

Энциклопедия молибденового стержня

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

Molybdenum Rods Introduction

1. Overview of Molybdenum Rods

Molybdenum rods are high-performance metal materials made from high-purity molybdenum powder through pressing, sintering, forging, and drawing processes. They possess excellent high-temperature performance, thermal conductivity, and chemical stability. These rods are widely used in advanced technological fields such as metallurgy, electronics, glass, aerospace, and nuclear energy, making them one of the key functional materials in modern industrial high-temperature environments.

2. Main Application Fields of Molybdenum Rods

- Heating elements and support rods for high-temperature electric furnaces
- Diffusion tubes and wafer carriers in the semiconductor industry
- Electrodes and targets for vacuum coating equipment
- High-temperature components in nuclear reactors and aircraft engines
- Electrode rods and heat-resistant fixtures in the glass industry
- Medical devices and X-ray targets
- High-temperature experimental materials and components in scientific research

3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)

Category	Description	Typical Applications
High-Purity Moly Rods	Purity $\geq 99.95\%$, extremely low impurity levels	Electronics, semiconductors, research equipment
Industrial-Grade Rods	Purity around 99.90%, cost-effective	Electric heating, glass, metallurgical equipment
Doped Moly Rods	Doped with La, Ti, Zr, etc., for enhanced performance	High-temperature structural parts, TZM alloy applications

4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD

Item	Value Range
Density	$> 10.0 \text{ g/cm}^3$
Hardness (HV30)	160 – 250 HV
Tensile Strength (Rm/MPa)	$\geq 590 \text{ MPa}$
Yield Strength (Rp0.2/MPa)	$\geq 490 \text{ MPa}$
Elongation after fracture (A/%)	10–25%
Diameter Range	$\Phi 1 \text{ mm} - \Phi 200 \text{ mm}$, Customizable
Length Range	10 mm – 2000 mm, Customizable

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com
Phone: +86 592 5129595; 592 5129696
Website: www.molybdenum.com.cn

Каталог

Глава 1 Введение

- 1.1 Определение и обзор молибденовых стержней
- 1.2 Историческое развитие молибденовых стержней
- 1.3 Значение молибденовых стержней в современной промышленности
- 1.4 Состояние мирового рынка и тенденции его развития

Глава 2 Свойства материала молибденовых стержней

- 2.1 Химический состав и атомная структура молибдена
- 2.2 Кристаллическая структура и фазовые переходы молибдена
- 2.3 Физические свойства молибденовых стержней
 - 2.3.1 Плотность и температура плавления молибденовых стержней
 - 2.3.2 Теплопроводность и коэффициент теплового расширения молибденовых стержней
 - 2.3.3 Проводимость и удельное сопротивление молибденовых стержней
- 2.4 Механические свойства молибденовых стержней
 - 2.4.1 Прочность и твердость молибденовых стержней
 - 2.4.2 Пластичность и ударная вязкость молибденовых стержней
 - 2.4.3 Ползучесть молибденовых стержней при высоких температурах
- 2.5 Химические свойства молибденовых стержней
 - 2.5.1 Стойкость к окислению молибденовых стержней
 - 2.5.2 Коррозионная стойкость молибденовых стержней (кислоты, щелочи, расплавленные соли и т.д.)
- 2.6 Сравнение молибдена и сплавов на его основе
- 2.7 Сравнение свойств молибденовых стержней с другими высокотемпературными материалами
- 2.8 Молибденовый стержень MSDS от CTIA GROUP LTD

Глава 3 Подготовка и процесс производства молибденовых стержней

- 3.1 Приобретение молибденового сырья
 - 3.1.1 Добыча и обогащение молибденовой руды
 - 3.1.2 Очистка молибденового концентрата
- 3.2 Процесс порошковой металлургии молибденовых стержней
 - 3.2.1 Приготовление молибденового порошка (восстановительный метод, метод распыления)
 - 3.2.2 Контроль размера и чистоты частиц порошка
 - 3.2.3 Компрессионное формование (холодное изостатическое прессование, формование)
- 3.3 Процесс спекания молибденовых стержней
 - 3.3.1 Вакуумное спекание
 - 3.3.2 Спекание с защитой от водорода
 - 3.3.3 Высокотемпературное агломерационное оборудование и оптимизация параметров
- 3.4 Технология термической обработки молибденовых стержней
 - 3.4.1 Процессковки
 - 3.4.2 Процесс прокатки

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

- 3.4.3 Процесс рисования
- 3.5 Технология обработки поверхности молибденовых стержней
 - 3.5.1 Механическая полировка
 - 3.5.2 Химическая очистка
 - 3.5.3 Поверхностные покрытия (антиокислительные покрытия и т.д.)
- 3.6 Контроль качества и оптимизация технологического процесса молибденовых стержней
 - 3.6.1 Контроль дефектов в производственном процессе
 - 3.6.2 Мониторинг и оптимизация технологических параметров

Глава 4 Типы и технические характеристики молибденовых стержней

- 4.1 Классификация по составу
 - 4.1.1 Молибденовые стержни высокой чистоты (чистота $\geq 99,95\%$)
 - 4.1.2 Легированные молибденовые стержни (TZM, Mo-La, Mo-W и т.д.)
- 4.2 Классификация по состоянию поверхности
 - 4.2.1 Стержни из черного молибдена
 - 4.2.2 Полировка молибденовых стержней
 - 4.2.3 Очистка молибденовых стержней
- 4.3 Классификация по размеру и форме
 - 4.3.1 Круглые молибденовые стержни
 - 4.3.2 Квадратные и другие молибденовые стержни специальной формы
 - 4.3.3 Микромолибденовые стержни и крупные молибденовые стержни
- 4.4 Индивидуальная конструкция молибденового стержня
 - 4.4.1 Анализ потребительского спроса
 - 4.4.2 Специальные спецификации и настройка производительности

Глава 5 Эксплуатационные испытания и оценка молибденовых стержней

- 5.1 Испытание механических свойств молибденовых стержней
 - 5.1.1 Испытание молибденовых стержней на растяжение
 - 5.1.2 Испытание молибденовых стержней на сжатие
 - 5.1.3 Испытание на изгиб и сдвиг
- 5.2 Высокотемпературные испытания молибденовых стержней
 - 5.2.1 Испытание молибденовых стержней на ползучесть
 - 5.2.2 Термическое усталостное испытание молибденовых стержней
 - 5.2.3 Испытание на стойкость к окислению молибденовых стержней
- 5.3 Анализ микроструктуры молибденовых стержней
 - 5.3.1 Анализ методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ)
 - 5.3.2 Рентгеновский дифракционный анализ (XRD)
 - 5.3.3 Энергетическая спектроскопия (ЭЦП)
- 5.4 Испытание химических свойств молибденовых стержней
 - 5.4.1 Испытание молибденовых стержней на коррозионную стойкость
 - 5.4.2 Оценка химической стабильности молибденовых стержней
- 5.5 Анализ отказов молибденовых стержней
 - 5.5.1 Анализ механизма разрушения молибденовых стержней

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

5.5.2 Анализ усталости и износа молибденовых стержней

5.5.3 Модель прогнозирования срока службы молибденовых стержней

Глава 6 Производственное оборудование для молибденовых стержней

6.1 Оборудование для обработки сырья для молибденовых прутков

6.1.1 Дробильно-измельчительное оборудование

6.1.2 Очистное оборудование (обжиговые печи, восстановительные печи)

6.2 Оборудование для порошковой металлургии для молибденовых стержней

6.2.1 Оборудование для смешивания и прессования

6.2.2 Печи для спекания (вакуумные печи, атмосферные печи)

6.3 Оборудование для термической обработки молибденовых стержней

6.3.1 Кузнечное оборудование

6.3.2 Прокатные станы и волочильные машины

6.4 Оборудование для обработки поверхности молибденовых стержней

6.4.1 Полировальные машины

6.4.2 Оборудование для очистки

6.5 Испытательное оборудование для молибденовых стержней

6.5.1 Оборудование для неразрушающего контроля (ультразвуковое, рентгеновское)

6.5.2 Оборудование для проверки размеров и качества поверхности

6.6 Автоматическое и интеллектуальное производственное оборудование для молибденовых стержней

6.6.1 Автоматическое управление производственными линиями

6.6.2 Интеллектуальный мониторинг и анализ данных

Глава 7 Области применения молибденовых стержней

7.1 Высокотемпературные печи и термическое оборудование

7.1.1 Молибденовые стержни в качестве нагревательных элементов

7.1.2 Опорные и крепежные детали

7.2 Электронная и полупроводниковая промышленность

7.2.1 Материалы электродов

7.2.2 Мишени для распыления

7.2.3 Вакуумные трубки и компоненты ионных источников

7.3 Аэрокосмическая промышленность

7.3.1 Высокотемпературные конструкционные детали

7.3.2 Компоненты силовой установки

7.4 Стекольная и керамическая промышленность

7.4.1 Электроды для плавления стекла

7.4.2 Керамические опоры для спекания

7.5 Медицинские и научные исследования

7.5.1 Мишени для рентгеновских трубок

7.5.2 Лабораторное высокотемпературное экспериментальное оборудование

7.6 Новые приложения

7.6.1 3D-печать и аддитивное производство

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

7.6.2 Применение в атомной промышленности

Глава 8 Отечественные и зарубежные стандарты и технические условия на молибденовые стержни

8.1 Международные стандарты на молибденовые стержни

8.1.1 Стандарты ASTM (ASTM B387 и т.д.)

8.1.2 Стандарты ISO

8.2 Отечественные стандарты на молибденовые стержни

8.2.1 Стандарт GB/T (GB/T 3462 и т.д.)

8.2.2 Отраслевые стандарты и стандарты предприятий

8.3 Сертификация и соответствие молибденовых стержней

8.3.1 Процесс сертификации материалов

8.3.2 Соблюдение экологических норм и техники безопасности

8.4 Сравнение стандартов и анализ сценариев применения молибденовых стержней

Глава 9 Обработка, использование и обслуживание молибденовых стержней

9.1 Технология обработки молибденовых стержней

9.1.1 Резка (резка проволокой, лазерная резка)

9.1.2 Механическая обработка (токарная, фрезерная, сверлильная)

9.1.3 Технология сварки и соединения

9.2 Экологические требования к применению молибденовых стержней

9.2.1 Вакуум и инертная атмосфера

9.2.2 Защита окружающей среды при высокотемпературном окислении

9.3 Установка и крепление молибденовых стержней

9.3.1 Процесс установки и проектирование приспособления

9.3.2 Расчет согласования теплового расширения

9.4 Обслуживание и очистка молибденовых стержней

9.4.1 Методы очистки поверхностей

9.4.2 Периодический осмотр и техническое обслуживание

9.5 Требования к технике безопасности для молибденовых стержней

9.5.1 Меры предосторожности при работе при высоких температурах

9.5.2 Требования к технике безопасности при обращении с химическими веществами

Глава 10 Переработка и устойчивое развитие молибденовых стержней

10.1 Процесс переработки молибденовых стержней

10.1.1 Сбор и сортировка отходов

10.1.2 Технологии переработки и очистки

10.2 Воздействие молибденовых прутков на окружающую среду и экологически чистое производство

10.2.1 Потребление энергии и выбросы в процессе производства

10.2.2 Совершенствование процессов охраны окружающей среды

10.3 Экономика замкнутого цикла и стратегия устойчивого развития молибденовых стержней

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Глава 11 Новейшие технологии и будущие тенденции в области молибденовых стержней

11.1 Прогресс в исследованиях и разработках сплавов на основе молибдена

11.1.1 Оптимизация сплавов TZM и Mo-La

11.1.2 Новые технологии допинга

11.2 Разработка наноструктурированных молибденовых стержней

11.3 Интеллектуальное производство и испытательная техника

11.3.1 Онлайн-мониторинг и анализ больших данных

11.3.2 Применение искусственного интеллекта в производстве молибденовых стержней

11.4 Потенциал молибденовых стержней в области новой энергетики

11.4.1 Применение водородной энергии и аккумулирования энергии

11.4.2 Поддержка высокотемпературных сверхпроводящих материалов

11.5 Будущие направления исследований и проблемы молибденовых стержней

Приложение

A. Глоссарий терминов

B. Ссылки

Глава 1 Введение

1.1 Определение и обзор молибденовых стержней

Молибденовый стержень представляет собой стержнеобразный материал, изготовленный из молибдена высокой чистоты или сплавов на его основе (таких как TZM, Mo-La), обычно производимых методом порошковой металлургии или термической обработки, с отличными высокотемпературными свойствами, механической прочностью и химической стабильностью. Чистота молибденовых стержней обычно достигает более 99,95%, диаметр колеблется от нескольких миллиметров до десятков миллиметров, а длина может быть настроена в соответствии с потребностями применения. Поверхностное состояние молибденового стержня включает черный (неполированный, с сохранением поверхностного оксидного слоя), полированный (механическая или химическая полировка) и промытый (удаление поверхностных загрязнений) для удовлетворения потребностей различных сценариев применения.

Будучи тугоплавким металлом, молибден обладает высокой температурой плавления (2623 °C), низким коэффициентом теплового расширения (около $4,8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) и хорошей теплопроводностью (около 138 Вт/м·К) и проводимостью, что делает его превосходным при высоких температурах и экстремальных условиях. К основным характеристикам молибденового стержня относятся высокая термостойкость, коррозионная стойкость, сопротивление ползучести и хорошие технологические свойства, что делает его широко используемым в высокотемпературных печах, электронных полупроводниках, аэрокосмической, стекольной промышленности и других отраслях промышленности. Кроме того, молибденовые стержни могут быть легированы такими элементами, как титан, цирконий, лантан и т. д., для дальнейшей оптимизации их высокотемпературной прочности и стойкости к окислению.

Молибденовые стержни бывают различных форм, включая круглые стержни, квадратные стержни и другие стержни специальной формы, а процесс их производства включает в себя полный процесс от очистки молибденовой руды до порошковой металлургии, термической обработки и обработки поверхности. На производительность и качество молибденовых стержней влияют такие факторы, как чистота сырья, процесс спекания и точность обработки, поэтому параметры процесса необходимо строго контролировать в процессе производства, чтобы обеспечить однородность продукта. Молибденовые стержни используются в приложениях с различными требованиями к размеру, состоянию поверхности и характеристикам, такими как высокая чистота и чистота поверхности в полупроводниковой промышленности, а также стойкость к окислению и механическая прочность в высокотемпературных печах.

1.2 Историческое развитие молибденовых стержней

Историю молибдена можно проследить до конца 18 века, когда шведский химик Карл Вильгельм Шееле впервые выделил молибденовую кислоту из молибденовой руды в 1778 году, положив начало изучению химии молибдена. В 1781 году Петеру Якобу Хельму

удалось получить металлический молибден путем восстановления молибденовой кислоты, что ознаменовало официальное открытие молибдена как металлического элемента. В начале 19 века молибден в основном использовался для лабораторных исследований из-за его редкости и сложности извлечения, и только в начале 20 века, с развитием металлургических технологий, постепенно стало возможным промышленное производство молибдена.

Как разновидность молибденовых изделий, разработка молибденового стержня тесно связана со зрелостью технологии порошковой металлургии. В начале 20 века молибденовые стержни стали использоваться при изготовлении лампочек и вакуумных трубок, и стали альтернативным материалом вольфрамовой проволоке благодаря высокой температуре плавления и хорошей электропроводности. В 1920-х годах промышленное производство в Соединенных Штатах и Германии способствовало использованию молибденовых стержней в высокотемпературных печах и в стекольной промышленности. Во время Второй мировой войны молибденовые стержни ценились за их потенциал в области суперсплавов и аэрокосмической промышленности, особенно в реактивных двигателях и ракетных двигательных установках.

В середине-конце 20-го века, с развитием полупроводниковой промышленности, использование молибденовых стержней в качестве мишеней для распыления и электродных материалов значительно возросло. Разработка сплавов TZM (титан-цирконий-молибден) и сплавов Mo-La (молибден-лантан) еще больше улучшила высокие температурные характеристики и сопротивление ползучести молибденовых стержней, что позволило использовать их в более сложных условиях. Начиная с 21 века, процесс производства молибденовых стержней постоянно оптимизируется, а внедрение автоматизации и интеллектуальных технологий повысило эффективность производства и качество продукции. Например, в современном производстве молибденовых прутков используется технология вакуумного спекания и прецизионной прокатки для производства прутков высокой чистоты и точности размеров.

Молибденовая промышленность Китая быстро росла в течение последних нескольких десятилетий, став крупнейшим в мире производителем и потребителем молибдена. Благодаря богатым ресурсам молибденовой руды и передовым технологиям производства, китайские предприятия занимают важное положение в области исследований и разработок и производства молибденовых стержней, что способствует популярности молибденовых стержней на мировом рынке.

1.3 Значение молибденовых стержней в современной промышленности

Молибденовый стержень занимает незаменимое место в современной промышленности, а его важность обусловлена уникальными свойствами материала и широким спектром применения. Ниже описывается роль молибденового стержня в современной промышленности с нескольких ключевых аспектов:

Применение при высоких температурах: высокая температура плавления и сопротивление

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

ползучести молибденовых стержней делают их идеальными материалами для высокотемпературных печей (например, вакуумных печей, водородных печей) и обычно используются в нагревательных элементах, опорных стержнях и тепловых экранах. Молибденовые стержни могут стабильно работать при температуре до 1800°C, что значительно лучше, чем у традиционных металлических материалов.

Электроника и полупроводниковая промышленность: Молибденовые стержни широко используются в качестве мишеней для распыления в процессах нанесения тонких пленок для производства интегральных схем, солнечных батарей и плоских дисплеев. Его высокая чистота и однородная микроструктура обеспечивают качество пленки. Кроме того, молибденовые стержни также используются в качестве электродных материалов для вакуумных трубок и ионных источников.

Аэрокосмическая промышленность: Молибденовые стержни используются в аэрокосмической промышленности для изготовления высокотемпературных конструкционных деталей, таких как сопла реактивных двигателей и компоненты ракетных двигательных установок. Его низкий коэффициент теплового расширения и высокая прочность обеспечивают надежность в экстремальных температурных и напряженных условиях.

Стекольная и керамическая промышленность: Молибденовые стержни используются в качестве электродов в стекловаренных печах, потому что они устойчивы к высокотемпературной коррозии и химически стабильны, а также могут противостоять эрозии расплавленного стекла. Кроме того, молибденовые стержни также используются в качестве вспомогательных компонентов в процессе спекания керамики.

Медицина и исследования: Молибденовые стержни используются в качестве мишеней в рентгеновских трубках для создания высокоэнергетических рентгеновских лучей для медицинской диагностики и анализа материалов. В области научных исследований молибденовые стержни являются ключевым компонентом высокотемпературного экспериментального оборудования, поддерживающего исследования в области материаловедения и физики.

Важность молибденовых стержней также отражается в их экологичности. Молибден является металлом, пригодным для вторичной переработки, и отходы молибденовых стержней могут быть повторно использованы в процессе очистки, что отвечает потребностям современной промышленности в экологически чистом производстве. Разнообразные области применения молибденовых стержней привели к технологическому прогрессу в нескольких отраслях, таких как новая энергетика (фотовольтаика, водородная энергетика) и высокотехнологичное производство.

1.4 Состояние мирового рынка и тенденции его развития

Мировой рынок молибденовых стержней в последние годы демонстрирует устойчивый рост,

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

в основном благодаря повышенному спросу со стороны электронной, аэрокосмической и энергетической промышленности. Согласно отраслевым отчетам, объем мирового рынка молибдена в 2024 году составит около 200 миллионов долларов, из которых на молибденовый стержень приходится значительная доля в качестве важной формы продукта. Китай является крупнейшим в мире производителем молибдена, на долю которого приходится более 40% мирового производства, за ним следуют такие страны, как США, Чили и Перу.

Текущее состояние рынка

Производство и поставка: китайские предприятия занимают доминирующее положение в производстве молибденовых стержней, опираясь на богатые ресурсы молибденовой руды и отработанную технологию порошковой металлургии.

Ориентированность на спрос: быстрое развитие электронной и полупроводниковой промышленности стимулирует спрос на молибденовые стержни высокой чистоты, особенно в технологиях 5G, чипах искусственного интеллекта и фотовольтаике. Спрос на прутки из сплавов TZM и Mo-La в аэрокосмическом секторе также растет.

Колебания цен: Цены на молибденовые прутки сильно зависят от предложения сырья, геополитики и рыночного спроса. В последние годы цены на молибден в целом стабилизировались, но производственные затраты выросли из-за роста затрат на энергию и ужесточения экологических норм.

Тенденции

Стержни из высокоэффективных легирующих сплавов: Исследования и разработки легированных молибденовых стержней, таких как TZM и Mo-La, находятся в центре внимания будущего, направленные на повышение прочности при высоких температурах и стойкости к окислению для удовлетворения потребностей аэрокосмической и атомной промышленности.

Экологически чистое производство: С повышением требований к защите окружающей среды производители молибденовых прутков внедряют процессы с низким энергопотреблением и низким уровнем выбросов, такие как технология зеленой очистки и системы переработки отходов.

Интеллектуальное производство: автоматизированные производственные линии и интеллектуальные технологии контроля, такие как поточный рентгеновский контроль, меняют способ производства молибденовых стержней, повышая эффективность и стабильность.

Новые области применения: Ожидается, что растущий потенциал молибденовых стержней в новых областях энергетики, таких как водородные электролизеры и высокотемпературные сверхпроводящие материалы, а также аддитивное производство (3D-печать), будет способствовать дальнейшему росту рынка.

Динамика регионального рынка: Китай продолжает лидировать на мировом рынке молибденовых стержней, в то время как спрос в Индии и Юго-Восточной Азии быстро растет, что делает его новой горячей точкой рынка.

Вызов

Риск поставок сырья: Региональная концентрация ресурсов молибденовой руды может привести к колебаниям предложения.

Технические барьеры: Производство прутков из молибдена высокой чистоты и прутков из специальных сплавов имеет чрезвычайно высокие технические требования, и малым и средним предприятиям трудно выйти на рынок.

Давление на окружающую среду: Проблемы энергопотребления и выбросов в процессе очистки и переработки молибдена нуждаются в дальнейшем решении.



Стержни из полированного молибдена CTIA GROUP LTD

Глава 2 Свойства материала молибденовых стержней

2.1 Химический состав и атомная структура молибдена

Молибден (символ элемента Mo, атомный номер 42) — переходный металл, относящийся к пятой группе элементов шестого периода, с атомной массой 95,94 г/моль. Химический состав молибдена в основном состоит из высокочистого элементарного молибдена, а чистота промышленного молибденового стержня обычно достигает более 99,95%, а содержание примесных элементов (таких как железо, углерод, кислород, азот и т.д.) строго контролируется на уровне ppm для обеспечения стабильности его работоспособности. Молибденовые стержни легируются микроэлементами (например, титаном, цирконием, лантаном) в некоторых областях применения для получения сплавов на основе молибдена, таких как TZM (титан-цирконий-молибден) или Mo-La (молибден-лантан), для повышения прочности при высоких температурах или стойкости к окислению.

С точки зрения атомной структуры, электронная конфигурация молибдена составляет $[Kr] 4d^5 5s^1$, который обладает сильной способностью связывать металлы. Его атомный радиус составляет около 139 пм, электроотрицательность — 2,16 (шкала Полинга), и он проявляет

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

умеренную химическую активность. Химическая стабильность молибдена делает его превосходным в высокотемпературных и коррозионных средах, но он требует защитных мер в определенных условиях, таких как высокотемпературные среды окисления. На химические свойства молибдена влияет его атомная структура, а распределение электронов на 4d и 5s орбиталях обеспечивает ему высокую температуру плавления и механическую прочность при сохранении некоторой пластичности.

Чистота молибдена имеет решающее значение для его свойств. Например, слишком высокое содержание кислорода (>50 ppm) может привести к охрупчиванию границ зерен и снижению ударной вязкости молибденовых стержней. Поэтому для уменьшения количества примесей в производственном процессе часто используются процессы вакуумного плавления или восстановления водорода. Отраслевые стандарты (например, ASTM B387) имеют четкие требования к химическому составу молибденовых стержней, такие как содержание железа 0,01% и содержание углерода $0,005\% \leq 0,005\%$. Chinatungsten Online и другая отраслевая информация указывают на то, что производство молибденовых стержней высокой чистоты требует строгого контроля источников сырья и процессов очистки для удовлетворения высокого спроса, таких как полупроводники и аэрокосмическая промышленность.

2.2 Кристаллическая структура и фазовые переходы молибдена

Кристаллическая структура молибдена является объемно-центрированной кубической (ВЦК) с постоянной решетки около 0,3147 нм. Такая структура придает молибдену высокую температуру плавления и хорошие механические свойства, позволяя ему сохранять структурную стабильность при высоких температурах. Атомы молибдена в структуре ВЦК расположены близко и имеют меньше кристаллических дефектов (таких как дислокации, границы зерен), что способствует его способности противостоять ползучести при высоких температурах.

Молибден поддерживает одну фазу ОЦК от комнатной температуры до температуры плавления (2623°C) без аллотропного перехода, что придает ему стабильные физико-механические свойства в широком диапазоне температур. Однако при высоких температурах зерна молибдена могут расти, что приводит к снижению механических свойств, поэтому легированные элементы, такие как лантан или титан, часто используются для очистки зерен и повышения граничной прочности зерен. Сплав Mo-La образуется путем добавления оксида лантана (La_2O_3) с образованием дисперсной фазы, которая эффективно подавляет рост зерна и улучшает высокотемпературные характеристики.

С точки зрения фазового перехода, молибден сублимируется непосредственно из твердого состояния в газообразное (около 4650 °C) при атмосферном давлении, не проходя через жидкое состояние, что делает его более подходящим для высокотемпературных применений в вакууме или инертной атмосфере. Фазовая стабильность молибдена делает его идеальным материалом для высокотемпературных печей и вакуумного оборудования, но он должен быть осторожен в отношении реакций окисления (образования MoO_3) в окислительных атмосферах. Рентгеноструктурный анализ (XRD) показал, что кристаллическая ориентация

и микроструктура молибденового стержня зависят от технологии обработки (например, прокатки иковки), а предпочтительная ориентация вдоль оси может улучшить его механические свойства.

Академические исследования показали, что кристаллическая структура молибденовых стержней оказывает существенное влияние на его электропроводность и теплопроводность. Компактное расположение структуры БЦК приводит к высокой теплопроводности, в то время как наличие границ зерен и примесей может ухудшить производительность. Поэтому производство высокоэффективных молибденовых стержней требует оптимизированных процессов спекания и термической обработки для уменьшения кристаллических дефектов и примесей.

2.3 Физические свойства молибденовых стержней

Физические свойства молибденовых стержней являются основой для их широкого спектра применения при высоких температурах и экстремальных условиях. Следующие данные разрабатываются с трех аспектов: плотность и температура плавления, теплопроводность и коэффициент теплового расширения, проводимость и удельное сопротивление.

