом}\cdot\text{см}$), что обусловлено улучшенной электронной подвижностью легирующей примеси.

Химические свойства: легированные вольфрамовые стержни сохраняют коррозионную стойкость и химическую стабильность вольфрама, но при высоких температурах некоторые легирующие примеси (например, оксид тория) могут вызвать незначительную реакцию, снижающую стабильность. Редкоземельное легирование (например, легированное церием, лантаном) не радиоактивно, соответствует требованиям защиты окружающей среды и обладает лучшей химической стабильностью.

Механические характеристики: Легированный вольфрамовый стержень усилен границами зерен для повышения прочности на разрыв ($1000\text{--}1200\text{ МПа}$) и ударной вязкости, а также значительно улучшено сопротивление ползучести, что подходит для длительных нагрузок при высокой температуре. При твердости по Виккерсу $400\text{--}500\text{ HV}$ технологичность лучше, чем у чистых вольфрамовых стержней, но их все равно необходимо обрабатывать при высоких температурах.

Сценарии применения:

Сварочный электрод: легированный вольфрамовый стержень (например, WC20, WL20) используется для аргодуговой сварки и плазменной сварки, с высокой стабильностью дуги и низкой скоростью выгорания.

Высокотемпературная печь: для нагревательного элемента вакуумной печи используется вольфрамовый стержень, легированный калием или редкоземельными элементами, который может выдерживать температуру более $2500\text{ }^\circ\text{C}$.

Электроника: легированные вольфрамовые стержни используются в электронно-лучевых трубках, микроволновых устройствах и лазерных излучателях.

Новое применение: высокотемпературные сопла для 3D-печати металлических устройств, устойчивые к высокотемпературным расплавам металла.

Технические проблемы:

Однородность легирующей примеси трудно контролировать, а высокотемпературное спекание может привести к испарению и повлиять на производительность.

Применение легированных торием вольфрамовых стержней является слабо радиоактивным, и необходимо разработать экологически чистые альтернативы.

Процесс легирования увеличивает сложность и стоимость производства, требуя оптимизации рецептур и процессов.

Тенденции развития:

Исследования и разработки композитного легирования редкоземельными элементами (например, $\text{La}_2\text{O}_3 + \text{Y}_2\text{O}_3$) для повышения стабильности дуги, срока службы и огнестойкости.

Технология нанолегирования используется для снижения количества легирования ($<0,5\text{ мас.}\%$) и повышения эффективности работы.

Разработка нерадиоактивных, высокоэффективных электродов, отвечающих мировым экологическим стандартам (например, Директиве EC RoHS).

3.5 Вольфрамовый стержень MSDS от CITA GROUP LTD

Ниже приведено краткое изложение паспорта безопасности материалов (MSDS) для вольфрамовых стержней China, который содержит информацию о безопасности, здоровье и окружающей среде, основанную на общих характеристиках и отраслевых стандартах вольфрамовых стержней. Поскольку вольфрамовый стержень является твердым металлическим материалом, содержание в нем MSDS относительно краткое, в основном сосредоточено на потенциальных рисках при обработке и использовании.

Паспорта безопасности материалов (MSDS)

Название продукта: Вольфрамовый стержень (чистый вольфрамовый стержень, вольфрамовый стержень высокой чистоты, легированный вольфрамовый стержень)

Химический состав:

Чистый вольфрамовый стержень: вольфрам (W) $\geq 99,9\%$, следовые примеси (Fe, Ni, C, O и т.д., 100–500 ppm).

Вольфрамовый стержень высокой чистоты: вольфрам (W) $\geq 99,95\%$, примеси < 50 ppm.

Легированный вольфрамовый стержень: вольфрам (W) 97–99,5%, легирующая примесь (например, CeO_2 , La_2O_3 , ThO_2 , K) 0,5–2 мас. %.

Физическая форма: Цельный металлический стержень плотностью 19,0–19,25 г/см³ и шероховатостью поверхности Ra 1,6–3,2 мкм.

Обзор опасности:

При комнатной температуре нет существенной опасности, высокая химическая стабильность, а также его нелегко сжечь или взорвать.

При обработке (например, резке, шлифовке, сварке) может образовываться металлическая пыль или пары, которые при вдыхании могут вызвать раздражение дыхательных путей.

Легированный торием вольфрамовый стержень (WT20) содержит оксид тория, который слабо радиоактивен и требует особой защиты.

Опасность для здоровья:

Вдыхание: Вольфрамовая пыль может раздражать дыхательные пути, а длительное воздействие может вызвать дискомфорт в легких.

Контакт с кожей: Твердые вольфрамовые стержни не токсичны, но обрабатываемая пыль может вызвать незначительное раздражение кожи.

Попадание в глаза: Пыль может вызвать механическое раздражение, и ее следует промыть для глаз.

Проглатывание: вероятность случайного проглатывания низкая, а небольшие количества проглатывания не являются существенно токсичными, но их следует избегать.

Вольфрамовые стержни, легированные торием: длительное воздействие пыли оксида тория может увеличить риск облучения, и облучение необходимо контролировать.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Меры предосторожности:

Индивидуальная защита: Во время обработки надевайте пылезащитную маску (N95 или выше), защитные очки и перчатки.

Вентиляция: Производственная зона должна быть оборудована местной системой вытяжки или удаления пыли для контроля концентрации пыли.

Радиоактивная защита (вольфрамовые стержни, легированные торием): используйте специальный вытяжной шкаф, регулярно контролируйте уровень радиации и соблюдайте местные нормы (например, Китай GB 18871-2002).

Обращение и хранение:

Хранить в сухом, хорошо проветриваемом складе вдали от контакта с сильными окислителями (например, концентрированной азотной кислотой).

Технологическое оборудование должно быть заземлено таким образом, чтобы предотвратить взрыв пыли, вызванный накоплением статического электричества.

Отходы вольфрамовых стержней перерабатываются как металлические отходы, а легированные торием вольфрамовые стержни должны быть утилизированы в соответствии с нормами обращения с радиоактивными отходами.

Меры первой помощи:

Ингаляция: Переместите человека на свежий воздух и при необходимости обратитесь за медицинской помощью.

Контакт с кожей: Промойте кожу водой с мылом и при необходимости обратитесь за медицинской помощью.

Попадание в глаза: Промойте большим количеством воды в течение не менее 15 минут и при необходимости обратитесь за медицинской помощью.

Применение: Немедленно прополощите рот, разбавьте водой и при необходимости обратитесь за медицинской помощью.

Воздействие на окружающую среду:

Вольфрамовые стержни сами по себе не токсичны для окружающей среды, но обрабатывающая пыль может загрязнять воздух или водоемы и нуждается в правильном сборе.

Отходы, легированные ториево-вольфрамовым стержнем, должны утилизироваться в соответствии с правилами обращения с радиоактивными отходами во избежание загрязнения окружающей среды.

Нормативная информация:

Он соответствует китайским стандартам GB/T 4187-2017 (стандарт вольфрамовых стержней) и YS/T 695-2009 (стандарт вольфрамовых электродов).

Легированные торием вольфрамовые стержни подпадают под действие Кодекса безопасности радиоактивных материалов Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) и китайского стандарта GB 18871-2002 (Стандарт защиты от ионизирующего излучения).

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Информация о доставке:

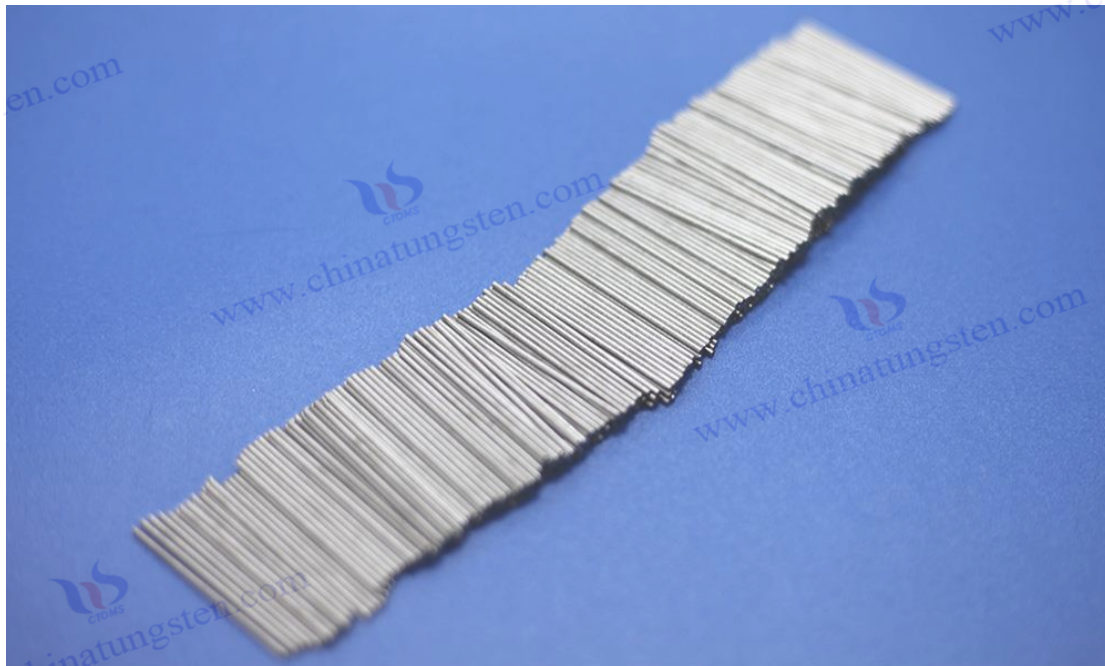
Перевозка неопасных грузов, в соответствии с требованиями Международной морской организации (ИМО) и Международной ассоциации воздушного транспорта (IATA).

Легированные торием вольфрамовые стержни должны иметь маркировку с предупреждениями о радиоактивности, а также упаковываться и транспортироваться в соответствии с правилами.

Информация о поставщиках

Поставщик: CTIA GROUP LTD

Тел.: 0592-5129696/5129595



Вольфрамовые стержни CTIA GROUP LTD

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

CTIA GROUP LTD
Tungsten Rods Introduction

1. Overview of Tungsten Rods

Tungsten rods are high-performance metallic bars made from tungsten powder (purity $\geq 99.95\%$) using powder metallurgy processes such as pressing, sintering, and swaging. With their extremely high melting point, excellent mechanical properties, and outstanding chemical stability, tungsten rods are widely used in industrial fields that demand extreme conditions.

2. Characteristics of Tungsten Rods

- ✓ Ultra-high melting point: Up to 3410°C , suitable for extreme high-temperature environments
- ✓ Excellent strength and hardness: Maintains mechanical performance even at temperatures
- ✓ Good thermal and electrical conductivity: Ideal for precision applications in electronics and heating systems
- ✓ High-density material: Suitable for counterweights and radiation shielding
- ✓ Corrosion and wear resistance: Long service life and excellent stability
- ✓ Low thermal expansion coefficient: Suitable for precision structural components

3. The Main Applications Tungsten Rods

- ✓ Aerospace and defense: Rocket nozzles, armor-piercing projectile cores, high-temperature structural parts
- ✓ Electronics industry: Cathodes, heat sinks, electrodes, contact materials
- ✓ High-temperature furnaces and metallurgy: Heating elements for vacuum furnaces, tungsten crucibles, support components
- ✓ Medical technology: Radiation shielding parts, precision surgical instruments
- ✓ Mechanical engineering: Counterweights, mold inserts, vibration dampers
- ✓ Scientific research equipment: Ultra-high temperature reactors, physical property testing components

4. Basic Data of Tungsten Rods

Item	Parameter
Density	19.3 g/cm ³
Hardness (Vickers HV)	340–400 HV
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Thermal Conductivity	~170 W/(m·K)
Coefficient of Thermal Expansion	~ 4.5×10^{-6} /K
Diameter Range	Ø1.0 mm – Ø100 mm (customizable)
Length Range	100 mm – 1000 mm (up to 2000 mm maximum)
Surface Condition	As-sintered (black), ground, polished

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Глава 4 Подготовка и технология производства вольфрамовых стержней

Поскольку вольфрамовый пруток является высокопроизводительным тугоплавким металлическим материалом, процесс подготовки включает в себя сложную обработку сырья, порошковую металлургию, деформационную обработку, последующую обработку и индивидуальную технологию для различных типов вольфрамовых прутков. Высокая температура плавления вольфрама (3410°C), высокая плотность ($19,25\text{ г/см}^3$) и уникальные механохимические свойства предъявляют строгие требования к производственному оборудованию и управлению процессами. В этой главе будет подробно рассмотрен процесс подготовки и производства вольфрамовых прутков, включая подготовку сырья, технологию порошковой металлургии, технологию деформационной обработки, подготовку крупногабаритных вольфрамовых прутков, технологию последующей обработки и технологические характеристики различных типов вольфрамовых прутков (чистые вольфрамовые прутки, вольфрамовые прутки высокой чистоты, легированные вольфрамовые прутки).

4.1 Заготовка сырья для вольфрамовых стержней

Подготовка вольфрамовых стержней начинается с приобретения и обработки высококачественного сырья, предполагающего добычу и очистку вольфрамовой руды, приготовление вольфрамового порошка, а также добавление легирующих элементов или легирующих примесей. Эти этапы оказывают непосредственное влияние на чистоту, производительность и эффективность производства вольфрамовых стержней.

4.1.1 Добыча и очистка вольфрамовой руды

Сырье для вольфрамовых прутков в основном получают из вольфрамовой руды, а к распространенным типам относятся вольфрамит (FeMnWO_4) и шеелит (CaWO_4). Добыча обычно ведется открытым или подземным способами разработки, в зависимости от геологических условий месторождения. Добытая руда проходит несколько ступеней очистки с получением вольфрамового соединения высокой чистоты.

Процесс:

Дробление и измельчение руды: сырая руда измельчается до мелких частиц ($<10\text{ мм}$) и далее очищается до микронного уровня ($10\text{--}100\text{ мкм}$) путем шарового или стержневого фрезерования для повышения эффективности последующего обогащения.

Обогащение: Гравитационное обогащение (например, отсадочный станок, встряхивание), флотация или магнитная сепарация используются для отделения вольфрамовой руды от пустой породы с получением вольфрамового концентрата с высоким содержанием вольфрама (содержание WO_3 $60\text{--}70\%$).

Химическая очистка: Вольфрамовый концентрат обжигают ($500\text{--}800^{\circ}\text{C}$) для удаления примесей, таких как сера и мышьяк, с последующим выщелачиванием щелочи (гидроксида натрия) или кислоты (соляной кислоты) с получением вольфрамата натрия (Na_2WO_4) или вольфрамовой кислоты (H_2WO_4).

Кристаллизация и рафинирование: дальнейшая очистка путем экстракции растворителем или

ионного обмена с получением вольфрама аммония высокой чистоты (APT , $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$) с чистотой более 99,9%, который подходит для последующего приготовления вольфрамового порошка.

Ключевые моменты:

Процесс обогащения должен точно контролироваться, чтобы уменьшить количество примесей (например, кремния, фосфора, железа).

Метод щелочного выщелачивания подходит для вольфрамита, а метод кислотного выщелачивания подходит для шеелита, и процесс необходимо оптимизировать в зависимости от типа руды.

АПТ высокой чистоты является ключевым сырьем для приготовления вольфрамовых стержней высокой чистоты, а примеси, такие как углерод и кислород, необходимо строго контролировать.

4.1.2 Приготовление вольфрамового порошка

Порошок вольфрама является основным сырьем для приготовления вольфрамовых стержней, которые получают путем восстановления вольфрама аммония или оксида вольфрама (WO_3) водородом, а размер и чистота частиц напрямую влияют на свойства вольфрамовых стержней.

Процесс:

Подготовка оксида: вольфрамат аммония прокаливается на воздухе ($400\text{--}600^\circ\text{C}$) и разлагается на оксид вольфрама (WO_3) или WO_2 , цвет желтый или сине-зеленый.

Восстановление водорода: оксид вольфрама восстанавливается до водорода высокой чистоты (99,999%) при температуре $600\text{--}900^\circ\text{C}$ в многотрубной печи или вращающейся печи в два этапа: сначала до WO_2 (коричневый), а затем далее до металлического порошка вольфрама (серый). Восстановительная атмосфера должна строго контролироваться, чтобы избежать загрязнения кислородом или азотом.

Просеивание и классификация: Вольфрамовый порошок ($0,5\text{--}5\text{ мкм}$) с равномерным размером частиц может быть получен с помощью вибрационного сита или классификации воздушным потоком, что подходит для различных типов вольфрамовых стержней (например, для чистых вольфрамовых стержней требуются более крупные частицы, а для вольфрамовых стержней высокой чистоты требуются более мелкие частицы).

Контроль качества: Примеси обнаруживаются с помощью рентгенофлуоресцентной спектроскопии (РФА) или масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) для обеспечения чистоты $\geq 99,9\%$ (для вольфрамового порошка высокой чистоты $\geq 99,95\%$).

Ключевые моменты:

Температура восстановления и скорость потока водорода должны быть точно отрегулированы, чтобы контролировать размер и морфологию частиц вольфрамового порошка.

Вольфрамовый порошок высокой чистоты должен производиться в чистой окружающей среде, чтобы избежать загрязнения пылью.

Вольфрамовый порошок должен быть закрыт для хранения, чтобы предотвратить окисление

или поглощение влаги.

4.1.3 Добавление легирующих элементов и легирующих примесей

Чтобы получить легированные вольфрамовые стержни или стержни из вольфрамового сплава, в вольфрамовый порошок необходимо добавить легирующие элементы или легирующие легирующие элементы для улучшения стабильности дуги, сопротивления ползучести или технологичности.

Ремесло:

Выбор легирующей примеси: Распространенные варианты легирующей примеси включают оксиды редкоземельных элементов (например, оксид церия CeO_2 , оксид лантана La_2O_3 , иттрий Y_2O_3 , 0,5–2 масс.), оксиды (например, торий ThO_2 , цирконий ZrO_2) или следовые количества калия (50–100 ppm). К легирующим элементам относятся никель, железо и медь, которые используются для приготовления стержней из вольфрамового сплава высокой плотности.

Метод смешивания: Легирующая примесь равномерно смешивается с вольфрамовым порошком с помощью высокоэнергетического шарового измельчения или распылительной сушки для обеспечения равномерного распределения легирующей примеси. Время измельчения шаров контролируется на уровне 4–8 часов, чтобы избежать чрезмерной тонкости порошка или загрязнения.

Легирующая примесь растворяется в воде в виде нитрата (например, нитрата лантана), распыляется на поверхность вольфрамового порошка, и после сушки образует равномерное легирование.

Контроль качества: Для анализа распределения легирующей примеси использовалась сканирующая электронная микроскопия (СЭМ), а для определения количества легирующей примеси с помощью РФА для обеспечения соответствия проектным требованиям (например, содержание CeO_2 $2\% \pm 0,1\%$).

Ключевые моменты:

Размер частиц легирующей примеси должен соответствовать размеру частиц вольфрамового порошка (обычно < 1 мкм) во избежание агломерации.

Вольфрамовые стержни, легированные торием, требуют особой защиты, поскольку оксид тория слабо радиоактивен.

Пропорция легирующих элементов должна контролироваться, чтобы предотвратить снижение температуры плавления или коррозионной стойкости вольфрама.

4.2 Технология порошковой металлургии вольфрамовых прутков

Порошковая металлургия является основной технологией подготовки вольфрамового стержня, которая преобразует вольфрамовый порошок в плотные стержневые заготовки путем смешивания порошков, прессования и высокотемпературного спекания, что обеспечивает основу для последующей деформационной обработки.

4.2.1 Смешивание и прессование порошков

Смешивание порошков: Вольфрамовый порошок (или легированный вольфрамовый порошок) смешивается со связующим веществом (например, поливиниловым спиртом ПВА) путем механического смешивания или распылительной сушки для обеспечения текучести и формуемости. Смесительное оборудование включает в себя планетарные мельницы или V-образные смесители со временем смешивания 2–4 часа, чтобы избежать окисления или загрязнения порошка.

Процесс прессования:

Холодное изостатическое прессование (CIP): смешанный вольфрамовый порошок загружается в гибкую форму и прессуется в стержневую заготовку под давлением 100–200 МПа с плотностью около 50–60% теоретической плотности. CIP подходит для заготовок большого размера и обладает хорошей однородностью.

Формовка: Прессование на гидравлическом прессе с использованием стальной матрицы, подходящей для небольших партий или заготовок малого диаметра под давлением 50–150 МПа.

Управление процессом: скорость прессования должна быть низкой (0,5–1 мм/с), чтобы предотвратить растрескивание заготовки. Заготовка обезжиривается в вакууме или инертной атмосфере для удаления связующего.

Ключевые моменты:

Поверхность формы должна быть гладкой, чтобы уменьшить дефекты поверхности заготовки. Давление прессования необходимо регулировать в соответствии с размером частиц порошка и типом легирующих примесей.

Чистая окружающая среда (e.g. ISO класс 7) для предотвращения загрязнения пылью.

4.2.2 Высокотемпературное спекание

Высокотемпературное спекание является ключевым этапом в порошковой металлургии, при котором частицы вольфрамового порошка соединяются при высоких температурах с образованием заготовок высокой плотности.

Процесс:

Агломерационное оборудование: используется печь для защиты от водорода или вакуумная печь для спекания, температура составляет 2000–2800 °C, температура поддерживается в течение 1–3 часов.

Процесс спекания: заготовки из вольфрамового порошка подвергаются диффузии частиц и связыванию при высоких температурах, с пористостью 5–10% и плотностью 90–95% теоретической плотности. Спекание подразделяется на предварительное спекание (1000–1500°C, удаление летучих примесей) и основное спекание (2000–2800°C, уплотнение).

Контроль атмосферы: водородная защита от окисления, расход 0,5–2 м³/ч; Вакуумное спекание (10^{-3} – 10^{-5} Па) подходит для вольфрамовых стержней высокой чистоты для снижения адсорбции газов.

Охлаждение: Медленное охлаждение (10–20°C/мин) для предотвращения трещин,

вызванных термическими нагрузками.

Ключевые моменты:

Температура спекания должна быть оптимизирована в соответствии с размером частиц вольфрамового порошка и типом легирующих примесей, слишком высокая температура может привести к слишком крупным зернам.

Атмосфера внутри печи должна быть высокой чистоты (99,999%), чтобы избежать загрязнения углем или кислородом.

Спеченная заготовка нуждается в ультразвуковом контроле на наличие внутренней пористости и трещин.

4.2.3 Оптимизация эксплуатационных характеристик спеченных вольфрамовых стержней

Спеченные вольфрамовые стержни (черные стержни) должны быть дополнительно оптимизированы в соответствии с требованиями применения.

Метод оптимизации:

Вторичное спекание: Кратковременное вторичное спекание (0,5–1 час) при температуре 2200–2600°C в вакуумной печи дополнительно снижает пористость до <2% и увеличивает плотность до более чем 19,0 г/см³.

Горячее изостатическое прессование (HIP): при обработке при 2000°C, 100–200 МПа, микропоры были удалены, а плотность была близка к теоретическому значению 19,25 г/см³.

Очистка поверхности: поверхностный оксидный слой удаляется с помощью химической очистки (соляной кислотой или фтористоводородной кислотой) до шероховатости Ra 3,2–6,4 мкм.

Регулировка микроструктуры: оптимизация размера зерна (10–50 мкм) и повышение прочности за счет контроля времени спекания и скорости охлаждения.

Ключевые моменты:

Для процесса HIP требуется специальное оборудование для высокопроизводительных вольфрамовых стержней.

Очистка поверхностей должна проводиться в проветриваемой среде, чтобы избежать кислотной опасности.

Оптимизация производительности требует балансировки размера зерна и пористости для предотвращения потери прочности.

4.3 Технология обработки деформации вольфрамового стержня

Деформационная обработка еще больше повышает плотность, прочность и точность размеров вольфрамовых прутков за счет горячей штамповки, горячей экструзии, прокатки и волочения для удовлетворения потребностей различных областей применения.

4.3.1 Горячая штамповка (молотковая ковка, ротационная ковка)

При горячей штамповке вольфрамовые стержни спекаются в прутки высокой плотности

путем высокотемпературной механической деформации, которая делится на молотковую ковку и ротационную ковку.

Процесс молотковой ковки:

Оборудование: Пневматический молот или гидравлическая ковочная машина, температура ковки 1200–1500°C, водородная или аргоновая защита.

Процесс: Спеченный вольфрамовый стержень предварительно нагревают до 1200°C и проковывают в несколько проходов с деформацией 10–20% каждый раз, постепенно уменьшая диаметр и увеличивая плотность (19,0–19,25 г/см³).

Последующая обработка: Отжиг после ковки (1000–1200°C) для снятия напряжений и точения поверхности до шероховатости Ra 1,6–3,2 мкм.

Процесс ротационной жатки:

Оборудование: Роторная обжимная машина с высокочастотным индукционным нагревателем при температуре 1200–1400°C.

Процесс: вольфрамовые стержни подвергаются разнонаправленному давлению во вращающейся матрице и равномерно деформируются, подходят для стержней малого и среднего диаметра (5–50 мм).

Преимущества: Ротационный обжим более однороден, чем ударный обжим, имеет меньший риск растрескивания и подходит для высокоточных применений.

Ключевые моменты:

Температура ковки должна точно контролироваться, чтобы избежать перегрева и перезерни.

Степень деформации необходимо контролировать шаг за шагом, чтобы предотвратить концентрацию внутренних напряжений.

Защитная атмосфера (например, аргон) предотвращает окисление поверхности.

4.3.2 Горячая экструзия

Горячая экструзия используется для формовки вольфрамовых стержней с большими техническими характеристиками или сложными сечениями, с высокой плотностью и прочностью.

Процесс:

Предварительный нагрев: спеченные вольфрамовые стержни нагреваются до 1300–1600 °C и защищаются водородом или аргоном.

Экструзия: вольфрамовые стержни экструдуются гидравлическим экструдером (500–1000 МПа) диаметром 20–100 мм и плотностью 19,0–19,2 г/см³.

Выпрямление и охлаждение: После экструзии медленно охладите (10–20 °C/мин) и отрегулируйте форму с помощью выпрямителя.

Обработка поверхности: токарная обработка или шлифовка до шероховатости Ra 1,6–3,2 мкм.

Ключевые моменты:

Формы должны быть изготовлены из устойчивых к высоким температурам материалов (таких

как молибден или керамика) для снижения износа.

Скорость экструзии (0,1–0,5 мм/с) должна быть низкой, чтобы предотвратить растрескивание. Экструзия большого диаметра требует высокотоннажного оборудования для контроля затрат.

4.3.3 Прокатка

Вольфрамовые прутки обрабатываются в малые и средние диаметры (5–20 мм) горячей или холодной прокаткой с высокой точностью размеров и хорошим качеством поверхности.

Процесс:

Горячая прокатка: спеченные или кованные вольфрамовые прутки нагреваются до 1000–1300°C и постепенно уменьшаются в диаметре путем прокатки в несколько проходов (деформация 15–25%).

Холодная прокатка (опция): вольфрамовые прутки малого диаметра (<10 мм) прокатываются при комнатной температуре или низкой температуре (<500°C) для повышения точности.

Отжиг: Отжиг при температуре 900–1100°C устраняет деформационное упрочнение и предотвращает образование трещин.

Обработка поверхности: Полированная до шероховатости Ra 1,6–3,2 мкм.

Ключевые моменты:

Для горячей прокатки требуются высокотемпературные валки (например, молибденовые сплавы), которые выдерживают твердость вольфрама.

Холодная прокатка ограничена малыми диаметрами и требует высокоточного оборудования.

Атмосфера отжига должна быть чистой, чтобы предотвратить загрязнение поверхности.

4.3.4 Вытягивание

Волочение используется для производства вольфрамовых стержней малого диаметра (<5 мм) и является ключевым процессом для изготовления вольфрамовой проволоки и прецизионных электродов.

Процесс:

Подготовка заготовки: Используйте кованные или катаные вольфрамовые стержни (диаметр 5–10 мм).

Волочение: Волочение через алмазную матрицу при температуре 800–1000°C в несколько проходов с уменьшением диаметра на 5–10% каждый раз до конечного диаметра 0,01 мм (вольфрамовая проволока).

Смазка и отжиг: Смазка графитом или дисульфидом молибдена и периодический отжиг (900–1100 °C) для снятия напряжения.

Чистка и полировка: Химическая очистка удаляет смазочные материалы и полирует до шероховатости Ra 1,6–3,2 мкм.

Ключевые моменты:

Алмазная матрица нуждается в регулярной замене для поддержания точности.

Скорость волочения (1–5 м/мин) необходимо контролировать, чтобы избежать поломки.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Для высокотемпературного волочения требуется инертная атмосфера, чтобы предотвратить окисление.

4.4 Подготовка крупногабаритных вольфрамовых стержней

Крупногабаритные вольфрамовые стержни (диаметр > 20 мм) широко используются в аэрокосмической, военной и промышленной сферах благодаря своей высокой плотности и высокой прочности.

4.4.1 Технические трудности и проблемы

Изготовление крупногабаритных вольфрамовых прутков сталкивается со следующими техническими трудностями:

Высокие требования к плотности: близкая к теоретической плотности ($19,25 \text{ г/см}^3$), при спекании и деформационной обработке нужно строго контролировать пористость.

Внутренние дефекты: Заготовки большого диаметра подвержены образованию пористости, трещин или концентраций напряжений, которые влияют на прочность.

Ограничения по оборудованию: Экструзия или ковка требуют крупнотоннажного оборудования (> 1000 тонн), которое предъявляет высокие требования к материалам штампов и системам нагрева.

Однородность: Крупногабаритные прутки подвержены образованию неравномерных зерен или расслоению по составу во время спекания и обработки.

Контроль затрат: высокое энергопотребление при высокотемпературной и высокотоннажной обработке, быстрый износ пресс-форм и повышенные производственные затраты.

4.4.2 Способ получения вольфрамовых стержней высокой плотности

Процесс:

Прессование крупноформатных заготовок: заготовки большого диаметра (диаметр 50–100 мм) получают методом холодного изостатического прессования (200–300 МПа) с плотностью теоретической плотности 50–60%.

Высокотемпературное спекание: спекание при температуре 2200–2800°C в течение 2–4 часов в вакуумной или водородной печи с плотностью 90–95%.

Горячее изостатическое прессование (HIP): 1–2 часа при 2000°C, 150–200 МПа, устранение микропористости, плотность около $19,25 \text{ г/см}^3$.

Горячая экструзия: extrudруется при 1300–1600 °C, 800–1200 МПа, диаметр 20–100 мм, шероховатость поверхности Ra 3,2–6,4 мкм.

Последующая обработка: отжиг (1000–1200°C) для снятия напряжения и точение до шероховатости Ra 1,6–3,2 мкм.

Ключевые моменты:

Процесс HIP является ключом к высокой плотности и требует оборудования сверхвысокого давления.

Экструзионные матрицы должны быть изготовлены из жаропрочных материалов (например,

молибденовых сплавов) для снижения износа.

Спекание и экструзия нагреваются секциями для обеспечения равномерной температуры.

4.4.3 Оптимизация процессов и инновации

Меры по оптимизации:

Ступенчатое спекание: многоступенчатый нагрев (предварительное спекание 1000°C, основное спекание 2500°C) используется для уменьшения чрезмерного размера зерна.

Композитные формы: используйте формы на основе молибдена или с керамическим покрытием для продления срока службы форм.

Автоматизированное управление: датчики контролируют температуру, давление и атмосферу для повышения стабильности процесса.

Непрерывная экструзия: Разработайте непрерывную линию горячей экструзии для уменьшения промежуточного охлаждения и повторного нагрева и повышения эффективности.

Контроль зерна: оптимизируйте размер зерна (10–30 мкм) и увеличьте прочность за счет добавления следовых количеств легирующих примесей, таких как калий или редкоземельные элементы.

Ключевые моменты:

Для автоматизированного управления требуются встроенные датчики температуры и давления для обеспечения мониторинга в режиме реального времени.

Композитные формы нуждаются в регулярном обслуживании для предотвращения деформации или износа.

Легирующую примесь следует добавлять точно, чтобы предотвратить ее работоспособность при высоких температурах.

4.5 Технология последующей обработки вольфрамовых стержней

Методы последующей обработки включают термообработку, обработку поверхности и прецизионную обработку для оптимизации производительности, качества поверхности и точности размеров вольфрамовых стержней.

4.5.1 Термическая обработка

Термическая обработка снимает напряжение при обработке, оптимизирует микроструктуру и улучшает механические свойства вольфрамовых стержней за счет отжига или обработки старением.

Процесс:

Отжиг для снятия напряжений: Подержите при температуре 1000–1200°C в течение 1–2 часов в вакуумной или водородной печи со скоростью охлаждения 10–20°C/мин для снижения внутреннего напряжения.

Рекристаллизационный отжиг: инкубировать при температуре 1400–1600 °C в течение 0,5–1 часа для регулировки размера зерна (10–30 мкм) для улучшения ударной вязкости.

Лечение старения (легированный вольфрамовый стержень): держите в тепле при температуре 800–1000°C в течение 2–4 часов для стабилизации распределения легирующей примеси и улучшения характеристик дуги.

Ключевые моменты:

Атмосфера отжига должна быть высокой чистоты (99,999% водорода или вакуума 10^{-5} Па) для предотвращения окисления.

Температуру и время выдержки необходимо регулировать в зависимости от типа вольфрамового стержня (чистый вольфрамовый или легированный).

Охлаждение должно быть медленным, чтобы избежать трещин, вызванных термическими нагрузками.

4.5.2 Обработка поверхности (полировка, чистка)

Обработка поверхности улучшает качество и чистоту поверхности вольфрамовых стержней в соответствии с потребностями высокоточных применений.

Процесс полировки:

Механическая полировка: полировка до шероховатости Ra 1,6–3,2 мкм с помощью алмазного шлифовального круга или абразива из оксида алюминия, подходящего для сварки электродов или полупроводниковых компонентов.

Химическая полировка: смесь фтористоводородной кислоты и азотной кислоты (соотношение 1:3) используется для замачивания на 10–30 секунд для удаления поверхностного оксидного слоя и достижения зеркального эффекта.

Электролитическая полировка: вольфрамовый стержень используется в качестве анода на основе электролита на основе фосфатов, а шероховатость поверхности может достигать Ra 1,6 мкм и менее.

Процесс очистки:

Химическая очистка: Очистка разбавленной соляной кислотой или щелочью (гидроксидом натрия) для удаления масла и оксидов с поверхности.

Ультразвуковая очистка: Добавьте чистящее средство в деионизированную воду и ультразвуковую очистку на 5–10 минут для обеспечения чистоты.

Плазменная очистка: Удаление следовых загрязнений в вакуумном плазменном оборудовании, подходящем для вольфрамовых стержней высокой чистоты.

Ключевые моменты:

Полировка должна проводиться в чистой среде (класс ISO 5) для предотвращения вторичного загрязнения.

При химической очистке необходимо контролировать концентрацию кислоты и щелочи, чтобы избежать коррозии вольфрамовых стержней.

Плазменная очистка подходит для высокоточных применений и требует специального оборудования.

4.5.3 Прецизионная обработка и резка

Прецизионная механическая обработка и резка используются для производства вольфрамовых стержней определенных форм и размеров в соответствии с требованиями высокой точности.

Процесс:

Токарная обработка: токарные станки с ЧПУ с алмазными инструментами для обработки с допусками диаметра $\pm 0,05$ мм и шероховатостью поверхности Ra 1,6–3,2 мкм.

Шлифование: Обработка вольфрамовых прутков малого диаметра (<5 мм) с допуском $\pm 0,02$ мм с помощью центрального шлифовального станка или бесцентрового шлифовального станка.

Электроэрозионная резка (EDM): Для резки вольфрамовых стержней сложной формы или больших размеров с точностью до $\pm 0,01$ мм, подходит для военных деталей.

Лазерная резка: с помощью мощных лазеров, резка вольфрамовых стержней или микродеталей малого диаметра, малой зоны термического влияния, высокой точности.

Ключевые моменты:

Алмазные инструменты необходимо регулярно заменять для поддержания точности резки.

Электроэрозионная обработка должна контролировать параметры разгрузки, чтобы предотвратить поверхностные ожоги.

Лазерная резка требует защиты инертным газом для снижения окисления.

4.6 Технологические характеристики различных типов вольфрамовых стержней

Различные типы вольфрамовых стержней (чистые вольфрамовые стержни, вольфрамовые стержни высокой чистоты, легированные вольфрамовые стержни) имеют разные процессы подготовки из-за различий в составе и применении.

4.6.1 Процесс получения вольфрамового стержня

Характеристики процесса:

Сырье: Вольфрамовый порошок чистотой $\geq 99,9\%$, размером частиц 0,5–5 мкм, а также примеси (такие как Fe, C, O) контролируются на уровне 100–500 ppm.

Порошковая металлургия: холодное изостатическое прессование (100–200 МПа) заготовки, водородное спекание (2000–2800°C), плотность 90–95%.

Деформация: горячая штамповка или прокатка (1200–1500°C), многопроходная деформация, плотность до 19,0–19,25 г/см³.

Последующая обработка: отожженная (1000–1200°C) для снятия напряжения, точеная или полированная до шероховатости Ra 1,6–3,2 мкм.

Ориентированность на применение: Процесс ориентирован на контроль затрат и подходит для общих высокотемпературных применений (таких как стержни ядра кварцевой печи, сырье для филамента).

Ключевые моменты:

Температура спекания должна балансировать рост зерна и устранение пор.

Технология обработки проста, а требования к оборудованию относительно низкие.
Обработка поверхности в основном представляет собой механическую полировку для достижения промышленной точности.

4.6.2 Процесс получения вольфрамовых стержней высокой чистоты

Характеристики процесса:

Сырье: Вольфрамовый порошок чистотой $\geq 99,95\%$, размером частиц 0,1–1 мкм, примесью $< 50 \text{ ppm}$, очищенный химическим осаждением из газовой фазы (CVD).

Порошковая металлургия: спекание ($2600\text{--}2800^\circ\text{C}$) в сверхвысоком вакууме (10^{-5} Па) с плотностью более 98% и пористостью $< 1\%$.

Деформация: ротационная обжимная или вальцовка ($1200\text{--}1400^\circ\text{C}$) с деформацией 10–15% для получения мелкодисперсных зерен (5–15 мкм).

Постобработка: электрополировка или плазменная очистка, шероховатость Ra 1,6–3,2 мкм, упаковка для чистых помещений (класс ISO 5).

Ориентированность на применение: Процесс подчеркивает высокую чистоту и чистоту и подходит для компонентов полупроводников, медицинских и EUV-литографий.

Ключевые моменты:

Для очистки и спекания требуется оборудование сверхвысокой чистоты для предотвращения загрязнения.

Для обработки требуется чистая среда для борьбы с пылью и примесями.

Постобработка в основном представляет собой химическую или электролитическую полировку для обеспечения качества поверхности.

4.6.3 Процесс легирования вольфрамовыми стержнями

Характеристики процесса:

Сырье: 0,5–2 мас.% легирующих примесей (например, CeO_2 , La_2O_3 , ThO_2 , K) добавляют в вольфрамовый порошок и равномерно перемешивают шаровым измельчением или легированием в растворе.

Порошковая металлургия: температура спекания $2300\text{--}2600^\circ\text{C}$ (ниже чистой вольфрамовой прутки) для предотвращения испарения легирующей примеси, плотность 95–98%.

Деформация: волочение или ротационное обжигание ($800\text{--}1400^\circ\text{C}$), легирующая примесь для повышения ударной вязкости и снижения риска образования трещин.

Последующая обработка: отожженная ($800\text{--}1000^\circ\text{C}$) стабилизированная легирующая примесь, отполированная до шероховатости Ra 1,6–3,2 мкм, легированный торием вольфрамовый стержень для радиоактивной защиты.

Ориентированность на применение: оптимизированная по процессу стабильность дуги и сопротивление ползучести сварочных электродов и компонентов высокотемпературных печей.

Ключевые моменты:

Легирующая примесь должна быть равномерно распределена, чтобы избежать неравномерной производительности.

Легированные торием вольфрамовые стержни требуют специальной защиты в соответствии с нормами радиоактивности.

Процесс волочения требует многократного отжига для повышения успешности механической обработки.



Вольфрамовые стержни CTIA GROUP LTD

Глава 5 Использование вольфрамовых стержней

Обладая высокой температурой плавления (3410°C), высокой плотностью ($19,25 \text{ г/см}^3$), превосходной механической прочностью, коррозионной стойкостью и химической стабильностью, вольфрамовый стержень показал незаменимую практическую ценность во многих областях. От промышленного производства до военной обороны, от электронного освещения до аэрокосмической промышленности, медицинских исследований и повседневной жизни, вольфрамовые стержни и их производные широко используются в высокопроизводительных сценариях. В этой главе будут подробно рассмотрены конкретные области применения вольфрамовых стержней в промышленности, военной и оборонной промышленности, электронике и светотехнике, автомобилестроении и аэрокосмической промышленности, медицинских и научных исследованиях и других областях, включая стержни из кварцевых печей, бронебойные сердечники пуль, электроды из вольфрамовой проволоки, высокотемпературные компоненты для аэрокосмической промышленности, радиационную защиту, спортивные товары и многое другое.

5.1 Промышленное применение вольфрамовых стержней

Промышленное применение вольфрамовых стержней в основном сосредоточено в высокотемпературных, высоконагруженных и прецизионных производственных средах, а высокая температура плавления и стабильность размеров делают их идеальным материалом в экстремальных условиях работы.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

5.1.1 Вольфрамовый стержень для кварцевой печи

Кварцевые печи используются для производства кварцевого стекла высокой чистоты, в основном для оптической волоконной, полупроводниковой и фотоэлектрической промышленности. В качестве стержня в печи используется вольфрамовый стержень, который выдерживает высокие температуры 2000–2500°C для сохранения структурной стабильности и обеспечения равномерного потока кварцевого расплава.

Особенности приложения:

Требования к материалу: чистый вольфрамовый стержень (чистота $\geq 99,9\%$) или вольфрамовый стержень высокой чистоты ($\geq 99,95\%$), диаметр 10–50 мм, для предотвращения адгезии кварца.

Функция: Стержень ядра закреплен в центре корпуса печи, направляя кварцевую заготовку для расплавления в форму трубки или стержня, которая может выдерживать высокую температуру и небольшую окислительную атмосферу.

Преимущества: высокая температура плавления вольфрама и низкий коэффициент теплового расширения ($4,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) гарантируют, что он не размягчается и не деформируется при длительной эксплуатации; Низкое давление пара снижает загрязнение в печи.

Типичный сценарий: производство волоконно-оптических преформ или кварцевых трубок для базовых станций связи 5G или подложек для солнечных батарей.

Ключевые моменты:

Стержень стержня необходимо регулярно чистить, чтобы остатки кварца не повлияли на качество поверхности.

Защита от водорода или инертной атмосферы для длительного срока службы.