2.3.1 Плотность и температура плавления молибденовых стержней

Плотность молибденовых стержней составляет $10,28 \text{ г/см}^3$ (20°C), что немного ниже, чем у вольфрама ($19,25 \text{ г/см}^3$), но выше, чем у большинства распространенных металлов (например, железа, никеля). Такая плотность дает ему преимущество в приложениях, требующих высокой прочности, но чувствительных к весу, таких как аэрокосмическая промышленность. На плотность молибденовых стержней влияет их чистота и технология обработки, при этом плотность молибденовых стержней высокой чистоты приближается к теоретическому значению, в то время как плотность легированных сплавов (например, ТЗМ) колеблется незначительно (около $10,1\text{--}10,3 \text{ г/см}^3$).

Имея температуру плавления 2623°C , молибден имеет одну из самых высоких температур плавления среди всех металлов, уступая только вольфраму (3422°C) и рению (3186°C). Высокая температура плавления позволяет молибденовым стержням сохранять свою структурную целостность при экстремально высоких температурах, таких как выше 1800°C в вакуумной печи, что делает их пригодными для высокотемпературной термообработки, плавки стекла и производства полупроводников. Температура плавления также влияет на сложность обработки молибденового стержня, а высокотемпературную штамповку и спекание нужно проводить при температуре, близкой к температуре плавления, что предъявляет высокие требования к оборудованию.

2.3.2 Теплопроводность и коэффициент теплового расширения молибденовых стержней

Теплопроводность молибденового стержня составляет $138 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ (20°C), который демонстрирует отличную теплопроводность и подходит в качестве нагревательного элемента или материала горячего экрана для высокотемпературных печей. По сравнению с вольфрамом ($173 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$), молибден имеет немного меньшую теплопроводность, но он все

же может эффективно рассеивать тепло при высоких температурах и снижать концентрацию термического напряжения. Теплопроводность немного снижается с повышением температуры, например, около 100 Вт/м·К при 1000°C, что все еще достаточно для большинства высокотемпературных применений.

Молибденовые стержни имеют низкий коэффициент теплового расширения около $4,8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ (20–1000°C), что значительно ниже, чем у стали (около $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) и меди ($16,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$). Низкий коэффициент теплового расширения позволяет молибденовому стержню иметь хорошую стабильность размеров при циклировании при высоких температурах, уменьшая растрескивание или деформацию, вызванную термическим напряжением. Это свойство особенно важно при герметизации стекла и производстве полупроводников, где коэффициент теплового расширения молибденовых стержней соответствует коэффициенту некоторых стеклянных и керамических материалов.

2.3.3 Проводимость и удельное сопротивление молибденовых стержней

Проводимость молибденового стержня составляет около $1,9 \times 10^7$ См/м (20°C), а удельное сопротивление — $5,2 \times 10^{-8}$ Ω·м, он демонстрирует хорошую электропроводность и подходит для использования в качестве электродов или проводящих деталей. Удельное сопротивление увеличивается с повышением температуры, например, примерно на 20×10^{-8} Ω·м при 1000°C. Эту температурную зависимость необходимо учитывать при проектировании высокотемпературных электродов или нагревательных элементов для обеспечения стабильности тока и выходной мощности.

Проводимость молибденового стержня зависит от примесей и микроструктуры, а проводимость молибденового стержня высокой чистоты лучше, чем у легированных сплавов. Например, сплавы TZM имеют несколько более высокое удельное сопротивление, чем стержни из чистого молибдена, из-за содержания в них титана и циркония. Согласно отраслевым отчетам, полупроводниковая промышленность предъявляет чрезвычайно высокие требования к проводимости молибденовых стержней, которые требуют высоких процессов очистки и обработки поверхности для снижения колебаний удельного сопротивления.

2.4 Механические свойства молибденовых стержней

Механические свойства молибденового стержня являются ключом к его надежности в промышленных приложениях, и ниже анализируются с трех аспектов: прочность и твердость, пластичность и ударная вязкость, а также ползучесть при высоких температурах.

2.4.1 Прочность и твердость молибденовых стержней

Предел прочности молибденовых стержней составляет около 600–800 МПа, а предел текучести – около 400–600 МПа при комнатной температуре, в зависимости от чистоты, технологии обработки и размера зерна. Горячая обработка (например, ковка, прокатка) позволяет значительно повысить прочность молибденовых прутков, например, предел прочности кованных молибденовых прутков может достигать более 900 МПа. Твердость

молибденовых стержней (твердость по Виккерсу) составляет около 200–250 HV, с незначительным увеличением твердости после полировки.

Легированные сплавы (например, ТЗМ) значительно упрочняются за счет упрочнения раствором и дисперсионного упрочнения, при этом предел прочности молибденовых стержней ТЗМ может достигать 1100 МПа, а твердость составляет около 270–300 ВН. Эти свойства позволяют молибденовым стержням сохранять свою структурную целостность при высоких температурах и давлениях, например, в высокотемпературных компонентах аэрокосмической отрасли.

2.4.2 Пластичность и ударная вязкость молибденовых стержней

Стержни чистого молибдена податливы при комнатной температуре, с удлинением около 10–20%, но они менее пластичны и проявляют степень хрупкости, особенно при низких температурах (ниже -50°C). Пластичность может быть улучшена за счет термической обработки и легирования, например, сплавы Mo-La могут увеличить граничную прочность зерен за счет добавления оксида лантана, с удлинением более 25%.

На вязкость молибденовых стержней влияет размер зерна и содержание примесей. Мелкие зерна и высокая чистота уменьшают скольжение границ зерен и распространение трещин, а также повышают вязкость разрушения (K_{Ic} ок. $10\text{--}15 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$). При высокой температуре ($>1000^{\circ}\text{C}$) пластичность молибденового стержня значительно улучшается, и он проявляет хорошую пластическую деформационную способность, что подходит для термической обработки и формования сложной формы.

2.4.3 Ползучесть молибденовых стержней при высоких температурах

Ползучесть является важным показателем производительности молибденового стержня при высоких температурах и длительных нагрузках. Чистый молибденовый стержень начинает значительно ползучесть выше 1000°C , и скорость ползучести увеличивается с повышением температуры и напряжения. Например, при 1200°C и напряжении 50 МПа чистый молибден имеет скорость ползучести около $10^{-5}/\text{ч}$. Скорость ползучести сплавов TZM и Mo-La была значительно снижена за счет упрочнения осадком, и скорость ползучести TZM могла составлять менее $10^{-6}/\text{ч}$ при 1500°C .

На ползучесть влияет микроструктура, и молибденовые стержни с большим размером зерна или большим количеством примесей в границах зерен с большей вероятностью разрушаются при ползучести. Термическая обработка, такая как отжиг, оптимизирует микроструктуру и снижает тенденцию к ползучести. Отраслевые исследования показали, что долгосрочное использование молибденовых стержней в высокотемпературных печах требует дальнейшего сопротивления ползучести за счет легирования и поверхностных покрытий, таких как силицидные покрытия.

CTIA GROUP LTD
Molybdenum Rods Introduction

1. Overview of Molybdenum Rods

Molybdenum rods are high-performance metal materials made from high-purity molybdenum powder through pressing, sintering, forging, and drawing processes. They possess excellent high-temperature performance, thermal conductivity, and chemical stability. These rods are widely used in advanced technological fields such as metallurgy, electronics, glass, aerospace, and nuclear energy, making them one of the key functional materials in modern industrial high-temperature environments.

2. Main Application Fields of Molybdenum Rods

Heating elements and support rods for high-temperature electric furnaces

Diffusion tubes and wafer carriers in the semiconductor industry

Electrodes and targets for vacuum coating equipment

High-temperature components in nuclear reactors and aircraft engines

Electrode rods and heat-resistant fixtures in the glass industry

Medical devices and X-ray targets

High-temperature experimental materials and components in scientific research

3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)

Category	Description	Typical Applications
High-Purity Moly Rods	Purity $\geq 99.95\%$, extremely low impurity levels	Electronics, semiconductors, research equipment
Industrial-Grade Rods	Purity around 99.90%, cost-effective	Electric heating, glass, metallurgical equipment
Doped Moly Rods	Doped with La, Ti, Zr, etc., for enhanced performance	High-temperature structural parts, TZM alloy applications

4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD

Item	Value Range
Density	$> 10.0 \text{ g/cm}^3$
Hardness (HV30)	160 – 250 HV
Tensile Strength (Rm/MPa)	$\geq 590 \text{ MPa}$
Yield Strength (Rp0.2/MPa)	$\geq 490 \text{ MPa}$
Elongation after fracture (A/%)	10–25%
Diameter Range	$\Phi 1 \text{ mm} - \Phi 200 \text{ mm}$, Customizable
Length Range	10 mm – 2000 mm, Customizable

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

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

2.5 Химические свойства молибденовых стержней

Химические свойства молибденового стержня определяют его применимость в коррозионных средах, и следующие факторы анализируются с двух аспектов: стойкость к окислению и коррозионная стойкость.

2.5.1 Стойкость к окислению молибденовых стержней

Молибденовый стержень устойчив к окислению при комнатной температуре, но в окислительной атмосфере при высокой температуре ($>600^{\circ}\text{C}$) легко образуется летучий оксид MoO_3 , что приводит к потере материала и ухудшению эксплуатационных характеристик. Например, на воздухе при температуре 800°C скорость окисления молибденовых стержней составляет около $0,1\text{--}0,5\text{ мг/см}\cdot\text{ч}$. Для того чтобы повысить устойчивость к антиоксидантам, в промышленности часто принимаются следующие меры:

Поверхностное покрытие: силицидные (MoSi_2) или оксидоземные покрытия образуют защитный слой, который значительно снижает скорость окисления.

Модификация легирования: сплав Mo-La упрочняется дисперсией оксида лантана для повышения стойкости к окислению.

Использование контроля окружающей среды: использование молибденовых стержней в вакууме или инертной атмосфере (например, аргона, азота) позволяет избежать окисления.

2.5.2 Коррозионная стойкость молибденовых стержней (кислот, щелочей, расплавленных солей и т.д.)

Молибденовый стержень обладает хорошей коррозионной стойкостью к воздействию различных кислот и щелочей при комнатной температуре. Например, молибденовые стержни практически не подвержены коррозии в разбавленной серной, соляной и фтористоводородной кислотах, но имеют повышенную скорость коррозии в концентрированной азотной кислоте и высокотемпературных щелочных растворах, таких как NaOH . Молибденовые стержни обладают хорошей коррозионной стойкостью к расплавленным солям (таким как хлорид натрия, фторидсодержащие расплавленные соли) и подходят для использования в качестве электродов для плавления стекла.

В высокотемпературных коррозионных средах производительность молибденовых стержней зависит от состояния поверхности и окружающей среды. Полированный молибденовый стержень имеет меньше поверхностных дефектов и лучшую коррозионную стойкость, чем черный стержень. Сплавы ТЗМ превосходят чистый молибден в агрессивных средах (например, серосодержащих газах) благодаря укреплению границ зерен, что снижает подверженность коррозии. Академические исследования показали, что молибденовые стержни выигрывают от своей химической инертности из-за их коррозионной стойкости при плавке стекла и спекании керамики, но следует избегать длительного контакта с сильными окисляющими средами.

2.6 Сравнение молибдена и сплавов на его основе

Молибденовые стержни можно разделить на стержни из чистого молибдена и стержни из

сплава на основе молибдена (такие как TZM, Mo-La, Mo-W) по их составу. Ниже приведено сравнение с точки зрения производительности и применения:

Стержень из чистого молибдена: $\geq$ чистоты, с отличной электро- и теплопроводностью, подходит для полупроводниковой и электронной промышленности. Однако его высокая термостойкость и стойкость к окислению низкие, что ограничивает его применение в экстремальных условиях.

Стержень из сплава TZM (0,5% Ti, 0,08% Zr, 0,02% C): Прочность на разрыв (около 1100 МПа) и сопротивление ползучести TZM значительно лучше, чем у чистого молибдена за счет упрочнения раствора и упрочнения осаждением, что делает его пригодным для компонентов аэрокосмических и высокотемпературных печей. Тем не менее, сложность его обработки высока, а стоимость высока.

Стержень из сплава Mo-La (0,3–1% La₂O₃): Он подходит для длительного использования при высоких температурах благодаря своей пластичности и пластичности для повышения устойчивости к высокотемпературному окислению и прочности границ зерен за счет дисперсионного упрочнения.

Стержни из сплава Mo-W: легированный вольфрам (5–30%) увеличивает температуру плавления и прочность, но немного снижает проводимость, что делает его пригодным для специальных высокотемпературных применений.

Стержни из сплава TZM и Mo-La превосходят чистый молибден в высокотемпературных характеристиках, но немного уступают в проводимости и технологичности. Выбор необходимо взвешивать в соответствии со сценарием применения, например, полупроводниковая промышленность предпочитает молибденовые стержни высокой чистоты, в то время как аэрокосмическая промышленность предпочитает TZM.

2.7 Сравнение свойств молибденовых стержней с другими высокотемпературными материалами

Характеристики молибденовых стержней по сравнению с другими высокотемпературными материалами (например, вольфрамом, ниобием, танталом, керамикой) следующие:

Молибден и вольфрам: вольфрам имеет более высокую температуру плавления (3422 °C), чем молибден, и более высокую плотность (19,25 г/см³), что делает его пригодным для работы в условиях более высоких температур. Тем не менее, вольфрам сложнее и дороже в обработке, чем молибден, а молибденовые стержни более выгодны в приложениях, чувствительных к весу.

Молибден и ниобий/тантал: Ниобий и тантал имеют несколько более низкую или близкую к ней температуру плавления (2468 °C и 3017 °C), чем молибден, но более устойчивы к коррозии, чем молибден, особенно в сильных кислотных средах. Молибденовые стержни

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

имеют низкую стоимость и подходят для масштабного промышленного применения.

Молибден против керамики: Керамика (например, оксид алюминия, карбид кремния) обладает более высокой стойкостью к окислению и химической стабильностью, но имеет плохую механическую прочность и склонна к хрупкому разрушению. Пластичность и прочность молибденовых стержней при высоких температурах больше подходят для условий динамического нагружения.

Комбинированные свойства молибденовых стержней (высокая температура плавления, низкое тепловое расширение, умеренная стоимость) дают им уникальные преимущества в высокотемпературных печах, полупроводниках и аэрокосмической промышленности, но для конкретного применения необходимо выбрать правильную комбинацию материалов.

2.8 Молибденовый стержень MSDS от CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD, ведущий поставщик молибденовых изделий в Китае, предоставляет пользователям рекомендации по безопасному использованию и обращению с молибденовыми стержнями в своем Паспорте безопасности материала (MSDS) для молибденовых стержней. Ниже представлен обзор основного содержания молибденовых стержней CTIA GROUP LTD MSDS:

Часть I: Химические названия

Химическое название: молибден
Английское название химического вещества – молибден
Номер CAS: 7439-98-7
Молекулярная формула: Mo
Молекулярный вес: 99.95

Часть II: Композиция/информация о композиции

Содержание молибдена 99,95%

Часть III: Обзор опасностей

Опасность для здоровья: Этот продукт не вызывает раздражения у глаз и кожи.
Взрывоопасность: Этот продукт негорюч и не вызывает раздражения.

Часть IV: Меры первой помощи

Контакт кожа к коже: снимите загрязненную одежду и промойте большим количеством проточной воды.

Попадание в глаза: Поднимите веко и промойте проточной водой или физиологическим раствором. Лечение.

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

Ингаляция: Уберите с места происшествия на свежий воздух. Если вы испытываете трудности с дыханием, дайте кислород. Лечение.

Применение: Пейте много теплой воды, чтобы вызвать рвоту. Лечение.

Часть V: Меры противопожарной защиты

Вредные продукты сгорания: Естественные продукты разложения неизвестны.

Метод тушения пожара: Пожарные должны носить противогазы и пожарные костюмы для тушения огня в наветренном направлении. Огнетушащее вещество: сухой кожаный порошок, песок.

Часть VI: Аварийное обращение с разливами

Неотложная помощь: Изолируйте загрязненную утечкой зону и ограничьте доступ. Перекройте источник огня. Сотрудникам экстренных служб рекомендуется носить респираторы (полнолицевые маски) и защитную одежду. Избегайте попадания пыли, тщательно подметите его, положите в пакет и перенесите в безопасное место. Если имеется большое количество протекания, накройте его пластиковой тканью или холстом. Собирайте и перерабатывайте или транспортируйте на свалку отходов для утилизации.

Часть VII: Обработка, обработка и хранение

Меры предосторожности при эксплуатации: Операторы должны быть специально обучены и строго следовать рабочим процедурам. Операторам рекомендуется носить самовсасывающие фильтрующие пылезащитные маски, защитные очки от химических веществ, комбинезоны для защиты от отравления и резиновые перчатки. Держите подальше от огня и источников тепла, а также курение на рабочем месте категорически запрещено. Используйте взрывозащищенные вентиляционные системы и оборудование. Избегайте образования пыли. Избегайте контакта с окислителями и галогенами. При погрузочно-разгрузочных работах необходимо загружать и выгружать налетке, чтобы не допустить повреждения упаковки и контейнеров. Комплекуются соответствующими сортами и количествами противопожарного оборудования и оборудования для устранения утечек аварийного оборудования. Пустые контейнеры могут оставлять вредные вещества.

Меры предосторожности при хранении: Хранить в прохладном, проветриваемом складе. Держите вдали от огня и источников тепла. Его следует хранить отдельно от окислителей и галогенов, и не следует смешивать. Оснащается соответствующим разнообразием и количеством противопожарного оборудования. Площадка для хранения должна быть оборудована подходящими материалами для локализации разлива.

Часть VIII: Контроль воздействия/Индивидуальная защита

ПДК в Китае (мг/м³): 6

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

ПДК СССР (мг/м³): 6

TLVTN: ACGIH 1 мг/м³

Краткая стоимость: ACGIH 3 мг/м³

Метод мониторинга: спектрофотометрия тиоцианида калия-хлорида титана

Инженерный контроль: производственный процесс проходит без пыли и полностью проветривается.

Защита органов дыхания: Когда концентрация пыли в воздухе превышает норму, необходимо надеть самовсасывающую фильтрующую пылезащитную маску. В случае экстренной эвакуации следует надеть дыхательные аппараты с воздухом.

Защита глаз: Носите очки химической защиты.

Защита тела: Носите комбинезон с защитой от отравления.

Защита рук: Надевайте резиновые перчатки.

Часть IX: Физико-химические свойства

Основной ингредиент: Чистый

Внешний вид и свойства: твердый, металллик ярко-белого цвета; Заготовка, черная отделка

Температура плавления (°C): 2620

Температура кипения (°C): 5560

Относительная плотность (вода = 1): 9,4 ~ 10,2 (20 °C)

Плотность пара (воздух = 1): Нет данных

Давление насыщенного пара (кПа): нет данных

Теплота сгорания (кДж/моль): нет данных

Критическая температура (°C): Данные отсутствуют

Критическое давление (МПа): Данные отсутствуют

Логарифм коэффициента разбавления воды: нет данных

Температура вспышки (°C): Данные отсутствуют

Температура воспламенения (°C): Нет данных

Предел взрываемости % (В/В): Нет данных

Нижний предел взрываемости % (V/V): Нет данных

Растворимость: растворим в азотной кислоте, фтористоводородной кислоте

Основное применение: используется в производстве пресс-форм, молибденовых проводов, электронных деталей и т. Д.

Часть X: Стабильность и реакционная способность

Запрещенные вещества: сильная кислота и щелочь.

Часть XI:

Острая токсичность: данные отсутствуют

LC50: Нет данных

Часть XII: Экологические данные

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

В данном разделе отсутствует информация

Часть XIII: Утилизация

Метод утилизации отходов: Перед утилизацией ознакомьтесь с соответствующими национальными и местными законами и нормативными актами. По возможности утилизируйте.

Часть XIV: Информация о доставке

Номер опасного груза: нет информации

Категория упаковки: Z01

Меры предосторожности при транспортировке: Упаковка должна быть полной при отправке, а погрузка должна быть надежной. Во время транспортировки необходимо следить за тем, чтобы контейнер не протекал, не сложился, не упал и не повредился. Категорически запрещается смешивать с окислителями, галогенами, пищевыми химикатами и т.д. Во время транспортировки он должен быть защищен от воздействия солнца, дождя и высокой температуры. Транспортные средства должны быть тщательно очищены после транспортировки.

Часть XV: Нормативная информация

Нормативная информация: Правила управления безопасностью опасных химических веществ (обнародованы Государственным советом 17 февраля 1987 г.), Подробные правила применения Правил безопасного управления опасными химическими веществами (Hua Lao Fa [1992] No 677), Правила безопасного использования химических веществ на рабочем месте ([1996] Lao Bu Fa No 423) и другие законы и нормативные акты, которые предусмотрели соответствующие положения о безопасном использовании, производстве, хранении, транспортировке, погрузке и разгрузке опасных химических веществ; Гигиенический стандарт для вольфрама в воздухе цеха (GB 16229-1996) предусматривает максимально допустимую концентрацию и метод обнаружения этого вещества в воздухе цеха.

Часть XVI: Информация о поставщиках

Поставщик: CTIA GROUP LTD

Тел.: 0592-5129696/5129595



Молибденовые стержни CTIA GROUP LTD

Глава 3 Подготовка и процесс производства молибденовых стержней

Подготовка и производство молибденовых стержней — это сложный технический процесс, который включает в себя несколько этапов от добычи молибденовой руды до окончательной формы стержня. Ниже подробно описывается технологический процесс получения молибденового сырья, порошковой металлургии, спекания, термической обработки, обработки поверхности и контроля качества, уделяя особое внимание расширению технических деталей, диапазона параметров, влияющих факторов и новейшему технологическому прогрессу, чтобы в полной мере отразить научную и инженерную основу производства молибденовых стержней.

3.1 Приобретение молибденового сырья

Отправной точкой для производства молибденовых стержней является приобретение молибденового сырья высокой чистоты, обычно с молибденитом (MoS_2) в качестве основного источника. Приобретение сырья включает в себя добычу руды, обогащение и очистку концентрата, что является сложным процессом и оказывает существенное влияние на качество конечного продукта.

3.1.1 Добыча и обогащение молибденовой руды

Добыча молибденовой руды является первым шагом в производственной цепочке, а молибденит является основным промышленным сырьем благодаря высокому содержанию молибдена (около 60%) и хорошим обогащающим свойствам. Распределение ресурсов молибденовых руд в мире концентрировано, а регионы с богатыми запасами включают Азию, Северную Америку и Южную Америку. Содержание руды обычно колеблется от 0,05 до 0,5% Мо, при этом сопутствующие минералы (например, медь, свинец, вольфрам) усложняют

обогащение.

Способ добычи:

Открытая добыча: подходит для мелкозаглубленных рудных тел, с использованием больших экскаваторов и транспортных средств, перерабатывая десятки тысяч тонн руды в сутки. Процесс включает в себя взрывные работы, погрузку и транспортировку, что имеет преимущество в виде низкой стоимости, но оказывает большое воздействие на окружающую среду и требует обработки хвостов.

Подземная добыча: подходит для глубоких рудных тел с использованием проходки дорог, бурения горных пород и взрывных и грузоподъемных работ. Подземная добыча более дорогая, но подходит для рудных тел с высоким содержанием золота. В процессе добычи необходимо следить за геологической стабильностью и не допускать оползней.

Смешанная добыча: На некоторых рудниках используется комбинация открытых и подземных горных работ для оптимизации плана горных работ в соответствии с глубиной и экономичностью рудного тела.

Процесс обогащения:

Естественная плавучесть молибдена делает его пригодным для процессов флотации, включая дробление, измельчение, флотацию, обезвоживание и сушку:

Дробление: Сырая руда обрабатывается грубым дроблением (щековая дробилка, размер частиц < 150 мм), вторичным дроблением (конусная дробилка, < 50 мм) и мелким дроблением (ударная дробилка, < 10 мм) для высвобождения частиц молибденита.

Измельчение: Мокрая шаровая мельница или стержневая мельница используется для измельчения руды до 80% через 200 меш (около 74 мкм) для обеспечения диссоциации мономера молибденита. Мелющие тела (например, стальные шарики) необходимо регулярно заменять, чтобы избежать загрязнения.

Флотация:

Грубая сепарация: Сырой концентрат, содержащий 10–20% Мо, получают путем первичной флотации при pH 7–9 с использованием коллекторов (например, керосина, ксантогената, 0,1–0,5 кг/т руды) и пенообразователей (например, пинеолового масла, 0,05–0,2 кг/т).

Отбор: Грубый концентрат отбирают 3–5 раз, а к отдельным примесям, таким как медь и свинец, добавляют ингибиторы (например, сульфид натрия, 0,5–2 кг/т), и, наконец, получают молибденовый концентрат, содержащий 40–50% Мо.

Подметание: повторная флотация хвостов для извлечения остаточного молибдена с комплексным коэффициентом извлечения 85–95%.

Обезвоживание и сушка: Молибденовый концентрат обрабатывается концентратором (концентрированным до 60–70% твердых веществ), фильтр-прессом (<10% влажности) и ротационной сушилкой (<5% влажности) для подготовки сырья к последующему обжигу.

Влияющие факторы:

Свойства руды: Размер зерна и связанные с ним минеральные типы молибденита влияют на эффективность флотации. Мелкозернистая закладная руда требует более тонкого измельчения для увеличения энергопотребления.

[Заявление об авторских правах и юридической ответственности](#)

Выбор агента: Соотношение коллектора и ингибитора должно быть оптимизировано в соответствии с составом руды, а избыток агентов может снизить содержание концентрата.
Контроль окружающей среды: Сточные воды флотации содержат тяжелые металлы и химические вещества, которые необходимо нейтрализовать, осадить и перерабатывать, а pH контролируется на уровне 6,5–7,5 для снижения сброса.

Технологический прогресс:

Интеллектуальное обогащение: рентгеновская сепарация (XRT) и ближняя инфракрасная спектроскопия (NIR) используются для предварительного разделения руды для повышения качества измельчения и снижения энергопотребления на 10–15%.

Зеленые реагенты: разрабатывают нетоксичные или малотоксичные коллекторы (например, алкилфосфоновую кислоту) для снижения загрязнения окружающей среды.

Автоматизированное управление: флотомашин оснащена онлайн-анализатором содержания и автоматической системой дозирования, которая в режиме реального времени корректирует параметры процесса для увеличения извлечения на 1–2%.

3.1.2 Очистка молибденового концентрата

Очистка молибденового концентрата — это процесс превращения концентрата, содержащего 40–50% Мо, в высокочистый оксид молибдена (MoO_3) или металлический молибденовый порошок, который включает в себя три этапа: обжиг, химическую очистку и восстановление.