Прецизионная механическая обработка обеспечивает округлость и прямолинейность стержня и отвечает требованиям, предъявляемым к высокоточным кварцевым изделиям.

5.1.2 Получение пластин из монокристаллического кремния

Монокристаллические кремниевые пластины являются основным материалом для производства полупроводниковых чипов, а вольфрамовые стержни используются в качестве нагревательных элементов, опор или зажимных стержней для затравки в монокристаллических печах Чохральского.

Особенности приложения:

Требования к материалу: вольфрамовый стержень высокой чистоты (чистота $\geq 99,95\%$), диаметр 5–20 мм, для предотвращения загрязнения расплава кремния.

Функция: В качестве зажимного стержня затравочного кристалла, он может фиксировать кристалл кремния на затравке и направлять рост монокристалла; В качестве нагревательного элемента он выдерживает высокую температуру 2300°C и обеспечивает стабильное тепловое поле.

Преимущества: высокая химическая стабильность обеспечивает отсутствие загрязнения кремнием высокой чистоты; Высокая прочность и сопротивление ползучести выдерживают длительные периоды работы при высоких температурах; Низкое давление пара подходит для

работы в вакуумных условиях.

Типичный сценарий: производство 8–12-дюймовых монокристаллических кремниевых пластин для производства 5-нм чипов.

Ключевые моменты:

Вольфрамовые стержни нужно обрабатывать и хранить в чистом помещении, чтобы избежать занесения примесей.

Зажимной стержень должен быть обработан с высокой точностью, чтобы обеспечить идеальное выравнивание с затравочным кристаллом.

Регулярно заменяйте нагревательный элемент, чтобы рост зерна не повлиял на производительность.

5.1.3 Очистка редкоземельных элементов

Редкоземельные элементы (например, лантан, церий, неодим) играют важную роль в области новой энергетики, магнитных материалов и катализаторов, а вольфрамовые стержни используются в качестве электродов или опор для тиглей в электролитических печах или высокотемпературных плавильных печах для очистки редкоземельных элементов.

Особенности приложения:

Требования к материалу: чистый вольфрамовый стержень или легированный вольфрамовый стержень (легированный церием или лантаном, 0,5–2 мас.%), диаметр 10–30 мм.

Функция: В качестве электрода вольфрамовый стержень обеспечивает стабильный ток при электролитической очистке; В качестве опоры он выдерживает высокие температуры 1600–2000°C и сохраняет конструкцию в целости.

Преимущества: сильная коррозионная стойкость, устойчивость к эрозии редкоземельных расплавов; Легированный вольфрамовый стержень улучшает стабильность дуги и продлевает срок службы электродов; Высокая плотность обеспечивает механическую стабильность.

Типичный сценарий: Производство высокочистого лантана (La) или церия (Ce) для постоянных магнитов для ветроэнергетики или катализаторов выхлопных газов автомобилей.

Ключевые моменты:

Легированные вольфрамовые стержни должны быть равномерно легированы, чтобы обеспечить стабильные характеристики дуги.

Поверхность электрода необходимо отполировать, чтобы уменьшить количество редкоземельных остатков.

Электролитическая печь нуждается в инертной атмосфере для предотвращения окисления вольфрамовых стержней.

5.1.4 Вольфрамовый тигель для печи из сапфирового стекла

Кристаллы сапфира (Al_2O_3) являются ключевыми материалами для светодиодных подложек и оптических окон, а вольфрамовые стержни перерабатываются в тигли или подложки в печах для выращивания кристаллов сапфира, выдерживающих температуру 2200–2400 °C.

Особенности приложения:

Требования к материалу: вольфрамовый стержень высокой чистоты (чистота $\geq 99,95\%$), диаметр 20–100 мм, шероховатость поверхности Ra 1,6–3,2 мкм после переработки в тигель.

Функция: Вольфрамовый тигель содержит расплавленный оксид алюминия, а опора фиксирует тигель или затравочный кристалл, поддерживает стабильное тепловое поле и способствует росту монокристалла.

Преимущества: высокая температура плавления и сопротивление ползучести гарантируют, что тигель не деформируется; Низкий коэффициент теплового расширения снижает термическое напряжение; Высокая плотность обеспечивает механическую поддержку.

Типичный сценарий: производство сапфировых стекол диагональю 4–6 дюймов для светодиодного освещения или экранов смартфонов.

Ключевые моменты:

Тигель должен быть прецизионно обработан для обеспечения гладкой внутренней стенки и уменьшения дефектов кристаллов.

Вакуумная или водородная защита предотвращает окисление вольфрамовых тиглей.

Тигель необходимо регулярно осматривать, чтобы трещины не повлияли на качество кристалла.

5.2 Вольфрамовые стержни используются в военной и национальной обороне

Высокая плотность и прочность вольфрамовых стержней делают их важным применением в военной и оборонной областях, особенно в бронебойных сердечниках и фугасных вольфрамовых стержнях.

5.2.1 Бронебойные ядра

Бронебойные сердечники используются в танковых пушках или противотанковом оружии, а стержни из вольфрамового сплава являются идеальным материалом благодаря своей высокой плотности и твердости.

Особенности приложения:

Требования к материалу: стержень из вольфрамового сплава (W-Ni-Fe или W-Ni-Cu, содержание вольфрама 90–95 мас.%), плотность 18,0–18,5 г/см³, диаметр 10–30 мм.

Функция: Ядро пробивает броню при высокоскоростном ударе (>1500 м/с), опирается на высокую плотность для обеспечения кинетической энергии, а высокая твердость гарантирует, что он не фрагментируется.

Преимущества: более экологичны, чем сердечники из обедненного урана, с плотностью, близкой к урану (19,1 г/см³); Отличная прочность на разрыв (800–1200 МПа) обеспечивает ударопрочность; Он обладает хорошей производительностью обработки и легко формуется.

Типичный сценарий: для 120-мм танковых снарядов или боевых частей противотанковых ракет.

Ключевые моменты:

Соотношение сплавов необходимо оптимизировать, чтобы обеспечить баланс между

плотностью и ударной вязкостью.

Сердечник должен быть обработан с высокой точностью, а допуск по диаметру $\pm 0,05$ мм.

Полировка поверхности снижает сопротивление воздуха и увеличивает дальность действия.

5.2.2 Вольфрамовые стержни фугасные

Фугасный вольфрамовый стержень (также известный как концепция «кинетического стержня» или «скипетра Бога») представляет собой гипотетическое высокоскоростное кинетическое оружие, которое использует вольфрамовые стержни для метания из космоса или с большой высоты, полагаясь на гравитационное ускорение и плотность для создания огромной разрушительной силы.

Особенности приложения:

Требования к материалу: стержень из чистого вольфрама или вольфрамового сплава, плотность 19,0–19,25 г/см³, диаметр 50–100 мм.

Функция: Вольфрамовый стержень поражает цель на сверхзвуковой скорости (>100 Махов) с большой высоты (> 10 км), выделяя кинетическую энергию, эквивалентную небольшой ядерной бомбе, для разрушения подземных крепостей или военных объектов.

Преимущества: Высокая плотность обеспечивает огромную кинетическую энергию; Высокая температура плавления выдерживает тепло трения при входе в атмосферу ($>2000^{\circ}\text{C}$); Нерадиоактивный и в соответствии с международными нормами.

Типичный сценарий: теоретически используется для нанесения точных ударов по особо важным целям, таким как командные центры или ядерные объекты.

Ключевые моменты:

Вольфрамовые стержни должны быть покрыты высокой термостойкостью, чтобы предотвратить повторную абляцию.

Размеры и вес должны быть точно спроектированы для обеспечения стабильной траектории.

Система метания требует высокоточного наведения для контроля погрешности точки посадки.

5.3 Вольфрамовые стержни используются в электронике и освещении

Вольфрамовые стержни широко используются в вольфрамовых нитях, электродах и мишенях для распыления благодаря их высокой температуре плавления, электропроводности и низкому давлению пара.

5.3.1 Вольфрамовая нить (нить, опорная проволока)

Вольфрамовая нить является основным компонентом ламп накаливания, галогенных ламп и специальных источников света и изготавливается из вольфрамового стержня.

Особенности приложения:

Требования к материалу: чистый вольфрамовый пруток (чистота $\geq 99,9\%$), оттягиваемый в вольфрамовую проволоку диаметром 0,01–0,1 мм.

Функция: Нить накаливания излучает свет при высокой температуре 2500–2800 $^{\circ}\text{C}$,

обеспечивая высокоэффективный источник света; Опорная проволока фиксирует нить для поддержания устойчивости конструкции.

Преимущества: высокая температура плавления гарантирует, что нить не плавится; Низкое давление пара снижает испарение и продлевает срок службы; Хорошая электропроводность (18% IACS) поддерживает эффективную люминесценцию.

Типичные сцены: автомобильные галогенные фары, лампы проектора, сценическое освещение.

Ключевые моменты:

Вольфрамовую нить необходимо отжечь несколько раз для улучшения пластичности.

Нить накала должна быть равномерно натянута, чтобы предотвратить локальный перегрев и поломку.

Инертные газы (например, аргон) заполняют колбу и уменьшают испарение вольфрама.

5.3.2 Электроды (вольфрамовые электроды, редкоземельные вольфрамовые электроды)

Вольфрамовые стержни перерабатываются в электроды и широко используются в аргонодуговой сварке (TIG), плазменной сварке и электронном оборудовании.

Особенности приложения:

Требования к материалу: легированные вольфрамовые стержни (например, WC20, легированный церием, WL20, WL20, WT20, легированный торием), диаметр 1–5 мм.

Функция: Электрод обеспечивает стабильный ток в высокотемпературной дуге ($>6000^{\circ}\text{C}$), воспламеняя и поддерживая дугу, подходит для сварки или плазменной резки.

Преимущества: легированный вольфрамовый стержень для улучшения стабильности дуги и снижения потерь при горении; Высокая температура плавления для выдерживания высоких температур дуги; Редкоземельное легирование (например, CeO_2) является нерадиоактивным и экологически чистым по сравнению с электродами, легированными торием.

Типовые сценарии: сварка нержавеющей стали или алюминиевых сплавов, плазменная обработка в производстве полупроводникового оборудования.

Ключевые моменты:

Кончик электрода необходимо отшлифовать до конической формы для оптимизации концентрации дуги.

Легирующая примесь должна быть равномерно распределена для обеспечения стабильной производительности.

Электроды, легированные торием, должны быть защищены и соответствовать нормам радиоактивности.

5.3.3 Распыление мишеней

Вольфрамовые стержни перерабатываются в мишени для распыления покрытий методом физического осаждения из газовой фазы (PVD) для производства полупроводников и оптических приборов.

Особенности приложения:

Требования к материалу: вольфрамовый стержень высокой чистоты (чистота $\geq 99,95\%$), диаметр 50–100 мм.

Функция: Мишень бомбардируется высокоэнергетическими ионами в вакуумной камере, высвобождая атомы вольфрама, которые осаждаются на подложке с образованием проводящего или защитного покрытия.

Преимущества: Высокая чистота гарантирует, что покрытие не содержит примесей; Низкое давление пара подходит для работы в вакуумной среде; Высокая плотность увеличивает срок службы цели.

Типичный сценарий: производство межклеточных слоев для микросхем 3–5 нм и изготовление антибликовых оптических покрытий.

Ключевые моменты:

Материал мишени должен иметь сверхвысокую чистоту, чтобы предотвратить загрязнение микросхемы.

Поверхность должна быть подвергнута электрополировке, чтобы уменьшить количество дефектов частиц.

Целевой материал необходимо регулярно заменять для восстановления остаточного вольфрама.

5.4 Вольфрамовые стержни используются в автомобилестроении и аэрокосмической промышленности

Применение вольфрамового стержня в автомобильной и аэрокосмической отраслях в основном использует его высокую плотность, высокую прочность и высокую термостойкость для удовлетворения потребностей сложных условий работы.

5.4.1 Компоненты автомобильной автоматики

Вольфрамовые стержни используются в автомобилестроении для изготовления противовесов, сварочных электродов и компонентов автоматизации для повышения эффективности и производительности.

Особенности приложения:

Требования к материалу: стержень из вольфрамового сплава (W-Ni-Fe, плотность 18,0–18,5 г/см³) или легированный вольфрамовый стержень (WC20), диаметр 5–20 мм.

Функция: Противовесы (например, противовесы коленчатого вала) оптимизируют вибрацию двигателя; Вольфрамовые электроды используются для контактной точечной сварки, соединения стальных пластин корпуса; Компоненты высокой плотности используются в автоматических коробках передач для повышения износостойкости.

Преимущества: высокая плотность уменьшает объем компонентов; Высокая твердость (350–500 HV) выдерживает истирание; Легированный вольфрамовый электрод улучшает стабильность сварки.

Типичный сценарий: сварка аккумуляторной батареи автомобиля на новых источниках энергии, оптимизация противовеса двигателя.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Ключевые моменты:

Противовес должен быть прецизионно обработан с контролируемым допуском по весу $\pm 0,1$ г.

Сварочные электроды необходимо регулярно шлифовать, чтобы сохранить форму наконечника.

Компоненты должны быть покрыты антикоррозийным покрытием, устойчивым к влаге и солевому туману.

5.4.2 Высокотемпературные компоненты для аэрокосмической промышленности

Вольфрамовые стержни используются в аэрокосмической промышленности для высокотемпературных двигателей, компонентов для испытаний в аэродинамической трубе и противовесов для удовлетворения требований экстремальных условий.

Особенности приложения:

Требования к материалу: стержень из чистого вольфрама или вольфрамового сплава, плотность 19,0–19,25 г/см³, диаметр 10–50 мм.

Функция: Футеровка сопла выдерживает высокую температуру плазменного двигателя ($>2000^{\circ}\text{C}$); Оптимизация центра тяжести с помощью противовесов (например, весов спутников); Компоненты для испытаний в аэродинамической трубе устойчивы к термической деформации.

Преимущества: Высокая температура плавления и сопротивление ползучести обеспечивают высокую температурную стабильность; Высокая плотность обеспечивает эффективные противовесы; Низкий коэффициент теплового расширения снижает термическое напряжение. Типичный сценарий: сопла ионных двигателей, противовесы управления ориентацией космических аппаратов.

Ключевые моменты:

Компоненты должны быть покрыты термостойким покрытием для предотвращения окисления.

Противовес должен быть обработан с высокой точностью, чтобы обеспечить точный центр тяжести.

Компоненты аэродинамической трубы должны быть отполированы для уменьшения помех воздушному потоку.

5.5 Вольфрамовый стержень используется в медицинских и научных исследованиях

Применение вольфрамового стержня в области медицины и научных исследований в основном основано на его высокой плотности, устойчивости к высоким температурам и химической стабильности для удовлетворения потребностей высокой точности и специальных условий.

5.5.1 Медицинские изделия (радиационная защита)

Вольфрамовые стержни перерабатываются в радиационные щиты, которые широко используются в рентгеновском, компьютерном и лучевом оборудовании для защиты

медицинских работников и пациентов.

Особенности приложения:

Требования к материалу: стержень из вольфрамового сплава (W-Ni-Cu, плотность 18,0–18,5 г/см³), диаметр 10–50 мм.

Функция: Экранирование поглощает высокоэнергетические рентгеновские или гамма-лучи, заменяя свинцовое экранирование и обеспечивая более высокую эффективность защиты.

Преимущества: Высокая плотность обеспечивает отличные характеристики экранирования, на 30% меньший объем по сравнению со свинцом; Нетоксичный, в соответствии с медицинскими требованиями и требованиями охраны окружающей среды; Высокая прочность выдерживает длительную эксплуатацию.

Типичные сцены: коллиматор компьютерной томографии, щит оборудования для лучевой терапии опухолей.

Ключевые моменты:

Экранирование должно быть точно обработано, чтобы свести к минимуму зазоры.

Поверхность должна быть отполирована, чтобы пыль не загрязняла медицинскую среду.

Сплав должен не содержать свинца и соответствовать требованиям RoHS.

5.5.2 Экспериментальное оборудование (высокотемпературные эксперименты)

Вольфрамовые стержни используются в научных исследованиях для высокотемпературного экспериментального оборудования, такого как вакуумные печи, эксперименты по сверхпроводимости и плазменные исследования.

Особенности приложения:

Требования к материалу: вольфрамовый стержень высокой чистоты (чистота $\geq 99,95\%$) или легированный вольфрамовый стержень, диаметр 5–20 мм.

Функция: В качестве нагревательного элемента выдерживает высокую температуру выше 2500°C; В качестве электрода он обеспечивает стабильный ток; В качестве поддержки поддерживайте стабильную экспериментальную установку.

Преимущества: низкое давление пара обеспечивает чистую вакуумную среду; Высокая температура плавления поддерживает экстремальные температуры; Химическая стабильность предотвращает экспериментальное загрязнение.

Типичные сценарии: испытания высокотемпературных сверхпроводящих материалов, эксперименты по термоядерной плазме.

Ключевые моменты:

Вольфрамовые стержни должны быть сверхвысокой чистоты, чтобы примеси не мешали эксперименту.

Электроды необходимо отполировать, чтобы уменьшить нестабильность дуги.

Вакуумная печь нуждается в регулярном техническом обслуживании для предотвращения окисления вольфрамовых стержней.

CTIA GROUP LTD Tungsten Rods Introduction

1. Overview of Tungsten Rods

Tungsten rods are high-performance metallic bars made from tungsten powder (purity $\geq 99.95\%$) using powder metallurgy processes such as pressing, sintering, and swaging. With their extremely high melting point, excellent mechanical properties, and outstanding chemical stability, tungsten rods are widely used in industrial fields that demand extreme conditions.

2. Characteristics of Tungsten Rods

- ✓ Ultra-high melting point: Up to 3410°C , suitable for extreme high-temperature environments
- ✓ Excellent strength and hardness: Maintains mechanical performance even at temperatures
- ✓ Good thermal and electrical conductivity: Ideal for precision applications in electronics and heating systems
- ✓ High-density material: Suitable for counterweights and radiation shielding
- ✓ Corrosion and wear resistance: Long service life and excellent stability
- ✓ Low thermal expansion coefficient: Suitable for precision structural components

3. The Main Applications Tungsten Rods

- ✓ Aerospace and defense: Rocket nozzles, armor-piercing projectile cores, high-temperature structural parts
- ✓ Electronics industry: Cathodes, heat sinks, electrodes, contact materials
- ✓ High-temperature furnaces and metallurgy: Heating elements for vacuum furnaces, tungsten crucibles, support components
- ✓ Medical technology: Radiation shielding parts, precision surgical instruments
- ✓ Mechanical engineering: Counterweights, mold inserts, vibration dampers
- ✓ Scientific research equipment: Ultra-high temperature reactors, physical property testing components

4. Basic Data of Tungsten Rods

Item	Parameter
Density	19.3 g/cm^3
Hardness (Vickers HV)	340–400 HV
Electrical Conductivity (20°C)	$\sim 30\%$ IACS
Thermal Conductivity	$\sim 170 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
Coefficient of Thermal Expansion	$\sim 4.5 \times 10^{-6} / \text{K}$
Diameter Range	$\varnothing 1.0 \text{ mm} - \varnothing 100 \text{ mm}$ (customizable)
Length Range	$100 \text{ mm} - 1000 \text{ mm}$ (up to 2000 mm maximum)
Surface Condition	As-sintered (black), ground, polished

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

5.6 Вольфрамовые стержни используются в других областях

Вольфрамовые стержни также имеют уникальное применение в спортивных товарах, ювелирных изделиях и специальных инструментах, что отражает их универсальность.

5.6.1 Спортивные товары (дротики из карбида вольфрама)

Стержни из вольфрамового сплава используются для изготовления высококачественных дротиков для улучшения соревновательных характеристик.

Особенности приложения:

Требования к материалу: стержень из вольфрамового сплава (W-Ni-Cu, плотность 18,0–18,5 г/см³), диаметр 5–10 мм.

Функция: Корпус дротика использует высокую плотность для достижения небольшого объема и большого веса, оптимизируя стабильность и точность броска.

Преимущества: Высокая плотность, меньшие по размеру, чем у традиционных латунных дротиков, подходит для плотных целевых зон; Высокая твердость, позволяющая выдерживать многократные удары; Он может быть настроен в соответствии с индивидуальными потребностями.

Типичные сцены: профессиональные соревнования по дартсу, высококласное развлекательное оборудование.

Ключевые моменты:

Дротики должны быть точно повернуты, чтобы контролировать распределение веса.

Поверхность должна быть отполирована или покрыта для улучшения эстетики и ощущений.

Соотношение сплавов необходимо оптимизировать, чтобы обеспечить ударную вязкость и предотвратить поломку.

5.6.2 Ювелирные изделия (ювелирные изделия из карбида вольфрама)

Стержни из вольфрамового сплава перерабатываются в кольца, браслеты и другие украшения, которые отличаются красотой и долговечностью.

Особенности приложения:

Требования к материалу: стержень из вольфрамового сплава (W-Ni-Cu или W-C, плотность 18,0–18,5 г/см³), диаметр 5–20 мм.

Функция: Ювелирные изделия обладают высокой твердостью и коррозионной стойкостью, обеспечивая устойчивость к царапинам и долговечность; Высокая плотность создает ощущение спокойствия.

Преимущества: более износостойкий, чем нержавеющая сталь или титан; Может быть отполирован до зеркального эффекта; Он не токсичен и подходит для людей с чувствительной кожей.

Типичные сюжеты: обручальные кольца, памятные браслеты, модные украшения высокого класса.

Ключевые моменты:

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Украшения должны быть обработаны с высокой точностью и допусками по размерам $\pm 0,05$ мм.