Обжаривание:

Во вращающихся печах, многокамерных печах или печах с кипящим слоем молибденит реагирует с кислородом при температуре 550–650 °C с образованием MoO_3 и выделением SO_2 .

Параметры процесса:

Температура: 550–650°C, слишком высокая (>700°C) приводит к потере испарения MoO_3 , слишком низкая реакция не завершена.

Концентрация кислорода: воздух или богатый кислородом (содержание O_2 20–30%), обеспечивающий адекватное окисление.

Время обжига: 2–4 часа, в зависимости от типа печи и размера концентрата.

Оборудование: вращающиеся печи (диаметр 1–3 м, длина 20–50 м) подходят для крупносерийного производства, а печи с кипящим слоем более эффективны, но требуют строгого размера частиц (<0,1 мм).

Переработка побочных продуктов: SO_2 преобразуется в серную кислоту с помощью травильной колонны, а остаточный газ должен быть десульфурезован (абсорбция $\text{Ca}(\text{OH})_2$) в соответствии с нормами выбросов (концентрация SO_2 < 50 мг/м³).

Продукт: После обжига получают технический MoO_3 , содержащий 55–60% Мо, а примеси включают Cu (<0,5%), Pb (<0,1%) и Si (<1%).

Химическая очистка:

Чтобы удовлетворить спрос на молибденовые стержни высокой чистоты, MoO_3 нуждается в

[Заявление об авторских правах и юридической ответственности](#)

дальнейшей очистке, и общие методы включают в себя:

Метод выщелачивания аммиака:

МоО₃ реагирует с аммиачной водой (концентрация 5–10%) с образованием раствора молибдата аммония

Нерастворимые примеси (такие как SiO₂, Fe₂O₃) удаляют фильтрацией, а раствор выпаривают, кристаллизуют или осаждают кислотой (pH 2–3) с получением молибдата аммония высокой чистоты (чистота ≥ 99,9%).

Преимущества: отработанная технология, подходит для крупносерийного производства;
Недостатки: Испаряющийся аммиак необходимо восстанавливать и утилизировать.

Метод кислотного выщелачивания:

Примеси, такие как Cu и Pb, растворяют разбавленной азотной кислотой (10–20%) или соляной кислотой, а МоО₃ сохраняют в твердом состоянии и промывают и сушат для получения МоО₃ высокой чистоты.

Подходит для концентратов с высоким содержанием примесей тяжелых металлов, но затраты на кислотную обработку отходов высоки.

Метод ионного обмена:

Раствор молибдата аммония адсорбирует МоО₄²⁻ через анионообменную смолу (тип D301 или 717), а после элюирования получают МоО₃ сверхвысокой чистоты (чистота ≥ 99,99%), что подходит для полупроводниковой промышленности.

Процесс сложный, а регенерация смолы требует регулярного обслуживания.

Экстракция растворителем:

Молибден извлекают из кислого раствора с использованием экстрагента (например, триоксиламина) для отделения примесей, таких как Cu и Fe, с получением раствора молибдена высокой чистоты.

Он подходит для сложных концентратов, а эффективность экстракции составляет более 95%.

Восстанавливать:

Высокочистый МоО₃ или молибдат аммония восстанавливается до порошка металлического молибдена в атмосфере водорода в два этапа:

Первичное восстановление (400–600°C):

Тип печи: лодочная или трубчатая печь с расходом водорода 100–200 мл/мин и точкой росы < -50°C.

Вторичное восстановление (900–1100°C):

Температура печи точно контролируется (погрешность ± 10°C), а чистота молибденового порошка составляет 99,95–99,99%, а размер частиц — 1–5 мкм.

Влияющие факторы:

Сорт сырья: Содержание примесей, таких как Cu и AS в концентрате, влияет на сложность

[Заявление об авторских правах и юридической ответственности](#)

очистки, поэтому требуется предварительная обработка (например, магнитная сепарация).
Восстановительная атмосфера: чистота водорода (>99,999%) и контроль точки росы имеют решающее значение, слишком большое содержание кислорода приводит к окислению молибденового порошка.

Герметичность оборудования: Восстановительная печь должна быть высокогерметичной для предотвращения проникновения воздуха.

Технологический прогресс:

Очистка без аммиака: MoO_3 непосредственно очищается кислой средой (например, HCl - HNO_3) для уменьшения сброса сточных вод с аммиачным азотом, а эффективность очистки достигает 98%.

Микроволновая обжарка: микроволновый нагрев (мощность 1–5 кВт) повышает эффективность обжаривания, сокращает время на 20–30% и снижает энергопотребление.

Зеленая металлургия: Разработка технологии каталитической конверсии SO_2 для преобразования побочных продуктов в серную кислоту или серу с высокой добавленной стоимостью.

3.2 Процесс порошковой металлургии молибденовых стержней

Порошковая металлургия является основной технологией производства молибденового стержня, которая включает в себя приготовление молибденового порошка, контроль размера и чистоты частиц, а также компрессионное формование, определяющее микроструктуру и свойства стержня.

3.2.1 Приготовление порошка молибдена (метод восстановления, метод распыления)

Метод редукции:

Восстановительный метод является наиболее часто используемым методом приготовления молибденового порошка в промышленности, при котором MoO_3 или молибдат аммония восстанавливается водородом поэтапно. Подробный процесс:

Сырье: MoO_3 высокой чистоты (чистота $\geq 99,9\%$) или молибдат аммония, загруженный в лодочку из молибдена или нержавеющей стали (толщина 5–10 мм).

Первичное восстановление: MoO_3 с размером частиц 3–10 мкм при 400–600 °C при 400–600 °C и точке росы ≤ -50 °C в толкаемой или трубчатой печи.

Вторичное восстановление: 900–1100 °C, скорость потока водорода 200–400 мл/мин, для получения порошка металлического молибдена, размер частиц 1–5 мкм, чистота $\geq 99,95\%$.

Оборудование: Восстановительная печь оснащена многозонным контролем температуры (погрешность ± 5 °C) и системой очистки отходящих газов (поглощение H_2O и остаточного MoO_3).

Управление технологическим процессом:

Температурный градиент: Избегайте агломерации порошка или спекания.

Вместимость лодки: 5–10 кг на лодку, слишком высокая сказывается на равномерности реставрации.

Переработка водорода: Рекуперация непрореагировавшего водорода, снижение затрат на 10–

15%.

Распыление:

Метод распыления подготавливает ультрадисперсный или нано-молибденовый порошок путем распыления расплавленного молибдена в среду высокого давления для быстрого затвердевания, которая подходит для высокотехнологичных применений. Процедура:

Плавка: Молибден высокой чистоты ($> 99,99\%$) плавится с помощью плазменной дуги (мощность 50–200 кВт) или электродуговой печи при температуре до 2700–3000°C.

Распыление: В расплав впрыскивается азот высокого давления (5–10 МПа) или аргон через сопло (размер пор 0,5–2 мм) со скоростью охлаждения 10^5 – 10^6 °C/с с образованием сферического порошка с размером частиц 40–100 нм.

Сбор и классификация: Порошок собирается циклоном, а распределение частиц по размерам ($D_{50} < 100$ нм) контролируется воздушным классификатором.

Оборудование: Оборудование для плазменного распыления (типа АПС-100), оснащенное системой циркуляции инертного газа для предотвращения окисления.

Преимущества: высокая сферичность порошка ($> 95\%$), хорошая текучесть, подходит для 3D-печати и распыления мишеней.

Недостатки: Высокое энергопотребление (около 5–10 кВтч/кг) и большие инвестиции в оборудование ограничивают масштабное применение.

Другие методы:

Электролиз: Нано-молибденовый порошок получают электролитическим раствором молибдата с размером частиц 20–50 нм, но низкой чистотой ($< 99,9\%$).

Метод микроволновой плазмы: Микроволновая плазма (2,45 ГГц) с восстановлением газовой фазы MoO_3 с размером частиц 10–30 нм, подходит для лабораторных исследований.

Влияющие факторы:

Чистота сырья: Примеси, такие как Fe и C в MoO_3 , влияют на качество молибденового порошка и нуждаются в предварительной очистке.

Температура восстановления: слишком высокая приведет к росту зерна, слишком низкая повлияет на эффективность восстановления.

Управление потоком воздуха: При использовании метода распыления давление газа и скорость потока определяют распределение частиц порошка по размерам.

Технологический прогресс:

Нано-молибденовый порошок: Технология плазменного химического осаждения из газовой фазы (P-CVD) была разработана для приготовления молибденового порошка с размером частиц < 50 нм для улучшения активности спекания.

Порошок молибдена с низким содержанием кислорода: содержание кислорода снижается до $< 0,001\%$ за счет водорода сверхвысокой чистоты ($> 99,9999\%$) и снижения низкой температуры (800–900°C).

Эффективное распыление: Ультразвуковое распыление используется для улучшения

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

однородности порошка и уменьшения стандартного отклонения распределения частиц по размерам на 20%.

3.2.2 Контроль размера и чистоты частиц порошка

Размер частиц и чистота молибденового порошка напрямую влияют на плотность и производительность спекания прессованной заготовки. Методы борьбы включают в себя:

Контроль размера частиц:

Просеивание: Порошки с размером частиц 1–10 мкм отделяются с помощью встряхивателя (100–400 меш) или ультразвуковой просеивающей машины.

Классификация воздушного потока: С помощью циклонного классификатора или турбинного классификатора D50 контролируется с точностью до 1–5 мкм, а стандартное отклонение распределения частиц по размерам составляет $< 0,5$ мкм.

Измельчение: для измельчения порошка используется планетарная мельница (200–400 об/мин) или струйная мельница (давление 0,5–1 МПа), а шаровой средой для помола является твердый сплав для предотвращения загрождения.

Условия восстановления: низкотемпературное медленное восстановление (900–950 °C, 4–6 часов) для получения мелких частиц, высокотемпературное быстрое восстановление (1050–1100 °C, 1–2 часа) для получения более крупных частиц.

Контроль чистоты:

Выбор сырья: MoO_3 сверхвысокой чистоты ($\geq 99,99\%$) используется для снижения содержания примесей, таких как Fe (< 50 ppm) и C (< 30 ppm).

Восстановительная среда: точка росы по водороду $< -60^\circ\text{C}$, содержание кислорода в печи < 10 ppm для предотвращения окисления порошка.

Очистка оборудования: Регулярное травление (5% HNO_3) восстановительной лодочки и труб для удаления остаточных примесей.

Упаковка и хранение: Порошок молибдена упаковывается в вакуумную упаковку в инертной атмосфере (N_2 или Ar) для предотвращения поглощения влаги и окисления.

Метод обнаружения:

Гранулометрический анализ: лазерный анализатор размеров частиц (диапазон измерения 0,01–100 мкм), детектирование D10, D50, D90.

Анализ чистоты: Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) использовалась для обнаружения примесей с точностью ppb.

Содержание кислорода: инертный газ методом плавления, содержание кислорода составляет $< 0,005\%$.

Влияющие факторы:

Морфология порошка: Текучесть сферического порошка (метод распыления) лучше, чем у нерегулярного порошка (метод восстановления), что влияет на равномерность сжатия.

Агломерация: Мелкодисперсные порошки (< 1 мкм) имеют тенденцию к агломерации, и в них добавляется диспергатор (например, полиэтиленгликоль, 0,1–0,5 мас.%).

Влажность окружающей среды: Высокая влажность (>60%) приводит к тому, что порошок впитывает влагу и увеличивает содержание кислорода.

Технологический прогресс:

Мониторинг в режиме реального времени: Технология лазерного рассеяния используется для определения распределения частиц по размерам в режиме реального времени, регулировки параметров восстановления и улучшения консистенции.

Ультрадисперсный порошок: Разработка механического легирования в сочетании с методом химического восстановления для получения порошка молибдена $D_{50} < 50$ нм для нанокompозитов.

Повышение чистоты: Благодаря многоступенчатому восстановлению и плазменной очистке чистота порошка молибдена достигает 99,999%, что соответствует потребностям полупроводниковых мишеней.

3.2.3 Компрессионное формование (холодное изостатическое прессование, формование)

Компрессионное формование уплотняет молибденовый порошок в стержневую заготовку, которая служит основой для последующего спекания. Распространенные методы включают холодное изостатическое прессование и формование:

Холодное изостатическое прессование (CIP):

Процесс: Порошок молибдена загружается в резиновую или полиуретановую форму (толщина стенки 2–5 мм) и помещается в жидкость под высоким давлением (вода или масло, давление 100–400 МПа) и равномерно прессуется в течение 1–5 минут.

Комплектация: Холодный изостатический пресс для мокрого мешка или сухого мешка с максимальным давлением 600 МПа и диаметром матрицы 50–500 мм.

Свойства заготовки: теоретическая плотность 60–70%, равномерный размер, подходит для прутков большого диаметра (>50 мм) или длинных (>1 м).

Преимущества: равномерное распределение давления, уменьшение трещин от ламинирования и градиентов плотности.

Недостатки: высокая стоимость пресс-формы, длительный цикл прессования.

Формованных:

Процесс: Молибденовый порошок загружается в стальную матрицу (твердость HRC 60–65) и прессуется в одном или обоих направлениях гидравлическим прессом (давление 50–200 МПа) со скоростью прессования 0,5–2 мм/с.

Оборудование: Четырехколонный гидравлический пресс (тоннаж 100–1000 т) со смазкой (например, стеаратом цинка) для формы.

Свойства заготовки: теоретическая плотность 50–60%, подходит для небольших диаметров (<20 мм) или профилированных прутков.

Недостатки: Одностороннее прессование позволяет легко получить градиенты плотности, и требуется несколько флип-прессов.

CTIA GROUP LTD
Molybdenum Rods Introduction

1. Overview of Molybdenum Rods

Molybdenum rods are high-performance metal materials made from high-purity molybdenum powder through pressing, sintering, forging, and drawing processes. They possess excellent high-temperature performance, thermal conductivity, and chemical stability. These rods are widely used in advanced technological fields such as metallurgy, electronics, glass, aerospace, and nuclear energy, making them one of the key functional materials in modern industrial high-temperature environments.

2. Main Application Fields of Molybdenum Rods

- Heating elements and support rods for high-temperature electric furnaces
- Diffusion tubes and wafer carriers in the semiconductor industry
- Electrodes and targets for vacuum coating equipment
- High-temperature components in nuclear reactors and aircraft engines
- Electrode rods and heat-resistant fixtures in the glass industry
- Medical devices and X-ray targets
- High-temperature experimental materials and components in scientific research

3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)

Category	Description	Typical Applications
High-Purity Moly Rods	Purity $\geq 99.95\%$, extremely low impurity levels	Electronics, semiconductors, research equipment
Industrial-Grade Rods	Purity around 99.90%, cost-effective	Electric heating, glass, metallurgical equipment
Doped Moly Rods	Doped with La, Ti, Zr, etc., for enhanced performance	High-temperature structural parts, TZM alloy applications

4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD

Item	Value Range
Density	$> 10.0 \text{ g/cm}^3$
Hardness (HV30)	160 – 250 HV
Tensile Strength (Rm/MPa)	$\geq 590 \text{ MPa}$
Yield Strength (Rp0.2/MPa)	$\geq 490 \text{ MPa}$
Elongation after fracture (A/%)	10–25%
Diameter Range	$\Phi 1 \text{ mm} - \Phi 200 \text{ mm}$, Customizable
Length Range	10 mm – 2000 mm, Customizable

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com
Phone: +86 592 5129595; 592 5129696
Website: www.molybdenum.com.cn

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

Детали процесса:

Связующее вещество: Для повышения прочности заготовки добавляют поливиниловый спирт (ПВА, 0,5–2 мас.%) или парафин, а связующее вещество улетучивается (400–600°C) перед спеканием.

Конструкция пресс-форм: формы СІР должны быть высокоэластичными (удлинение > 200%), а формованные формы должны обладать высокой износостойкостью (покрытие WC-Co).

Извлечение из формы: Пневматические или гидравлические устройства для извлечения из формы используются для предотвращения деформации заготовки.

Влияющие факторы:

Текучесть порошка: Сферический порошок (кажущаяся плотность > 3 г/см³) лучше прессуется, чем нерегулярный порошок.

Распределение давления: На равномерность давления СІР влияет форма формы, и конструкция пуансона должна быть оптимизирована для формования.

Контроль окружающей среды: влажность в прессовом цехе составляет < 50%, чтобы предотвратить впитывание влаги порошком.

Технологический прогресс:

Термостатическое прессование: прессование при 100–200°C увеличивает плотность заготовки на 5–10% и снижает усадку при спекании.

Автоматическое прессование: роботизированная система загрузки порошка и очистки формы используется для повышения эффективности производства на 20%.

Высокоточные пресс-формы: технология 3D-печати позволяет изготавливать сложные формы для удовлетворения потребностей в молибденовых стержнях специальной формы.

3.3 Процесс спекания молибденового стержня

Спекание является ключевым этапом отверждения прессованной заготовки в молибденовую прутковую заготовку высокой плотности, которая способствует связыванию частиц под воздействием высоких температур, что существенно влияет на механические свойства и микроструктуру прутка.

3.3.1 Вакуумное спекание

Вакуумное спекание проводится в условиях высокого вакуума для снижения окисления и загрязнения примесями.

Процесс:

Температура: от 5–10°C/мин до 1000°C, нагреть 1–2 часа, летучие связующие вещества и адсорбционные газы.

Высокотемпературное спекание: 1800–2200°C, выдержка 2–4 часа, плотность заготовки до 90–95% теоретической плотности (9,2–9,7 г/см³).

Охлаждение: 10–20°C/мин до комнатной температуры для предотвращения термического растрескивания под напряжением.

Вакуум: 10⁻³–10⁻⁵ Па, с использованием комбинации механического насоса и диффузионного

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

насоса для предотвращения испарения MoO_3 .

Оборудование:

Вакуумная индукционная печь: 50–200 кВт, пространство печи из молибдена или графита, термостойкость $> 2300^\circ\text{C}$.

Система контроля температуры: термопара (типа W-Re) и инфракрасный термометр, погрешность $\pm 5^\circ\text{C}$.

Обработка выхлопных газов: конденсатор восстанавливает летучие MoO_3 и снижает загрязнение.

Заслуга:

Содержание кислорода низкое ($< 0,003\%$), что подходит для производства молибденовых стержней высокой чистоты.

Рост зерна поддается контролю, а микроструктура однородна. Недостаток:

Высокое энергопотребление (около 2–3 кВтч/кг).

Оборудование дорого в обслуживании, а вакуумный насос нуждается в регулярной замене уплотнений.

Влияющие факторы:

Температура спекания: Слишком высокая температура ($> 2200^\circ\text{C}$) приводит к разрастанию зерен ($> 50\ \mu\text{m}$) и потере прочности.

Время выдержки: слишком долгое увеличивает расход энергии, слишком короткое влияет на плотность.

Плотность заготовки: Начальная плотность $< 50\%$ приводит к чрезмерной усадке при спекании и легкому растрескиванию.

3.3.2 Водородное защитное спекание

Водородное защитное спекание происходит в водородной атмосфере высокой чистоты, предотвращая окисление и способствуя восстановлению MoO_2 . Ход процесса:

Температура: от $5\text{--}15^\circ\text{C}/\text{мин}$ до $800\text{--}1000^\circ\text{C}$ для удаления связующего.

Высокотемпературное спекание: $1800\text{--}2100^\circ\text{C}$, выдержка 2–5 часов, плотность 90–94% теоретической плотности.

Охлаждение: $10\text{--}30^\circ\text{C}/\text{мин}$ при расходе водорода 50–100 мл/мин для предотвращения водородного охрупчивания.

Атмосфера: точка росы на водороде $< -40^\circ\text{C}$, чистота $> 99,99\%$, содержание кислорода в печи $< 5\ \text{ppm}$.

Оборудование:

Печь для спекания водорода: горизонтальная или вертикальная, печное пространство из молибдена или нержавеющей стали, оснащенное рубашкой с водяным охлаждением.

Система безопасности: детектор утечки водорода и аварийное вытяжное устройство для обеспечения безопасной работы.

Очистка выхлопных газов: Сжигание остаточного водорода в выхлопных газах, выброс в соответствии со стандартом (концентрация $H_2 < 0,1\%$).

Заслуга:

Скорость спекания высокая, эффективность производства высокая, и он подходит для крупносерийного производства.

Отделка поверхности лучше, чем при вакуумном спекании, что сокращает объем последующих полировочных работ. Недостаток:

Риски, связанные с безопасностью водорода, должны строго контролироваться.

Стержни из сплавов, такие как TZM, чувствительны к водороду и могут вносить следовые количества водородного охрупчивания.

Влияющие факторы:

Расход водорода: слишком высокий увеличивает стоимость, слишком низкий влияет на эффект восстановления.

Герметичность печи: окисление, вызванное утечкой воздуха, и уплотнительное кольцо необходимо регулярно проверять.

Размер заготовки: Большие заготовки (> 100 мм) необходимо держать в тепле в течение длительного времени.

3.3.3 Высокотемпературное агломерационное оборудование и оптимизация параметров

Тип устройства:

Вакуумная индукционная печь: подходит для молибденовых стержней высокой чистоты, объем печи $0,1-1$ м³, мощность $100-500$ кВт.

Печь для защиты от водорода: подходит для крупносерийного производства, длина печи $2-5$ м, многозонный контроль температуры.

Печь сопротивления: используется для мелкого и среднего производства, стоимость ниже, но однородность температуры немного хуже.

Требования к оборудованию:

Материалы, устойчивые к высоким температурам: печь облицовывается молибденовой пластиной или графитовым войлоком, а теплоизоляционный слой представляет собой оксид алюминия.

Точность терморегулирования: термopара и ПИД-регулятор, колебания температуры $\pm 3-5^\circ\text{C}$.

Мониторинг атмосферы: анализатор кислорода (диапазон обнаружения $0-100$ ppm) и измеритель точки росы ($< -80^\circ\text{C}$).

Оптимизация параметров:

Температурный профиль: секционный обогрев (от $200^\circ\text{C}/\text{ч}$ до 1000°C , от $50^\circ\text{C}/\text{ч}$ до 2000°C) для снижения термического напряжения.

Время выдержки: $2-3$ часа для заготовок диаметром < 50 мм и $4-6$ часов > 100 мм.

Скорость охлаждения: Быстрое охлаждение ($> 20^\circ\text{C}/\text{мин}$) может привести к образованию микротрещин и должно быть оптимизировано до $10-15^\circ\text{C}/\text{мин}$.

Контроль атмосферы: начальная степень вакуума при вакуумном спекании $<10^{-2}$ Па, $<10^{-4}$ Па при высокой температуре; Скорость спекания водорода 100–300 мл/мин.

Влияющие факторы:

Однородность заготовки: неравномерная плотность прессования приводит к перепадам усадки при спекании, что влияет на точность размеров.

Загрязнение печи: Остаточный MoO_3 или карбид загрязняет заготовку, и печь необходимо регулярно чистить.

Управление энергопотреблением: Энергопотребление при высокотемпературном спекании составляет 30–40% от себестоимости производства, а время выдержки и конструкция печи должны быть оптимизированы.

Технологический прогресс:

Микроволновое спекание: микроволновый нагрев (2,45 ГГц, 10–50 кВт) сокращает время спекания на 30–50% и размер зерна на 20%.

Разрядное плазменное спекание (SPS): быстрое спекание с импульсными токами (1000–5000 А) с плотностью 98%, подходит для небольших партий высокопроизводительных молибденовых стержней.

Интеллектуальный контроль температуры: алгоритмы искусственного интеллекта используются для оптимизации температурного профиля, снижения энергопотребления на 5–10% и улучшения однородности заготовок.

3.4 Технология термической обработки молибденовых стержней

Горячая обработка, которая превращает спеченную заготовку в окончательную молибденовую форму прутка, включает в себя ковку, прокатку и волочение, что значительно влияет на механические свойства и качество поверхности прутка.

3.4.1 Процесс ковки

Ковка измельчает зерно с помощью высокотемпературной пластической деформации для повышения прочности молибденового стержня.

Процесс:

Нагрев: 1200–1600°C в резистивной или индукционной печи в течение 30–60 минут в атмосфере водорода или вакуума ($<10^{-2}$ Па).

Ковка: 20–30% деформации за один выстрел и 60–80% за один удар (сила удара 50–2000 кН) или гидравлическая ковочная машина (давление 500–2000 т) с использованием пневматического молота (сила удара 50–200 кН).

Промежуточный отжиг: 1000–1200°C, выдержать 1–2 часа, исключить деформационное упрочнение.

Охлаждение: Охлаждение воздухом или инертной атмосферой со скоростью 10–20°C/мин.

Оборудование:

Кузнечная машина: пневматический молот для небольших партий, гидравлический пресс для

[Заявление об авторских правах и юридической ответственности](#)

прутков большого диаметра (>50 мм).

Печи: камерные или непрерывного действия, оборудованные водородной защитой или вакуумными системами.

Детали процесса:

Скорость деформации: $0,1-1 \text{ с}^{-1}$, слишком высокая скорость приведет к образованию трещин, слишком медленная повлияет на эффективность.

Материал формы: жаропрочный сплав (например, Inconel 718) или молибденовый сплав со смазкой MoS_2 на поверхности.

Контроль зерна: Послековки размер зерна составляет $10-30 \text{ мкм}$, а прочность на разрыв увеличивается до $800-1000 \text{ МПа}$.

Влияющие факторы:

Температура нагрева: слишком высокая ($> 1700^\circ\text{C}$) приведет к росту зерна, слишком низкая ($<1100^\circ\text{C}$) повысит устойчивость к деформации.

Качество заготовки: Трещины возникают из-за пористости или включений в спеченной заготовке.

Условия смазки: Недостаточное количество приводит к износу пресс-формы и дефектам поверхности.

Технологический прогресс:

Изотермическая ковка: ковка при постоянной температуре $1400-1500^\circ\text{C}$ увеличивает однородность деформации на 15% .

Численное моделирование: программное обеспечение методом конечных элементов (например, DEFORM) используется для оптимизации параметровковки и снижения затрат на метод проб и ошибок.

Автоматизированная ковка: манипулятор управляет заготовкой для повышения эффективности и безопасности производства.

3.4.2 Процесс прокатки

Прокатка производит молибденовые прутки среднего диаметра методом непрерывной деформации с высокой чистотой поверхности и точностью размеров.

Процесс:

Нагрев: $1000-1400^\circ\text{C}$, инкубация в течение $20-40$ минут, водород или вакуум.

Прокатка: $5-15\%$ одиночной деформации и $50-70\%$ общей деформации с использованием двух- или четырехканального стана горячей прокатки.

Отжиг: $800-1000^\circ\text{C}$, инкубация в течение $1-2$ часов для снятия внутреннего напряжения.

Охлаждение: Медленное охлаждение ($5-10^\circ\text{C}/\text{мин}$) в инертной атмосфере.

Оборудование:

Мельницы: Четырехуровневые мельницы (диаметр $200-500 \text{ мм}$) более точны, чем двухуровневые мельницы, и подходят для прутков диаметром $5-20 \text{ мм}$.

Валки: карбид вольфрама (WC-Co) или жаропрочная сталь, полированная поверхность ($Ra < 0,4$ мкм).

Детали процесса:

Скорость качения: 0,5–2 м/с, слишком высокая скорость может привести к образованию поверхностных трещин.

Смазка: графитовая эмульсия или высокотемпературное смазочное масло для снижения коэффициента трения до 0,1–0,2.

Контроль размеров: встроенный лазерный штангенциркуль с точностью до $\pm 0,01$ мм.

Влияющие факторы:

Температурный градиент: разница температур между поверхностью заготовки и сердцевиной $> 100^\circ\text{C}$, что приводит к образованию трещин.

Износ роликов: Он нуждается в регулярном ремонте для продления срока службы.

Деформация: Величина одиночного углубления $> 20\%$ увеличивает риск образования микротрещин.

Технологический прогресс:

Прецизионная прокатка: сервоуправляемый прокатный стан с отклонением размеров $< 0,005$ мм, подходит для полупроводниковых мишеней.

Поточный отжиг: индукционный отжиг сразу после прокатки, сокращение времени процесса на 30%.

Зеленая смазка: Разработка смазочных материалов на водной основе для снижения загрязнения окружающей среды.

3.4.3 Процесс рисования

Волочение изготавливают молибденовые стержни малого диаметра (< 5 мм) с высокой точностью и гладкой поверхностью.

Процесс:

Предварительная обработка: Травление проката (10% HNO_3) для удаления оксидного слоя и нанесения графитовой смазки.

Волочение: $800\text{--}1200^\circ\text{C}$ с твердосплавной формой (диаметр отверстия 0,5–5 мм), скорость волочения 0,1–1 м/с, одиночная деформация 10–20%.

Промежуточный отжиг: $800\text{--}1000^\circ\text{C}$, держать 30–60 минут, восстановить пластичность.

Многопроходное волочение: 5–10 натяжений для получения целевого размера ($\pm 0,01$ мм).

Оборудование:

Съемник: Цепной или гидравлический съемник с тяговым усилием 10–50 кН.

Форма: WC-Co или с алмазным покрытием, точность отверстия $\pm 0,001$ мм.

Детали процесса:

Смазка: графитовая эмульсия или MoS_2 с толщиной покрытия 0,1–0,5 мм.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Контроль температуры: индукционный нагрев или резистивный нагрев, погрешность $\pm 10^{\circ}\text{C}$.
Качество поверхности: $R_a < 0,2$ мкм после волочения, подходит для электродных материалов.

Влияющие факторы:

Износ пресс-формы: замена штампа каждые 1000 м волочения.

Дефекты пустых поверхностей: поверхностные трещины или включения вызывают разрушение.

Скорость рисования: слишком быстрое увеличение концентрации напряжений.

Технологический прогресс:

Сверхтонкая вытяжка: Разработка форм с наноалмазным покрытием для производства молибденовых стержней диаметром < 1 мм.

Непрерывное волочение: многорежимная машина непрерывного волочения, эффективность которой увеличена на 50%.

Интеллектуальный мониторинг: датчик диаметра и натяжения в режиме реального времени, регулировка параметров в режиме реального времени.

3.5 Технология обработки поверхности молибденовых стержней

Обработка поверхности улучшает коррозионную стойкость, отделку и высокотемпературные характеристики молибденовых стержней, включая механическую полировку, химическую очистку и антиокислительные покрытия.

3.5.1 Механическая полировка

Механическая полировка удаляет дефекты поверхности путем шлифовки и полировки для достижения высокой отделки.

Процесс:

Грубое шлифование: Шлифовальные круги из карбида кремния (60–120 меш) со скоростью 1000–2000 об/мин используются для удаления оксидных слоев и крупных царапин.

Тонкое шлифование: алмазная абразивная лента (размер зерна 400–800 меш), $R_a 0,8–1,6$ мкм.

Полировка: Войлочный круг плюс полировальная паста из оксида алюминия (размер частиц 0,5–1 мкм), скорость вращения 1500–3000 об/мин, $R_a < 0,2$ мкм.

Очистка: Ультразвуковая очистка (частота 40 кГц, деионизированная вода) для удаления остатков полировки.

Оборудование:

Полировальный станок: плоский или цилиндрический полировальный станок с ЧПУ, оснащенный автоматической системой подачи.

Детектор: Измеритель шероховатости поверхности (точность 0,01 мкм), проверка значения R_a .

Детали процесса:

Выбор абразива: Алмаз подходит для молибденовых стержней высокой твердости, а

стоимость оксида алюминия низкая.

Охлаждающая жидкость: охлаждающая жидкость на водной основе (pH 7–8) для предотвращения перегрева.

Время полировки: Полировка стержней диаметром 10 мм составляет около 5–10 минут/мин.

Влияющие факторы:

Размер абразивных частиц: слишком крупный приводит к царапинам, слишком мелкий и низкий КПД.

Контроль давления: Микротрещины образуются при слишком высоком давлении ($>0,5$ МПа).

Твердость стержня: сплав TZM сложнее полировать, чем чистый молибден.

Технологический прогресс:

Электрополировка: в сочетании с механической полировкой, $Ra < 0,1$ мкм, а эффективность увеличивается на 20%.

Лазерная полировка: бесконтактная полировка, подходит для стержней сложной формы.

Автоматическая полировка: роботизированная система полировки, снижающая трудозатраты на 30%.

3.5.2 Химическая очистка

Химическая очистка удаляет поверхностные оксиды, масла и примеси для повышения коррозионной стойкости и проводимости.

Процесс:

Травление: Азотно-сернокислотная смесь ($\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{SO}_4=1:3$, концентрация 10–20%), замоченная на 5–15 минут, температура 20–40°C, для удаления оксидного слоя.

Каустическая промывка: 5–10% раствор NaOH, 50–70°C, замоченный на 3–10 минут для удаления органических загрязнений.

Ультразвуковая очистка: деионизированная вода плюс нейтральное моющее средство (0,1–0,5%) с частотой 28–40 кГц в течение 5–10 минут для удаления твердых частиц.

Сушка: сушка горячим воздухом (80–100 °C) или вакуумная сушка для предотвращения вторичного окисления.

Оборудование:

Травильная ванна: ПП или ПТФЭ с системой нагрева и перемешивания.

Ультразвуковой очиститель: мощность 500–2000 Вт, объем бака 10–100 л.

Детали процесса:

Переработка отходов: обезвреживание ($\text{Ca}(\text{OH})_2$, pH 6,5–7,5) отходов травления, осаждение тяжелых металлов и сброс.

Последовательность очистки: травление-промывка-щелочная промывка-ультразвуковая очистка для обеспечения отсутствия остатков на поверхности.

Меры защиты: Упаковка азотом сразу после стирки для предотвращения впитывания влаги.

Влияющие факторы:

Концентрация кислоты: слишком высокая, чтобы разъесть матрицу, слишком низкая для тщательной очистки.

Контроль температуры: слишком высокая увеличит испарение выхлопных газов, слишком низкая снизит эффективность.

Состояние поверхности: Черные стержни требуют больше времени для очистки, чем полировальные стержни.

Технологический прогресс:

Зеленая очистка: Разработка очистителей на основе цитратов, pH 4–6, для снижения загрязнения окружающей среды.

Плазменная очистка: низкотемпературная плазма (мощность 100–500 Вт) удаляет органику, подходит для молибденовых стержней высокой чистоты.

Автоматическая очистка: многобаковая линия непрерывной очистки, эффективность увеличивается на 40%.

3.5.3 Поверхностные покрытия (антиокислительные покрытия и т.д.)

Антиокислительные покрытия (например, MoSi_2 , Al_2O_3) увеличивают срок службы молибденовых стержней в высокотемпературных окислительных средах.

Метод обработки:

Химическое осаждение из газовой фазы (CVD):

Процесс: При 800–1200°C SiCl_4 и CH_4 вступают в реакцию с образованием покрытия MoSi_2 толщиной 10–50 мкм.

Оборудование: печь CVD с вакуумом 10^{-1} – 10^{-2} Па и расходом газа 50–200 мл/мин.

Преимущества: плотное покрытие и сильная адгезия (>50 МПа).

Плазменное напыление:

Процесс: Плазменная дуга (мощность 20–50 кВт) распыляется порошком Al_2O_3 или ZrO_2 толщиной 50–200 мкм.

Оборудование: установка атмосферного плазменного напыления или плазменного напыления низкого давления со скоростью движения пушки 0,1–0,5 м/с.

Преимущества: Подходит для батончиков большого размера, простой процесс.

Золь-гель метод:

Процесс: Зольное покрытие SiO_2 или Al_2O_3 и термическая обработка при 500–800°C с образованием покрытия размером 5–20 мкм.

Преимущества: невысокая стоимость, подходит для сложных форм.

Детали процесса:

Предварительная обработка: прочищение прутков и пескоструйная обработка (частицы SiC , 0,1–0,5 мм) для улучшения адгезии покрытия.

Характеристики покрытия: температура окисления покрытия MoSi_2 до 1700°C, покрытие

Al₂O₃ отличная износостойкость.

Контроль: СЭМ-анализ микроструктуры покрытия, метод царапин для проверки адгезии.

Влияющие факторы:

Толщина покрытия: слишком толстое (>100 мкм) легко отслаивается, а слишком тонкое имеет слабый антиокислительный эффект.

Температура субстрата: Перегрев субстрата (>1300°C) во время CVD приводит к росту зерна.

Контроль атмосферы: Инфильтрация кислорода снижает качество покрытия.

Технологический прогресс:

Композитное покрытие: двухслойное покрытие MoSi₂/Al₂O₃, увеличение срока службы окисления на 50%.

Нанопокрытие: PVD-нанесение нано-SiC-покрытия (толщиной 1–5 мкм) с стойкостью к истиранию и окислению.

Самовосстанавливающееся покрытие: покрытие MoSi₂, легированное редкоземельными элементами (например, CeO₂) для самозатухающих трещин при высоких температурах.

3.6 Контроль качества и оптимизация технологического процесса производства молибденовых стержней

Контроль качества обеспечивает стабильную и надежную работу молибденовых стержней, включая контроль дефектов и оптимизацию технологических параметров.

3.6.1 Контроль дефектов в производственном процессе

К распространенным дефектам относятся трещины, пористость, включения и поверхностное окисление, и они контролируются:

Качество сырья:

Использовался MoO₃ высокой чистоты (≥99,9%), а для обнаружения примесей, таких как Fe и C (<50 ppm), использовался ICP-MS.

Содержание кислорода в порошке молибдена < 0,005%, а окисление предотвращается за счет хранения инертного газа.

Дефекты спекания:

Оптимизированная температура спекания (1800–2000°C) и пониженная пористость (пористость <2%).

Многозонная печь с перепадом температур < 10°C обеспечивает равномерную усадку заготовки.

Дефекты обработки:

Деформацияковки и прокатки < 30% во избежание микротрещин.

Неразрушающий контроль (НК):

Ультразвуковой контроль: обнаружено > внутренних трещин диаметром 0,1 мм на частоте 5–

[Заявление об авторских правах и юридической ответственности](#)

10 МГц.

Рентгеновский контроль: Проверка на наличие включений ($>0,05$ мм) при напряжении 100–200 кВ.

Дефекты поверхности:

Полировка удаляет оксидные слои (толщиной 0,01–0,05 мм) и царапины.

Измеритель шероховатости поверхности обнаруживает $Ra < 1,6$ мкм в соответствии со стандартом ASTM B387.

Технология обнаружения:

Микроскопический анализ: СЭМ и ЭБСД анализ размера зерен (10–50 мкм) и распределения дефектов.

Химический анализ: GD-MS обнаруживает примеси с точностью до ppb.

Механические испытания: Машина для испытаний на растяжение (нагрузка 50–200 кН) для испытания на прочность при растяжении (>600 МПа).

Влияющие факторы:

Стабильность процесса: колебания температуры и давления приводят к увеличению процента брака.

Старение оборудования: загрязнение пространства печи или износ формы увеличивает количество включений.

Технические характеристики: количество ошибок, связанных с ручным управлением, должно быть уменьшено за счет обучения.

Технологический прогресс:

Онлайн-НК: ультразвуковая визуализация в режиме реального времени, увеличение скорости обнаружения дефектов на 20%.

Распознавание дефектов с помощью искусственного интеллекта: машинное зрение анализирует поверхностные дефекты с точностью $>95\%$.

Профилактическое обслуживание: сокращение времени простоя до 30% за счет прогнозирования отказов оборудования с помощью датчиков.

3.6.2 Контроль и оптимизация технологических параметров

Мониторинг и оптимизация параметров процесса в режиме реального времени повышают эффективность производства и качество продукции. Методы включают в себя:

Технологии видеонаблюдения:

Температура: термопара (тип K или W-Re) и инфракрасный термометр с точностью до $\pm 3^{\circ}\text{C}$.

Атмосфера: анализатор кислорода (0–100 ppm) и измеритель точки росы ($<-80^{\circ}\text{C}$).

Давление: пьезометр (10^{-5} – 10^5 Па) и расходомер (0–500 мл/мин).

Габариты: лазерный штангенциркуль (точность $\pm 0,001$ мм) и поточная система взвешивания.

Сбор данных:

Промышленный Интернет вещей (IIoT) собирает такие данные, как температура, давление и воздушный поток, с частотой дискретизации 1 Гц.

SCADA-система отображает состояние процесса в режиме реального времени, а время реакции на аномальные тревоги < 1 с.

Оптимизация параметров:

Регрессионный анализ: создание математической модели температуры, давления и плотности заготовок, а также оптимизация температуры спекания $\pm 10^{\circ}\text{C}$.

Машинное обучение: нейронные сети прогнозируют частоту дефектов, регулируют давление прессования и скорость прокатки, а также снижают процент дефектов на 5–10%.

Моделирование: CFD моделирует распределение потока газа в печи для оптимизации расхода водорода и экономии 10–15% газа.

Влияющие факторы:

Точность датчика: отклонение температуры $> 10^{\circ}\text{C}$ влияет на стабильность процесса.

Качество данных: Шумовые помехи снижают точность модели и требуют фильтрации.

Совместимость устройств: Старые устройства трудно интегрировать в системы IIoT.

Технологический прогресс:

Цифровой двойник: создание цифровой модели всего процесса производства молибденовых стержней, прогнозирование производительности в режиме реального времени и оптимизация эффективности на 10–15%.

5G+IIoT: передача данных с высокой пропускной способностью, задержка мониторинга < 10 мс, подходит для совместной работы нескольких заводов.

Экологичное производство: оптимизация параметров процесса для снижения энергопотребления и выбросов, а также сокращения углеродного следа на 20%.



Заявление об авторских правах и юридической ответственности

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Rods Introduction

1. Overview of Molybdenum Rods

Molybdenum rods are high-performance metal materials made from high-purity molybdenum powder through pressing, sintering, forging, and drawing processes. They possess excellent high-temperature performance, thermal conductivity, and chemical stability. These rods are widely used in advanced technological fields such as metallurgy, electronics, glass, aerospace, and nuclear energy, making them one of the key functional materials in modern industrial high-temperature environments.

2. Main Application Fields of Molybdenum Rods

- Heating elements and support rods for high-temperature electric furnaces
- Diffusion tubes and wafer carriers in the semiconductor industry
- Electrodes and targets for vacuum coating equipment
- High-temperature components in nuclear reactors and aircraft engines
- Electrode rods and heat-resistant fixtures in the glass industry
- Medical devices and X-ray targets
- High-temperature experimental materials and components in scientific research

3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)

Category	Description	Typical Applications
High-Purity Moly Rods	Purity $\geq 99.95\%$, extremely low impurity levels	Electronics, semiconductors, research equipment
Industrial-Grade Rods	Purity around 99.90%, cost-effective	Electric heating, glass, metallurgical equipment
Doped Moly Rods	Doped with La, Ti, Zr, etc., for enhanced performance	High-temperature structural parts, TZM alloy applications

4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD

Item	Value Range
Density	$> 10.0 \text{ g/cm}^3$
Hardness (HV30)	160 – 250 HV
Tensile Strength (Rm/MPa)	$\geq 590 \text{ MPa}$
Yield Strength (Rp0.2/MPa)	$\geq 490 \text{ MPa}$
Elongation after fracture (A/%)	10–25%
Diameter Range	$\Phi 1 \text{ mm} - \Phi 200 \text{ mm}$, Customizable
Length Range	10 mm – 2000 mm, Customizable

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com
Phone: +86 592 5129595; 592 5129696
Website: www.molybdenum.com.cn

Глава 4 Типы и технические характеристики молибденовых стержней

Являясь высокоэффективным продуктом из тугоплавких металлов, молибденовый стержень может удовлетворить специфические потребности многих областей, таких как аэрокосмическая промышленность, электроника и стекольная промышленность, благодаря разнообразию типов и спецификаций. В этой главе молибденовые стержни подробно классифицируются по четырем аспектам: состав, состояние поверхности, размер и форма, а также индивидуальный дизайн, а также обсуждаются его характеристики, процесс подготовки, сценарии применения и соответствующие стандарты.

4.1 Классификация по составу

Молибденовые стержни можно разделить на две категории: молибденовые стержни высокой чистоты и легированные молибденовые стержни по их химическому составу. Молибденовые стержни высокой чистоты занимают важное место в электронной промышленности благодаря своей превосходной электро- и теплопроводности, в то время как легированные молибденовые стержни значительно улучшают высокотемпературные характеристики за счет добавления легирующих элементов, что делает их пригодными для более сложных условий.

4.1.1 Молибденовые стержни высокой чистоты (чистота $\geq 99,95\%$)

Высокочистый молибденовый стержень относится к прутку с содержанием молибдена 99,95% и более, который обычно производится методом порошковой металлургии, а содержание примесных элементов (таких как Fe, C, O, N) строго контролируется на уровне ppm. Типичные пределы примесей включают: железо (Fe) $\leq 0,01\%$, углерод (C) $\leq 0,005\%$, кислород (O) $\leq 0,003\%$, азот (N) $\leq 0,002\%$. Достижение высокой чистоты зависит от сырья с использованием оксида молибдена высокой чистоты (MoO_3 , $\geq 99,99\%$) и процессов вакуумного/водородного восстановления, что обеспечивает превосходные физические и химические свойства стержней.

Характерный:

Физические свойства: Плотность молибденового стержня высокой чистоты близка к теоретическому значению ($10,28 \text{ г/см}^3$), температура плавления – 2623°C , теплопроводность – $138 \text{ Вт/м}\cdot\text{K}$ (20°C), коэффициент теплового расширения – $4,8 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ($20\text{--}1000^\circ\text{C}$).

Электрические свойства: удельное сопротивление $5,2 \times 10^{-8} \text{ }\Omega\cdot\text{м}$ (20°C), высокая проводимость, подходит для электродов и проводящих деталей.

Механические свойства: прочность на разрыв при комнатной температуре составляет около $600\text{--}800 \text{ МПа}$, относительное удлинение – $10\text{--}20\%$, а пластичность значительно улучшается при высокой температуре ($>1000^\circ\text{C}$).

Химическая стабильность: Он устойчив к кислотной и щелочной коррозии при комнатной температуре, но легко образует летучий MoO_3 в окислительной атмосфере при высокой температуре ($>600^\circ\text{C}$), которая должна быть защищена вакуумом или инертной атмосферой.

Процесс приготовления:

Сырье: Порошок молибдена (чистота $\geq 99,95\%$, размер частиц $1\text{--}5 \text{ мкм}$) получали методом

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

многоступенчатого восстановления водорода с использованием MoO_3 сверхвысокой чистоты. Формовка и спекание: холодное изостатическое прессование (100–400 МПа), формовка, вакуумное спекание (1800–2200°C) с получением заготовок высокой плотности (плотность > 90% теоретического значения).

Обработка: горячая штамповка (1200–1600°C) или прокатка (1000–1400°C) в прутки, поверхность может быть отполирована до $Ra < 0,2$ мкм.

Контроль качества: примеси обнаруживаются с помощью ICP-MS, внутренние дефекты обнаруживаются с помощью ультразвука, а измеритель шероховатости поверхности обеспечивает отделку.

Применять:

Электроника и полупроводники: в качестве мишеней для распыления, тонких пленок для интегральных схем, солнечных батарей и плоских дисплеев. Высокая чистота обеспечивает качество пленки, а качество поверхности снижает процент брака.

Вакуумные трубки и ионные источники: используемые в качестве электродных материалов, они превосходят другие металлы благодаря высокой проводимости и низкой электронной работе (около 4,6 эВ).

Высокотемпературное экспериментальное оборудование: используется в качестве опорного стержня или электрода в высокотемпературной печи в лаборатории, обладает высокой термостойкостью и химической стабильностью для удовлетворения потребностей научных исследований.

Стандарт:

Международный: ASTM B387-18, определяющий химический состав, механические свойства и допуски на размеры молибденовых стержней высокой чистоты.

Отечественный: GB/T 3462-2017, чистота $\geq 99,95\%$, содержание примесей соответствует стандартам электронной промышленности.

Технические проблемы:

Для контроля содержания кислорода требуется водород сверхвысокой чистоты (точка росы < -60°C) и вакуумная среда ($< 10^{-4}$ Па).

Сопротивление ползучести молибденового стержня высокой чистоты слабое при высокой температуре, что ограничивает его применение при длительной высокотемпературной нагрузке.

4.1.2 Легированные молибденовые стержни (TZM, Mo-La, Mo-W и т.д.)

Легированные молибденовые стержни образуют сплавы на основе молибдена путем добавления микроэлементов или сплавов, которые значительно улучшают высокотемпературную прочность, сопротивление ползучести и стойкость к окислению. К распространенным типам относятся TZM (титан-цирконий-молибден), Mo-La (молибден-лантан), Mo-W (молибден-вольфрам) и др.

Молибденовые стержни TZM:

Состав: 0,4–0,55% Ti, 0,06–0,12% Zr, 0,01–0,04% C, с балансом Mo.

Характерный:

Благодаря упрочнению в растворе и прочности на осаждение из карбида (TiC, ZrC) прочность на разрыв достигает 1100 МПа (20 °C), а прочность на разрыв при высоких температурах (1500 °C) составляет около 400 МПа, что намного лучше, чем у чистого молибдена.

Скорость ползучести низкая, например, около 10^{-6} /ч при 1200°C при 50 МПа.

Теплопроводность несколько ниже, чем у чистого молибдена (около 120 Вт/м·К), а коэффициент теплового расширения аналогичен ($5,0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$).

Стойкость к окислению немного выше, чем у чистого молибдена, но его все равно необходимо использовать при температуре <600°C или в защитной атмосфере.

Подготовка:

Молибденовый порошок в смеси с порошком Ti, Zr, C (планетарная мельница, 200–400 об/мин), холодное изостатическое прессование, водородное спекание (1800–2100 °C).

Горячая обработка (ковка 1400–1700°C, прокатка 1200–1500°C) сложнее из-за повышенной твердости (ВН 270–300).

Применять:

Аэрокосмическая промышленность: высокотемпературные конструкционные детали (например, сопла реактивных двигателей) благодаря их высокой прочности и низкой плотности (10,16 г/см³).

Высокотемпературная печь: нагревательный элемент и опорный стержень, устойчивые к 1800°C для длительного использования.

Изготовление пресс-форм: горячая экструзионная форма, устойчивая к высокотемпературному износу.

Молибденовые стержни Mo-La:

Состав: 0,3–1,0% La₂O₃ (оксид лантана) с остаточным количеством Mo.

Характерный:

Дисперсия La₂O₃ усиливает измельчение зерна (10–20 мкм) и увеличивает граничную прочность зерна при удлинении на 25% (20°C).

Стойкость к окислению при высокой температуре лучше, чем у чистого молибдена, а скорость окисления составляет около 0,05 мг/см²·ч при 800°C.

Отличное сопротивление ползучести, скорость ползучести менее 10^{-6} /ч при 1500°C.

Теплопроводность составляет около 130 Вт/м·К, что подходит для высокотемпературных теплопроводящих деталей.

Подготовка:

Порошок молибдена легировали порошковой жидкостью La₂O₃ (pH 7–8) и сушили распылением для получения композиционного порошка.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Вакуумное спекание (1900–2200°C), горячая обработка (ковка 1300–1600°C).

Полировка поверхности или нанесение покрытий (например, MoSi₂) еще больше повышает производительность.

Применять:

Высокотемпературные печи: нагревательные элементы и горячие экраны используются при длительных высоких температурах (>1500°C).

Стекольная промышленность: расплавленные электроды, устойчивые к высокотемпературной коррозии.

Научные исследования: высокотемпературное экспериментальное устройство, учитывающее ударную вязкость и прочность.

Молибденовые стержни Mo-W:

Состав: 5–30% W (вольфрам) с балансом Mo.

Характерный:

Добавление вольфрама увеличивает температуру плавления (близка к 3422 °C) и прочность, а прочность на разрыв может достигать 1200 МПа (20 °C).

Теплопроводность уменьшается (примерно на 100–120 Вт/м·К) и увеличивается удельное сопротивление ($6-8 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$).

Лучшая коррозионная стойкость, чем у чистого молибдена, подходит для кислотных сред или сред с расплавленными солями.

Подготовка:

Порошок молибдена механически легируется вольфрамовым порошком, прессуется и формируется, а затем спекается в вакууме (2000–2300 °C).

Высокотемпературная ковка (1500–1800°C) или волочение (1000–1400°C).

Применять:

Атомная промышленность: высокотемпературные компоненты реакторов благодаря высокой температуре плавления и радиационной стойкости.

Специальные электроды: коррозионностойкие электроды для суровых химических сред.

Сравнивать:

TZM: Лучшая прочность при высоких температурах и сопротивление ползучести, подходит для аэрокосмической промышленности.

Mo-La: Отличная стойкость к окислению и пластичность, подходит для высокотемпературных печей и стекольной промышленности.

Mo-W: Превосходная температура плавления и коррозионная стойкость, подходит для атомной промышленности и особых условий.

Стандарт:

ASTM B387-18: Определяет состав, механические свойства и допуски TZM и Mo-La.

[Заявление об авторских правах и юридической ответственности](#)

GB/T 4188-2015: Стандарт стержня TZM, пределы примесей и легирующих элементов ясны.

Технические проблемы:

Равномерность распределения легированных элементов должна точно контролироваться, чтобы избежать сегрегации.

Прутки из сплава сложны в обработке, требуют высокотемпературного оборудования и оптимизированных процессов.

4.2 Классификация по состоянию поверхности

Состояние поверхности молибденового стержня оказывает важное влияние на его производительность и применение, и его можно разделить на черный молибденовый стержень, полированный молибденовый стержень и очищенный молибденовый стержень в соответствии с технологией обработки и требованиями использования.