Поверхность должна быть гальванической или CVD-покрытием для повышения стойкости к окислению.

Конструкция должна быть чувствительной к весу, чтобы чрезмерный вес не влиял на комфорт при ношении.

5.6.3 Специальные инструменты и пресс-формы

Вольфрамовые стержни обрабатываются в режущие инструменты, штампы или износостойкие детали для высокоинтенсивной промышленной обработки.

Особенности приложения:

Требования к материалу: стержень из чистого вольфрама или вольфрамового сплава, плотность 19,0–19,25 г/см³, диаметр 5–30 мм.

Функция: резка твердых материалов (таких как керамика, легированная сталь); штамповка автомобильных деталей или электронных компонентов; Износостойкие детали используются в горнодобывающем оборудовании.

Преимущества: Высокая твердость (350–500 HV) стойкость к износу; Высокая прочность выдерживает высокие нагрузки; Коррозионная стойкость и увеличенный срок службы.

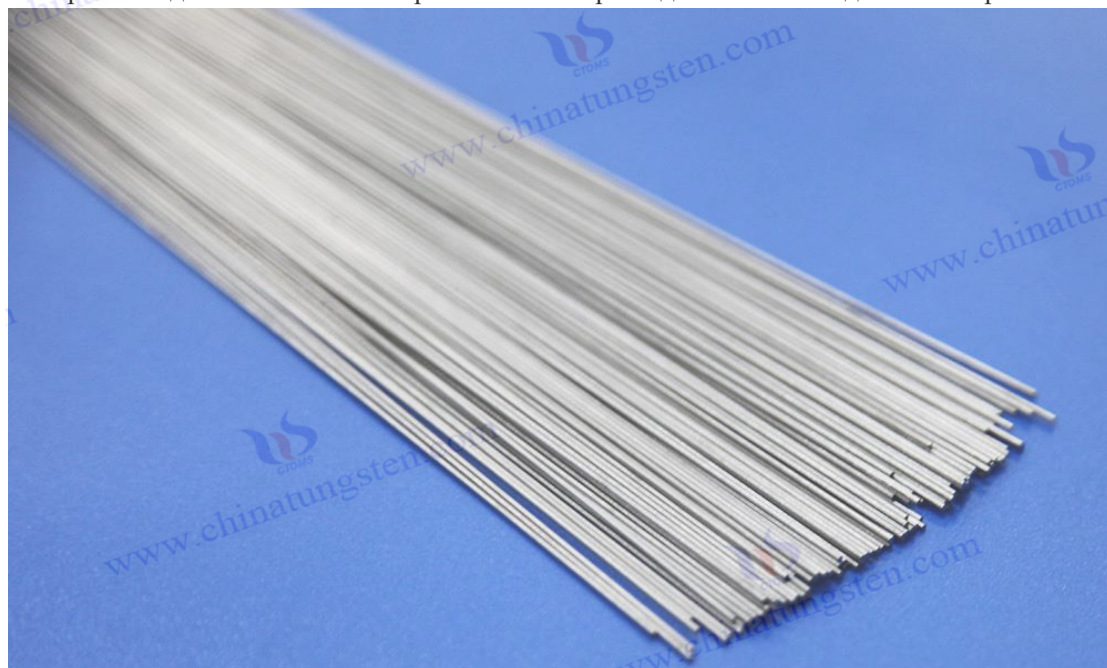
Типичный сценарий: обработка авиационных деталей, изготовление пресс-форм для электронных чипов.

Ключевые моменты:

Резак должен быть отшлифован алмазом, чтобы режущая кромка была острой.

Форма нуждается в термической обработке, чтобы снять напряжение при обработке.

Поверхность должна быть отполирована или покрыта для снижения адгезии материала.



Вольфрамовые стержни CTIA GROUP LTD

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Глава 6 Оборудование для производства вольфрамовых стержней

Производство вольфрамовых стержней включает в себя сложную технологическую цепочку от обработки сырья до обработки готовой продукции, что требует чрезвычайно высокой производительности оборудования, поскольку высокая температура плавления вольфрама (3410 °C), высокая плотность (19,25 г/см³) и твердость (350–500 HV) требуют специализированного оборудования для достижения высокой точности, высокой эффективности и высокого качества производства. В этой главе основное внимание уделяется ключевому оборудованию, необходимому для производства вольфрамовых прутков, включая оборудование для порошковой металлургии (смесители, прессы, высокотемпературные печи для спекания), оборудование для деформационной обработки (воздушные молоты, электрогидравлические молоты, ротационные обжимные машины, машины для горячей экструзии, прокатные станы, волочильные машины), оборудование для постобработки (печи для термической обработки, оборудование для полировки и очистки, оборудование для прецизионной обработки), современное производственное оборудование (плазменное спекание) оборудование, вакуумные плавильные печи, системы автоматического управления) и практические руководства по выбору и обслуживанию оборудования.

6.1 Оборудование для порошковой металлургии вольфрамовых прутков

Порошковая металлургия является основным процессом производства вольфрамового стержня, который включает в себя смешивание, прессование и высокотемпературное спекание вольфрамового порошка, а используемое оборудование должно обеспечивать однородность порошка, компактность заготовки и высокую температурную стабильность.

6.1.1 Смесители

Смеситель используется для однородного смешивания вольфрамового порошка с легирующими примесями (такими как оксид церия, оксид лантана) или связующими веществами (например, поливиниловым спиртом) для получения высококачественного сырья для последующего прессования.

Особенности оборудования:

Тип: V-образный смеситель, планетарная шаровая мельница или трехмерный смеситель объемом 50–500 л и подходит для мелкого и среднего серийного производства.

Принцип работы: Порошок перебивается в контейнере вращением или вибрацией, и планетарная шаровая мельница достигает перемешивания на микронном уровне путем высокоскоростного измельчения со временем смешивания 2–8 часов.

Адаптация к технологическому процессу: V-образный смеситель подходит для чистого вольфрамового порошка или низкого количества легирования (<1 мас.%); Шаровые мельницы подходят для высоколегированных (например, 2 мас.% CeO₂) или наноразмерных порошков, где необходимо контролировать мелющую среду (вольфрамовые или циркониевые шарики) во избежание загрязнения.

Ключевые параметры: 50–300 об/мин, чистота (окружающая среда ISO 7), защита от окисления инертными газами (например, азотом).

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Производственная практика:

Внутренняя стенка смесителя должна быть облицована нержавеющей сталью или вольфрамовым сплавом для уменьшения загрязнения железом.

Оснащен системой сбора пыли для предотвращения разлета вольфрамового порошка.

Однородность смеси (например, анализ SEM) регулярно проверяется для обеспечения равномерного распределения легирующей примеси.

6.1.2 Прессы

Пресс прессует смешанный вольфрамовый порошок в стержневую заготовку, которая обеспечивает исходную форму и плотность для спекания.

Особенности оборудования:

Тип: Холодный изостатический пресс (CIP) в качестве основного пресса, дополненный гидравлическим формовочным прессом, диапазон давлений 100–300 МПа.

Принцип работы: CIP прессует заготовки диаметром 20–100 мм путем приложения равномерного давления в жидкой среде (воде или масле) через гибкую форму (резиновую или полиуретановую); Формовочная машина прессуется непосредственно с помощью стальной матрицы и подходит для небольших диаметров (<20 мм).

Адаптация процесса: CIP подходит для заготовок большого размера или сложной формы, с плотностью 50–60% теоретической плотности; Формовочная машина подходит для высокоточного мелкосерийного производства с допуском $\pm 0,1$ мм.

Ключевые параметры: точность регулирования давления ± 1 МПа, скорость прессования 0,5–1 мм/с, гладкая поверхность формы для уменьшения дефектов.

Производственная практика:

Формы CIP необходимо регулярно заменять, чтобы деформация не повлияла на качество заготовки.

Формовочная машина должна быть оснащена устройством вакуумной дегазации для удаления воздуха между порошками.

После прессования заготовку необходимо подвергнуть рентгеновскому излучению, чтобы проверить наличие внутренних трещин или пор.

6.1.3 Высокотемпературная печь для спекания

Высокотемпературная печь для спекания нагревает прессованную заготовку до 2000–2800 °C для связывания частиц вольфрамового порошка с образованием стержня высокой плотности.

Особенности оборудования:

Тип: Водородная защитная, вакуумная печь для спекания или индукционная печь с объемом печи 0,1–1 м³.

Принцип действия: С помощью резистивного или индукционного нагрева в печь или вакуум (10^{-3} – 10^{-5} Па) вводится высокочистый водород (99,999%) и заготовка диспергируется при высоких температурах с плотностью 90–95%.

Адаптация к технологическому процессу: водородная печь подходит для чистых

вольфрамовых стержней, а ее стоимость низкая; Вакуумная печь подходит для вольфрамовых стержней высокой чистоты для снижения адсорбции примесей; Индукционные печи подходят для быстрого спекания с временем выдержки 1–3 часа.

Ключевые параметры: точность регулирования температуры $\pm 10^{\circ}\text{C}$, скорость охлаждения $10\text{--}20^{\circ}\text{C}/\text{мин}$, материал печи молибден или графит.

Производственная практика:

Пространство печи необходимо регулярно очищать для удаления отложений паров вольфрама.

Оснащен системой мониторинга атмосферы для определения содержания кислорода ($<10\text{ ppm}$) в режиме реального времени.

После спекания стержни подвергаются ультразвуковому контролю, чтобы убедиться в отсутствии внутренних дефектов.

6.2 Оборудование для обработки деформации вольфрамового стержня

Оборудование для обработки деформаций повышает плотность и прочность вольфрамовых стержней за счет высокотемпературной механической деформации, включающей ковку, экструзию, прокатку и волочение.

6.2.1 Пневматические молоты и электрогидравлические молоты

Пневматические молоты и электрогидравлические молоты используются для горячей штамповки заготовок вольфрамового прутка, предварительной формовки и увеличения плотности.

Особенности оборудования:

Тип: пневматический молот (0,5–5 тонн), электрогидравлический молот (1–10 тонн), подходит для стержней диаметром 20–100 мм.

Принцип работы: Пневматический молот приводит в движение головку молота сжатым воздухом, а электрогидравлический молот обеспечивает более высокую точность и усилие (50–200 кН) через гидравлическую систему, проковывая в несколько проходов при температуре $1200\text{--}1500^{\circ}\text{C}$ с деформацией 10–20% за проход.

Адаптация процесса: пневматический молот подходит для мелкого и среднего производства, низкая стоимость; Электрогидравлический молот подходит для прутков большого размера, с высокой точностью управления и уменьшением трещин.

Ключевые параметры: частота ковки 10–30 раз/мин, нагрев с водородной защитой, материал формы — молибденовый сплав.

Производственная практика:

Оснащен индукционным нагревателем для поддержания постоянной температуры ковки.

Головку молотка необходимо регулярно разглаживать, чтобы не допустить появления вмятин на поверхности прутка.

Отжиг после ковки ($1000\text{--}1200^{\circ}\text{C}$) снимает напряжение.

6.2.2 Роторные обжимные машины

Роторная обжимная машина осуществляет высокоточную ковку вольфрамовых прутков с помощью вращающихся штампов, что подходит для прутков малого и среднего диаметра.

Особенности оборудования:

Тип: Роторный коточный станок с ЧПУ, диаметр обработки 5–50 мм, оснащенный высокочастотным индукционным нагревом.

Принцип работы: вольфрамовый стержень вращается со скоростью 1200–1400°С, а форма прикладывает разноравномерное давление, постепенно уменьшая диаметр, при этом деформация происходит равномерно, а плотность достигает 19,0–19,25 г/см³.

Адаптация процесса: подходит для вольфрамового стержня высокой чистоты или легированного вольфрамового стержня с допуском $\pm 0,05$ мм.

Основные параметры: скорость вращения 100–500 об/мин, давление 10–50 кН, срок службы формы ок. 1000 циклов.

Производственная практика:

Форма должна быть на основе молибдена или с керамическим покрытием, чтобы выдерживать высокотемпературный износ.

Оснащен системой охлаждения для предотвращения перегрева оборудования.

После ротационного обжига стержень необходимо выпрямить, чтобы сохранить прямолинейность.

6.2.3 Горячие экструдеры

Машина для горячей экструзии используется для формовки вольфрамовых прутков с большими техническими характеристиками или сложными сечениями, с высокой плотностью и прочностью.

Особенности оборудования:

Тип: Гидравлический экструдер, давление 500–1200 МПа, подходит для диаметров 20–100 мм.

Принцип работы: Заготовка вольфрамового прутка предварительно нагревается до 1300–1600°С и экструдруется матрицей с коэффициентом экструзии 5:1–10:1.

Адаптация к процессу: подходит для стержня из вольфрамового сплава или крупногабаритного чистого вольфрамового стержня, для предотвращения окисления требуется водородная или аргоновая защита.

Ключевые параметры: скорость экструзии 0,1–0,5 мм/с, материал формы молибден или керамика, точность регулирования температуры $\pm 20^{\circ}\text{C}$.

Производственная практика:

Форму необходимо регулярно смазывать (графитом или дисульфидом молибдена) для уменьшения износа.

Оснащен автоматической системой подачи для повышения эффективности производства.

После экструзии брусок необходимо медленно охлаждать, чтобы не допустить

растрескивания.

6.2.4 Прокатные станы и волочильные машины

Прокатные станы и волочильные станы используются для производства вольфрамовых прутков малого и среднего диаметра или вольфрамовой проволоки с высокой точностью и отличным качеством поверхности.

Особенности прокатного стана:

Тип: Стан горячей прокатки (1000–1300 °C) или стан холодной прокатки (<500 °C) с диаметром обработки 5–20 мм.

Принцип работы: Вольфрамовый стержень восстанавливается многократными проходами валков (молибденовый сплав или твердый сплав) с деформацией 15–25% каждый раз.

Адаптация процесса: горячая прокатка подходит для чистого вольфрамового круга, холодная прокатка подходит для высокоточного легированного вольфрамового круга, с допуском $\pm 0,02$ мм.

Основные параметры: скорость валка 50–200 об/мин, температура отжига 900–1100°C.

Особенности волочильной машины:

Тип: Многоматричный волочильный станок, диаметр обработки 0,01–5 мм, оснащенный алмазными штампами.

Принцип работы: вольфрамовый стержень вытягивается матрицей при температуре 800–1000°C с уменьшением диаметра на 5–10%, а смазкой служит графит или дисульфид молибдена.

Адаптация процесса: подходит для вольфрамовой проволоки или электрода малого диаметра.

Основные параметры: скорость волочения 1–5 м/мин, стойкость инструмента около 500 кг вольфрамового прутка.

Производственная практика:

Валки и матрицы необходимо регулярно заменять для поддержания точности.

Оснащен встроенной системой контроля диаметра и качества поверхности.

Волочение требует многократного отжига для предотвращения поломки.

6.3 Оборудование для последующей обработки вольфрамовых стержней

Оборудование для последующей обработки оптимизирует производительность, качество поверхности и точность размеров вольфрамовых стержней и включает в себя термообработку, полировку, очистку и прецизионную механическую обработку.

6.3.1 Печи термической обработки

Печи для термообработки используются для отжига или обработки старения, снятия напряжений обработки и оптимизации микроструктур.

Особенности оборудования:

Тип: Вакуумная печь для термообработки или печь для защиты от водорода с объемом печи

0,05–0,5 м³.

Принцип работы: нагрев сопротивлением или индукцией, температура 800–1600°C, сохранение тепла 0,5–4 часа, скорость охлаждения 10–20°C/мин.

Адаптация процесса: отжиг для снятия напряжений (1000–1200°C), подходящий дляковки или экструзии прутков; Рекристаллизационный отжиг (1400–1600°C) подходит для волочения стержней; Для легированных вольфрамовых стержней подходит обработка старением (800–1000°C).

Ключевые параметры: точность температуры $\pm 5^\circ\text{C}$, вакуум 10^{-5} Па или чистота водорода 99,999%.

Производственная практика:

Печь изготавливается из молибдена или графита, который устойчив к высокотемпературной коррозии.

Оснащен системой контроля атмосферы для предотвращения окисления.

После термической обработки стержень необходимо проверить на твердость, чтобы проверить его характеристики.

6.3.2 Оборудование для полировки и очистки

Оборудование для полировки и очистки улучшает качество поверхности вольфрамовых стержней и отвечает потребностям высокоточных применений.

Оборудование для полировки:

Тип: Механическая полировальная машина (алмазный шлифовальный круг), резервуар для химической полировки, оборудование для электролитической полировки.

Принцип работы: механическая полировка удаляет дефекты поверхности с помощью абразивов; Для химической полировки используется смесь фтористоводородной кислоты и азотной кислоты (1:3), замоченная на 10–30 секунд; При электролитической полировке используется вольфрамовый стержень в качестве анода и обработка электролитом на основе фосфатов для достижения зеркального эффекта.

Адаптация процесса: механическая полировка подходит для промышленных прутков; Химическая и электролитическая полировка подходит для вольфрамовых стержней или электродов высокой чистоты.

Оборудование для уборки:

Тип: Аппарат ультразвуковой очистки, оборудование для плазменной очистки.

Принцип действия: ультразвуковая чистка удаляет масляные пятна ультразвуковой волной 40 кГц и деионизированную воду (в том числе чистящее средство) в течение 5–10 минут; При плазменной очистке используется аргонная плазма в вакуумной камере для удаления следовых загрязнений.

Адаптация процесса: ультразвуковая очистка подходит для обычных брусков; Плазменная очистка подходит для вольфрамовых стержней высокой чистоты для полупроводников.

Производственная практика:

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Полировка производится в чистом помещении класса ISO 5 для предотвращения загрязнения пылью.

Химическая полировальная ванна требует наличия системы вентиляции для очистки отработанной жидкости.

После очистки стержень должен быть сухим и герметичным, чтобы предотвратить впитывание влаги.

6.3.3 Оборудование для прецизионной механической обработки (токарные станки, шлифовальные станки)

Особенности токарного станка:

Тип: токарный станок с ЧПУ (станок с ЧПУ) подходит для высокоточной обработки, оснащен алмазными инструментами.

Принцип работы: Вольфрамовые стержни обрабатываются методом ротационной резки с допуском по диаметру $\pm 0,05$ мм.

Адаптация процесса: подходит для крупногабаритных прутков или обработки сложных форм, таких как авиационные противовесы.

Основные параметры: 500–1500 об/мин, подача 0,1 мм/об.

Особенности шлифовального станка:

Тип: бесцентровая шлифовальная машина, центральная шлифовальная машина, подходит для прутков малого диаметра.

Принцип работы: шлифовка шлифовальными кругами (алмазными или керамическими) с допуском по диаметру $\pm 0,02$ мм.

Адаптация к процессу: бесцентровый шлифовальный станок подходит для заготовок электродов или вольфрамовой проволоки, а центральношлифовальный станок подходит для высокоточных формовочных деталей.

Основные параметры: частота вращения шлифовального круга 2000–3000 об/мин, охлаждающая жидкость на масляной или водной основе.

Производственная практика:

Инструменты и шлифовальные круги необходимо регулярно заменять, чтобы предотвратить износ, влияющий на точность.

Оснащен системой охлаждения для уменьшения тепловых искажений.

После обработки требуется ультразвуковая чистка для удаления мусора.

6.4 Современное производственное оборудование для вольфрамовых прутков

Современное производственное оборудование повышает качество и эффективность вольфрамовых прутков и представляет собой технологический рубеж отрасли, включая плазменное спекание, вакуумное плавление и автоматизированное управление.

6.4.1 Оборудование для плазменного спекания

Особенности оборудования:

Тип: Искровая печь для плазменного спекания (СЭС) объемом печи 0,01–0,1 м³.

Принцип работы: Плазма генерируется импульсами постоянного тока (1000–5000 А) в сочетании с высокой температурой 1800–2200 °С и давлением 50–100 МПа, и быстро спекается (5–15 минут) с плотностью более 98%.

Адаптация процесса: подходит для вольфрамовых стержней высокой чистоты или нанолегированных вольфрамовых стержней с мелкими зёрнами (5–10 мкм) и сниженным энергопотреблением.

Ключевые параметры: частота импульсов тока 50–100 Гц, вакуум 10^{-4} Па, формовочный графит или вольфрам.

Производственная практика:

Оснащен онлайн-мониторингом, контролем тока и температуры в режиме реального времени. Форма должна быть устойчивой к высоким температурам и высокому давлению, а также регулярно проверяться.

После SPS пористость стержня должна быть проверена для обеспечения компактности.

6.4.2 Вакуумные плавильные печи

Особенности оборудования:

Тип: Вакуумная электродуговая печь (ВДП) или электронно-лучевая плавильная печь (ЭБМ) объемом 0,05–0,5 м³.

Принцип работы: ВДП плавит вольфрамовые слитки в вакууме (10^{-5} Па) с помощью электрической дуги (10–30 кВ); ЭБМ плавится с помощью высокоэнергетического электронного пучка (50–100 кВт) и подходит для вольфрама сверхвысокой чистоты.

Адаптация процесса: VAR подходит для стержней из вольфрамового сплава, ЭБМ подходит для вольфрамовых стержней высокой чистоты (чистота $\geq 99,999\%$), снижая газообразование. Основные параметры: мощность плавления 20–100 кВт, расход охлаждающей воды 10–50 л/мин.

Производственная практика:

Оснащен вакуумным насосом для поддержания сверхвысокого вакуума.

Заготовка из корюшки нуждается в рентгеновском контроле на предмет исключения включений.

Регулярно обслуживайте электроды или электронную пушку, чтобы продлить срок службы.