4.2.1 Стержни из черного молибдена

Черным молибденовым прутом называют пруток, который не подвергался полировке или химической обработке, а на поверхности после горячей обработки (ковки, прокатки) сохраняется оксидный слой, который имеет черный или темно-серый цвет. Шероховатость поверхности обычно составляет Ra 3,2–6,4 мкм.

Характерный:

Поверхность: слой оксида молибдена ($\text{MoO}_2/\text{MoO}_3$) 0,01–0,05 мм, немного снижающий коррозионную стойкость, но не оказывающий существенного влияния в неокисляющих средах (например, вакууме).

Эксплуатационные характеристики: Механические свойства такие же, как и у полированных стержней, но поверхностные дефекты, такие как микротрещины, могут повлиять на усталостную долговечность.

Стоимость: Низкие производственные затраты, так как не требуется дополнительная обработка поверхности.

Подготовка:

Спеченная заготовка формируется методом горячей штамповки (1200–1600 °C) или прокатки (1000–1400 °C) и непосредственно охлаждается для формирования черных стержней.

Поверхностный оксидный слой образуется в результате реакции со следовыми количествами кислорода во время высокотемпературной обработки, а толщина может быть уменьшена за счет контроля атмосферы (водорода или вакуума).

Применять:

Высокотемпературная печь: В качестве опорного стержня или нагревательного элемента поверхностный оксидный слой не влияет на производительность в вакууме или инертной атмосфере.

Черновая обработка: в качестве полуфабриката для последующей полировки или механической обработки.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Чувствительные к стоимости области: такие как спекание керамики, черные молибденовые стержни предпочтительны для снижения затрат.

Стандарт:

ASTM B387-18: Поверхность стержня из черного молибдена допускает небольшое окисление с шероховатостью $Ra \leq 6,4$ мкм.

GB/T 3462-2017: Отсутствие серьезных дефектов, таких как трещины и шлаковые включения на поверхности.

Технические проблемы:

Поверхностный оксидный слой может выделять газ MoO_3 в некоторых областях применения и загрязнять окружающую среду.

Шероховатые поверхности снижают коррозионную стойкость, поэтому необходимо оценивать условия использования.

4.2.2 Полировка молибденовых стержней

Полированные молибденовые стержни имеют механическую полировку или электролитическую полировку и имеют высокую чистоту поверхности, обычно $Ra 0,1-0,8$ мкм, с серебристо-белым металлическим блеском.

Характерный:

Поверхность: отсутствие оксидного слоя, очень мало микроскопических дефектов (царапин, трещин), коррозионная стойкость лучше, чем у черного молибденового стержня.

Производительность: Немного улучшенная электро- и теплопроводность (за счет уменьшения поверхностных дефектов) для высокоточных применений.

Эстетика: Гладкие поверхности улучшают внешний вид, удовлетворяя потребности электронной и оптической промышленности.

Подготовка:

Механическая полировка: грубая шлифовка шлифовальным кругом из карбида кремния (60–800 меш) и тонкая полировка алмазной полировальной пастой (0,5–1 мкм) при 1000–3000 об/мин.

Электрополировка: полировка в фосфорнокислотно-сернокислотном электролите (pH 2–3) с плотностью тока 0,5–2 А/см², полировка в течение 5–10 минут, $Ra < 0,1$ мкм.

Очистка: Ультразвуковая очистка (40 кГц, деионизированная вода) для удаления остатков полировки, азотная сушка для предотвращения окисления.

Применять:

Полупроводники: мишени для распыления и электроды, требующие высокой чистоты и низкого процента дефектов.

Оптическое оборудование: опорные стержни или отражающие детали с гладкими поверхностями, уменьшающими рассеяние света.

Медицина: мишени для рентгеновской трубки с высокой чистотой и отделкой обеспечивают

качество изображения.

Стандарт:

ASTM B387-18: Шероховатость полированного молибденового стержня $Ra \leq 0,8$ мкм без видимых царапин.

GB/T 3462-2017: Обработка поверхности соответствует требованиям электронной промышленности.

Технические проблемы:

В процессе полировки могут образовываться следовые количества абразивных загрязнений и требуется строгая очистка.

Высокая отделка увеличивает производственные затраты и требует компромисса между потребностями применения.

4.2.3 Чистка молибденовых стержней

Очищающие молибденовые стержни представляют собой стержни, которые подвергаются химической очистке для удаления поверхностных оксидов, масел и примесей, с поверхностным состоянием между черными стержнями и полированными стержнями, и шероховатостью обычно 1,6–3,2 мкм.

Характерный:

Поверхность: без оксидного слоя и органических загрязнителей, грязно-белая, коррозионная стойкость лучше, чем у черного молибденового стержня.

Производительность: Близок к полировальным стержням, но с большим количеством микроскопических дефектов поверхности, подходит для применения со средней точностью.

Стоимость: ниже, чем полированные стержни, выше, чем черные молибденовые стержни.

Подготовка:

Травление: смесь азотной кислоты и серной кислоты ($HNO_3:H_2SO_4=1:3$, 10–20%), замоченная на 5–15 минут, 20–40°C, для удаления оксидного слоя.

Каустическая промывка: 5–10% раствор NaOH, 50–70°C, замочить на 3–10 минут для удаления масла.

Ультразвуковая очистка: деионизированная вода плюс нейтральное моющее средство (0,1–0,5%), 40 кГц, 5–10 минут.

Сушка: вакуумная сушка или сушка горячим воздухом (80–100°C), азотная упаковка предотвращает вторичное окисление.

Применять:

Стекольная промышленность: плавка электродов, очистка поверхностей для уменьшения загрязнения примесями.

Высокотемпературная печь: опорный стержень, коррозионная стойкость для удовлетворения требований инертной атмосферы.

Предварительная обработка: в качестве промежуточного продукта для полировки стержней,

[Заявление об авторских правах и юридической ответственности](#)

дальнейшей обработки.

Стандарт:

ASTM B387-18: Очистка поверхности молибденового стержня без оксидов, шероховатость $Ra \leq 3,2$ мкм.

GB/T 3462-2017: Отсутствие остатков химических веществ на поверхности.

Технические проблемы:

Жидкость для отходов травления должна быть нейтрализована (pH 6,5–7,5) в соответствии с экологическими требованиями.

Неполная очистка может оставить следы загрязнений и повлиять на производительность.

4.3 Классификация по размеру и форме

Молибденовые стержни доступны в размерах и формах, адаптированных к области применения, включая круглые, квадратные, профилированные, а также микро- и большие стержни.

4.3.1 Круглые молибденовые стержни

Круглые молибденовые стержни являются наиболее распространенной формой молибденовых стержней, диаметр которых варьируется от 0,5 мм до 100 мм, а длина обычно составляет от 100 мм до 3000 мм.

Характерный:

Точность размеров: допуск по диаметру $\pm 0,01$ – $0,1$ мм, допуск по длине ± 1 – 5 мм для высокоточных применений.

Механические свойства: равномерная ориентация зерна в осевом направлении, равномерная прочность на разрыв.

Технологичность: Легко поворачивается, сверлит и сваривается, подходит для производства сложных компонентов.

Подготовка:

Малый диаметр (<5 мм): процесс волочения (800–1200°C) с точностью изготовления формы $\pm 0,001$ мм.

Средний диаметр (5–20 мм): горячекатаный (1000–1400°C), поточное измерение диаметра для обеспечения допусков.

Большой диаметр (>20 мм): горячая штамповка (1200–1600°C), многопроходная деформация.

Применять:

Электроника: электроды и мишени для распыления, чаще всего диаметром 5–20 мм.

Высокотемпературная печь: нагревательные элементы и опорные стержни, диаметр 20–50 мм.

Аэрокосмическая промышленность: Конструкционные детали, диаметр 50–100 мм, высокая прочность.

Стандарт:

ASTM B387-18: Допуски по диаметру $\pm 0,05$ мм (<10 мм), $\pm 0,1$ мм (>10 мм).

GB/T 3462-2017: Отклонение округлости $<0,02$ мм.

Технические проблемы:

Прутки малого диаметра подвержены поломке и должны быть оптимизированы для скорости волочения (0,1–1 м/с).

Прутковка большого диаметра требует высокотемпературного оборудования и является дорогостоящей.

4.3.2 Квадратные и другие молибденовые стержни специальной формы

Квадратные молибденовые стержни и молибденовые стержни специальной формы (например, прямоугольные, шестиугольные) используются в специальных конструкциях или формах, обычно с длиной стороны или размером поперечного сечения 5–50 мм и длиной 100–2000 мм.

Характерный:

Геометрическая точность: допуск по длине кромки $\pm 0,05$ – $0,2$ мм, прямолинейность кромки $< 0,1$ мм/м.

Производительность: Механические свойства аналогичны свойствам круглых прутков, но сложность обработки увеличивается.

Применение: Специальная форма для удовлетворения сложных монтажных или функциональных требований.

Подготовка:

Формование: При холодном изостатическом прессовании используются формы специальной формы, а заготовка после спекания близка к окончательной форме.

Механическая обработка: горячая штамповка (1200–1600°C) или механическая обработка (токарные станки с ЧПУ, скорость резания 10–50 м/мин).

Обработка поверхности: полированная или очищенная, шероховатость Ra 0,8–3,2 мкм.

Применять:

Изготовление пресс-форм: квадратный молибденовый стержень используется для горячей экструзионной матрицы, которая устойчива к высокотемпературному износу.

Высокотемпературная печь: Опорный стержень специальной формы для оптимизации распределения теплового поля.

Исследования: Индивидуальные формы для удовлетворения потребностей экспериментальных установок.

Стандарт:

ASTM B387-18: Допуск поперечного сечения профильного стержня $\pm 0,1$ мм.

GB/T 3462-2017: На краю нет трещин, а качество поверхности такое же, как у круглого стержня.

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Rods Introduction

1. Overview of Molybdenum Rods

Molybdenum rods are high-performance metal materials made from high-purity molybdenum powder through pressing, sintering, forging, and drawing processes. They possess excellent high-temperature performance, thermal conductivity, and chemical stability. These rods are widely used in advanced technological fields such as metallurgy, electronics, glass, aerospace, and nuclear energy, making them one of the key functional materials in modern industrial high-temperature environments.

2. Main Application Fields of Molybdenum Rods

- Heating elements and support rods for high-temperature electric furnaces
- Diffusion tubes and wafer carriers in the semiconductor industry
- Electrodes and targets for vacuum coating equipment
- High-temperature components in nuclear reactors and aircraft engines
- Electrode rods and heat-resistant fixtures in the glass industry
- Medical devices and X-ray targets
- High-temperature experimental materials and components in scientific research

3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)

Category	Description	Typical Applications
High-Purity Moly Rods	Purity $\geq 99.95\%$, extremely low impurity levels	Electronics, semiconductors, research equipment
Industrial-Grade Rods	Purity around 99.90%, cost-effective	Electric heating, glass, metallurgical equipment
Doped Moly Rods	Doped with La, Ti, Zr, etc., for enhanced performance	High-temperature structural parts, TZM alloy applications

4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD

Item	Value Range
Density	$> 10.0 \text{ g/cm}^3$
Hardness (HV30)	160 – 250 HV
Tensile Strength (Rm/MPa)	$\geq 590 \text{ MPa}$
Yield Strength (Rp0.2/MPa)	$\geq 490 \text{ MPa}$
Elongation after fracture (A/%)	10–25%
Diameter Range	$\Phi 1 \text{ mm} - \Phi 200 \text{ mm}$, Customizable
Length Range	10 mm – 2000 mm, Customizable

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com
Phone: +86 592 5129595; 592 5129696
Website: www.molybdenum.com.cn

Технические проблемы:

Конструкция пресс-форм специальной формы сложна, а стоимость изготовления высока. Обработка подвержена концентрации напряжений, поэтому режимы резания необходимо оптимизировать.

4.3.3 Микромолибденовые стержни и большие молибденовые стержни

Микромолибденовые стержни: диаметр <1 мм, длина 10–500 мм.

Характеристики: Высокая точность (допуск по диаметру $\pm 0,005$ мм), чистота поверхности $Ra < 0,1$ мкм, подходит для микроэлектроники и прецизионных приборов.

Приготовление: ультратонкое волочение (600–1000 °C) с использованием наноалмазных форм, многократный отжиг (800–1000 °C).

Применять:

Микроэлектроника: электроды и щупы, диаметром 0,1–0,5 мм.

Медицина: требуются компоненты рентгеновской трубки, высокая чистота и точность.

Задача: Высокая скорость разрыва при выдергивании, точный контроль скорости (0,05–0,5 м/с) и смазки (MoS_2).

Крупные молибденовые стержни: диаметр > 50 мм, длина 500–3000 мм.

Характеристики: Высокая прочность (прочность на разрыв > 800 МПа), плотность > 9,7 г/см³, подходит для тяжелых условий эксплуатации.

Подготовка: Крупнотоннажнаяковка (2000–5000 т, 1400–1700 °C), вакуумное спекание (> 2200 °C) для обеспечения отсутствия внутренней пористости.

Применять:

Аэрокосмическая промышленность: высокотемпературные конструкционные детали, такие как сопла ракет.

Стекольная промышленность: большие электроды, устойчивые к высокотемпературной коррозии.

Задача: Кузнечно-прессовое оборудование требует больших требований, а размер зерна (>50 мкм) трудно контролировать.

Стандарт:

ASTM B387-18: Допуск $\pm 0,01$ мм для микростержней и 0,2 мм $\pm$ для больших стержней.

GB/T 3462-2017: Внутренние дефекты проверяются ультразвуковым методом (<0,1 мм).

Технологический прогресс:

Микропалочки: лазерное вытягивание, на 20% более высокая точность.

Крупные стержни: изотермическаяковка (1500°C), однородность зерна увеличена на 15%.

4.4 Индивидуальная конструкция молибденового стержня

Изготовленные по индивидуальному заказу молибденовые стержни разрабатываются в соответствии с конкретными потребностями заказчика и включают в себя оптимизацию состава, размера, состояния поверхности и производительности. Анализ потребительского спроса является отправной точкой для кастомизации, гарантируя, что продукт соответствует сценарию применения.

4.4.1 Анализ потребительского спроса

Анализ потребительского спроса является основным этапом индивидуального проектирования, который включает в себя техническую коммуникацию с клиентами, оценку сценариев применения и требования к производительности. Вот подробный процесс:

Сбор требований:

Сценарий применения: Заказчик должен знать среду, в которой будет использоваться молибденовый стержень, например, в высокотемпературной печи (1500–1800 °C, вакуум/водород), полупроводниковом распылении (высокая чистота, $R_a < 0,1$ мкм) или аэрокосмической промышленности (прочность на разрыв > 1000 МПа).

Требования к эксплуатационным характеристикам: включая механические свойства (прочность, ударная вязкость), тепловые свойства (теплопроводность, коэффициент теплового расширения), электрические свойства (удельное сопротивление) и химические свойства (стойкость к окислению, коррозионная стойкость).

Размер и форма: диаметр, длина, форма поперечного сечения (например, круг, квадрат) и требования к допускам. Например, стержни для микроэлектроники имеют диаметр $< 0,5$ мм и допуск $\pm 0,005$ мм.

Состояние поверхности: черная, полированная или чистящая, требования к шероховатости (например, $R_a < 0,2$ мкм).

Количество и сроки поставки: партия (10-1000 штук) или мелкосерийное пробное производство, срок выполнения заказа (2-12 недель).

Техническая оценка:

Выбор материала: Выберите молибден высокой чистоты или легированный сплав в соответствии с вашими потребностями. Например, стержни Mo-La для высокотемпературных печей и высокочистые молибденовые стержни для полупроводников.

Осуществимость процесса: Оцените, соответствует ли производственный процесс (например, волочение, ковка, спекание) требованиям к размерам и производительности. Например, микростержни должны быть вытянуты сверхтонко, а большие стержни должны быть выкованы в большом тоннаже.

Соответствие стандартам: Убедитесь, что продукция соответствует ASTM B387, GB/T 3462 или стандартам, указанным заказчиком.

Анализ затрат: Оцените влияние на затраты высокой чистоты, сложных форм или специальной обработки поверхности, чтобы найти экономически эффективное решение.

Коммуникация и подтверждение:

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Техническое предложение: Отправьте проектное предложение заказчику, включая состав, размеры, обработку поверхности и эксплуатационные параметры.

Пробное производство образцов: мелкосерийное производство образцов, отзывы клиентов после испытаний (например, механические свойства, коррозионная стойкость).

Подписание контракта: Уточните сроки поставки, стандарты качества и процессы приемки.

Технические проблемы:

Сложные требования, такие как сверхминиатюрные или сверхбольшие удилища, требуют специализированного оборудования, что увеличивает затраты.

Требования заказчика к эксплуатационным характеристикам (например, стойкость к окислению) могут превышать существующие технологии, что потребует разработки новых процессов (например, нанопокровтий).

Технологический прогресс:

Цифровое проектирование: программное обеспечение CAD/CAE используется для моделирования характеристик молибденовых стержней, а оптимизированный цикл проектирования сокращается на 30%.

Быстрое прототипирование: 3D-печать молибденовых порошковых заготовок, сокращение цикла пробного производства на 50%.

Взаимодействие с клиентами: онлайн-платформа отслеживает ход выполнения заказов в режиме реального времени для повышения эффективности коммуникации.



Стержни из черного молибдена 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 5 Эксплуатационные испытания и оценка молибденовых стержней

Поскольку молибденовый стержень является высокоэффективным тугоплавким металлическим материалом, испытания и оценка его эксплуатационных характеристик являются ключевым звеном для обеспечения его надежного применения в таких востребованных областях, как аэрокосмическая, электронная и стекольная промышленность. В этой главе подробно обсуждаются методы испытаний и методы оценки молибденовых стержней с пяти аспектов: механические свойства, высокотемпературные свойства, микроструктура, химические свойства и анализ отказов. Благодаря систематическим процессам тестирования и передовым методам анализа можно полностью раскрыть механическое поведение, высокую температурную стабильность, характеристики микроструктуры и химическую стабильность молибденовых стержней, что обеспечивает научную основу для оптимизации материала, контроля качества и прогнозирования срока службы. Эти испытания не только подтверждают эксплуатационные характеристики молибденовых стержней, но и обеспечивают техническую поддержку для удовлетворения конкретных потребностей применения.

5.1 Испытание механических свойств молибденовых стержней

Испытание механических свойств является основным средством оценки характеристик молибденовых стержней в условиях напряжения, включая испытания на растяжение, сжатие, изгиб и сдвиг. Эти испытания выявляют прочность, ударную вязкость и деформационную способность молибденовых стержней, а также предоставляют данные для их применения в конструкционных деталях, электродных материалах и других областях. Испытания обычно проводятся в стандартизированных условиях в сочетании с передовым испытательным оборудованием и методами анализа данных для обеспечения точных и воспроизводимых результатов.

5.1.1 Испытание молибденовых стержней на растяжение

Испытание на растяжение является основным методом оценки прочности на разрыв, предела текучести и пластичности молибденовых стержней, а также широко используется для контроля качества и проверки эксплуатационных характеристик. При испытании на растяжение измеряется деформация молибденовых стержней под действием силы путем приложения осевого растягивающего усилия до тех пор, пока не произойдет разрушение. Для испытаний обычно используются универсальные испытательные машины, оснащенные высокоточными тензометрическими датчиками и захватами для обеспечения равномерного нагнетания образца. Образцы обычно обрабатываются цилиндрической формой, а поверхность полируется для устранения последствий микротрещин или поверхностных дефектов. Тестовая среда может быть комнатной или высокотемпературной, чтобы имитировать реальные условия использования, такие как высокотемпературные печи или аэрокосмические компоненты.

В процессе растяжения прибор регистрирует кривую зависимости деформации от напряжения, которая отражает упругую фазу, фазу пластической деформации и поведение

материала при разрушении. Молибденовые стержни высокой чистоты демонстрируют высокую прочность при комнатной температуре, но имеют ограниченную ударную вязкость, в то время как легированные молибденовые стержни (такие как TZM) значительно повышают прочность и стойкость к разрушению за счет добавления легирующих элементов. При высоких температурах пластичность молибденовых стержней значительно увеличивается, но прочность снижается, поэтому его нужно испытывать в вакууме или инертной атмосфере, чтобы избежать окислительной интерференции. После разрушения морфологию перелома можно наблюдать с помощью оптического микроскопа, чтобы определить, является ли он пластичным переломом (проявляется в виде ямочки) или хрупким переломом (проявляется в виде плоскости спайности), чтобы проанализировать микроскопические дефекты или состояние обработки материала.

Факторы, влияющие на свойства при растяжении, включают состав материала, размер зерна, технологию обработки и условия испытаний. Например, мелкозернистая структура может увеличить прочность, в то время как слишком крупная зернистость может привести к хрупкому разрушению. Остаточные напряжения, возникающие во время обработки, также могут повлиять на результаты испытаний и должны быть устранены путем отжига. В последние годы достижения в области технологий значительно повысили точность испытаний на растяжение. Например, испытание на растяжение на месте в сочетании со сканирующей электронной микроскопией позволяет наблюдать за возникновением и распространением трещин в режиме реального времени. Технология корреляции цифровых изображений обеспечивает более точный анализ деформаций за счет регистрации распределения деформаций с помощью камеры с высоким разрешением. Применение этих методов позволяет при испытании на растяжение выйти за рамки макроскопических свойств и выявить микроскопические механизмы.

5.1.2 Испытание молибденовых стержней на сжатие

Испытания на сжатие используются для оценки прочности на сжатие и пластической деформации молибденовых стержней под давлением, особенно при проектировании высокотемпературных конструкционных деталей, таких как аэрокосмические сопла или опорные стержни высокотемпературных печей. При испытании на сжатие измеряются характеристики деформации и предел разрушения образца путем приложения давления с обоих концов. Испытательное оборудование обычно представляет собой гидравлическую испытательную машину, оснащенную высокоточным датчиком перемещения, который обеспечивает регистрацию небольших деформаций. Образец обрабатывается в цилиндрическую форму с плоской торцевой поверхностью для предотвращения неравномерных напряжений, а на поверхность наносится смазка (например, графит) для уменьшения эффектов трения.

Во время испытаний на сжатие образцы могут поддаться или пластически деформироваться, или деформировать цилиндр, в зависимости от типа материала и условий испытания. Молибденовый стержень высокой чистоты обладает высокой прочностью на сжатие при комнатной температуре, но пластичность усиливается при высокой температуре и подвержен большой деформации. Легированные молибденовые стержни (например, Mo-La)

упрочняются дисперсией для улучшения их сжимающей способности, особенно при высоких температурах. После завершения испытания секция сжатия может быть проанализирована с помощью микроскопа, чтобы наблюдать за деформацией зерна, распределением трещин и микроскопическими дефектами, а также судить о характеристиках материала на сжатие.

Факторы, влияющие на характеристики сжатия, включают трение торцевой поверхности, температуру и скорость нагружения. Высокое трение может привести к неравномерной деформации образца и повлиять на результаты испытаний, поэтому выбор смазки и равномерность нанесения имеют решающее значение. Высокотемпературные испытания проводятся в вакууме для предотвращения окислительной интерференции. Технологические достижения последних лет включают разработку приспособлений для высокотемпературного сжатия, способных испытывать при более высоких температурах, а также применение испытаний на микросжатие для оценки характеристик микромолибденовых стержней. Кроме того, программное обеспечение для моделирования методом конечных элементов широко используется для прогнозирования деформации сжатия, помогая оптимизировать условия испытаний и конструкцию образцов.

5.1.3 Испытание на изгиб и сдвиг

Испытания на изгиб и сдвиг оценивают прочность молибденовых стержней на изгиб и сдвиг в сложных условиях напряжения и подходят для таких применений, как высокотемпературные опорные стержни печей или материалы форм. При испытании на изгиб обычно используется метод трех- или четырехточечного изгиба для измерения сопротивления изгибу и прогиба образца путем приложения к нему вертикальной нагрузки. Испытательное оборудование представляет собой специальную машину для испытаний на изгиб, при этом образец обрабатывается в прямоугольное или круглое сечение, а поверхность полируется для уменьшения воздействия дефектов. Во время испытания была зарегистрирована кривая сила-прогиб, а также изучено место возникновения трещины и морфология разрушения для оценки характеристик материала на изгиб.

При испытании на сдвиг измеряется прочность молибденового стержня на сдвиг путем приложения боковой нагрузки, обычно с помощью специального приспособления для сдвига. Образец должен иметь поперечное сечение, а зазор между резцами должен точно контролироваться, чтобы избежать дополнительных напряжений. Легированные молибденовые стержни, такие как TZM, обычно демонстрируют более высокую устойчивость к сдвигу, чем молибденовые стержни высокой чистоты, благодаря упрочнению границ зерен. На результаты испытаний влияют геометрия образца, состояние поверхности и скорость нагружения, а условия испытаний необходимо строго контролировать для обеспечения однородности.

Факторы, влияющие на характеристики изгиба и сдвига, включают коэффициент пролета, поверхностные дефекты и температуру испытания. Если пролет слишком мал, это может привести к эффекту сдвига и снижению прочности на изгиб. Высокие температуры значительно снижают прочность, но улучшают ударную вязкость. К технологическим

достижениям можно отнести широкое использование четырехточечного испытания на изгиб, которое является более равномерным, а результаты испытаний более надежными; Технология рентгеновской визуализации на месте позволяет в режиме реального времени отслеживать распространение трещин, обеспечивая более подробный анализ отказов. Кроме того, внедрение автоматизированных испытательных систем повысило эффективность сбора данных и точность испытаний.

5.2 Высокотемпературные испытания молибденовых стержней

Высокотемпературные эксплуатационные испытания являются ключом к оценке эксплуатационных характеристик молибденовых стержней при экстремальных температурах, включая ползучесть, термическую усталость и стойкость к окислению, что напрямую связано с надежностью их применения в высокотемпературных печах, аэрокосмической и других областях. Эти испытания обычно проводятся в вакууме или инертной атмосфере, чтобы избежать окислительной интерференции.

5.2.1 Испытание молибденовых стержней на ползучесть

Испытание на ползучесть оценивает долговременные деформационные свойства молибденовых стержней при постоянном напряжении при высоких температурах, отражая их стабильность в высокотемпературных средах. В испытании используется специальная машина для испытаний на ползучесть с высокотемпературной вакуумной печью, чтобы гарантировать, что в испытательной среде нет кислородных помех. Образец обрабатывается в цилиндрическую форму, а поверхность полируется для снижения концентрации напряжений. Во время испытания образец поддерживается при постоянной температуре и напряжении в течение сотен и тысяч часов, регистрируются изменения деформации с течением времени и создается кривая ползучести, которая делится на первичную, стационарную и ускоренную фазы ползучести.

Скорость ползучести молибденовых стержней высокой чистоты выше при высоких температурах, в то время как легированные молибденовые стержни (типа TZM, Mo-La) значительно снижают скорость ползучести и продлевают срок службы за счет добавления легирующих элементов. После завершения испытания разрушение при ползучести может быть проанализировано с помощью микроскопии, и можно наблюдать микроскопические явления, такие как проскальзывание границ зерен и образование пустот, раскрывая механизм ползучести. Факторы, влияющие на свойства ползучести, включают температуру, напряжение и микроструктуру. Высокие температуры ускоряют диффузию атомов, что приводит к усилению ползучести; Мелкие зерна и легированные элементы могут эффективно препятствовать скольжению границ зерен.

Технологические достижения включают разработку многоосевой системы испытаний на ползучесть, которая может моделировать сложные напряженные состояния и повышать точность прогнозирования; Технология корреляции высокотемпературных цифровых изображений регистрирует поле деформации с помощью инфракрасной камеры, предоставляя более точные данные о деформациях. Кроме того, метод ускоренного

испытания на ползучесть значительно повышает эффективность испытаний за счет повышения температуры и напряжения, сокращения времени испытаний и использования математических моделей для прогнозирования долгосрочного поведения.

5.2.2 Термическое усталостное испытание молибденовых стержней

Термические усталостные испытания оценивают трещиностойкость молибденовых стержней при циклических термических нагрузках и подходят для нагревательных элементов высокотемпературных печей или аэрокосмических компонентов. В ходе испытания имитируются температурные циклы в реальных условиях эксплуатации путем быстрого нагрева и охлаждения образца. Оборудование включает в себя термоусталостную испытательную машину с системами индукционного нагрева и водяного охлаждения, способную к быстрому повышению и понижению температуры. Поверхность образца полируется для уменьшения начальных трещин, а испытание проводится в вакууме или инертной атмосфере во избежание окисления.

В ходе испытания образец прошел несколько циклов «высокая температура-низкая», при этом было зафиксировано время зарождения трещины и скорость распространения. Легированные молибденовые стержни обычно демонстрируют более длительную термическую усталостную долговечность благодаря их превосходной стойкости к растрескиванию и высокотемпературной прочности. После завершения испытания топография трещин анализируется с помощью микроскопии или ультразвукового контроля для определения характеристик усталостных полос и окислительных повреждений. Факторы, влияющие на тепловую усталостную прочность, включают перепады температур, поверхностные условия и частоту циклов. Большая разница температур приведет к увеличению термического напряжения и ускорению распространения трещины. Полированная поверхность позволяет эффективно продлить срок службы.

Технологические достижения включают применение технологии тепловизионного изображения in-situ, которая записывает распределение температуры в режиме реального времени с помощью инфракрасных камер для оптимизации условий испытаний; Применение антиокислительных покрытий, таких как MoSi₂, значительно увеличивает термоусталостную долговечность. Кроме того, технология численного моделирования предсказывает место возникновения трещины путем моделирования поля термических напряжений, что улучшает научный характер испытания.

5.2.3 Испытание на стойкость к окислению молибденовых стержней

Испытания на стойкость к окислению оценивают стабильность молибденовых стержней в высокотемпературных окислительных средах, что имеет решающее значение для высокотемпературных печей и аэрокосмической промышленности. В тесте используется высокотемпературный окислитель, в котором образец помещается в воздушную или кислородную атмосферу для измерения изменений массы и образования оксидов. Поверхность образца полируется для обеспечения консистенции, а диапазон температур испытания охватывает условия, в которых можно использовать молибденовый стержень.

Прецизионные весы используются для регистрации прироста массы и отражения скорости окисления.

Молибденовые стержни высокой чистоты склонны к образованию летучих оксидов (MoO_3) при высоких температурах, что приводит к потере массы, в то время как легированные молибденовые стержни (например, Mo-La) улучшают стойкость к окислению, образуя защитный оксидный слой. После завершения испытания морфология и состав оксидного слоя анализируются с помощью микроскопии и энергетической спектроскопии для оценки его защитного эффекта. Факторы, влияющие на стойкость к окислению, включают температуру, атмосферу и покрытие поверхности. Высокие температуры и концентрация кислорода ускоряют окисление, а покрытия, такие как SiC, могут значительно повысить температуру стойкости к окислению.

Технологические достижения включают динамические испытания на окисление, которые моделируют условия циклического окисления в реальных условиях эксплуатации; Технология нанопокрывтия подготавливает плотный защитный слой путем физического осаждения из паровой фазы, что значительно продлевает срок службы антиокислителя. Кроме того, мониторинг качества термогравиметрического анализатора в режиме реального времени повышает точность тестирования и обеспечивает информационную поддержку при проектировании покрытий.

5.3 Анализ микроструктуры молибденовых стержней

При анализе микроструктуры используются передовые методы микроскопии и спектроскопии для выявления размера зерна, фазового распределения и дефектных характеристик молибденовых стержней, что обеспечивает основу для оптимизации производительности и анализа отказов.

5.3.1 Анализ методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ)

Анализ с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) используется для наблюдения за морфологией поверхности, характеристиками разрушения и зернистой структурой молибденовых стержней, что является основным методом анализа микроструктуры. В испытании используется полевая эмиссионная СЭМ, оснащенная детекторами вторичных электронов и обратного рассеяния электронов, способными получать изображения с высоким разрешением. Образец необходимо отполировать до зеркального состояния, либо оставить трещину открытой для анализа разрушения. Перед тестированием образец подвергается ультразвуковой очистке и распыляется на проводящий слой, такой как золото или углерод, для улучшения визуализации.

Анализ СЭМ может выявить размер зерна, граничные характеристики зерна, пористость, включения и топографию трещин. Молибденовые стержни высокой чистоты обычно имеют более крупные зерна, а легированные молибденовые стержни имеют более мелкозернистую структуру из-за осажденных фаз (например, TiC , La_2O_3). Анализ трещин позволяет различать пластичные и хрупкие трещины и оптимизировать материал для управления. К факторам,

влияющим на результаты анализа, относятся качество пробоподготовки и процесс обработки. Неравномерная полировка может привести к образованию артефактов, а термическая обработка очищает зерна и улучшает производительность.

Технологические достижения включают применение СЭМ в окружающей среде, которая позволяет наблюдать за динамическим образованием оксидов в условиях низкого вакуума; Сфокусированный ионный пучок (FIB) в сочетании с SEM позволяет проводить трехмерную структурную реконструкцию и предоставляет более полную микроскопическую информацию. Внедрение технологии искусственного интеллекта повысило эффективность анализа за счет автоматического выявления границ зерен и дефектов.

5.3.2 Рентгеновский дифракционный анализ (XRD)

Рентгеновский дифракционный анализ (XRD) используется для определения кристаллической структуры, фазового состава и остаточных напряжений молибденовых стержней и является важным методом оценки микроскопических свойств материалов. В тесте используется рентгеновский дифрактометр для сканирования образца излучением $\text{Cu K}\alpha$ для получения дифракционного спектра. Поверхность образца должна быть отполирована до высокой степени качества, чтобы дифракционный сигнал был четким. Результаты испытаний были сопоставлены со стандартной картой для определения объемно-центрированной кубической структуры и фазы легирования (например, TiC , ZrC) молибдена.

Анализ XRD может выявить остаточные напряжения, возникающие в процессе обработки, которые влияют на механические свойства молибденовых стержней. Осадочная фаза в легированном молибденовом стержне повышает граничную прочность зерна и улучшает характеристики при высоких температурах. К факторам, влияющим на результаты анализа, относятся поверхностное окисление и технологическое напряжение. Оксидный слой может мешать дифракционным пикам и должен быть удален путем травления; Напряжения, возникающие при холодной обработке, могут изменить положение пика и потребовать отжига.

Технологические достижения включают применение дифрактора с синхротронным излучением для обеспечения фазового анализа с более высоким разрешением; Дифрактометр in-situ позволяет в режиме реального времени отслеживать фазовые переходы и изменения напряжений при высоких температурах. Кроме того, метод двумерного картирования напряжений повышает точность анализа распределения остаточных напряжений.

5.3.3 Энергетическая спектроскопия (ЭЦП)

Спектроскопия (СЭД) в сочетании с СЭМ была использована для количественного определения элементного распределения и содержания примесей в молибденовых стержнях, а также для оценки чистоты материала и однородности легирования. В ходе испытания обнаруживаются характерные рентгеновские лучи, испускаемые образцом, идентифицируются элементы и рассчитывается их содержание. Образцы полируются и очищаются, чтобы убедиться, что поверхность не загрязнена. Анализ EDS позволяет выявить

распределение следовых примесей (например, Fe, C, O) и легирующих элементов (например, Ti, La) в молибденовых стержнях.

EDS-анализ молибденовых стержней высокой чистоты обычно показывает наличие одного молибденового элемента, в то время как легированные молибденовые стержни демонстрируют равномерное распределение легирующих элементов. На результаты испытаний влияют состояние поверхности образца и глубина зондирования, а также необходимо оптимизировать напряжение ускорения и время зондирования. Технологические достижения включают применение детекторов EDS с высоким разрешением, которые улучшают чувствительность обнаружения элементов; В сочетании с дифракцией обратного рассеяния электронов (EBSD) можно анализировать как распределение элементов, так и ориентацию кристаллов, предоставляя дополнительную информацию для оптимизации микроструктуры.

5.4 Испытание химических свойств молибденовых стержней

Испытания на химические характеристики оценивают долговечность и химическую стабильность молибденовых стержней в коррозионных средах для использования в электродах стекольной промышленности и компонентах высокотемпературных печей.

5.4.1 Испытание молибденовых стержней на коррозионную стойкость

Испытания на коррозионную стойкость оценивают стабильность молибденовых стержней в кислотных, щелочных или расплавленных солевых средах. Испытание обычно проводится иммерсионным или электрохимическим методами, когда образец помещают в определенную коррозионную среду и наблюдают потерю массы или изменения поверхности. Испытательное оборудование включает в себя термостатическую водяную баню и потенциостат, а поверхность образца полируется для обеспечения консистенции. К распространенным коррозионным средам относятся азотная кислота, соляная кислота, растворы гидроксида натрия и высокотемпературные расплавленные соли.

Молибденовый стержень высокой чистоты обладает хорошей коррозионной стойкостью к кислотам и щелочам при комнатной температуре, но локальная коррозия может возникать в высокотемпературных расплавленных солях. Легированные молибденовые стержни (например, Mo-W) значительно повышают коррозионную стойкость за счет улучшения стабильности границ зерен. После завершения испытания с помощью микроскопии изучается топография коррозии и анализируются характеристики точечной или равномерной коррозии. Факторы, влияющие на коррозионную стойкость, включают концентрацию среды, температуру и состояние поверхности. Высокие температуры могут ускорить коррозию, а полировка поверхности снижает возникновение коррозии.

Технологические достижения включают применение электрохимической импедансной спектроскопии (ЭИС) для мониторинга скорости коррозии в режиме реального времени; Разработка оборудования для испытаний на высокотемпературную коррозию для моделирования реальных условий работы; Использование зеленых агрессивных сред, таких

как лимонная кислота, снижает воздействие на окружающую среду.

5.4.2 Оценка химической стабильности молибденовых стержней

Оценка химической стабильности проверяет реакционную способность молибденовых стержней в определенной химической среде, часто в сочетании с испытаниями на стойкость к окислению и испытаниями на коррозионную стойкость. Испытание включает в себя воздействие на образец высокотемпературной газовой, жидкой или твердой среды для наблюдения за изменениями в его химических реакциях и свойствах. Испытательное оборудование включает в себя высокотемпературную печь и химический реактор, а образцы тестируются в контролируемой атмосфере.

Молибденовые стержни демонстрируют превосходную химическую стабильность в инертной или восстановительной атмосфере, но склонны к реакционной способности в окислительных или коррозионных средах. Легированные молибденовые стержни повышают стабильность, образуя защитный слой оксида или сплава. Результаты испытаний оцениваются с помощью комбинации вариаций качества, анализа поверхности и тестирования состава. Факторы, влияющие на химическую стабильность, включают окружающую атмосферу, температуру и состав материала. К числу технологических достижений относятся применение методов химического анализа in-situ, таких как рамановская спектроскопия для мониторинга продуктов реакции в режиме реального времени; Разработка композитных покрытий позволила повысить химическую стабильность.

5.5 Анализ отказов молибденовых стержней

Анализ отказов выявляет механизм разрушения путем изучения характеристик разрушения, усталости и износа молибденовых стержней, а также обеспечивает основу для оптимизации материала и прогнозирования срока службы.

5.5.1 Анализ механизма разрушения молибденовых стержней

Анализ механизма разрушения изучает процесс разрушения молибденового стержня под действием силы, а также определяет тип и причину разрушения. Морфология разрушения была изучена с помощью SEM, и данные механических испытаний были объединены, чтобы определить, является ли это пластичным разрушением, хрупким разрушением или усталостным разрушением. Молибденовые стержни высокой чистоты часто демонстрируют хрупкое разрушение при комнатной температуре и превращаются в пластичное разрушение при высокой температуре. Стержни из легированного молибдена снижают хрупкость за счет упрочнения границ зерен. Анализ также включает в себя место зарождения трещины, траекторию распространения и роль микроскопических дефектов.

К факторам, влияющим на разрушение, относятся размер зерна, содержание примесей и дефекты обработки. Более крупные зерна и следовые количества кислорода могут вызвать хрупкие переломы, а вывихи, вызванные холодной обработкой, увеличивают риск переломов. Технологические достижения включают анализ СЭМ in situ для наблюдения за распространением трещин в режиме реального времени; Применение модели механики

разрушения для прогнозирования скорости роста трещины.

5.5.2 Анализ усталости и износа молибденовых стержней

Анализ усталости и износа позволяет оценить долговечность молибденовых стержней в условиях циклической нагрузки и трения для высокотемпературных опорных стержней печей и материалов пресс-форм. Усталостные испытания регистрируют зарождение и распространение трещин путем приложения циклических напряжений; При испытании на истирание используется трибометр для измерения потери массы и рельефа поверхности. Легированные молибденовые стержни демонстрируют лучшую усталостную и износостойкость благодаря более высокой твердости и прочности.

Факторы, влияющие на усталость и износ, включают состояние поверхности, окружающую среду и условия нагрузки. Полированные поверхности значительно продлевают усталостную долговечность, а смазочные материалы снижают износ. Технологические достижения включают применение нанопокровов (например, SiC) для повышения износостойкости; Технология испытаний на трение на месте для мониторинга процесса износа в режиме реального времени.

5.5.3 Модель прогнозирования ресурса молибденовых стержней

Модель прогнозирования срока службы прогнозирует срок службы молибденовых стержней в определенных условиях работы путем интеграции данных механических, высокотемпературных и химических испытаний. Модели основаны на данных о ползучести, усталости и коррозии в сочетании с математическими методами, такими как модель Аррениуса для прогнозирования. Данные испытаний были получены с помощью испытательной машины и микроскопического анализа, при этом модель учитывала влияние температуры, напряжения и окружающей среды.

Срок службы молибденовых стержней высокой чистоты ограничен окислением и ползучестью, а легированные молибденовые стержни значительно продлевают срок службы за счет упрочнения микроструктуры. Технологические достижения включают применение технологии цифровых двойников для моделирования характеристик молибденовых стержней в режиме реального времени; Модели машинного обучения используют анализ больших данных для повышения точности прогнозирования.



Стержни из молибденового вольфрамового сплава CTIA GROUP LTD

Глава 6 Производственное оборудование для молибденовых стержней

Производство молибденовых стержней включает в себя множество сложных процессов, от обработки сырья до конечного продукта, каждый из которых требует специализированного оборудования для обеспечения качества и производительности продукции. В этой главе подробно рассматривается оборудование, используемое в производстве молибденовых стержней, включая обработку сырья, порошковую металлургию, термическую обработку, обработку поверхности, испытания, а также автоматизированное и интеллектуальное производственное оборудование. Вместе эти устройства образуют эффективную и сложную производственную цепочку, которая удовлетворяет спрос на высокоэффективные молибденовые стержни в аэрокосмической, электронной, стекольной промышленности и других областях. Оптимизируя конструкцию оборудования и управление технологическими процессами, вы можете значительно повысить производительность, качество и стабильность продукции, одновременно снижая энергопотребление и воздействие на окружающую среду.

6.1 Оборудование для транспортировки сырья для молибденовых прутков

Транспортировка сырья является первым этапом производства молибденовых стержней, который включает в себя преобразование молибденовой руды или молибденовых соединений в молибденовый порошок высокой чистоты, закладывая основу для последующих процессов порошковой металлургии. Оборудование для переработки сырья в основном включает в себя дробильное и измельчительное оборудование и оборудование для очистки, которым необходимо обеспечить однородность размера частиц сырья, высокую чистоту и низкое содержание примесей.

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Rods Introduction

1. Overview of Molybdenum Rods

Molybdenum rods are high-performance metal materials made from high-purity molybdenum powder through pressing, sintering, forging, and drawing processes. They possess excellent high-temperature performance, thermal conductivity, and chemical stability. These rods are widely used in advanced technological fields such as metallurgy, electronics, glass, aerospace, and nuclear energy, making them one of the key functional materials in modern industrial high-temperature environments.

2. Main Application Fields of Molybdenum Rods

- Heating elements and support rods for high-temperature electric furnaces
- Diffusion tubes and wafer carriers in the semiconductor industry
- Electrodes and targets for vacuum coating equipment
- High-temperature components in nuclear reactors and aircraft engines
- Electrode rods and heat-resistant fixtures in the glass industry
- Medical devices and X-ray targets
- High-temperature experimental materials and components in scientific research

3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)

Category	Description	Typical Applications
High-Purity Moly Rods	Purity $\geq 99.95\%$, extremely low impurity levels	Electronics, semiconductors, research equipment
Industrial-Grade Rods	Purity around 99.90%, cost-effective	Electric heating, glass, metallurgical equipment
Doped Moly Rods	Doped with La, Ti, Zr, etc., for enhanced performance	High-temperature structural parts, TZM alloy applications

4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD

Item	Value Range
Density	$> 10.0 \text{ g/cm}^3$
Hardness (HV30)	160 – 250 HV
Tensile Strength (Rm/MPa)	$\geq 590 \text{ MPa}$
Yield Strength (Rp0.2/MPa)	$\geq 490 \text{ MPa}$
Elongation after fracture (A/%)	10–25%
Diameter Range	$\Phi 1 \text{ mm} - \Phi 200 \text{ mm}$, Customizable
Length Range	10 mm – 2000 mm, Customizable

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com
Phone: +86 592 5129595; 592 5129696
Website: www.molybdenum.com.cn

6.1.1 Дробильно-измельчительное оборудование

Дробильно-измельчительное оборудование используется для переработки молибденовой руды (например, молибденита) или молибденовых соединений (например, оксида молибдена) в мелкие частицы для последующей очистки и приготовления порошка. Дробильное оборудование обычно включает в себя щековые дробилки и конусные дробилки для дробления крупных кусков сырья на мелкие частицы. Щековая дробилка уменьшает размер сырья с десятков сантиметров до нескольких миллиметров за счет экструзии и срезки, что подходит для обработки молибденита с высокой твердостью. Конусная дробилка дополнительно измельчает частицы и подходит как для вторичного, так и для мелкого дробления, обеспечивая равномерный размер частиц.

Измельчительное оборудование в основном включает в себя шаровые мельницы и струйные мельницы, которые используются для измельчения измельченных частиц в порошок микронного размера. Шаровая мельница измельчает частицы до более мелкого размера за счет столкновения и трения между стальными шарами и сырьем, что подходит для крупномасштабного производства. Струйная мельница использует высокоскоростной поток воздуха для воздействия на сырье для производства ультратонкого порошка, который особенно подходит для приготовления молибденового порошка высокой чистоты. В процессе шлифования необходимо контролировать атмосферу (например, азот), чтобы предотвратить окисление, а оборудование облицовывается износостойкими материалами (например, оксидом алюминия или карбидом вольфрама) для уменьшения загрязнения.

Факторы, влияющие на производительность оборудования, включают твердость сырья, размер загружаемых частиц и время измельчения. Сырье с более высокой твердостью может привести к износу оборудования, а футеровка нуждается в регулярной замене; Чрезмерно долгое время измельчения может привести к образованию примесей, поэтому параметры процесса необходимо оптимизировать. Технологические достижения включают в себя применение высокоэффективных вибрационных шаровых мельниц, которые значительно повысили эффективность измельчения; Интеллектуальная система управления автоматически регулирует параметры измельчения, отслеживая размер частиц в режиме реального времени, чтобы обеспечить стабильное качество порошка.

6.1.2 Очистное оборудование (обжиговые печи, восстановительные печи)

Очистное оборудование используется для преобразования измельченных и измельченных соединений молибдена (таких как оксид молибдена) в порошок молибдена высокой чистоты, в основном в печах обжига и восстановительных печах. Жаровня преобразует сульфиды молибденита в оксид молибдена с помощью высокотемпературной обработки, удаляя при этом летучие примеси. Обжиговые печи обычно проектируются как вращающиеся печи или печи с кипящим слоем и способны непрерывно обрабатывать большое количество сырья. Атмосфера внутри печи строго контролируется, обычно в воздушной или кислородной среде, чтобы обеспечить полное окисление сульфидов. Оборудование оснащено системой очистки выхлопных газов (например, мокрым скруббером) для удаления оксидов серы и соблюдения экологических требований.

Восстановительные печи используются для восстановления оксида молибдена до металлического молибденового порошка, обычно в атмосфере водорода. Трубчатая восстановительная печь представляет собой распространенное оборудование, которое постепенно восстанавливает оксид молибдена через многоступенчатую зону нагрева для получения молибденового порошка высокой чистоты. Корпус печи изготовлен из устойчивых к высоким температурам материалов, таких как кварц или молибденовые сплавы, для обеспечения длительной стабильной работы. Поток водорода и градиенты температуры должны точно контролироваться в процессе восстановления, чтобы избежать скопления частиц порошка или остатков примесей. Оборудование также оснащено системой рекуперации выхлопных газов для рекуперации непрореагировавшего водорода и повышения эффективности использования ресурсов.

Факторы, влияющие на результаты очистки, включают чистоту сырья, контроль атмосферы и герметичность оборудования. Следовые примеси (такие как железо и кремний) в сырье могут повлиять на качество молибденового порошка, который необходимо удалить путем предварительной обработки; Кислород или влага в атмосфере могут вызвать окисление порошка, поэтому необходимо поддерживать водородную среду высокой чистоты. К технологическим достижениям можно отнести разработку вакуумных восстановительных печей, которые значительно улучшили чистоту молибденового порошка; Система онлайн-мониторинга анализирует состав атмосферы с помощью инфракрасной спектроскопии для оптимизации процесса восстановления.

6.2 Оборудование для порошковой металлургии для молибденовых прутков

Порошковая металлургия является основным процессом производства молибденовых прутков, который обеспечивает основу для последующей обработки путем прессования и формования молибденового порошка и спекания его в заготовки высокой плотности. Оборудование для порошковой металлургии включает в себя смесительное и прессовое оборудование и печи для спекания, которым необходимо обеспечить плотность, однородность и механические свойства заготовки.

6.2.1 Оборудование для смешивания и прессования

Смесительно-прессовое оборудование используется для однородного смешивания молибденового порошка с легированными элементами (такими как Ti, La) и прессования его в стержневую заготовку. Смесительное оборудование в основном включает в себя планетарные мельницы и V-образные смесители, которые используются для смешивания молибденового порошка и легирующих примесей (таких как La_2O_3 , TiC). Планетарная мельница обеспечивает равномерное перемешивание за счет высокоскоростного вращения и столкновений, что подходит для приготовления легированных молибденовых стержней; V-образный смеситель подходит для порошка молибдена высокой чистоты путем переворачивания на низкой скорости, чтобы избежать попадания примесей. В процессе смешивания необходимо контролировать атмосферу (например, азот), чтобы предотвратить окисление порошка, а внутренняя стенка оборудования изготавливается из нержавеющей стали или керамических материалов для уменьшения загрязнения.

Прессовое оборудование включает в себя холодные изостатические прессы и гидравлические прессы, которые используются для прессования смешанного порошка в заготовку. Холодные изостатические прессы создают равномерное давление через жидкую среду, такую как вода или масло, для подготовки заготовок высокой плотности, особенно для больших или сложных молибденовых заготовок. Гидравлический пресс прессуется пресс-формой, которая подходит для мелкосерийного производства, а конструкция пресс-формы должна учитывать геометрическую точность заготовки. Распределение давления необходимо контролировать в процессе прессования, чтобы избежать трещин или неравномерной плотности заготовки.

Факторы, влияющие на результаты смешивания и прессования, включают размер частиц порошка, однородность легирования и процесс прессования. Слишком мелкие порошки могут привести к плохой текучести и повлиять на качество прессования; Неравномерное распределение легирующей примеси может ухудшить эксплуатационные характеристики заготовки. Технический прогресс включает в себя применение технологии жидкофазного легирования, которая улучшает однородность легирования; Автоматизированная система прессования оптимизирует процесс формования, контролируя давление и плотность с помощью датчиков.

6.2.2 Печи для спекания (вакуумные печи, атмосферные печи)

Печь для спекания используется для нагрева прессованной заготовки до высокой температуры, чтобы частицы порошка объединились и образовали заготовку из молибденового стержня высокой плотности. Вакуумная печь для спекания является основным оборудованием, которое предотвращает окисление через вакуумную среду (низкое давление) и обеспечивает высокую чистоту и компактность заготовки. В корпусе печи используется молибденовый или графитовый нагревательный элемент, который устойчив к высоким температурам и обладает хорошей термической однородностью. Процесс спекания осуществляется поэтапно, сначала с низкотемпературным выжиганием для удаления связующего вещества, а затем высокотемпературным спеканием для содействия склеиванию частиц и, наконец, с формированием заготовки с плотностью, близкой к теоретическому значению.

В печах для спекания с атмосферой обычно используется водород или инертный газ (например, аргон) в качестве защитной атмосферы, которая подходит для спекания с молибденовыми стержнями. Водород является восстановителем, что позволяет эффективно удалять следовые оксиды и улучшать качество заготовки. Печь оснащена системой циркуляции атмосферы, обеспечивающей равномерное распределение газов и избегающей локального окисления. Печь для спекания также должна быть оснащена точной системой контроля температуры, чтобы поддерживать равномерный температурный градиент и предотвращать деформацию или растрескивание заготовки.

Факторы, влияющие на эффект спекания, включают атмосферу спекания, контроль температуры и плотность заготовок. Следовые количества кислорода в атмосфере могут привести к окислению, и точку росы необходимо строго контролировать; Слишком низкая

начальная плотность заготовки продлит время спекания. К технологическим достижениям относятся разработка индукционной печи для спекания промежуточной частоты, повышающей эффективность нагрева; Система онлайн-мониторинга контролирует температуру в режиме реального времени с помощью инфракрасного термометра для оптимизации качества спекания.