6.4.3 Системы автоматического управления и контроля

Особенности оборудования:

Тип: система управления ПЛК, платформа мониторинга SCADA, встроенные датчики (температуры, давления, атмосферы).

Принцип работы: Сбор данных о спекании, ковке или обработке данных о спекании в режиме реального времени с помощью датчиков, ПЛК регулирует параметры, а SCADA обеспечивает удаленный мониторинг и анализ данных.

Адаптация процесса: подходит для автоматизации всего процесса, включая спекание, экструзию, полировку и другие процессы для повышения стабильности и эффективности.

Ключевые параметры: точность температуры $\pm 1^\circ\text{C}$, точность давления $\pm 0,1$ МПа, частота

дискретизации данных 1 Гц.

Производственная практика:

Система должна быть пыленепроницаемой и водонепроницаемой, а также адаптироваться к условиям высоких температур.

Регулярно калибруйте датчик, чтобы обеспечить точность данных.

Хранение данных должно быть зашифровано для защиты параметров процесса.

6.5 Выбор оборудования и обслуживание вольфрамовых стержней

Выбор оборудования должен быть оптимизирован в соответствии с типом вольфрамового стержня и производственными потребностями, а управление техническим обслуживанием должно продлевать срок службы оборудования.

6.5.1 Требования к оборудованию для различных типов вольфрамовых стержней

Чистый вольфрамовый стержень:

Требования: Стандартная водородная печь для спекания (2000–2800°C), пневматический молот или стан горячей прокатки, низкая стоимость, подходит для крупносерийного производства.

Особенности оборудования: СР-пресс (150 МПа), механическая полировальная машина, подчеркивающая долговечность и высокую производительность.

Применимая сцена: стержень стержня кварцевой печи, противовес.

Вольфрамовый стержень высокой чистоты:

Требования: Вакуумная печь для спекания (10^{-5} Па), SPS или EBM, ротационный ковочный станок или токарный станок с ЧПУ для обеспечения высокой чистоты и точности.

Особенности оборудования: работа в чистых помещениях (класс ISO 5), оборудование для электролитической полировки и плазменной очистки.

Применимые сценарии: полупроводниковые электроды, мишени для распыления.

Легированные вольфрамовые стержни:

Требования: планетарная мельница (однородное легирование), вакуумная печь для термообработки (800–1200°C), волочильная машина (0,01–5 мм).

Особенности оборудования: легированные торием вольфрамовые стержни должны быть оснащены средствами радиоактивного регулирования, что делает акцент на оптимизацию работы дуги.

Применимые сценарии: сварочные электроды, компоненты высокотемпературных печей.

Производственная практика:

Выберите размер оборудования в соответствии с объемом производства (например, маленькая печь для НИОКР, большая печь для массового производства).

Оборудование с вольфрамовыми стержнями высокой чистоты должно быть изолировано в чистом помещении.

Легированные вольфрамовые стержни должны быть совместимы с различным

оборудованием для смешивания легирующих примесей.

6.5.2 Техническое обслуживание оборудования и управление его жизненным циклом

Меры по обслуживанию:

Регулярный осмотр: ежемесячно проверяйте износ пресс-форм, шлифовальных кругов и инструментов; Калибровка датчиков температуры и давления производится ежеквартально.

Очистка и обслуживание: Печь для спекания необходимо чистить каждые шесть месяцев для удаления отложений паров вольфрама; Полировальное оборудование необходимо очищать еженедельно, чтобы предотвратить образование остатков абразива.

Управление смазыванием: экструдеры и волочильные машины необходимо ежемесячно пополнять высокотемпературными смазочными материалами (например, дисульфидом молибдена); Регулярно проверяйте качество масла в гидравлической системе.

Профилактическое обслуживание: прогнозирование отказов подшипников с помощью мониторинга вибрации; Используйте инфракрасный термометр для обнаружения горячих точек перегрева в оборудовании и предотвращения повреждений от перегрева.

Управление запасными частями: складирование критически важных компонентов (например, алмазных штампов, молибденовых электродов) для сокращения времени простоя.

Управление жизнью:

Срок службы пресс-формы: вольфрамовые или экструзионные матрицы около 1000–5000 раз, необходимо регулярно наносить с покрытием, устойчивым к высоким температурам (например, ZrO_2).

Срок службы печи: молибденовая или графитовая печь спекается около 2000–3000 раз, и футеровку необходимо регулярно менять.

Модернизация оборудования: Старое оборудование (например, традиционные пневматические молоты) может быть модернизировано до систем ЧПУ для повышения точности и эффективности.

Анализ данных: Анализируйте данные о работе оборудования с помощью системы SCADA для оптимизации интервалов технического обслуживания и увеличения срока службы на 20–30%.

Производственная практика:

Создайте журнал технического обслуживания, чтобы записывать каждое техническое обслуживание и сбой.

Обучайте машинистов распознавать ранние признаки неисправности, такие как аномальные вибрации или колебания температуры.

Сотрудничайте с поставщиками для регулярного обновления прошивки устройств для оптимизации производительности.



Вольфрамовые стержни CTIA GROUP LTD

Глава 7 Отечественные и зарубежные стандарты на вольфрамовые стержни

Поскольку вольфрамовый стержень является тугоплавким металлическим материалом с высокими эксплуатационными характеристиками, его производство, тестирование и применение должны соответствовать строгим отечественным и зарубежным стандартам, чтобы обеспечить стабильность, надежность работы и конкурентоспособность на рынке. Эти стандарты охватывают химический состав, физические свойства, допуски по размерам, качество поверхности и методы испытаний вольфрамовых стержней и применимы к чистым вольфрамовым стержням, вольфрамовым стержням высокой чистоты, легированным вольфрамовым стержням и стержням из вольфрамового сплава. В этой главе систематически знакомятся с международными стандартами (ISO, ASTM, RWMA и т. д.) и китайскими стандартами (GB/T, YS/T и т. д.) для вольфрамовых стержней, а также сравниваются и анализируются их различия, применимость и руководящее значение для производственных испытаний.

7.1 Международные стандарты на вольфрамовые стержни

Международные стандарты обеспечивают единые спецификации для глобальной торговли и применения вольфрамовых стержней, в основном сформулированные Международной организацией по стандартизации (ISO), Американским обществом по испытаниям и материалам (ASTM) и Производственной ассоциацией контактной сварки (RWMA), охватывающие состав, свойства и использование вольфрама и вольфрамовых сплавов.

7.1.1 Стандарт ISO (ISO 24370: Вольфрам и вольфрамовые сплавы)

Обзор стандарта: ISO 24370:2005 «Тонкая керамика и тугоплавкие металлические материалы» - это стандарт для тугоплавких металлов, разработанный Международной

организацией по стандартизации, включая спецификации для стержней из вольфрама и вольфрамовых сплавов, пригодных для высокотемпературных и высокопрочных применений.

Основные положения:

Область применения: Укажите химический состав, механические свойства и требования к размерам стержней из чистого вольфрама и вольфрамовых сплавов, которые подходят для аэрокосмической, электронной и промышленной отраслей.

Химический состав: содержание вольфрама в чистом вольфрамовом стержне $\geq 99,9\%$, примеси (такие как Fe, C, O) необходимо контролировать на следовых уровнях; Стержни из вольфрамового сплава (например, W-Ni-Fe) должны четко указывать пропорцию легирующих элементов.

Физические свойства: заданная плотность (чистый вольфрам $\geq 19,0$ г/см³), прочность на разрыв и твердость, подчеркивающие сопротивление ползучести при высоких температурах.

Размеры и допуски: Диаметры варьируются от 1 до 100 мм, допуски делятся на общие и высокоточные классы в зависимости от применения.

Методы испытаний: для анализа состава рекомендуется использовать рентгенофлуоресцентную спектроскопию (РФА), для выявления внутренних дефектов — ультразвуковую — ультразвуковую спектроскопию, а для проверки механических свойств — твердомер.

Применимые сценарии:

Он в основном используется для высокотемпературных компонентов аэрокосмической промышленности (таких как футеровки сопел), электронных мишеней для распыления и сварочных электродов.

Подчеркивая международную согласованность, он подходит для трансграничных цепочек поставок и экспортной торговли.

Ключевые моменты:

Стандарт предъявляет строгие требования к контролю примесей в вольфрамовых прутках высокой чистоты, а также требует соблюдения чистоты производственной среды.

Метод тестирования соответствует международным стандартам и удобен для глобальной сертификации.

Он нуждается в регулярном обновлении в соответствии с новыми технологиями материалов.

7.1.2 Стандарт ASTM (ASTM B777: вольфрамовый сплав высокой плотности)

Стандартный обзор стандарта: ASTM B777-15 Стандартная спецификация на сплавы на основе вольфрама высокой плотности была разработана Американским обществом по испытаниям и материалам (ASTM) для характеристик и применения стержней из вольфрамовых сплавов (например, W-Ni-Fe, W-Ni-Cu) и широко используется в военной и медицинской областях.

Основные положения:

Область применения: Охватывает классификацию стержней из вольфрамовых сплавов

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

высокой плотности (класс 1–4), классифицированных по содержанию вольфрама (90–97 мас.%) и эксплуатационным характеристикам.

Химический состав: Укажите соотношение вольфрама, никеля, железа или меди и примесей (например, S, P) ниже указанных пределов.

Физические свойства: диапазон плотности 17,0–18,5 г/см³, предел прочности 600–1200 МПа, твердость 300–400 ВН.

Размеры и допуски: диаметр 5–50 мм, длина может быть изменена, допуски соответствуют требованиям прецизионной обработки.

Метод обнаружения: Для анализа состава использовалась масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS), для обнаружения поверхностных трещин — магнитопорошковое испытание, а для проверки прочности — испытание на растяжение.

Применимые сценарии:

В основном он используется для бронебойных сердечников, радиационно-защитных деталей и авиационных противовесов.

Подходит для рынка Северной Америки и военной промышленности, с акцентом на высокую плотность и механические свойства.

Ключевые моменты:

Стандарт классифицируется по плотности и прочности, что удобно для выбора материала.

Существуют четкие требования к экологичности легирующих элементов (например, рецептуры без содержания свинца).

Для обнаружения требуется специальное оборудование, которое стоит дорого.

7.1.3 RWMA класс 13

Обзор стандартов: Ассоциация производителей контактной сварки (RWMA) разработала стандарт класса 13 для чистых вольфрамовых стержней и предназначен для электродов контактной сварки и высокотемпературных электродов.

Основные положения:

Область применения: Укажите состав, проводимость и устойчивость к высоким температурам чистого вольфрамового стержня (содержание вольфрама $\geq 99,9\%$).

Химический состав: Строгий контроль углерода, кислорода, азота и других примесей для предотвращения нестабильности дуги.

Физические свойства: проводимость около 18% IACS, твердость 350–450 HV, стойкость к горению при высоких температурах.

Размеры и допуски: диаметр 1–10 мм, допуск $\pm 0,05$ мм, подходит для обработки наконечников электродов.

Метод обнаружения: тестер проводимости проверяет проводимость, микроскопический контроль качества поверхности, испытание на устойчивость к высоким температурам имитирует дуговую среду.

Применимые сценарии:

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Он используется в электродах контактной точечной сварки и сборке электронного оборудования в автомобилестроении.

Он подходит для сценариев высокочастотной сварки и подчеркивает срок службы электродов.

Ключевые моменты:

Стандартные характеристики сфокусированных электродов, без учета других применений.

Он имеет высокие требования к качеству поверхности и требует прецизионной полировки.

Метод обнаружения прост и подходит для малого и среднего бизнеса.

7.1.4 Другие международные стандарты

Обзор: В дополнение к ISO, ASTM и RWMA, другие международные стандарты также распространяются на вольфрамовые стержни, такие как:

AWS A5.12: стандарты на вольфрамовые и легированные вольфрамовые электроды (например, WT20, WC20), разработанные Американским институтом сварки, которые определяют содержание легирующей примеси (например, 2% ThO₂ или CeO₂) и характеристики дуги.

JIS Z 3211: Японский промышленный стандарт по составу и размеру вольфрамовых электродов для азиатского рынка.

DIN EN 26848: Европейский стандарт, определяющий общие требования к вольфрамовым стержням с акцентом на применение при высоких температурах.

Основное содержание:

В AWS A5.12 основное внимание уделяется свариваемости легированных вольфрамовых стержней, включая стабильность дуги и скорость выгорания.

JIS Z 3211 похож на ISO 24370, но с более жесткими допусками по размерам и подходит для прецизионной электроники.

DIN EN 26848 распространяется на стержни из чистого вольфрама и легированных сплавов, уделяя особое внимание аэрокосмической и оборонной промышленности.

Применимые сценарии:

AWS A5.12 используется в мировой сварочной промышленности, JIS Z 3211 обслуживает японский рынок электроники, а DIN EN 26848 используется для европейских аэрокосмических компаний.

Эти стандарты дополняют ISO и ASTM для удовлетворения потребностей регионализации.

Ключевые моменты:

Применимые критерии должны быть выбраны в соответствии с целевым рынком.

Стандарты легированных вольфрамовых стержней (например, AWS) содержат особые требования к управлению радиолегирующими веществами (например, ThO₂).

Тестирование должно быть проверено на соответствие стандартам, что увеличивает стоимость сертификации.

CTIA GROUP LTD Tungsten Rods Introduction

1. Overview of Tungsten Rods

Tungsten rods are high-performance metallic bars made from tungsten powder (purity $\geq 99.95\%$) using powder metallurgy processes such as pressing, sintering, and swaging. With their extremely high melting point, excellent mechanical properties, and outstanding chemical stability, tungsten rods are widely used in industrial fields that demand extreme conditions.

2. Characteristics of Tungsten Rods

- ✓ Ultra-high melting point: Up to 3410°C , suitable for extreme high-temperature environments
- ✓ Excellent strength and hardness: Maintains mechanical performance even at temperatures
- ✓ Good thermal and electrical conductivity: Ideal for precision applications in electronics and heating systems
- ✓ High-density material: Suitable for counterweights and radiation shielding
- ✓ Corrosion and wear resistance: Long service life and excellent stability
- ✓ Low thermal expansion coefficient: Suitable for precision structural components

3. The Main Applications Tungsten Rods

- ✓ Aerospace and defense: Rocket nozzles, armor-piercing projectile cores, high-temperature structural parts
- ✓ Electronics industry: Cathodes, heat sinks, electrodes, contact materials
- ✓ High-temperature furnaces and metallurgy: Heating elements for vacuum furnaces, tungsten crucibles, support components
- ✓ Medical technology: Radiation shielding parts, precision surgical instruments
- ✓ Mechanical engineering: Counterweights, mold inserts, vibration dampers
- ✓ Scientific research equipment: Ultra-high temperature reactors, physical property testing components

4. Basic Data of Tungsten Rods

Item	Parameter
Density	19.3 g/cm^3
Hardness (Vickers HV)	340–400 HV
Electrical Conductivity (20°C)	$\sim 30\%$ IACS
Thermal Conductivity	$\sim 170 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
Coefficient of Thermal Expansion	$\sim 4.5 \times 10^{-6} / \text{K}$
Diameter Range	$\varnothing 1.0 \text{ mm} - \varnothing 100 \text{ mm}$ (customizable)
Length Range	$100 \text{ mm} - 1000 \text{ mm}$ (up to 2000 mm maximum)
Surface Condition	As-sintered (black), ground, polished

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

7.2 Китайский стандарт для вольфрамовых стержней

Китайская система стандартов включает в себя национальные стандарты (GB/T) и отраслевые стандарты (YS/T), охватывающие состав, производительность, размер и тестирование вольфрамовых стержней, чтобы удовлетворить потребности отечественного производства и применения.

7.2.1 GB/T 4187-2017 (Национальный стандарт на вольфрамовый стержень)

Обзор стандарта: GB/T 4187-2017 «Вольфрамовый стержень» является китайским национальным стандартом, который предусматривает производительность и использование чистого вольфрамового стержня и вольфрамового стержня высокой чистоты, и подходит для промышленных, электронных и научных исследований.

Основные положения:

Модельный ряд: Охватывает прутки из чистого вольфрама ($\geq$ содержанием вольфрама 99,9%) и вольфрамовые прутки высокой чистоты ($\geq 99,95\%$) диаметром от 1 до 100 мм.

Химический состав: Строгие ограничения по примесям (например, Fe, C, O) и содержанию кислорода < 50 ppm для вольфрамовых стержней высокой чистоты.

Физические свойства: плотность $\geq 19,0$ г/см³, прочность на разрыв изменяется в зависимости от диаметра и состояния обработки, твердость 300–450 HV.

Размеры и допуски: Допуски делятся на обычный класс ($\pm 0,1$ мм) и класс точности ($\pm 0,05$ мм), а длина может быть настроена.

Метод детектирования: РФА или ИСП-МС анализ компонентов, ультразвуковой контроль внутреннего качества, твердомер по Виккерсу для определения твердости.

Применимые сценарии:

Он используется для стержня сердцевины кварцевой печи, зажимного стержня из монокристаллического кремния и полупроводниковой мишени.

Подходит для внутреннего рынка и экспорта, подчеркивая высокую чистоту и точность размеров.

Ключевые моменты:

Стандарт предъявляет высокие требования к чистому производству вольфрамовых прутков высокой чистоты, а также требуется отсутствие пыли в окружающей среде.

Методы испытаний соответствуют международным стандартам и удобны для экспортной сертификации.

Регулярные ревизии для адаптации к новым процессам.

7.2.2 GB/T 3459-2017 (изделия из вольфрама и вольфрамовых сплавов)

Обзор стандарта: GB/T 3459-2017 «Вольфрам и изделия из вольфрамовых сплавов» - это китайский национальный стандарт, охватывающий вольфрамовые стержни, стержни из вольфрамового сплава и другие вольфрамовые изделия, подходящие для авиации, военной и промышленной областей.

Основные положения:

Модельный ряд: включает в себя стержни из чистого вольфрама, легированные вольфрамовые стержни и стержни из вольфрамовых сплавов (например, W-Ni-Fe) с содержанием вольфрама 90–99,9%.

Химический состав: укажите долю легирующих элементов (например, Ni, Fe), а пределы примесей связаны с областью применения.

Физические свойства: плотность 17,0–19,25 г/см³, прочность на разрыв 600–1000 МПа, умеренное удлинение.

Размеры и допуски: диаметр 5–50 мм, допуски $\pm 0,2$ мм, специальные требования могут быть изменены.

Методы испытаний: анализ компонентов ICP-AES, магнитопорошковый дефектоскоп поверхностей, испытание на растяжение для проверки эксплуатационных характеристик.

Применимые сценарии:

Применяется для бронебойных сердечников пуль, авиационных противовесов, изделий радиационной защиты.

Обслуживая отечественную военную промышленность и тяжелую промышленность, делая упор на высокую плотность и прочность.

Ключевые моменты:

Стандарт распространяется на различные вольфрамовые изделия с высокой гибкостью.

К стержням из сплавов предъявляются строгие требования по защите окружающей среды, а также требуются нетоксичные составы.

Обнаружение должно быть подкреплено комплексным оборудованием.

7.2.3 Промышленный стандарт (YS/T 695-2017: тупые электроды)

Обзор стандарта: YS/T 695-2017, «Тупые электроды» - это отраслевой стандарт для цветных металлов в Китае, направленный на производительность и производство чистых тупых и легированных тупых электродов (таких как WC20, WL20, WT20).

Основные положения:

Диапазон: Укажите состав, размер и свойства дуги тупого электрода диаметром 0,5–10 мм.

Химический состав: чистое тупое содержание $\geq 99,9\%$, легировано тупыми оксидами редкоземельных элементов (например, 2% CeO₂) или оксидом тория, низкий предел примесей.

Физические свойства: отличная проводимость, устойчивость к высоким температурам горения, высокая стабильность дуги.

Размеры и допуски: Допуски $\pm 0,05$ мм, наконечники должны соответствовать требованиям сварки.

Метод обнаружения: машина для дуговых испытаний для проверки воспламенения и стабильности, рентгенофлуоресцентный анализ содержания легирующей примеси, микроскопический осмотр поверхности.

Сценарии применения:

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Он используется для аргодуговой сварки (TIG), плазменной резки, а также для обслуживания автомобилестроения и судостроения.

Он подходит для отечественной сварочной промышленности, подчеркивая производительность электрода.

Ключевые моменты:

Тупые электроды, легированные торием, подпадают под действие норм радиоактивности.

В ходе испытания моделируются реальные условия сварки для проверки характеристик дуги.

Стандарты часто обновляются, поэтому следите за последней версией.

7.3 Стандартное сравнение и применимость тупых стержней

Сравнение стандартов и анализ применимости: Существуют различия в целях формулировки, требованиях и сценариях применения отечественных и зарубежных стандартов, и необходимо выбирать соответствующие спецификации в соответствии с типом тупого стержня и рынком.

7.3.1 Различия между отечественными и зарубежными стандартами

Сравнительный анализ:

Ставьте цели:

Международные стандарты (такие как ISO, ASTM) подчеркивают глобальную универсальность и имеют широкие термины, которые подходят для трансграничной торговли; Китайские стандарты (GB/T, YS/T) сочетают в себе отечественные технологии и рыночный спрос, а условия более конкретны.

ASTM B777 специализируется на стержнях из тупых сплавов высокой плотности, подходящих для военной и медицинской промышленности; GB/T 3459 охватывает широкий спектр тупых продуктов и обеспечивает более широкий диапазон гибкости.

RWMA Class 13 и YS/T 695 специализируются на электродах, а международные стандарты больше сосредоточены на проводимости и характеристиках дуги.