6.3 Оборудование для термической обработки молибденовых прутков

Оборудование для термической обработки используется для обработки спеченных заготовок в окончательную форму молибденового прутка, включая процессыковки, прокатки и волочения для улучшения плотности материала и механических свойств.

6.3.1 Кузнечно-прессовое оборудование

Ковочное оборудование используется для пластической деформации спеченной заготовки при высокой температуре для получения мелкозернистых молибденовых стержней высокой плотности. Обычно используемое оборудование включает в себя гидравлические ковочные машины и пневматические молоты, которые способны оказывать высокое тоннажное давление для обеспечения полной деформации заготовки. Ковка осуществляется при высоких температурах и требует индукционной печи для нагрева заготовки до подходящей температуры для улучшения пластичности и снижения сопротивления деформации. В процессековки необходимо контролировать скорость и направление деформации, чтобы избежать трещин или внутренних напряжений.

Ковочное оборудование обычно оснащается системой водяного охлаждения для защиты штампа и заготовки и продления срока службы оборудования. Материал пресс-формы должен быть изготовлен из жаропрочного сплава (например, вольфрамового сплава), чтобы выдерживать высокую температуру и высокое давление. Факторы, влияющие на качествоковки, включают температуру нагрева, степень деформации и конструкцию штампа. Слишком низкие температуры могут привести к растрескиванию, а слишком высокие температуры могут вызвать рост зерна. Технологические достижения включают применение технологии изотермической штамповки для улучшения однородности зерна за счет точного контроля температуры; Ковочный станок с сервоуправлением повышает точность обработки за счет регулировки давления в режиме реального времени.

6.3.2 Прокатные станы и волочильные машины

Прокатные станы и волочильные машины используются для дальнейшей переработки кованой заготовки в молибденовые прутки точного размера. Прокатный стан включает в себя стан горячей прокатки и стан холодной прокатки, стан горячей прокатки перерабатывает заготовку в круглый или квадратный пруток через несколько проходов, что подходит для производства молибденовых прутков большого диаметра. В процессе прокатки необходимо оборудовать нагревательное устройство, чтобы поддерживать подходящую температуру заготовки и не допускать появления трещин при холодной обработке. Станы холодной прокатки используются для финишной обработки, повышения точности размеров и чистоты поверхности.

Волоочильные машины используются для производства молибденовых стержней малого диаметра или микромолибденовых стержней, которые растягиваются в форму с помощью волоочильных штампов. Волочение осуществляется при высоких температурах, а для снижения трения и износа используются смазочные материалы, такие как MoS₂. Волоочильные штампы обычно изготавливаются из материала из алмаза или карбида вольфрама, что обеспечивает высокую точность и долговечность. Факторы, влияющие на результаты прокатки и волочения, включают температуру, скорость деформации и состояние штампа. Неправильный контроль температуры может привести к появлению дефектов поверхности, а износ пресс-формы может повлиять на точность размеров.

Технологические достижения включают в себя разработку непрерывных прокатных производственных линий, которые повысили эффективность производства; Применение лазерного штангенциркуля позволяет контролировать размер прутка в режиме реального времени для обеспечения контроля допусков. Кроме того, автоматизированная система волочения оптимизирует стабильность обработки, контролируя скорость волочения с помощью серводвигателя.

6.4 Оборудование для обработки поверхности молибденовых стержней

Оборудование для обработки поверхности используется для улучшения качества поверхности молибденовых стержней, повышения их коррозионной стойкости и эстетики, а также для удовлетворения строгих требований электроники, аэрокосмической и других областей.

6.4.1 Полировальные машины

Полировальные машины используются для обработки поверхности молибденовых стержней до высокой отделки, уменьшения поверхностных дефектов и повышения производительности. Механический полировальный станок шлифует брусок с помощью шлифовального круга или полировальной пасты, постепенно улучшая гладкость поверхности. Оборудование оснащено многоступенчатыми шлифовальными кругами, от грубого шлифования до тонкого шлифования, подходящими для молибденовых стержней с различными требованиями к поверхности. Электролитическая полировальная машина удаляет поверхностные дефекты с помощью электрохимической реакции для получения зеркального эффекта, который особенно подходит для обработки молибденовых стержней высокой чистоты.

В процессе полировки необходимо контролировать скорость вращения и тип полировального агента, чтобы избежать возникновения новых поверхностных напряжений. Полировальные машины обычно оснащаются системой охлаждения, чтобы предотвратить перегрев заготовки и окисление. Факторы, влияющие на результаты полировки, включают размер частиц полировки, давление и исходное состояние поверхности. Технологические достижения включают разработку автоматизированных систем полировки, которые контролируют путь полировки с помощью роботов для улучшения консистенции; Применение наноразмерных полировальных средств значительно улучшает качество поверхности.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

6.4.2 Оборудование для уборки

Очистительное оборудование используется для удаления оксидов, масел и остатков полировки с поверхности молибденовых стержней для обеспечения чистоты поверхности. Ультразвуковой очиститель является основным элементом оборудования, которое использует высокочастотную вибрацию (десятки килогерц) для создания мельчайших пузырьков в чистящем растворе для удаления поверхностных загрязнений. Чистящая жидкость обычно представляет собой деионизированную воду или нейтральное чистящее средство, чтобы избежать коррозии молибденового стержня. Травильная установка использует раствор разбавленной кислоты (например, азотной кислоты или серной кислоты) для удаления оксидного слоя и должна быть оснащена системой очистки сточных вод в соответствии с экологическими требованиями.

В процессе очистки следует контролировать время очистки и температуру жидкости, чтобы предотвратить чрезмерную коррозию или остаточные загрязнения. К факторам, влияющим на результаты очистки, относятся состав чистящей жидкости, состояние поверхности и герметичность оборудования. Технологический прогресс включает в себя применение технологии «зеленой» уборки, использование экологически чистых чистящих средств для снижения загрязнения; Система безразборной мойки оптимизирует эффективность очистки, отслеживая pH жидкостей и концентрацию загрязняющих веществ в режиме реального времени.

6.5 Испытательное оборудование для молибденовых стержней

Испытательное оборудование используется для оценки качества молибденовых стержней на предмет их соответствия требованиям механических свойств, точности размеров и качества поверхности, включая неразрушающий контроль и контроль размерной поверхности.

6.5.1 Оборудование для неразрушающего контроля (ультразвуковое, рентгеновское)

Оборудование для неразрушающего контроля используется для обнаружения внутренних и поверхностных дефектов, таких как пористость, включения и трещины в молибденовых стержнях, без повреждения образца. Ультразвуковое контрольное оборудование сканирует стержни высокочастотными ультразвуковыми волнами (несколько мегагерц) для выявления внутренних дефектов. Прибор оснащен преобразователем и системой анализа сигналов, которая способна выявлять мелкие дефекты и определять их глубину. Оборудование для рентгеновского контроля использует рентгеновские лучи для проникновения в стержень для получения изображения внутренней структуры, что особенно подходит для контроля внутренней пористости или включений крупных молибденовых стержней.

В процессе контроля необходимо откалибровать чувствительность оборудования, чтобы обеспечить точность обнаружения дефектов. Факторы, влияющие на результаты контроля, включают размер стержня, состояние поверхности и разрешение устройства. К технологическим достижениям относятся применение ультразвуковой технологии с фазированными решетками, которая повысила точность определения местоположения дефекта; Рентгеновские компьютерные системы высокого разрешения способны

реконструировать трехмерное распределение дефектов, обеспечивая более детальный анализ.

6.5.2 Оборудование для проверки размеров и качества поверхности

Оборудование для контроля размеров и качества поверхности используется для измерения диаметра, длины и шероховатости поверхности молибденовых стержней для обеспечения соответствия требованиям стандартов. Лазерный штангенциркуль сканирует стержень с помощью лазерного луча и измеряет диаметр и округлость в режиме реального времени, что делает его пригодным для внутритрубного контроля. Измеритель шероховатости поверхности сканирует поверхность с помощью зонда для оценки отделки и дефектов, а также подходит для осмотра полированных молибденовых стержней. Оптические микроскопы используются для наблюдения за микроскопическим рельефом поверхностей и выявления царапин или следов коррозии.

В процессе проверки необходимо убедиться в том, что оборудование откалибровано, а окружающая среда стабильна, чтобы избежать ошибок измерения. Факторы, влияющие на результаты контроля, включают точность оборудования, состояние поверхности образца и методы обработки. Технологические достижения включают в себя применение автоматизированных систем контроля, которые управляют зондами с помощью роботов для повышения эффективности контроля; Разработка трехмерного профилографа позволяет проводить комплексный анализ рельефа поверхности.

6.6 Автоматическое и интеллектуальное производственное оборудование для молибденовых стержней

Автоматизированное и интеллектуальное производственное оборудование повышает эффективность, стабильность и прослеживаемость производства молибденовых прутков благодаря интегрированным системам управления и технологии анализа данных.

6.6.1 Автоматическое управление производственными линиями

Автоматическая система управления осуществляет интегрированное управление производственной линией с помощью ПЛК (программируемый логический контроллер) или DCS (распределенная система управления), охватывающую обработку сырья, порошковую металлургию, термическую обработку и обработку поверхности. Система отслеживает температуру, давление, размер и другие параметры в режиме реального времени с помощью датчиков, а также автоматически корректирует рабочее состояние оборудования. Например, система контроля температуры печи для спекания способна регулировать профиль нагрева в соответствии с характеристиками заготовки, чтобы обеспечить качество спекания; Автоматическая система управления прокатным станом регулирует скорость прокатки с помощью серводвигателей для оптимизации точности размеров прутков.

Преимущество автоматизированной производственной линии заключается в том, что она сокращает ручное вмешательство и повышает стабильность производства. Факторы, влияющие на эффективность автоматизации, включают точность датчиков, алгоритмы управления и совместимость устройств. Технологический прогресс включает в себя

применение промышленного интернета, который реализует взаимосвязь оборудования через облачную платформу; Разработка гибкой производственной линии позволяет быстро переключаться на производство молибденовых стержней различных спецификаций.

6.6.2 Интеллектуальный мониторинг и анализ данных

Интеллектуальная система мониторинга и анализа данных использует датчики, Интернет вещей и технологии искусственного интеллекта для сбора и анализа производственных данных в режиме реального времени с целью оптимизации процессов и контроля качества. Система мониторинга включает в себя инфракрасные термометры, лазерные штангенциркули и встроенные спектрометры для определения температуры, размера и состава в режиме реального времени. При анализе данных алгоритмы машинного обучения выявляют аномальные закономерности в производстве и прогнозируют сбои оборудования или проблемы с качеством. Например, колебания температуры в процессе спекания могут быть проанализированы моделями искусственного интеллекта для заблаговременной корректировки параметров процесса.

Преимуществами интеллектуальных систем являются повышение эффективности производства и отслеживаемости, а также снижение процента брака. Факторы, влияющие на эффективность системы, включают частоту сбора данных, точность алгоритма и стабильность сети. К технологическим достижениям можно отнести применение технологии цифровых двойников для моделирования производственного процесса с помощью виртуальных моделей и оптимизации работы оборудования; Внедрение технологии блокчейн обеспечивает надежность и безопасность производственных данных.



Стержни из молибденового вольфрамового сплава 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

Molybdenum Rods Introduction

1. Overview of Molybdenum Rods

Molybdenum rods are high-performance metal materials made from high-purity molybdenum powder through pressing, sintering, forging, and drawing processes. They possess excellent high-temperature performance, thermal conductivity, and chemical stability. These rods are widely used in advanced technological fields such as metallurgy, electronics, glass, aerospace, and nuclear energy, making them one of the key functional materials in modern industrial high-temperature environments.

2. Main Application Fields of Molybdenum Rods

- Heating elements and support rods for high-temperature electric furnaces
- Diffusion tubes and wafer carriers in the semiconductor industry
- Electrodes and targets for vacuum coating equipment
- High-temperature components in nuclear reactors and aircraft engines
- Electrode rods and heat-resistant fixtures in the glass industry
- Medical devices and X-ray targets
- High-temperature experimental materials and components in scientific research

3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)

Category	Description	Typical Applications
High-Purity Moly Rods	Purity $\geq 99.95\%$, extremely low impurity levels	Electronics, semiconductors, research equipment
Industrial-Grade Rods	Purity around 99.90%, cost-effective	Electric heating, glass, metallurgical equipment
Doped Moly Rods	Doped with La, Ti, Zr, etc., for enhanced performance	High-temperature structural parts, TZM alloy applications

4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD

Item	Value Range
Density	$> 10.0 \text{ g/cm}^3$
Hardness (HV30)	160 – 250 HV
Tensile Strength (Rm/MPa)	$\geq 590 \text{ MPa}$
Yield Strength (Rp0.2/MPa)	$\geq 490 \text{ MPa}$
Elongation after fracture (A/%)	10–25%
Diameter Range	$\Phi 1 \text{ mm} - \Phi 200 \text{ mm}$, Customizable
Length Range	10 mm – 2000 mm, Customizable

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com
Phone: +86 592 5129595; 592 5129696
Website: www.molybdenum.com.cn

Глава 7 Области применения молибденовых стержней

Обладая высокой температурой плавления, отличными механическими свойствами, хорошей проводимостью и коррозионной стойкостью, молибденовый стержень показал широкий спектр возможностей применения в ряде высокотехнологичных областей. В этой главе подробно обсуждается применение молибденовых стержней в высокотемпературных печах и термическом оборудовании, электронной и полупроводниковой промышленности, аэрокосмической, стекольной и керамической промышленности, медицинских и научных исследованиях, а также в новых областях, а также анализируются их функциональные свойства, технологические требования и технический прогресс. Высокие эксплуатационные характеристики молибденовых стержней делают их идеальным материалом для изготовления критически важных компонентов, отвечающих строгим требованиям экстремальных условий, в то время как спектр применения продолжает расширяться по мере развития технологий, обеспечивая инновационные решения для промышленности и исследований.

7.1 Высокотемпературные печи и термическое оборудование

Молибденовые стержни широко используются в высокотемпературных печах и термическом оборудовании, особенно в средах, требующих высокой температуры, вакуума или инертной атмосферы, а их высокая температура плавления и отличная термическая стабильность делают их незаменимыми материалами. Молибденовые стержни в основном используются для нагревательных элементов и поддерживающих неподвижных деталей для удовлетворения потребностей высокотемпературной обработки и термообработки.

7.1.1 Молибденовые стержни в качестве нагревательных элементов

Молибденовые стержни играют центральную роль в качестве нагревательных элементов в высокотемпературных печах и широко используются в вакуумных печах, печах с водородной защитой и печах с инертной атмосферой для таких процессов, как спекание материалов, термообработка и выращивание кристаллов. Высокая температура плавления молибденового стержня и хорошая электропроводность позволяют ему выдерживать экстремально высокие температуры, сохраняя при этом стабильную тепловую мощность. Нагревательные элементы обычно превращаются в удлиненные стержни или стержни определенной геометрии для оптимизации распределения теплового поля. Легированные молибденовые стержни (например, Mo-La) часто используются в печах с длительной работой при высоких температурах из-за их превосходной стойкости к ползучести и окислению.

В процессе производства молибденовые стержни подвергаются прецизионной обработке для обеспечения гладкой поверхности для снижения концентрации термических напряжений и работают в вакууме или восстановительной атмосфере для предотвращения высокотемпературного окисления. Факторы, влияющие на производительность нагревательных элементов, включают чистоту материала, состояние поверхности и условия эксплуатации. Следовые примеси могут снижать электропроводность, а высокотемпературное окисление может привести к испарению материала, что необходимо решать с помощью покрытия (например, MoSi₂) или контроля атмосферы.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

К технологическим достижениям можно отнести разработку композитных нагревательных элементов, продлевающих срок службы за счет нанесения антиокислительного покрытия на поверхность молибденового стержня; Применение интеллектуальной системы контроля температуры регулирует мощность нагрева в режиме реального времени и оптимизирует энергоэффективность. Кроме того, новые легированные молибденовые стержни, такие как Mo-La, улучшают стабильность при высоких температурах за счет улучшения структуры зерна, что делает возможным более требовательное термическое применение.

7.1.2 Опорные и крепежные детали

Молибденовые стержни также используются в высокотемпературных печах в качестве опорных и фиксирующих компонентов, таких как опорные стержни, зажимы и тепловые экраны, для удержания заготовки или экрана от теплового излучения. Эти компоненты должны выдерживать высокие температуры и механические нагрузки, сохраняя при этом геометрическую стабильность. Легированные молибденовые стержни, такие как TZM, являются предпочтительным материалом из-за их высокой прочности и сопротивления ползучести, что позволяет им сохранять структурную целостность в течение длительных периодов времени при высоких температурах. Молибденовые стержни высокой чистоты подходят для опорных конструкций, требующих быстрой теплопроводности благодаря своей превосходной теплопроводности.

Опорные компоненты должны быть изготовлены таким образом, чтобы обеспечить точность размеров и качество поверхности для предотвращения деформации или растрескивания при высоких температурах. Рабочей средой обычно является вакуум или инертная атмосфера, чтобы избежать окисления. Факторы, влияющие на производительность, включают состав материала, технологию обработки и частоту термоциклирования. Легированные элементы могут значительно повысить сопротивление ползучести, в то время как термоциклирование может вызвать термическую усталость, поэтому конструкцию необходимо оптимизировать.

Технологические достижения включают в себя применение технологий прецизионной обработки, таких как обработка с ЧПУ, для обеспечения сложных форм опорных компонентов; Технологии поверхностных покрытий, такие как покрытия SiC, повышают стойкость к окислению и истиранию. Кроме того, модульная конструкция опорных компонентов позволяет быстро разбирать и собирать, что повышает эффективность технического обслуживания в печи.

7.2 Электроника и полупроводниковая промышленность

Молибденовые стержни широко используются в электронной и полупроводниковой промышленности благодаря своей высокой проводимости, низкому коэффициенту теплового расширения и высокой чистоте, в основном для электродных материалов, мишеней для распыления и компонентов вакуумных трубок.

7.2.1 Материалы электродов

В качестве электродного материала молибденовые стержни широко используются в

производстве электронных устройств, таких как оборудование для плазменного травления и электровакуумные аппараты. Молибденовые стержни высокой чистоты могут стабильно работать в условиях высокого напряжения и высоких температур благодаря своему низкому удельному сопротивлению и превосходной химической стабильности. Электроды обычно обрабатываются в удлиненные стержни или нестандартные формы, а поверхность должна быть отполирована до высокой степени для уменьшения образования дуги и загрязнения.

В процессе производства молибденовые стержни должны проходить строгий контроль чистоты, а содержание примесей должно быть сведено к минимуму для обеспечения стабильных электрических свойств. Рабочей средой обычно является вакуум или инертный газ для предотвращения окисления и загрязнения поверхности. Факторы, влияющие на производительность электрода, включают чистоту материала, качество поверхности и рабочую температуру. Следовые количества кислорода могут вызвать коррозию электродов, которые должны быть защищены атмосферой высокой чистоты.

Технологические достижения включают разработку молибденовых стержней сверхвысокой чистоты для дальнейшего снижения примесей с помощью многоступенчатого процесса очистки; Применение технологии электрополировки улучшает качество поверхности и снижает риск образования дуговых разрядов. Кроме того, оптимизация конструкции электрода улучшает однородность и срок службы электрода за счет моделирования распределения электрического поля.

7.2.2 Мишени для распыления

Молибденовые стержни используются в качестве мишеней для распыления при производстве тонкопленочных материалов для интегральных схем, солнечных батарей и плоских дисплеев. Благодаря высокой плотности и однородной микроструктуре, молибденовые стержни высокой чистоты способны обеспечить стабильный поток атомов при распылении и обеспечить качество пленки. Мишени обычно превращаются в круглые или прямоугольные стержни с полированной поверхностью до зеркального состояния для уменьшения дефектов и загрязнения частицами.

Молибденовые стержни, используемые для изготовления мишени, подвергаются порошковой металлургии и термической обработке, чтобы гарантировать отсутствие пористости и включений внутри. Во время распыления мишень работает в высоком вакууме для предотвращения окисления и внесения примесей. Факторы, влияющие на целевые характеристики, включают чистоту материала, размер зерна и состояние поверхности. Мелкие зерна улучшают однородность распыления, а полированные поверхности уменьшают образование струй частиц.

Технологические достижения включают разработку крупногабаритных мишеней для удовлетворения потребностей в осаждении тонких пленок на больших площадях; Технология приготовления молибденового порошка высокой чистоты улучшает качество мишени. Кроме того, достижения в области технологии целевой переработки позволили снизить

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

производственные затраты и воздействие на окружающую среду за счет химической очистки и переработки.

7.2.3 Вакуумные трубки и компоненты ионных источников

Молибденовые стержни используются в качестве электродов, опор или излучателей в вакуумных трубках и ионных источниках, а также в оборудовании, таком как электронные микроскопы и масс-спектрометры. Молибденовые стержни высокой чистоты подходят в качестве эмиттерных материалов благодаря их низкой работе по убеганию электронов и высокой проводимости. Стержни из легированного молибдена используются для опорных конструкций из-за их высокой термостойкости. Детали должны быть обработаны в сложные формы и полированы поверхности для уменьшения рассеяния электронов.

В процессе производства молибденовые стержни подвергаются прецизионной обработке и очистке, чтобы убедиться в отсутствии загрязнений. Рабочая среда представляет собой сверхвысокий вакуум, что предотвращает окисление или разряд электродов. Факторы, влияющие на производительность, включают качество поверхности, чистоту материала и рабочее напряжение. Поверхностные дефекты могут вызвать образование дуги и должны быть устранены с помощью электрополировки.

Технологические достижения включают технологию обработки микромолибденовых стержней для удовлетворения потребностей микроэлектронных устройств; Нанопокрывание поверхности повышает стойкость к образованию дуги. Кроме того, технология автоматизированной сборки повышает точность изготовления и стабильность деталей за счет роботизированной работы.

7.3 Аэрокосмическая промышленность

Молибденовые стержни пользуются популярностью в аэрокосмической промышленности благодаря своей высокой прочности, высокой температуре плавления и низкой плотности и в основном используются в высокотемпературных конструкционных деталях и компонентах двигательных установок.

7.3.1 Высокотемпературные конструкционные детали

Молибденовые стержни используются в аэрокосмической промышленности в качестве высокотемпературных конструкционных деталей, таких как лопатки турбин реактивных двигателей, тепловые экраны и разъемы. Легированные молибденовые стержни, такие как TZM, способны сохранять структурную стабильность при экстремально высоких температурах благодаря своей превосходной прочности при высоких температурах и сопротивлению ползучести. Конструкционные детали коваются и обрабатываются с высокой точностью, что обеспечивает точность размеров и высокие механические свойства.

В процессе производства молибденовые стержни необходимо обрабатывать и использовать в вакууме или инертной атмосфере, чтобы предотвратить высокотемпературное окисление. Факторы, влияющие на производительность, включают состав материала, технологию

обработки и условия эксплуатации. Легированные элементы значительно улучшают сопротивление ползучести, но проблему высокотемпературного окисления необходимо устранять с помощью защиты покрытия.

Технический прогресс включает в себя применение технологии изотермической штамповки, которая улучшает зернистую однородность конструкционных деталей; Антиокислительные покрытия (например, MoSi_2) продлевают срок службы компонентов. Кроме того, сочетание композитных материалов и молибденовых стержней улучшает общие характеристики за счет слоистой конструкции.

7.3.2 Компоненты силовой установки

Молибденовые стержни используются в двигательных установках для изготовления форсунок, облицовки камеры сгорания и компонентов камеры сгорания, которые подвергаются воздействию высокотемпературных газовых и механических нагрузок. Молибденовые стержни TZM и Mo-La идеально подходят благодаря высокой температуре плавления и устойчивости к тепловому удару. Компоненты подвергаются термической и прецизионной обработке, что обеспечивает сложные формы и высокую точность.

В процессе производства молибденовые стержни обрабатываются при высоких температурах и наносится антиокислительное покрытие для продления срока их службы. Факторы, влияющие на производительность, включают термоциклирование, газовую коррозию и механические нагрузки. Технологические достижения включают применение технологии аддитивного производства для увеличения свободы проектирования за счет 3D-печати деталей из молибденового сплава; Развитие технологии нанесения высокотемпературных покрытий позволило повысить коррозионную стойкость.

7.4 Стекольная и керамическая промышленность

Молибденовые стержни широко используются в стекольной и керамической промышленности из-за их устойчивости к высокотемпературной коррозии и химической стабильности, и в основном используются для стекловаренных электродов и керамических опор для спекания.

7.4.1 Электроды для варки стекла

Молибденовые стержни используются в качестве электродов для варки стекла в стекловаренных печах и могут стабильно работать в высокотемпературном расплавленном стекле. Молибденовые стержни высокой чистоты подходят в качестве электродных материалов благодаря их превосходной электропроводности и коррозионной стойкости. Электроды должны быть обработаны до определенной формы, а поверхность очищена для удаления оксидов и предотвращения загрязнения расплава стекла.

В процессе производства молибденовые стержни необходимо эксплуатировать в восстановительной атмосфере, чтобы избежать окисления и испарения. Факторы, влияющие на производительность, включают состав стекла, рабочую температуру и состояние

поверхности электродов. Щелочное стекло может вызвать коррозию электродов, поэтому выбор материала должен быть оптимизирован. К технологическим достижениям относятся разработка электродов Mo-La, повышающих коррозионную стойкость; Автоматизированная система монтажа электродов повышает производительность.

7.4.2 Керамические опоры для спекания

Молибденовые стержни используются в качестве опорных стержней или приспособлений в керамических печах для спекания керамических тел при высоких температурах. Легированные молибденовые стержни стабильны при высоких температурах благодаря высокой прочности и сопротивлению ползучести. Опоры должны быть обработаны в сложные формы и отполированы поверхность, чтобы уменьшить адгезию к керамике.

В процессе производства молибденовые стержни необходимо эксплуатировать в вакуумной или водородной атмосфере, чтобы предотвратить окисление. Факторы, влияющие на производительность, включают температуру спекания, атмосферу и конструкцию опоры. К технологическим достижениям можно отнести нанесение керамических покрытий, которые снижают реакцию молибденовых стержней с керамикой; Модульная конструкция опор повышает эффективность загрузки в печь.

7.5 Медицинские и научные исследования

Молибденовые стержни используются в медицинских и научных исследованиях благодаря своей высокой чистоте и отличным эксплуатационным характеристикам и в основном используются в мишенях для рентгеновских трубок и высокотемпературном лабораторном оборудовании.

7.5.1 Мишени для рентгеновских трубок

Молибденовые стержни используются в качестве мишеней или опорных конструкций в рентгеновских трубках из-за их высокой температуры плавления и низкого коэффициента теплового расширения, которые позволяют им выдерживать высокие температуры, возникающие при бомбардировке электронами. Молибденовые стержни высокой чистоты прецизионно обрабатываются в мишени, а поверхность полируется до зеркального состояния для уменьшения рассеяния. Загрязнения должны строго контролироваться в процессе производства, чтобы обеспечить качество визуализации.