Технические требования:

Международные стандартные ингредиенты: международные стандарты (такие как ISO 24370) имеют более строгий контроль примесей (таких как кислород, углерод), что подходит для тупых стержней высокой чистоты; Китайские стандарты (такие как GB/T 4187) имеют несколько более мягкие требования к обычным чистым тупым стержням, чтобы снизить производственные затраты.

Физические свойства: ASTM B777 требует более высокой прочности и плотности прочности на разрыв тупых сплавов (600–1200 МПа); GB/T 3459 подчеркивает диапазон плотности (17,0–19,25 г/см³).

Допуск по размерам: стандартные допуски ISO и JIS более жесткие ($\pm 0,05$ мм), подходят для высокой точности; Градация по допускам GB/T ($\pm 0,1$ – $0,2$ мм) для широкого спектра требований.

Метод обнаружения:

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Международные стандарты рекомендуют XRF, ICP-MS и магнитопорошковые испытания в соответствии с китайскими стандартами, но ASTM требует более сложных испытаний на растяжение.

Испытание дуги в стандарте YS/T 695 в большей степени зависит от отрасли, а AWS A5.12 является аналогичным, но более строгим.

Ключевые моменты:

Международные стандарты больше подходят для экспортных и элитных рынков, в то время как китайские стандарты больше соответствуют реалиям внутреннего производства.

Испытательное оборудование должно быть совместимо с обоими стандартами, при этом необходимо учитывать баланс между стоимостью и эффективностью.

Управление радиоактивностью вольфрамовых электродов, легированных торием, является более строгим в соответствии с международными стандартами.

7.3.2 Стандартные требования к различным типам вольфрамовых стержней

Чистое тупое стержень:

Применимые стандарты: ISO 24370, GB/T 4187, RWMA класс 13.

Требования: содержание тупого $\geq 99,9\%$, низкое содержание примесей (например, кислорода $< 100 \text{ ppm}$), плотность $\geq 19,0 \text{ г/см}^3$, допуск $\pm 0,1 \text{ мм}$.

Применимые сценарии: образцы кернов кварцевых печей, противовесы, подчеркивающие высокую температурную стабильность и контроль затрат.

Вольфрамовый стержень высокой чистоты:

Применимые стандарты: ISO 24370, GB/T 4187 (высокая степень чистоты), ASTM B760 (ссылка на тупую пластину).

Требования: Тупое содержание $\geq 99,95\%$, очень низкое содержание примесей (например, кислорода $< 30 \text{ ppm}$), чистота производства, допуск $\pm 0,05 \text{ мм}$.

Применимые сценарии: полупроводниковые мишени, медицинские устройства, подчеркивающие высокую плотность и чистоту.

Легированные тупые стержни:

Применимые стандарты: AWS A5.12, YS/T 695, GB/T 3459.

Требования: легирующая примесь (например, $2\% \text{ CeO}_2$) равномерно распределена, стабильность дуги высокая, а стержни, легированные торием, нуждаются в радиоактивном контроле.

Применимые сценарии: сварочные электроды, высокотемпературные компоненты печей, акцент на электрические характеристики.

Стержень из вольфрамового сплава:

Применимые стандарты: ASTM B777, GB/T 3459.

Требования: содержание в тупых веществах $90\text{--}97\%$, плотность $17,0\text{--}18,5 \text{ г/см}^3$, прочность на разрыв $600\text{--}800 \text{ МПа}$, нетоксичная формула.

Применимые сценарии: бронебойный сердечник пули, радиационная защита, акцент на

высокую прочность и защиту от воздействия окружающей среды.

Ключевые моменты:

Стандартный выбор должен быть подобран в соответствии с типом тупого стержня и областью применения.

Высокочистые и легированные тупые стержни требуют более точного оборудования для поддержки производства и контроля.

При изготовлении стержней из тупого сплава нужно обращать внимание на экологические нормы.

7.3.3 Руководящее значение стандартов для производства и испытаний

Инструкция по производству:

Контроль ингредиентов: Стандарты устанавливают пределы для примесей и легирующих примесей, чтобы управлять выбором сырья и процессами очистки (например, ISO требует кислорода < 50 ppm, и необходимо оптимизировать снижение содержания водорода).

Оптимизация процесса: допуски и требования к производительности (например, $\pm 0,1$ мм для GB/T) определяют точность прессового, спекательного и технологического оборудования.

Управление качеством: Стандарт требует продвижения ISO 9001 и сертификации других систем, стандартизации производственного процесса и снижения процента брака.

Руководство по тестированию:

Анализ состава: XRF, ICP-MS гарантируют соответствие химического состава стандартам, а приборы необходимо регулярно калибровать.

Проверка эксплуатационных характеристик: Испытания на растяжение, твердость и дуговые испытания проверяют механические и электрические свойства с помощью стандартизированной подготовки образцов.

Контроль дефектов: Ультразвуковые и магнитопорошковые методы контроля обнаруживают внутренние и поверхностные дефекты для обеспечения безопасности продукта.

Производственная практика:

Предприятиям необходимо создать стандартизированные лаборатории контроля качества, оснащенные многофункциональным испытательным оборудованием.

Регулярно обучайте сотрудников для ознакомления с различиями между отечественными и зарубежными стандартами и улучшения соответствия.

Экспортируемая продукция должна в первую очередь соответствовать стандартам целевого рынка и заранее подготовиться к сертификации.



Вольфрамовые стержни CTIA GROUP LTD

Глава 8 Обнаружение вольфрамовых стержней

Поскольку вольфрамовый стержень является высокопроизводительным огнеупорным металлическим материалом, качество его применения напрямую влияет на его применение, а физические свойства, химический состав, микроструктура и особые свойства должны оцениваться с помощью комплексных методов испытаний. Испытания охватывают различные методы от макро до микро, включая физические свойства, химический анализ, микроскопическое наблюдение, неразрушающий контроль и проверку рабочих характеристик, с различными акцентами для чистых вольфрамовых стержней, вольфрамовых стержней высокой чистоты и легированных вольфрамовых стержней. В этой главе будут подробно рассмотрены методы испытаний вольфрамовых стержней, включая плотность, твердость, прочность на разрыв, термические свойства, химический состав, микроструктуру, неразрушающий контроль, высокую температуру, коррозионную стойкость, проводимость и другие эксплуатационные испытания, а также проанализированы приоритеты испытаний различных типов вольфрамовых стержней.

8.1 Физические свойства испытания вольфрамового стержня

В ходе испытаний на физические свойства оцениваются плотность, твердость, прочность и термические свойства вольфрамовых стержней, чтобы убедиться, что они соответствуют проектным требованиям для аэрокосмической, электронной и промышленной промышленности.

8.1.1 Испытание вольфрамовых стержней на плотность

Назначение: Плотность является ключевым показателем качества вольфрамового прутка, отражающим компактность спекания и обработки, теоретическая плотность чистого

вольфрамового прутка составляет 19,25 г/см³, а прутка из вольфрамового сплава – 17,0–18,5 г/см³.

Метод обнаружения:

Метод Архимеда: вольфрамовые стержни погружают в деионизированную воду, измеряют сухой вес и вес в воде, а также рассчитывают плотность. Используйте высокоточные электронные весы (точность $\pm 0,001$ г) и термостатическую мойку (25°C).

Рентгеновский денситометр: измерение плотности с помощью рентгеновского поглощения, подходит для быстрого бесконтактного контроля с точностью до $\pm 0,05$ г/см³.

Оперативные моменты:

Поверхность образца должна быть очищена для удаления масляных или оксидных слоев.

Метод Архимеда требует калибровки плотности жидкости для исключения пузырьков воздуха.

Рентгеновский метод требует периодической калибровки прибора для проверки стандартного образца.

Интерпретация результатов:

Плотности ниже теоретических значений могут указывать на недостаточную пористость или спекание.

Плотность стержней из вольфрамового сплава должна соответствовать соотношению сплавов, а отклонение может быть связано с неравномерным составом.

8.1.2 Определение твердости вольфрамовых стержней (Виккерса, Бринелля)

Цель испытания: Твердость отражает механическую прочность и износостойкость вольфрамового стержня, при этом твердость чистого вольфрамового стержня составляет около 350–450 HV, а твердость стержня из вольфрамового сплава составляет около 300–400 HV.

Метод обнаружения:

Твердость по Виккерсу (HV): С помощью алмазного индентора прикладывается нагрузка 10–50 кгс, измеряется длина диагонали вдавливания и рассчитывается твердость. Подходит для стержней малого диаметра или высокоточных испытаний.

Твердость по Бринеллю (HB): нагрузка 500–3000 кгс прикладывается с помощью твердосплавного шарикового индентора для измерения диаметра вдавливания и подходит для больших стержней.

Оперативные моменты:

Образец должен быть отполирован до зеркальной поверхности, чтобы избежать поверхностных дефектов, влияющих на результат.

Испытание по Виккерсу требует выбора подходящих нагрузок, чтобы не допустить слишком малого или слишком большого отступа.

Тест Бринелля гарантирует, что индентор перпендикулярен образцу и усреднен по

нескольким измерениям.

Интерпретация результатов:

Слишком большая твердость может указывать на слишком мелкие зерна или слишком большое количество легирующей примеси.

Низкая твердость может быть обусловлена недостаточной пористостью или технологическим напряжением.

8.1.3 Испытание вольфрамовых стержней на прочность и ударную вязкость

Цель: Для оценки несущей способности и характеристик разрушения вольфрамового стержня при растягивающей нагрузке с прочностью на разрыв и ударной вязкостью, предел прочности на разрыв чистого вольфрамового стержня составляет около 600–1000 МПа, а стержня из вольфрамового сплава выше.

Метод обнаружения:

Испытание на растяжение: С помощью универсальной испытательной машины образец вольфрамового стержня (стандартные размеры, такие как диаметр 5 мм и длина 50 мм) зажимается и растягивается со скоростью 0,5–1 мм/мин, а также регистрируется разрывная нагрузка и удлинение.

Испытание на удар: Машина для испытаний на ударный изгиб по Шарпи используется для проверки ударной вязкости вольфрамового стержня при низкой или комнатной температуре и измерения поглощенной энергии.

Оперативные моменты:

Образцы должны быть обработаны в соответствии со стандартами (например, ASTM E8), чтобы избежать царапин на поверхности.

Испытание на растяжение требует контроля температуры окружающей среды ($23\pm 5^{\circ}\text{C}$) и регистрации кривой зависимости деформации от напряжения.

Испытание на ударный изгиб требует выбора соответствующего типа надреза (например, V-образной формы) для обеспечения повторяемости.

Интерпретация результатов:

Недостаточная прочность на разрыв может свидетельствовать о внутренних дефектах или чрезмерном размере зерна.

Низкая ударная вязкость может быть связана с неправильным легированием или неравномерным спеканием, поэтому процесс необходимо оптимизировать.

8.1.4 Испытание вольфрамовых стержней на тепловое расширение и теплопроводность

Назначение: Коэффициент теплового расширения (около $4,5\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) и теплопроводность (около 170 Вт/м·К) влияют на стабильность размеров и теплопроводность вольфрамового стержня в условиях высоких температур.

Метод обнаружения:

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Испытание на тепловое расширение: коэффициент теплового расширения рассчитывается путем измерения изменения длины образца в диапазоне 100–1000 °C с помощью теплового dilatометра (например, dilatометра).

Тест на теплопроводность: метод лазерной вспышки используется для нагрева одного конца вольфрамового стержня для измерения скорости тепловой диффузии и расчета теплопроводности.

Оперативные моменты:

Испытания на тепловое расширение проводятся в инертной атмосфере (например, на аргоне) для предотвращения окисления.

Испытание теплопроводности требует калибровки прибора для проверки точности с использованием стандартного образца, такого как медь.

Размер образца должен быть равномерным (например, диаметр 10 мм, толщина 2 мм).

Интерпретация результатов:

Высокий коэффициент теплового расширения может свидетельствовать о примесях или легирующих элементах.

Низкая теплопроводность может быть обусловлена неравномерной пористостью или микроструктурой.

8.2 Анализ химического состава вольфрамовых стержней

Анализ химического состава гарантирует, что вольфрамовые стержни соответствуют стандартам чистоты и содержания легирующей примеси, а обнаружение примесей имеет решающее значение для производительности.

8.2.1 Спектроскопический анализ (ИСП-МС, РФБ)

Назначение: Провести количественный анализ содержания вольфрама, легирующей примеси (таких как Се, La, Th) и примесей (таких как Fe, C, O) в вольфрамовых стержнях.

Метод обнаружения:

Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS): образец растворяют в растворе кислоты (например, азотная кислота + фтористоводородная кислота) и разделяют с помощью плазменного возбуждения и масс-спектрометрии для определения содержания элементов с чувствительностью ppb.

Рентгенофлуоресцентная спектроскопия (РФА): рентгеновское возбуждение поверхности образца, анализ спектров флуоресценции, быстрое определение содержания элементов, пригодных для неразрушающего анализа.

Оперативные моменты:

ICP-MS требует использования реагентов высокой чистоты и наличия чистой лаборатории (класс ISO 5) во избежание загрязнения.

РФА полирует поверхность образца, чтобы убедиться в его плоской плоскости, и калибрует прибор для повышения точности.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Эти два метода необходимо использовать в комбинации: ICP-MS для проверки микроэлементов и XRF для быстрого скрининга.

Интерпретация результатов:

Содержание вольфрама ниже нормы (например, 99,9%) может свидетельствовать о недостаточной очистке.

Отклонения в содержании легирующей примеси могут повлиять на характеристики дуги или стабильность при высоких температурах.

8.2.2 Обнаружение микроэлементов и примесей

Назначение: Микроэлементы (такие как O, C, N) и примеси (такие как Fe, Si) могут снижать производительность вольфрамовых стержней, которые необходимо строго контролировать.

Метод обнаружения:

Метод плавления инертным газом: образец расплавляют в аргоне при высокой температуре для выделения кислорода, азота и углерода и анализируют с помощью инфракрасного или теплопроводного детектора с чувствительностью ppm.

Масс-спектрометрия тлеющего разряда (GD-MS): поверхность образца возбуждается тлеющим разрядом, а следовые примеси анализируются с помощью масс-спектрометрии, которая подходит для вольфрамовых стержней высокой чистоты.

Оперативные моменты:

Образцы подвергаются ультразвуковой очистке для удаления поверхностных загрязнений.

Метод плавления в инертном газе требует использования аргона высокой чистоты (99,999%), калибрующего стандартный газ.

GD-MS требует вакуумной среды (10^{-6} Па) и регулярного технического обслуживания и мощности разряда.

Интерпретация результатов:

Высокое содержание кислорода может привести к хрупкости при высоких температурах, и атмосфера спекания должна быть оптимизирована.

Чрезмерное количество примесей может быть связано с загрязнением сырья, поэтому контроль качества необходимо усилить.

8.3 Анализ микроструктуры вольфрамовых стержней

Анализ микроструктуры позволяет определить размер зерна, однородность микроструктуры и распределение дефектов вольфрамовых стержней, что влияет на механические и термические свойства.

8.3.1 Наблюдение под микроскопом (СЭМ, ПЭМ)

Цель: Наблюдать за морфологией поверхности, характеристиками разрушения и внутренней структурой вольфрамового стержня, а также выявлять трещины, поры или распределение легирующей примеси.

Метод обнаружения:

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ): сканирование поверхности образца электронным пучком с нанометровым разрешением, оснащенным энергодисперсионным спектрометром (ЭДС) для анализа распределения элементов.

Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ): электронный пучок проникает в ультратонкие образцы (<100 нм) для наблюдения за кристаллической структурой и дислокациями, что подходит для анализа с высоким разрешением.

Оперативные моменты:

Образцы SEM должны быть отполированы или разбиты, а также покрыты углеродом или золотом для улучшения проводимости.

Образцы ПЭМ должны быть подготовлены с ионизированным разбавлением, чтобы они оставались чистыми и не подвергались загрязнению.

Микроскоп необходимо откалибровать, а также записать условия увеличения и визуализации.

Интерпретация результатов:

СЭМ показывает пористость или трещины, указывающие на дефекты спекания или механической обработки.

ТЭМ выявляет аномалии агломерации легирующей примеси или граничные аномалии зерен, которые требуют оптимизации процесса смешивания.

8.3.2 Размер зерна и однородность микроструктуры

Назначение: Размер зерна (обычно 10–50 мкм) и однородность микроструктуры влияют на прочность, ударную вязкость и высокотемпературные характеристики вольфрамовых стержней.

Метод обнаружения:

Световая микроскопия: образец полируется и подвергается химическому травлению (например, раствором HNO_3) для наблюдения за границами зерен и измерения среднего размера зерна.

Рентгеновская дифракция (XRD): анализирует ориентацию кристаллов и размер зерен, вычисляет размер зерен (по формуле Шеррера).

Оперативные моменты:

Время коррозии необходимо точно контролировать (10–30 секунд), чтобы избежать чрезмерной коррозии.

Для дифрактометра требуется стандартная калибровка вольфрама высокой чистоты с углом сканирования 10–80°.

Различные участки измеряются несколько раз, чтобы обеспечить точную оценку однородности тканей.

Интерпретация результатов:

Размер зерна слишком велик, а прочность может снизиться, поэтому температуру спекания

необходимо регулировать.

Неровность тканей может быть вызвана неправильным прессованием или допингом, и процесс нуждается в оптимизации.

8.4 Неразрушающий контроль вольфрамовых стержней

Неразрушающий контроль (НК) используется для оценки внутренних и поверхностных дефектов вольфрамового стержня, поддержания целостности образца, а также подходит для контроля качества.

8.4.1 Ультразвуковой контроль

Назначение: Для обнаружения внутренних пор, трещин или включений вольфрамовых стержней для обеспечения структурной целостности.

Метод обнаружения:

С помощью ультразвукового дефектоскопа излучается ультразвук с частотой 5–10 МГц, принимается отраженный сигнал, анализируется местоположение и размер дефекта.

Зонд продольной или поперечной волны в сочетании с контактной жидкостью для воды сканирует стержень по всей длине.

Оперативные моменты:

Поверхность образца должна быть ровной, чистой и удалить масло.

Датчик должен быть откалиброван для проверки чувствительности с использованием стандартного дефектного образца.

Записывается высота и положение эхо-сигнала дефекта, а также строится график С-скана.

Интерпретация результатов:

Сильные эхо-сигналы указывают на большие дефекты (например, пористость > 0,5 мм), которые требуют доработки.

Непрерывные эхо-сигналы могут возникать из пластинчатых трещин и должны быть срезаны для проверки.

8.4.2 Рентгеновский контроль

Назначение: Выявить внутренние поры, включения или трещины вольфрамовых стержней, которые подходят для брусков большого размера.

Метод обнаружения:

С помощью промышленного рентгеновского аппарата (100–300 кВ) проникают в вольфрамовый стержень, записывают изображение пропускания, анализируют характеристики дефектов.

Сотрудничайте с цифровой визуализацией (DR) или компьютерной томографией (КТ) для повышения разрешения.

Оперативные моменты:

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Он должен быть защищен от радиации, а для эксплуатации требуется профессиональная квалификация.

Отрегулируйте энергию рентгеновского излучения для обеспечения проникновения толстых образцов (>20 мм).

После калибровки по стандартным образцам дефектов были записаны значения изображений в оттенках серого.

Интерпретация результатов:

Темные участки указывают на пористость или включения и должны быть проверены в сочетании с ультразвуком.

Компьютерная томография позволяет количественно определить объем дефектов и провести оценку качества.

8.4.3 Магнитопорошковые испытания

Цель испытания: для обнаружения поверхностных и приповерхностных трещин стержня из вольфрамового сплава (например, W-Ni-Fe) чистый вольфрамовый стержень не подходит из-за отсутствия магнетизма.

Метод обнаружения:

Магнитное поле (переменного или постоянного тока) подается на намагничивающее устройство, флуоресцентные магнитные частицы распыляются, а под ультрафиолетовой лампой наблюдаются магнитные следы.

Продольная или поперечная намагниченность для обнаружения трещин в разных направлениях.

Оперативные моменты:

Поверхность образца необходимо очистить, а ток намагничивания отрегулировать в соответствии с диаметром (500–2000 А).

Магнитная частица должна распыляться равномерно, а время наблюдения должно контролироваться с точностью до 1–2 минут.

Фиксируется длина и распределение магнитных меток, а также делаются фотографии для архивирования.

Интерпретация результатов:

Линейные магнитные метки указывают на поверхностные трещины, требующие полировки или доработки.

Плотные магнитные следы могут быть вызваны напряжениями обработки и должны быть устранены путем термической обработки.

8.5 Проверка эксплуатационных характеристик вольфрамовых стержней

Проверочные испытания имитируют реальные условия эксплуатации для оценки характеристик вольфрамовых стержней в высокотемпературных, коррозионных и электрических средах.

CTIA GROUP LTD
Tungsten Rods Introduction

1. Overview of Tungsten Rods

Tungsten rods are high-performance metallic bars made from tungsten powder (purity $\geq 99.95\%$) using powder metallurgy processes such as pressing, sintering, and swaging. With their extremely high melting point, excellent mechanical properties, and outstanding chemical stability, tungsten rods are widely used in industrial fields that demand extreme conditions.

2. Characteristics of Tungsten Rods

- ✓ Ultra-high melting point: Up to 3410°C , suitable for extreme high-temperature environments
- ✓ Excellent strength and hardness: Maintains mechanical performance even at temperatures
- ✓ Good thermal and electrical conductivity: Ideal for precision applications in electronics and heating systems
- ✓ High-density material: Suitable for counterweights and radiation shielding
- ✓ Corrosion and wear resistance: Long service life and excellent stability
- ✓ Low thermal expansion coefficient: Suitable for precision structural components

3. The Main Applications Tungsten Rods

- ✓ Aerospace and defense: Rocket nozzles, armor-piercing projectile cores, high-temperature structural parts
- ✓ Electronics industry: Cathodes, heat sinks, electrodes, contact materials
- ✓ High-temperature furnaces and metallurgy: Heating elements for vacuum furnaces, tungsten crucibles, support components
- ✓ Medical technology: Radiation shielding parts, precision surgical instruments
- ✓ Mechanical engineering: Counterweights, mold inserts, vibration dampers
- ✓ Scientific research equipment: Ultra-high temperature reactors, physical property testing components

4. Basic Data of Tungsten Rods

Item	Parameter
Density	19.3 g/cm ³
Hardness (Vickers HV)	340–400 HV
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Thermal Conductivity	~170 W/(m·K)
Coefficient of Thermal Expansion	~ 4.5×10^{-6} /K
Diameter Range	Ø1.0 mm – Ø100 mm (customizable)
Length Range	100 mm – 1000 mm (up to 2000 mm maximum)
Surface Condition	As-sintered (black), ground, polished

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

8.5.1 Испытание на работу при высоких температурах

Цель: Оценить окисление, ползучесть и прочность вольфрамовых стержней при высоких температурах (1000–2500 °C) для аэрокосмической промышленности и печей.

Метод обнаружения:

Испытание на растяжение при высоких температурах: Прочность на разрыв проверяется с помощью высокотемпературной испытательной машины путем нагрева образца до указанной температуры в вакуумной или аргоновой печи.

Испытание на ползучесть: Применяется постоянная нагрузка (например, 100 МПа), регистрируется деформация в течение 100–1000 часов, и рассчитывается скорость ползучести.

Оперативные моменты:

Он должен быть защищен газообразным аргоном высокой чистоты (99,999%) для предотвращения окисления.

Образцы должны быть стандартного размера (например, 5 мм в диаметре), а крепления должны быть молибденовыми или керамическими.

Точность контроля температуры составляет $\pm 10^{\circ}\text{C}$, а кривая деформации записывается.

Интерпретация результатов:

Ухудшение прочности при высоких температурах может быть связано с ростом зерна и требует оптимизированного спекания.

Слишком высокая скорость ползучести может указывать на недостаточное легирование и необходимость корректировки рецептуры.

8.5.2 Испытание на коррозионную стойкость

Цель испытания: оценка коррозионной стойкости вольфрамовых стержней в кислотных, щелочных или высокотемпературных газовых средах, пригодных для химических и электродных применений.

Метод обнаружения:

Иммерсионный тест: Потеря веса измеряется путем погружения образца в коррозионную среду (например, 10% HNO_3 или NaOH) при постоянной температуре (25–80°C) в течение 24–168 часов.

Испытание на газовую коррозию: воздействие окисляющей или вулканизирующей атмосферы (например, O_2 , H_2S) в высокотемпературной печи для регистрации изменений поверхности.

Оперативные моменты:

Образец должен быть взвешен (точность $\pm 0,0001$ г) и поверхность должна быть равномерно отполирована.

Коррозионная среда нуждается в регулярной замене для обеспечения стабильной концентрации.

При испытаниях газов необходимо контролировать расход (0,1–1 л/мин) и влажность.

Интерпретация результатов:

Потеря веса на $>0,1\%$ указывает на недостаточную коррозионную стойкость и требует улучшения рецептуры.

Толщина оксидного слоя на поверхности может быть обусловлена примесями и должна быть оптимизирована для очистки.

8.5.3 Испытание на проводимость и ползучесть

Цель испытания: Проводимость (около 18% IACS) и сопротивление ползучести являются ключевыми свойствами электродов и высокотемпературных компонентов, влияющими на стабильность дуги и срок ее службы.

Метод обнаружения:

Тест на проводимость: С помощью метода с четырьмя щупами подается постоянный ток, измеряется падение напряжения и рассчитывается проводимость.

Испытание на сопротивление ползучести: аналогично высокотемпературному испытанию на ползучести, но с акцентом на легированные вольфрамовые стержни (такие как WC20) для испытания деформации в дуговых средах.

Оперативные моменты:

Для испытания на проводимость требуется хороший контакт, а щуп должен быть медным или серебряным.

Испытания на сопротивление ползучести имитируют условия сварки (например, дугу 6000°C) и регистрируют величину деформации.

Образцы многократно тестируются и усредняются.

Интерпретация результатов:

Низкая проводимость может быть связана с неравномерным распределением легирующей примеси.

Недостаточное сопротивление ползучести может свидетельствовать о недостаточном легировании редкоземельных элементов и необходимости оптимального перемешивания.

8.6 Основные моменты обнаружения различных типов вольфрамовых стержней

Различные типы вольфрамовых стержней (чистые вольфрамовые стержни, вольфрамовые стержни высокой чистоты, легированные вольфрамовые стержни) имеют разные фокусы обнаружения из-за разного состава и использования.

8.6.1 Обнаружение чистых вольфрамовых стержней

Ключевые моменты обнаружения:

Физические свойства: плотность ($\geq 19,0$ г/см³), твердость (350–450 HV) и прочность на разрыв для обеспечения высокой температурной стабильности.

Химический состав: Содержание вольфрама $\geq 99,9\%$, кислорода, углерода и других примесей

< 100 ppm для предотвращения хрупкости при высоких температурах.

Неразрушающий контроль: ультразвуковое детектирование внутренних пор, рентгенологический контроль качества крупногабаритного прутка.

Применимые сценарии:

Стержневые стержни и противовесы из кварцевой печи требуют низкой стоимости и стабильной работы.

Ключевые моменты:

Метод Архимеда преимущественно используется для измерения плотности, что является экономически эффективным.

При обнаружении примесей необходимо обращать внимание на содержание кислорода и оптимизировать атмосферу спекания.

Неразрушающий контроль охватывает всю партию для обеспечения однородности.

8.6.2 Обнаружение вольфрамовых стержней высокой чистоты

Ключевые моменты обнаружения:

Химический состав: содержание вольфрама $\geq 99,95\%$, следовых примесей (например, O, N) < 30 ppm, при использовании ICP-MS и GD-MS.

Микроструктура: СЭМ и ПЭМ учитывают размер зерен (5–15 мкм) и распределение легирующей примеси для обеспечения чистоты.

Проверка рабочих характеристик: испытания проводимости и коррозионной стойкости в соответствии с требованиями к полупроводникам.

Применимые сценарии:

Мишени для распыления и медицинские устройства требуют высокой чистоты и чистоты производства.

Ключевые моменты:

Испытание должно проводиться в чистом помещении (класс ISO 5) для предотвращения загрязнения.

Для анализа микроэлементов требуются высокочувствительные приборы и регулярная калибровка.

При тестировании производительности моделируются реальные условия эксплуатации, такие как вакуумная среда.

8.6.3 Обнаружение легированных вольфрамовых стержней

Ключевые моменты обнаружения:

Химический состав: Содержание легирующих примесей (таких как $2\% \text{CeO}_2$, La_2O_3) однородно, и стержни, легированные торием, должны быть радиоактивно обнаружены.

Проверка рабочих характеристик: испытание проводимости и стабильности дуги с использованием машины для испытаний дуги для имитации сварки.

Микроструктура: SEM-EDS для анализа распределения легирующей примеси, XRD для

проверки ориентации кристаллов.

Применимые сценарии:

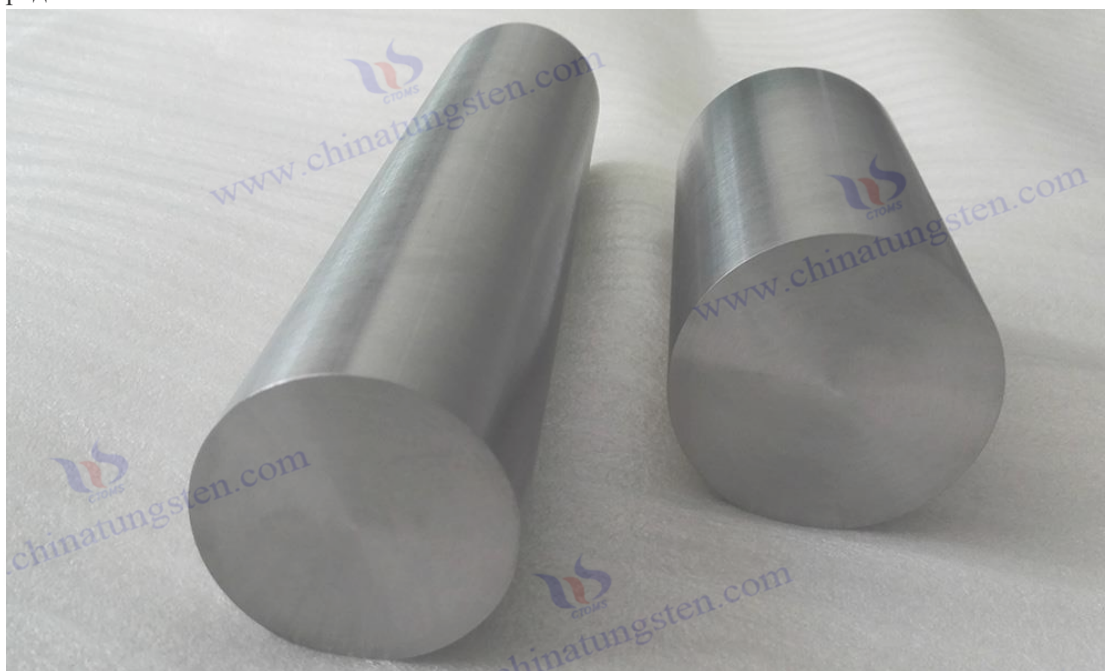
Сварочные электроды и компоненты высокотемпературных печей требуют превосходных характеристик дуги.

Ключевые моменты:

Для испытания дугой требуются стандартные условия сварки и регистрируется скорость выгорания.

Неравномерное распределение легирующей примеси требует оптимизированного процесса смешивания.

Обнаружение вольфрамовых стержней, легированных торием, регулируется нормами радиоактивности.



Вольфрамовые стержни CTIA GROUP LTD

Глава 9 Состояние отрасли вольфрамовых стержней и тенденции развития

Будучи стратегическим огнеупорным металлическим материалом, вольфрамовый стержень играет незаменимую роль в аэрокосмической, электронной, сварочной и военной областях благодаря своей высокой температуре плавления, высокой плотности и отличным механическим свойствам. В последние годы мировой рынок вольфрамовых прутков демонстрирует тенденцию к быстрому росту, что обусловлено изменениями спроса и предложения, технологическим прогрессом и политикой защиты окружающей среды. В этой главе анализируется китайский и международный рынок вольфрамовых прутков, обсуждаются тенденции технологического развития (новые материалы, экологически чистое производство, интеллектуальное производство), а также оцениваются проблемы и возможности, с которыми сталкивается отрасль (технологические узкие места, рыночная конкуренция, устойчивое развитие).

9.1 Обзор рынка вольфрамовых прутков в Китае

Китай является крупнейшим в мире производителем вольфрама и вольфрамовых прутков, масштабы рынка быстро расширяются, а структура спроса и предложения определяется политическим регулированием и спросом на переработку.

9.1.1 Анализ рыночного спроса и предложения

Рыночный спрос:

Рыночный спрос на вольфрамовые стержни в Китае в основном исходит от аэрокосмической, электронной, сварочной и карбидовой промышленности.

Аэрокосмическая промышленность: Вольфрамовые стержни используются для высокотемпературных компонентов (например, футеровки сопел) и противовесов, приводимых в движение отечественными крупными самолетами (например, C919) и аэрокосмическими программами (например, космическими станциями), с устойчивым ростом спроса.

Производство электроники: вольфрамовые стержни высокой чистоты являются ключевым материалом для полупроводниковых мишеней и электродов, и с локализацией чипов и развитием оборудования 5G спрос на них резко возрос.

Сварка и резка: легированные вольфрамовые стержни (например, WC20, WT20) широко используются в сварке TIG и плазменной резке, извлекая выгоду из автомобильной, морской и строительной промышленности, и рынок продолжает расширяться.

Карбид вольфрама: В качестве сырья для инструментов из карбида вольфрама, вольфрамовый стержень обусловлен спросом на станки с ЧПУ и высокотехнологичное производство, и составляет значительную долю рынка.

Анализ поставок:

Ресурсное преимущество: запасы вольфрама в Китае составляют 51% мирового производства, а основными районами добычи являются провинции Цзянси, Хунань и Хэнань.

Производственные мощности: Крупные отечественные предприятия имеют полную

производственную цепочку, охватывающую от добычи вольфрамовой руды до переработки прутков, с высокой концентрацией производственных мощностей.

Регулирование политики: Правительство ограничивает добычу вольфрама с помощью экспортных квот и политики защиты окружающей среды, а с 2023 года расширяет использование переработанного вольфрама для продвижения реформ в сфере предложения.

Проблема: Колебания цен на сырье и растущие затраты на охрану окружающей среды снижают прибыль малых и средних предприятий, а производство высококачественных вольфрамовых стержней (таких как высокочистые и наноразмерные) по-прежнему зависит от импорта.

Прогноз тренда:

Ожидается, что рыночный спрос будет расти в среднем на 5-7% в год, а высокотехнологичное производство и новые источники энергии (такие как фотоэлектрическая и ветровая энергетика) станут новыми точками роста.

Предложение сместится в сторону продукции с высокой добавленной стоимостью, и малым и средним предприятиям необходимо будет модернизировать свои технологии, чтобы справиться с давлением затрат.

9.2 Обзор международного рынка вольфрамовых прутков

Мировой рынок вольфрамовых прутков отличается высокой конкуренцией: Китай лидирует в поставках, Европа, США, Япония и Южная Корея доминируют в спросе высокого класса, а реструктуризация цепочки поставок и геополитика влияют на структуру рынка.

9.2.1 Основные страны и регионы-экспортеры

Статус экспорта:

Китай во главе с Китаем: экспорт вольфрама из Китая достиг 24 900 тонн в 2022 году, что составляет доминирующие мировые поставки, в основном в Японию (23%), Южную Корею (19%), Европу (35%) и Соединенные Штаты (11%).

Структура продукции: В экспорте преобладают вольфрамовые прутки сырьевого качества и продукция с низкой добавленной стоимостью, а на долю твердосплавных прутков приходится 8,9 тыс. тонн, увеличившись по сравнению с аналогичным периодом прошлого года на 7,23%.

Экспортные тенденции:

Стимул для роста: Экспорт обусловлен повышенным спросом на продукцию аэрокосмической и оборонной промышленности в Европе и США, особенно на стержни из вольфрамовых сплавов.

Региональные изменения: экспорт в Европу и США в 2022 году увеличился на 18,03% и 46,75% соответственно, в то время как экспорт в Японию и Южную Корею снизился, что отражает корректировку глобальной промышленной цепочки.

Проблема: Торговые трения и экспортные квоты ограничивают экспорт низкосортной продукции, а рынок высокого класса занят европейскими и американскими компаниями с низкой добавленной стоимостью.

CTIA GROUP LTD Tungsten Rods Introduction

1. Overview of Tungsten Rods

Tungsten rods are high-performance metallic bars made from tungsten powder (purity $\geq 99.95\%$) using powder metallurgy processes such as pressing, sintering, and swaging. With their extremely high melting point, excellent mechanical properties, and outstanding chemical stability, tungsten rods are widely used in industrial fields that demand extreme conditions.

2. Characteristics of Tungsten Rods

- ✓ Ultra-high melting point: Up to 3410°C , suitable for extreme high-temperature environments
- ✓ Excellent strength and hardness: Maintains mechanical performance even at temperatures
- ✓ Good thermal and electrical conductivity: Ideal for precision applications in electronics and heating systems
- ✓ High-density material: Suitable for counterweights and radiation shielding
- ✓ Corrosion and wear resistance: Long service life and excellent stability
- ✓ Low thermal expansion coefficient: Suitable for precision structural components

3. The Main Applications Tungsten Rods

- ✓ Aerospace and defense: Rocket nozzles, armor-piercing projectile cores, high-temperature structural parts
- ✓ Electronics industry: Cathodes, heat sinks, electrodes, contact materials
- ✓ High-temperature furnaces and metallurgy: Heating elements for vacuum furnaces, tungsten crucibles, support components
- ✓ Medical technology: Radiation shielding parts, precision surgical instruments
- ✓ Mechanical engineering: Counterweights, mold inserts, vibration dampers
- ✓ Scientific research equipment: Ultra-high temperature reactors, physical property testing components

4. Basic Data of Tungsten Rods

Item	Parameter
Density	19.3 g/cm^3
Hardness (Vickers HV)	340–400 HV
Electrical Conductivity (20°C)	$\sim 30\%$ IACS
Thermal Conductivity	$\sim 170 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
Coefficient of Thermal Expansion	$\sim 4.5 \times 10^{-6} / \text{K}$
Diameter Range	$\varnothing 1.0 \text{ mm} - \varnothing 100 \text{ mm}$ (customizable)
Length Range	$100 \text{ mm} - 1000 \text{ mm}$ (up to 2000 mm maximum)
Surface Condition	As-sintered (black), ground, polished

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

9.2.2 Зависимость от импорта и состояние цепочки поставок

Импортозависимость:

Китай: Высококачественные вольфрамовые стержни (например, вольфрамовые стержни высокой чистоты, легированные электроды) частично зависят от импорта, при этом импорт составляет около 90% экспорта, в основном из США, Германии и Японии, что отражает технологический разрыв.

Европа и Соединенные Штаты: Полагаясь на вольфрамовое сырье из Китая, на долю Китая приходилось 83% мировых поставок вольфрамовой руды в 2022 году, а развитие местных рудников в Европе и Соединенных Штатах идет медленно, что затрудняет достижение самодостаточности в краткосрочной перспективе.

Япония и Южная Корея: сильно зависят от импорта из Китая вольфрамовых прутков, перерабатываемых для экспорта продукции с высокой добавленной стоимостью (например, полупроводников).

Статус цепочки поставок:

Риск концентрации: Глобальная цепочка поставок вольфрама сильно зависит от Китая, и риск сбоев в цепочке поставок увеличился из-за геополитики и пандемии.

Попытки реструктуризации: Европа и Соединенные Штаты ускоряют разработку вольфрамовых рудников за рубежом (например, Австралия и Вьетнам), но ограничения капитала и затрат ограничивают прогресс, а доминирование Китая стабильно в краткосрочной перспективе.

Переработанный вольфрам: Глобальный уровень переработки вольфрамового лома увеличился до 30%, а Европа, США и Китай продвигают отраслевую цепочку переработанного вольфрама, чтобы снизить зависимость от сырья.

Прогноз тренда:

Глобальные цепочки поставок будут диверсифицироваться, и Вьетнам и Австралия, вероятно, станут новыми поставщиками, но Китай останется доминирующим.

Страны-импортеры увеличат исследования и разработки высококачественных вольфрамовых стержней, чтобы снизить свою зависимость от технологий Китая.

9.3 Тенденции развития технологии вольфрамовых стержней

Технологические достижения приводят к трансформации индустрии вольфрамовых прутков в сторону высокой производительности, низкой стоимости и экологичности, охватывающей материалы, процессы и методы производства.

9.3.1 Новые материалы и технологии легирования

Техническое направление:

Вольфрамовый стержень высокой чистоты: чистота увеличена до 99,99% за счет химического осаждения из газовой фазы (CVD) и плазменного спекания (SPS) для удовлетворения потребностей полупроводников и аэрокосмической промышленности.

Оптимизация легирования: Разработка вольфрамовых стержней, не легированных торием (таких как W-La₂O₃, W-CeO₂) для улучшения стабильности дуги и защиты окружающей

среды, а также замены радиоактивных электродов WT20.

Вольфрамовый сплав: Исследование и разработка сплавов высокой плотности, таких как W-Ni-Fe и W-Cu для оптимизации прочности и проводимости, которые используются в военной промышленности и электронике.

Нанотехнологии: Нанокристаллические вольфрамовые стержни получают путем шарового фрезерования и SPS, а размер зерна уменьшается до 5–10 мкм, что улучшает ударную вязкость и высокотемпературные характеристики.

Прогресс и вызовы:

Прогресс: Китайские предприятия, такие как Xiamen Tungsten, реализовали локализацию некоторых вольфрамовых стержней высокой чистоты, а исследования и разработки нановольфрамовых стержней вступили в пилотную стадию.

Задача: Стоимость высокочистого аффинажа и нанопереработки высока, оборудование зависит от импорта, а основная технология нуждается в прорыве.

Прогноз тренда:

Стержни, не легированные торием, и нановольфрамовые стержни станут мейнстримом, а их доля на рынке к 2030 году составит 40%.

Технология легирования будет ориентирована на многофункциональность для удовлетворения новых энергетических и оборонных потребностей.

9.3.2 Зеленое производство и энергосберегающие технологии

Техническое направление:

Утилизация переработанного вольфрама: Отходы вольфрама извлекаются с помощью гидрометаллургии и электролиза, чтобы снизить зависимость от добычи сырой руды, и к 2030 году уровень извлечения должен достичь 50%.

Спекание с низким энергопотреблением: микроволновое спекание и технология SPS используются для сокращения времени спекания (5–15 минут) и снижения энергопотребления на 30%.

Более чистое производство: разработайте процесс очистки без фтора, чтобы сократить использование фтористоводородной кислоты и уменьшить сброс сточных вод.

Очистка выхлопных газов: Оснащен высокоэффективными системами удаления пыли и десульфурации в соответствии с нормами выбросов (например, $\text{SO}_2 < 50 \text{ мг/м}^3$).

Прогресс и вызовы:

Прогресс: Китай ввел политику поддержки индустрии переработанного вольфрама, при этом производство переработанного вольфрама составит 20% от общего объема поставок в 2023 году.

Задача: Первоначальные инвестиции в «зеленые» технологии высоки, что трудно позволить себе малым и средним предприятиям и требует политических субсидий.

Прогноз тренда:

«Зеленое» производство станет порогом входа в отрасль, а уровень проникновения

энергосберегающих технологий, как ожидается, достигнет 80% к 2030 году.

На долю переработанного вольфрама будет приходиться более 30% мировых поставок, что снизит нагрузку на ресурсы.

9.3.3 Интеллектуальное и автоматизированное производство

Техническое направление:

Интеллектуальное управление: системы ПЛК и SCADA используются для мониторинга параметров спекания,ковки и обработки в режиме реального времени для улучшения однородности.

Оборудование для автоматизации: Внедрение ротационной обжимной машины с ЧПУ, автоматической волочильной машины и роботизированной сборочной линии повысило эффективность производства на 20%.

Цифровой двойник: создание цифровой модели производства вольфрамовых прутков для оптимизации параметров процесса и снижения затрат на метод проб и ошибок.

Отслеживаемость качества: записывайте данные по всей цепочке от сырья до готовой продукции с помощью технологии блокчейн для обеспечения контролируемого качества.

Прогресс и вызовы:

Прогресс: Ведущие китайские компании развернули интеллектуальные производственные линии, уровень автоматизации которых в 2023 году составит 50%.

Проблемы: высокая стоимость интеллектуального оборудования, низкий уровень проникновения малых и средних предприятий, а также нехватка технических специалистов.

Прогноз тренда:

Ожидается, что в 2030 году уровень автоматизации индустрии вольфрамовых прутков в Китае достигнет 70%, а интеллект изменит конкурентную среду.

Цифровые двойники и прослеживаемость качества станут стандартом на рынке высокого класса.

9.4 Проблемы и возможности вольфрамовых стержней

Индустрия вольфрамовых прутков сталкивается с многочисленными проблемами в области технологий, рынка и защиты окружающей среды в условиях быстрого развития, и в то же время содержит огромные возможности.

9.4.1 Технические узкие места и прорывы

Вызов:

Разрыв в передовых технологиях: основное оборудование для высокочистых вольфрамовых прутков и нановольфрамовых прутков (таких как печи SPS) зависит от импорта, что имеет высокую стоимость и ограничивает локализацию.

Равномерность легирования: Неравномерное распределение легирующих примесей редкоземельных элементов влияет на характеристики дуги, и процесс смешивания необходимо улучшить.

Недостаточные инвестиции в НИОКР: малые и средние предприятия имеют ограниченные

средства на НИОКР, и им трудно пробиться через ключевые технологии.

Возможность:

Локализация ускоряется: национальный «14-й пятилетний план» поддерживает исследования и разработки новых вольфрамовых материалов, и ожидается, что уровень локализации вольфрамовых стержней высокой чистоты достигнет 80% в 2025 году.

Сотрудничество между промышленностью, университетами и научными исследованиями: университеты и предприятия совместно решают ключевые проблемы для ускорения технологической трансформации.

Политическая поддержка: Правительство предоставляет субсидии на НИОКР и налоговые стимулы для снижения стоимости инноваций.

Стратегии преодоления:

Увеличить исследования и разработки основного оборудования и преодолеть зависимость от импорта.

Создание отраслевой, университетско-исследовательской платформы для ускорения итерации технологий.

Оптимизируйте процесс легирования и улучшите эксплуатационные характеристики продукта.

9.4.2 Рыночная конкуренция и глобализация

Вызов:

Международная конкуренция: европейские и американские компании доминируют на рынке высокого класса, в то время как китайские компании доминируют на продуктах с низкой добавленной стоимостью.

Торговые барьеры: Соединенные Штаты и Европа ввели тарифы на вольфрамовую продукцию, что повлияло на конкурентоспособность экспорта.

Промышленная концентрация: малые и средние предприятия технологически отстали и сталкиваются с риском быть приобретенными или ликвидированными.

Возможность:

Глобальный спрос: спрос на аэрокосмическую промышленность, полупроводники и новые источники энергии растет, и ожидается, что к 2030 году мировой рынок достигнет миллиардов долларов.

«Один пояс, один путь»: китайские компании могут расширить рынок в Юго-Восточной Азии и Африке, а также экспортировать технологии и производственные мощности.

Создание бренда: Ожидается, что благодаря технологическому обновлению китайские компании займут место на рынке среднего и высокого класса.

Стратегии преодоления:

Повышение добавленной стоимости продукции и разработка вольфрамовых стержней высокой чистоты и легированных ими.

Укреплять международное сотрудничество и обходить торговые барьеры.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Содействие промышленной интеграции и повышение концентрации.

9.4.3 Требования в области охраны окружающей среды и устойчивого развития

Вызов:

Давление на окружающую среду: при добыче и выплавке вольфрама образуются сточные воды и отходящие газы, а затраты на охрану окружающей среды составляют 20% производственных затрат.

Цель углеродной нейтральности: Пик выбросов углерода к 2030 году потребует от предприятий снижения энергопотребления, а традиционные процессы с трудом соответствуют стандарту.

Управление радиоактивностью: Вольфрамовые стержни, легированные торием, должны строго контролироваться, что увеличивает стоимость соответствия.

Возможность:

Зеленый рынок: Спрос на экологически чистые вольфрамовые стержни (например, неториевые электроды) растет, и перспективы рынка широки.

Потенциал переработанного вольфрама: Технология переработки отходов вольфрама является зрелой, а ее стоимость ниже, чем при добыче сырой руды.

Политические дивиденды: правительство субсидирует проекты «зеленого» производства для снижения затрат на трансформацию.

Стратегии преодоления:

Продвижение переработанного вольфрама и технологий с низким энергопотреблением для снижения затрат на охрану окружающей среды.

Разработка электродов, не легированных торием, в соответствии с экологическими нормами.

Создание системы управления углеродным следом для достижения цели углеродной нейтральности.



Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

CTIA GROUP LTD
Tungsten Rods Introduction

1. Overview of Tungsten Rods

Tungsten rods are high-performance metallic bars made from tungsten powder (purity $\geq 99.95\%$) using powder metallurgy processes such as pressing, sintering, and swaging. With their extremely high melting point, excellent mechanical properties, and outstanding chemical stability, tungsten rods are widely used in industrial fields that demand extreme conditions.

2. Characteristics of Tungsten Rods

- ✓ Ultra-high melting point: Up to 3410°C , suitable for extreme high-temperature environments
- ✓ Excellent strength and hardness: Maintains mechanical performance even at temperatures
- ✓ Good thermal and electrical conductivity: Ideal for precision applications in electronics and heating systems
- ✓ High-density material: Suitable for counterweights and radiation shielding
- ✓ Corrosion and wear resistance: Long service life and excellent stability
- ✓ Low thermal expansion coefficient: Suitable for precision structural components

3. The Main Applications Tungsten Rods

- ✓ Aerospace and defense: Rocket nozzles, armor-piercing projectile cores, high-temperature structural parts
- ✓ Electronics industry: Cathodes, heat sinks, electrodes, contact materials
- ✓ High-temperature furnaces and metallurgy: Heating elements for vacuum furnaces, tungsten crucibles, support components
- ✓ Medical technology: Radiation shielding parts, precision surgical instruments
- ✓ Mechanical engineering: Counterweights, mold inserts, vibration dampers
- ✓ Scientific research equipment: Ultra-high temperature reactors, physical property testing components

4. Basic Data of Tungsten Rods

Item	Parameter
Density	19.3 g/cm ³
Hardness (Vickers HV)	340–400 HV
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Thermal Conductivity	~170 W/(m·K)
Coefficient of Thermal Expansion	~ 4.5×10^{-6} /K
Diameter Range	Ø1.0 mm – Ø100 mm (customizable)
Length Range	100 mm – 1000 mm (up to 2000 mm maximum)
Surface Condition	As-sintered (black), ground, polished

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Глава 10 Выводы

Будучи высокоэффективным тугоплавким металлическим материалом, вольфрамовый стержень играет незаменимую роль в аэрокосмической, электронной, сварочной, военной промышленности и новых областях энергетики благодаря своим превосходным физическим, химическим и механическим свойствам. В этой главе кратко излагается основная ценность и перспективы применения вольфрамового стержня, прогнозируются направления его дальнейшего развития, выдвигаются предложения по развитию отрасли, а также анализируются ограничения и будущие исследовательские перспективы этих исследований.

10.1 Основная ценность и перспективы применения вольфрамовых стержней

Основные ценности:

Вольфрамовый стержень стал представителем ключевых промышленных материалов благодаря своей высокой температуре плавления, высокой плотности, отличной твердости и высокой термостойкости и коррозионной стойкости. Его основные ценности отражены в следующих аспектах:

Гарантия высокой производительности: вольфрамовый стержень остается стабильным в экстремальных условиях (таких как высокая температура, высокое давление, дуга) и отвечает высоким требованиям аэрокосмической промышленности (например, футеровка сопла), полупроводниковой (мишень с распылением) и военной промышленности (бронебойный сердечник пули).

Функциональное разнообразие: Стержни из чистого вольфрама, вольфрамовые стержни высокой чистоты и легированные вольфрамовые стержни (такие как WC20 и WL20) служат в различных сценариях, оптимизация легирования улучшает характеристики дуги, легирование повышает прочность и проводимость.

Стратегическое значение: Вольфрам является дефицитным стратегическим ресурсом, производственная цепочка вольфрамовых прутков связана с национальной безопасностью и высокотехнологичным производством, а глобальная цепочка поставок зависит от Китая (на долю которого приходится 83% производства), что подчеркивает его геоэкономическую ценность.

Устойчивый потенциал: Достижения в области технологий переработки вольфрама и экологически чистых производственных процессов снижают потребление ресурсов и воздействие на окружающую среду, а также повышают долгосрочную конкурентоспособность отрасли.

Перспективы применения:

Аэрокосмическая промышленность: С развитием глобальных космических программ (таких как космическая станция в Китае и звездолет SpaceX) спрос на вольфрамовые стержни для высокотемпературных компонентов и противовесов будет продолжать расти, и ожидается, что к 2030 году доля рынка увеличится до 20%.

Электроника и полупроводники: 5G, чипы искусственного интеллекта и квантовые вычисления стимулируют всплеск спроса на вольфрамовые стержни высокой чистоты, и

ождается, что рынок мишеней и электродов будет расти в среднем на 8% в год.

Новая энергетика: Применение вольфрамовых стержней в фотоэлектрической (монокристаллические кремниевые зажимные стержни) и ветроэнергетике (высокопрочные компоненты) расширилось, что способствует достижению глобальной цели углеродной нейтральности, и рыночный потенциал значителен.

Сварка и производство: легированные вольфрамовые электроды широко используются в автомобилестроении, судостроении и строительстве, и спрос на них неуклонно растет с модернизацией высокотехнологичного производства.

Военная и медицинская сфера: Спрос на стержни из вольфрамового сплава в бронебойных сердечниках и радиационно-защитных деталях обусловлен глобальной модернизацией оборонной промышленности и обновлением медицинского оборудования, а перспективы рынка являются устойчивыми.

10.2 Перспективы развития вольфрамовых стержней

Технологические инновации:

Высокая чистота и нанотехнологии: Улучшите чистоту вольфрамовых стержней до более чем 99,99% и разработайте нанокристаллические вольфрамовые стержни (размер зерна 5–10 мкм) для повышения ударной вязкости и высокотемпературных характеристик для удовлетворения потребностей полупроводников и аэрокосмической промышленности.

Электроды, не легированные торием: Исследование и разработка экологически чистых легированных вольфрамовых стержней (таких как W-La₂O₃, W-CeO₂) для замены радиоактивных электродов WT20 для повышения стабильности дуги и принятия на рынке.

Новый вольфрамовый сплав: оптимизация формулы W-Ni-Fe, W-Cu и других сплавов, баланс прочности, проводимости и защиты окружающей среды, а также расширение применения в военной и электронной промышленности.

Экологичное производство: Продвигайте процессы микроволнового спекания, плазменного спекания (SPS) и очистки без фтора, сократите потребление энергии на 30% и сократите выбросы сточных вод и выхлопных газов.

Интеллектуальное производство: интегрируйте цифровой двойник, управление ПЛК и технологию прослеживаемости на блокчейне для повышения эффективности производства на 20% и достижения полного управления качеством.

Расширение рынка:

Прорыв на рынке высокого класса: увеличение исследований и разработок вольфрамовых стержней высокой чистоты и легированных электродов, захват высококачественного рынка в Европе, Америке, Японии и Южной Корее, а также снижение зависимости от импорта.

Развитие развивающихся рынков: В рамках инициативы «Один пояс, один путь» расширяйте рынок в Юго-Восточной Азии, Африке и Южной Америке, а также экспортируйте технологии и производственные мощности вольфрамовых прутков.

Разнообразные области применения: Исследуйте новые способы использования вольфрамовых стержней в новых источниках энергии (например, водородные устройства), биомедицине (например, высокоточные хирургические инструменты) и квантовых технологиях.

Оптимизация цепочки поставок:

Утилизация переработанного вольфрама: увеличьте уровень переработки отходов вольфрама до 50%, создайте модель экономики замкнутого цикла и уменьшите нагрузку на ресурсы.

Диверсифицированные поставки: Поддержка разработки новых вольфрамовых рудников во Вьетнаме и Австралии и снижение риска концентрации в глобальной цепочке поставок.

Региональное сотрудничество: Укрепление технического и торгового сотрудничества с Японией, Южной Кореей и Европейским союзом во избежание геополитического влияния.

Политики и стандарты:

Формулировка международных стандартов: Продвигать международные стандарты на вольфрамовые стержни под руководством Китая (такие как обновление ISO 24370) для улучшения глобального дискурса.

Ужесточение экологических норм: Для содействия «зеленой» трансформации отрасли были установлены более строгие стандарты выбросов и переработки.

Политика поддержки промышленности: расширение субсидий на НИОКР и налоговые льготы, поощрение технологических инноваций и модернизация малых и средних предприятий.

10.3 Рекомендации по развитию отрасли**На уровне предприятия:**

Увеличить инвестиции в НИОКР: сосредоточиться на вольфрамовых стержнях высокой чистоты, нанотехнологиях и процессах, не связанных с торием, преодолеть зависимость от импорта основного оборудования (например, печей SPS) и рекомендовать, чтобы на НИОКР приходилось 5-8% выручки.

Содействие интеллектуальной трансформации: развертывание оборудования с ЧПУ и систем SCADA, создание интеллектуальных производственных линий и достижение уровня автоматизации более 50% к 2025 году, снижение затрат на рабочую силу и повышение согласованности.

Укрепление структуры бренда: повышение конкурентоспособности китайских брендов вольфрамовых прутков на рынке высокого класса с помощью международных выставок (таких как Hannover Messe) и сертификации (например, ISO 9001).

Углубляйте интеграцию промышленной цепочки: путем слияний и поглощений или сотрудничества интегрируйте ресурсы малых и средних предприятий, повышайте концентрацию промышленности и оптимизируйте эффективность цепочки поставок от руды до готовой продукции.

Структура отрасли вторичного вольфрама: инвестировать в гидрометаллургию и технологии электролитического восстановления, увеличить долю производства переработанного вольфрама до 30% к 2025 году, снизить стоимость сырья.

На правительственном уровне:

Улучшить политическую поддержку: Ввести специальный фонд для поддержки исследований и разработок новых вольфрамовых материалов и «зеленого» производства, а также продлить снижение налогов и освобождение от налогов для малых и средних

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

предприятий до 2030 года.

Укрепление управления ресурсами: оптимизация квот на добычу вольфрама, поощрение использования переработанного вольфрама и сокращение добычи сырой руды на 20% к 2030 году.

Содействие международному сотрудничеству: в рамках инициативы «Один пояс, один путь» создание международного альянса вольфрамовых ресурсов для расширения производства технологий и доли рынка.

Усилить экологический надзор: сформулировать нормы выбросов вольфрама (например, $SO_2 < 30 \text{ мг/м}^3$), ограничить производство на предприятиях с высоким уровнем загрязнения окружающей среды и содействовать «зеленой» трансформации отрасли.

Поддержка сотрудничества между промышленностью, университетами и научными исследованиями: Финансирование совместных лабораторий университетов и предприятий (таких как Университет Цинхуа и Сямынь Тунгстэнь) для ускорения технологической трансформации и достижения 10 ключевых технологических прорывов к 2025 году.

На уровне отраслевых ассоциаций:

Сформулируйте отраслевые стандарты: пересмотрите стандарты производства и тестирования вольфрамовых прутков (такие как GB/T 4187) для интеграции с международными стандартами и повышения качества продукции.

Создание коммуникационной платформы: Организуйте ежегодный форум вольфрамовой промышленности для содействия сотрудничеству между предприятиями, университетами и правительствами, а также для обмена экологически чистым производством и интеллектуальным опытом.

Проводите маркетинговые исследования: регулярно публикуйте отчеты о мировом рынке вольфрамовых прутков, чтобы помочь предприятиям точно спланировать развивающиеся рынки.



Вольфрамовые стержни CTIA GROUP LTD

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Приложение

А. Глоссарий

Вольфрамовый стержень: стержневой материал с вольфрамом или его сплавами в качестве основного компонента, обычно получаемый методом порошковой металлургии.

Порошковая металлургия: процесс подготовки материалов путем смешивания, прессования и спекания металлических порошков.

Коэффициент теплового расширения: Скорость, с которой объем или длина материала изменяется при температуре.

Высокая плотность: относится к компактной внутренней структуре материала и низкой пористости, что обычно связано с высокой прочностью.

Спекание: процесс объединения частиц металлического порошка в твердый материал при высоких температурах.

Горячая штамповка: Ковка металла при высоких температурах для изменения его формы и свойств.

Ротационная ковка: процесс обработки металла вращением и давлением, подходит для производства прутков.

Горячая экструзия: процесс выдавливания металла через форму при высоких температурах.

Вольфрамовый сплав: композитный материал с вольфрамом в качестве матрицы и добавлением никеля, железа, меди и других элементов.

Легированный вольфрамовый стержень: вольфрамовый стержень, который улучшает свои свойства за счет добавления редкоземельных элементов или других элементов.

Коррозионная стойкость: способность материала противостоять химическому воздействию.

Теплопроводность: способность материала проводить тепло.

Электропроводность: Способность материала проводить электрический ток.

Сопrotивление ползучести: способность материала противостоять деформации при высоких температурах и при постоянных нагрузках.

Неразрушающий контроль: метод проверки характеристик и дефектов материала без повреждения его структуры.

ICP-MS (масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой): прибор для анализа микроэлементов в материалах.

SEM/TEM (Scanning/Transmission Electron Microscopy): Метод микроскопии, используемый для наблюдения за микроструктурой материалов.

RWMA (Ассоциация производителей контактной сварки): Ассоциация производителей контактной сварки, которая разрабатывает стандарты, связанные с вольфрамовыми материалами.

В. Ссылки

[1] ASTM E8-21, Стандарт для испытаний металлических материалов на растяжение, Американское общество по испытаниям и материалам, 2021 г.

[2] ISO 6892-1:2019, Испытания металлических материалов на растяжение при комнатной температуре, Международная организация по стандартизации, 2019 г.

[3] GB/T 4187-2017, Вольфрамовый стержень, Национальный стандарт, 2017 г.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

- [4] GB/T 3459-2017, Изделия из вольфрама и вольфрамовых сплавов, Национальный стандарт, 2017 г.
- [5] YS/T 695-2009, Вольфрамовые электроды, отраслевой стандарт для цветных металлов, 2009.
- [6] Международная ассоциация вольфрама, Техническое руководство по испытаниям вольфрамовых материалов, 2023 г.
- [7] Китайская ассоциация вольфрамовой промышленности, Спецификация контроля качества вольфрамовых стержней, 2022 г.
- [8] AWS A5.12, Спецификация на вольфрамовые и легированные оксидами вольфрамовые электроды для дуговой сварки, Американская ассоциация сварки, 2009 г.
- [9] JIS Z 3211-2008, Вольфрамовые электроды, Японский промышленный стандарт, 2008.
- [10] DIN EN 26848, изделия из вольфрама и вольфрамовых сплавов, Европейский институт стандартов, 1991.
- [11] YS/T 695-2017, Вольфрамовые электроды, отраслевой стандарт для цветных металлов, 2017.
- [12] ASTM B760-07, Стандартная спецификация на вольфрамовые листы, листы и фольгу, ASTM International, 2007.
- [13] ISO 24370:2005, Тонкая керамика и тугоплавкие металлы, Международная организация по стандартизации, 2005.
- [14] Йих, С. В. Х., и Ванг, К. Т., Вольфрам: источники, металлургия, свойства и применение, Plenum Press, 1979.
- [15] Кулидж, У. Д., Развитие пластичного вольфрама, Труды Американского института инженеров-электриков, 1910.
- [16] Геологическая служба США, Вольфрам: стратегический металл, 2018.
- [17] Ласснер, Э., и Шуберт, В. Д., Вольфрам: свойства, химия, технология элемента, сплавов и химических соединений, Springer, 1999.
- [18] Европейская комиссия, Важнейшее сырье для стратегических технологий и секторов в ЕС, 2020.
- [19] ASTM B760-07, Стандартная спецификация на вольфрамовые пластины, листы и фольгу, ASTM International, 2007.
- [20] AWS A5.12, Спецификация на вольфрамовые и оксидно-дисперсные вольфрамовые электроды для дуговой сварки, Американское общество сварки, 2009 г.