В рабочей среде мишень подвергается быстрому термоциклированию для предотвращения термического усталостного разрушения. Факторы, влияющие на производительность, включают качество поверхности, теплопроводность и рабочую мощность. Технологические достижения включают разработку композитных мишеней на основе молибдена, которые имеют улучшенную термическую усталостную долговечность; Технология лазерной обработки повышает геометрическую точность мишени.

7.5.2 Лабораторное высокотемпературное экспериментальное оборудование

Молибденовые стержни используются в качестве нагревательных элементов, опорных

стержней или электродов в высокотемпературном лабораторном оборудовании для испытания материалов и выращивания кристаллов. Молибденовый стержень высокой чистоты подходит для высокоточных экспериментов из-за своей химической стабильности; Стержни из легированного молибдена используются в тех случаях, когда требуется высокая прочность. Детали проходят прецизионную обработку и очистку, чтобы гарантировать отсутствие загрязнений.

Рабочей средой обычно является вакуум или инертная атмосфера для предотвращения окисления. Факторы, влияющие на производительность, включают контроль температуры, конструкцию компонентов и чистоту материала. Технологические достижения включают разработку миниатюрных молибденовых стержней для удовлетворения потребностей небольших экспериментальных устройств; Применение интеллектуальной системы контроля температуры повысило точность эксперимента.

7.6 Новые приложения

Применение молибденовых стержней в новых областях расширяется, особенно в 3D-печати и атомной промышленности, демонстрируя большой потенциал.

7.6.1 3D-печать и аддитивное производство

Молибденовые стержни используются в качестве сырья или опорных конструкций в 3D-печати и аддитивном производстве для быстрого прототипирования высокопроизводительных деталей. Порошок молибдена плавится и осаждается с помощью лазера или электронного луча для производства деталей из молибденового сплава сложной формы, подходящих для аэрокосмических и медицинских применений. Молибденовые стержни также могут использоваться в качестве поддерживающего материала, чтобы выдерживать высокотемпературную печать.

В процессе производства необходимо контролировать качество порошка и атмосферу печати, чтобы не допустить окисления и дефектов. Факторы, влияющие на производительность, включают параметры печати, размер частиц порошка и процесс постобработки. К технологическим достижениям можно отнести приготовление молибденового порошка высокой чистоты, который улучшает качество печати; Применение технологии печати из нескольких материалов позволяет осуществлять композитное литье молибдена и других металлов.

7.6.2 Применение в атомной промышленности

Молибденовые стержни используются в атомной промышленности для изготовления высокотемпературных компонентов реакторов и радиационно-защитных материалов из-за их высокой температуры плавления и радиационной стойкости. Молибденовые стержни Mo-W подходят для работы в условиях ядерных реакторов благодаря их превосходной коррозионной стойкости и высокотемпературной прочности. Компоненты подвергаются прецизионной обработке и покрытию для обеспечения долгосрочной стабильной работы.

Рабочая среда связана с высокими температурами и сильным излучением, поэтому свойства материалов необходимо строго контролировать. Факторы, влияющие на производительность, включают радиационное повреждение, температуру и состав материала. К технологическим достижениям относятся разработка радиационно-стойких молибденовых сплавов, которые имеют увеличенный срок службы компонентов; Применение технологии аддитивного производства оптимизирует изготовление сложных деталей.



Молибденовые стержни CTIA GROUP LTD

Глава 8 Отечественные и зарубежные стандарты и технические условия на молибденовые стержни

Поскольку молибденовый стержень является высокоэффективным тугоплавким металлическим материалом, производство, тестирование и применение молибденового стержня должны соответствовать строгим стандартам и спецификациям, чтобы обеспечить стабильность, стабильность, надежность и безопасность использования. В данной главе подробно рассматриваются международные стандарты, отечественные стандарты, требования к сертификации и соответствию молибденовых стержней, а также сравнение и анализ сценариев применения отечественных и зарубежных стандартов. Эти стандарты обеспечивают техническую поддержку применения молибденового стержня в аэрокосмической, электронной, стекольной промышленности и других областях, и в то же время способствуют стандартизации глобальной торговли и технических обменов. Понимая и внедряя эти стандарты, производители могут оптимизировать свои процессы для удовлетворения потребностей клиентов и обеспечения конкурентоспособности своей продукции на внутреннем и международном рынках.

8.1 Международные стандарты на молибденовые стержни

Международные стандарты обеспечивают единую техническую основу для производства,

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

тестирования и применения молибденовых стержней, которые широко используются в глобальных цепочках поставок и трансграничном сотрудничестве. В первую очередь разработанные Американским обществом по испытаниям и материалам (ASTM) и Международной организацией по стандартизации (ISO), международные стандарты охватывают химический состав, механические свойства, допуски по размерам и методы испытаний молибденовых стержней, обеспечивая эталон качества для мирового рынка.

8.1.1 Стандарты ASTM (ASTM B387 и т.д.)

Стандарт ASTM является авторитетной в мире спецификацией для производства и тестирования молибденовых стержней и широко используется в высокотехнологичных отраслях промышленности в Северной Америке, Европе и Азии. Среди них ASTM B387-18 является основным стандартом для прутков, прутков и проволоки из молибдена и молибденовых сплавов, в котором подробно изложены технические требования к молибденовым стержням высокой чистоты и легированным молибденовым стержням (таким как TZM и Mo-La). Стандарт требует, чтобы содержание молибдена в молибденовом стержне высокой чистоты $\geq 99,95\%$, а примеси (такие как $Fe < 0,01\%$, $C < 0,005\%$, $O < 0,003\%$) должны строго контролироваться для обеспечения стабильности работы в высокотемпературных и коррозионных средах. Что касается механических свойств, стандарт требует, чтобы предел прочности молибденового стержня высокой чистоты составлял 600–800 МПа при комнатной температуре, а прочность на разрыв стержня TZM составляла 900–1100 МПа, а испытание необходимо проводить при температуре $20 \pm 5^\circ\text{C}$ в соответствии с ASTM E8/E8M (испытание на разрыв). Качество поверхности делится на черный стержень ($Ra < 3,2$ мкм), полировальный стержень ($Ra < 0,8$ мкм) и чистящий стержень для удовлетворения различных потребностей аэрокосмической, электронной и других областей. Допуски на размеры требуют отклонения диаметра $\pm 0,05$ мм и отклонения длины ± 1 мм для обеспечения точной обработки и сборки.

Стандарты ASTM также включают сопутствующие спецификации, такие как ASTM E9-19 (испытание на сжатие), ASTM E139-11 (испытание на ползучести) и ASTM G54-14 (испытание на стойкость к окислению), чтобы обеспечить систематическое руководство по оценке характеристик молибденовых стержней. Производителям необходимо проверять соответствие продукции требованиям химического анализа (например, ICP-MS, точность обнаружения 0,001%), микроструктурных наблюдений (размер зерна 10–50 мкм) и неразрушающих испытаний (например, ультразвуковых, 5 МГц). Сила стандарта ASTM заключается в его полноте и международной применимости, что применимо к высокотемпературным печам, полупроводниковой и аэрокосмической промышленности. К факторам, влияющим на внедрение стандарта, относятся точность испытательного оборудования (например, универсальное разрешение нагрузки испытательной машины 0,01 кН), спецификация пробоподготовки (например, полировка поверхности $Ra < 0,8$ мкм) и контроль окружающей среды (например, вакуум $< 10^{-3}$ Па). Технологические достижения включают в себя регулярное обновление стандартов ASTM, новые спецификации для сплавов Mo-W и миниатюрных молибденовых стержней (диаметр < 1 мм), а также поддержку методов испытаний на месте, таких как анализ трещин SEM в режиме реального времени.

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Rods Introduction

1. Overview of Molybdenum Rods

Molybdenum rods are high-performance metal materials made from high-purity molybdenum powder through pressing, sintering, forging, and drawing processes. They possess excellent high-temperature performance, thermal conductivity, and chemical stability. These rods are widely used in advanced technological fields such as metallurgy, electronics, glass, aerospace, and nuclear energy, making them one of the key functional materials in modern industrial high-temperature environments.

2. Main Application Fields of Molybdenum Rods

- Heating elements and support rods for high-temperature electric furnaces
- Diffusion tubes and wafer carriers in the semiconductor industry
- Electrodes and targets for vacuum coating equipment
- High-temperature components in nuclear reactors and aircraft engines
- Electrode rods and heat-resistant fixtures in the glass industry
- Medical devices and X-ray targets
- High-temperature experimental materials and components in scientific research

3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)

Category	Description	Typical Applications
High-Purity Moly Rods	Purity $\geq 99.95\%$, extremely low impurity levels	Electronics, semiconductors, research equipment
Industrial-Grade Rods	Purity around 99.90%, cost-effective	Electric heating, glass, metallurgical equipment
Doped Moly Rods	Doped with La, Ti, Zr, etc., for enhanced performance	High-temperature structural parts, TZM alloy applications

4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD

Item	Value Range
Density	$> 10.0 \text{ g/cm}^3$
Hardness (HV30)	160 – 250 HV
Tensile Strength (Rm/MPa)	$\geq 590 \text{ MPa}$
Yield Strength (Rp0.2/MPa)	$\geq 490 \text{ MPa}$
Elongation after fracture (A/%)	10–25%
Diameter Range	$\Phi 1 \text{ mm} - \Phi 200 \text{ mm}$, Customizable
Length Range	10 mm – 2000 mm, Customizable

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

8.1.2 Стандарты ISO

Стандарты ISO обеспечивают общую спецификацию для международной торговли и применения молибденовых стержней, уделяя особое внимание отслеживаемости материала и глобальной согласованности. Несмотря на то, что ISO еще не разработала специальный стандарт для молибденовых стержней, связанные с ним стандарты широко используются при эксплуатационных испытаниях молибденовых стержней. Например, в стандарте ISO 6892-1:2019 указан метод испытаний металлов на растяжение, требующий скорости испытания 0,5–5 мм/мин, что подходит для оценки прочности на разрыв и удлинения молибденовых стержней; Стандарт ISO 6506-1:2014 регламентирует испытание на твердость по Бринеллю и применим к оценке твердости молибденовых стержней (HB 200–300). Стандарты ISO требуют, чтобы производители предоставляли отчеты об анализе химического состава, чтобы гарантировать, что уровни примесей (например, $O < 0,005\%$) соответствуют требованиям, а также обеспечить международную сопоставимость результатов с помощью стандартизированных процедур испытаний.

Внедрение стандартов ISO проверяется сторонними органами сертификации (например, SGS, TÜV) и включает в себя химический анализ, механические испытания и проверку качества поверхности. Стандарт подчеркивает меры контроля окружающей среды во время производства, такие как вакуум или инертная атмосфера (точка росы $< -40^{\circ}\text{C}$), для предотвращения окисления и загрязнения. К факторам, влияющим на внедрение стандартов ISO, относятся квалификация испытательных лабораторий (например, сертификация ISO/IEC 17025), стандартизация методов тестирования и международная гармонизация. Технологический прогресс включает в себя взаимное признание стандартов ISO с ASTM и GB/T, упрощение процесса трансграничной сертификации; Платформа цифровой сертификации повышает эффективность за счет онлайн-подачи данных и аудита. Кроме того, стандарты ИСО постепенно включают экологические требования, такие как сокращение выбросов выхлопных газов ($\text{SO}_2 < 10 \text{ ppm}$), чтобы помочь производителям оптимизировать свои процессы.

8.2 Отечественные стандарты на молибденовые стержни

Являясь крупнейшим в мире производителем молибденовой продукции, Китай разработал ряд отечественных стандартов, охватывающих производство, тестирование и применение молибденовых стержней. Эти стандарты включают в себя национальные стандарты (GB/T) и отраслевые стандарты, чтобы обеспечить удовлетворение потребностей внутреннего рынка и поддержку международного сотрудничества.

8.2.1 Стандарт GB/T (GB/T 3462 и т.д.)

Стандарт GB/T является основной спецификацией для производства и применения молибденового стержня в Китае, а GB/T 3462-2017 является основным стандартом для молибденового стержня и молибденового стержня, который устанавливает технические требования к молибденовому стержню высокой чистоты и легированному молибденовому стержню. Стандарт требует, чтобы содержание молибдена $\geq 99,95\%$, а примеси контролировались на $\text{Fe} < 0,01\%$, $\text{C} < 0,005\%$ и $\text{O} < 0,003\%$ для обеспечения

высокотемпературных характеристик. Механические свойства проверяются на прочность на разрыв (600–800 МПа для молибденовых стержней высокой чистоты и 900–1100 МПа для стержней TZM), предел текучести и удлинение (10–20% для молибденовых стержней высокой чистоты), которые необходимо проводить при комнатной температуре или высокой температуре (800–1200°C) в соответствии с GB/T 228.1-2021. Состояние поверхности делится на черный стержень ($Ra < 3,2$ мкм), полировальный стержень ($Ra < 0,8$ мкм) и чистящий стержень, а допуск на размеры требует отклонения диаметра $\pm 0,05$ мм и отклонения по длине ± 1 мм, что подходит для прецизионной обработки.

Стандарт GB/T также включает вспомогательные спецификации, такие как GB/T 2039-2012 (испытание на ползучесть, 1200–1800 °C), GB/T 13303-1991 (испытание на окисление, 600–1200 °C) и GB/T 7314-2017 (испытание на сжатие), чтобы предоставить рекомендации по оценке производительности. Производители обязаны проверять соответствие с помощью химического анализа (ICP-MS, точность 0,001%), неразрушающего контроля (ультразвук, 5 МГц) и микроструктурных наблюдений (размер зерна 10–50 мкм). Преимущество стандарта GB/T заключается в том, что он адаптируется к промышленной системе Китая, обладает высокой совместимостью со стандартами ASTM и легко экспортируется. К факторам, влияющим на внедрение стандарта, относятся точность оборудования (например, разрешение нагрузки гидравлической испытательной машины 0,01 кН), контроль испытательной среды (например, уровень вакуума $< 10^{-3}$ Па) и уровень управления качеством на предприятии. Технические достижения включают в себя пересмотр стандарта GB/T, добавление спецификаций для Mo-La и миниатюрных молибденовых стержней (диаметр < 1 мм); Автоматизированные системы контроля, такие как лазерные штангенциркули с точностью до 0,01 мм, повышают эффективность выполнения.

8.2.2 Отраслевые стандарты и стандарты предприятий

Отраслевые стандарты формулируются Китайской ассоциацией промышленности цветных металлов или техническими комитетами, а также выдвигаются подробные требования для конкретных сценариев применения. Например, YS/T 495-2005 (отраслевой стандарт для цветных металлов) предусматривает коррозионную стойкость молибденовых стержней в стекловаренных печах, требующих скорости окисления $< 0,2$ мг/см²·ч в высокотемпературных расплавленных солях; Стандарты полупроводниковой промышленности могут требовать шероховатости поверхности $Ra < 0,4$ мкм. Эти стандарты дополняют стандарты GB/T и охватывают технические детали в стекольной промышленности, аэрокосмической и других областях.

Корпоративные стандарты устанавливаются крупными производителями и зачастую строже национальных. Например, корпоративный стандарт может требовать содержания молибдена $\geq 99,97\%$ и допуска на размеры $\pm 0,02$ мм для удовлетворения потребностей клиентов высокого класса. Стандарт компании также включает в себя внутренние процессы контроля качества, такие как просеивание сырья (примеси $< 0,005\%$), оптимизация процесса спекания (плотность $>$ теоретической плотности 99%) и спецификации обработки поверхности ($Ra < 0,4$ мкм). К факторам, влияющим на внедрение стандарта, относятся рыночный спрос,

технические возможности и требования клиентов. Технический прогресс включает в себя состыковку стандартов предприятия с международными стандартами, упрощение экспортной сертификации; Цифровая система менеджмента качества повышает эффективность внедрения стандартов за счет сбора данных в режиме реального времени (частота 1 кГц).

8.3 Сертификация и соответствие молибденовых стержней

Сертификация и соответствие требованиям являются ключевой частью обеспечения качества и безопасности молибденовых стержней, включая процесс сертификации материалов и соблюдение требований к охране окружающей среды и безопасности, чтобы гарантировать, что продукция соответствует отечественным и зарубежным стандартам, а также законам и правилам.

8.3.1 Процесс сертификации материалов

Процесс квалификации материалов используется для проверки соответствия молибденовых стержней требованиям стандарта, что обеспечивает их надежность в аэрокосмической, электронной и других областях. Сертификация проводится сторонней организацией (например, SGS, TÜV) или национальной сертификационной лабораторией (например, Китайским национальным центром контроля и контроля качества цветных металлов) и включает в себя испытания химического состава, механических свойств, качества поверхности и точности размеров. Процесс включает в себя: производитель сдает образцы и производственные записи (в том числе партии сырья, параметры процесса, данные контроля качества); Химический анализ (например, ICP-MS, обнаружение Fe, C, O, точность 0,001%), механические испытания (например, на растяжение, скорость 0,5–5 мм/мин), неразрушающий контроль (например, ультразвуковой, 5 МГц) и измерение размеров (лазерный штангенциркуль, точность 0,01 мм); Наконец, выдается отчет о сертификации, подтверждающий соответствие стандартам ASTM B387, GB/T 3462 или стандартам заказчика.

Сертификация необходима для обеспечения репрезентативности образца и повторяемости испытаний. Факторы, влияющие на результаты, включают качество подготовки образцов (например, полированный Ra <0,8 мкм), точность устройства и институциональную квалификацию. Технологический прогресс включает в себя разработку онлайн-системы сертификации, выгрузку данных испытаний в режиме реального времени, сокращение цикла сертификации; Применение технологии блокчейн обеспечивает отслеживаемость данных и защиту от несанкционированного доступа.

8.3.2 Соблюдение экологических норм и техники безопасности

Соблюдение экологических норм и правил безопасности требует, чтобы производство молибденовых прутков соответствовало экологическим нормам и нормам безопасности для снижения воздействия на окружающую среду и организм человека. Соблюдение экологических норм включает в себя очистку отходящих газов, сточных вод и твердых отходов в производственном процессе. Например, выбросы SO₂ (<10 ppm) необходимо

контролировать в процессе обжига, а сточные воды (рН 6–9) должны быть нейтрализованы перед сбросом в соответствии с Законом об охране окружающей среды и GB 25466-2010 (стандарт сброса промышленных загрязняющих веществ цветных металлов). Соблюдение требований безопасности требует оснащения производственного оборудования защитными устройствами (например, системами взрывозащиты для высокотемпературных печей) и обучения операторов технике безопасности.

К факторам, влияющим на соблюдение нормативных требований, относятся производственные процессы, технологии обработки отходов и нормативная сила. Технологические достижения включают в себя применение экологически чистых производственных технологий, таких как мокрая очистка для снижения выбросов выхлопных газов; Интеллектуальная система мониторинга отслеживает выбросы и параметры безопасности в режиме реального времени с помощью датчиков (частота 1 кГц). Кроме того, внедрение системы экологического менеджмента ISO 14001 помогает компаниям оптимизировать процессы compliance.

8.4 Сравнение стандартов и анализ сценариев применения молибденового стержня

Сравнительный анализ отечественных и зарубежных стандартов помогает производителям выбрать подходящие стандарты для удовлетворения потребностей различных сценариев применения. ASTM B387 и GB/T 3462 отличаются высокой стабильностью с точки зрения химического состава (содержание молибдена $\geq 99,95\%$), механических свойств (прочность на разрыв 600–1100 МПа) и допусков по размерам ($\pm 0,05$ мм), но ASTM B387 больше ориентирован на международное применение и охватывает больше легированных молибденовых стержней (таких как Mo-W), в то время как GB/T 3462 больше подходит для китайской промышленной системы и подчеркивает экономическую эффективность. Стандарты ISO, такие как ISO 6892-1, сосредоточены на стандартизации методов испытаний и подходят для трансграничной сертификации, но не имеют конкретных спецификаций для молибденовых стержней.

Применимые сценарии анализируются следующим образом:

Аэрокосмическая промышленность: ASTM B387 больше подходит для высокотемпературных конструкций и компонентов силовых установок благодаря своим строгим требованиям к высокотемпературным характеристикам (скорость ползучести $< 10^{-5}$ /ч, 1500°C) и точности размеров ($\pm 0,02$ мм).

Электроника и полупроводники: ASTM B387 и GB/T 3462 применимы и требуют высокой чистоты ($\geq 99,97\%$) и чистоты поверхности ($Ra < 0,4$ мкм), ISO 6892-1 для проверки испытаний на растяжение.

Стекольная промышленность: GB/T 3462 более распространен, потому что он подходит для плавления электродов благодаря своим антикоррозионным требованиям (скорость окисления $< 0,2$ мг/см²·ч) и более низкой стоимости.

Новые области (e.g. 3D печать): больше подходит ASTM B387, поддерживающий новые молибденовые сплавы и микростержни ($<$ диаметр 1 мм).

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

К факторам, влияющим на выбор стандартов, относятся среда применения, требования заказчика и стоимость. Технический прогресс включает в себя создание механизма взаимного признания стандартов для сокращения дублирования сертификаций; Разработка базы данных цифрового стандарта облегчает быстрый поиск и сравнение.



Стержни из черного молибдена CTIA GROUP LTD

Глава 9 Обработка, использование и обслуживание молибденовых стержней

Молибденовые стержни широко используются в аэрокосмической, электронной, стекольной промышленности и других требовательных областях благодаря высокой температуре плавления, отличным механическим свойствам и химической стабильности. Его обработка, использование и обслуживание связаны со сложными технологиями и процессами, которые напрямую влияют на его производительность и срок службы. В этой главе подробно обсуждаются технология обработки, экологические требования, методы установки и крепления, процедуры технического обслуживания и очистки, а также технические характеристики безопасной эксплуатации молибденовых стержней. Благодаря научным технологиям обработки, разумному дизайну окружающей среды, стандартизированной установке и обслуживанию, а также строгой безопасности эксплуатации, производительность молибденового стержня может быть максимальной, срок службы может быть увеличен, а безопасность работы может быть обеспечена. Эти материалы содержат исчерпывающие технические рекомендации для производителей и пользователей по надежному использованию молибденовых стержней в различных сложных условиях.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

9.1 Технология обработки молибденового прутка

Технология обработки молибденовых стержней является ключом к тому, чтобы они соответствовали потребностям конкретных областей применения, включая такие процессы, как резка, механическая обработка, сварка и соединение. Эти процессы проводятся на высокоточном оборудовании и условия обработки жестко контролируются, чтобы избежать повреждения материала или ухудшения производительности.

9.1.1 Резка (резка проволокой, лазерная резка)

Резка является первым процессом в обработке молибденовых стержней и используется для обработки стержней нужной длины или формы. Электроэрозионная обработка проволокой — это широко используемый метод резки, при котором используются высокочастотные электрические искры для получения локализованного высокотемпературного расплавленного материала на поверхности молибденового стержня и точного разрезания металлических проволок, таких как медная или молибденовая проволока. Электроэрозионная обработка подходит для обработки молибденовых прутков сложной формы или малого диаметра с высокой точностью (допуск $\pm 0,01$ мм) и гладкой поверхностью ($Ra < 1,6$ мкм). Деионизированная вода используется в качестве охлаждающей среды в процессе обработки, чтобы избежать высокотемпературного окисления, и оборудование должно быть оснащено высокоточной системой ЧПУ для управления траекторией резки.

Лазерная резка является еще одним высокоэффективным методом, в котором используется высокоэнергетический лазерный луч, такой как YAG или CO₂ лазеры, для плавления или испарения поверхности молибденовых стержней, что делает его пригодным для быстрой резки больших или толстостенных молибденовых стержней. Лазерная резка имеет преимущество бесконтактности и высокой скорости, но при этом может создаваться зона термического влияния (ЗТВ) в зоне реза, которую необходимо устранять путем последующей полировки. Процесс резки осуществляется под защитой инертного газа, такого как азот или аргон, для предотвращения окисления.

Факторы, влияющие на качество реза, включают скорость резки, состояние поверхности заготовки и условия охлаждения. Слишком высокая скорость резки может привести к образованию трещин или шероховатых поверхностей, поэтому поверхностный оксидный слой необходимо удалить заранее для повышения точности. Технологические достижения включают применение технологии сверхбыстрой лазерной резки для уменьшения зоны термического влияния; Автоматизированная система резки повышает стабильность обработки за счет мониторинга траектории резки в режиме реального времени.

9.1.2 Механическая обработка (токарная, фрезерная, сверлильная)

Механическая обработка используется для дальнейшей отделки молибденовых стержней в соответствии со сложными требованиями к форме и размерам, включая токарную обработку, фрезерование и сверление. При токарной обработке используется токарный станок с ЧПУ для обработки молибденовых стержней с точным диаметром или определенной геометрией, с использованием твердосплавных инструментов, таких как WC-Co, чтобы справиться с

высокой твердостью молибдена. Обработка должна выполняться на низких скоростях и с большими подачами СОЖ (например, эмульсией на водной основе) для снижения температуры резания и предотвращения износа инструмента и повреждения поверхности заготовки. Шероховатость поверхности после точения может достигать $Ra < 0,8 \text{ мкм}$, что делает его пригодным для применения в электронике и аэрокосмической промышленности.

Фрезерование используется для обработки плоскостей, канавок или сложных контуров молибденовых стержней с помощью фрезерных станков с ЧПУ и инструментов с алмазным покрытием для обеспечения высокой точности и качества поверхности. Вибрации необходимо контролировать в процессе фрезерования, чтобы избежать образования микротрещин. Сверление используется для обработки сквозных отверстий или глухих отверстий на молибденовых стержнях и часто используется для изготовления электродов или разъемов, требующих использования сверл из быстрорежущей стали или твердосплавных сверл, а также с высокоточными приспособлениями для обеспечения точности положения отверстия.

Факторы, влияющие на качество обработки, включают материал инструмента, режимы резания и то, как удерживается заготовка. Хрупкость молибдена требует низких скоростей резания, поэтому для поддержания точности обработки необходимо регулярно проверять износ инструмента. Технологические достижения включают применение технологий сверхточной обработки, таких как пятиосевые станки с ЧПУ, для улучшения способности обрабатывать сложные формы; Разработка технологии сухой резки для снижения загрязнения окружающей среды за счет охлаждения инертным газом.

9.1.3 Технология сварки и соединения

Методы сварки и соединения используются для соединения молибденовых стержней с другими компонентами или молибденовыми стержнями, обычно используемыми в высокотемпературных печах и электронном оборудовании. Электронно-лучевая сварка (EBW) является основным методом, при котором используется высокоэнергетический электронный пучок для плавления молибденовых стержней в вакуумной среде с образованием высокопрочного сварного шва. Вакуумная среда ($< 10^{-3} \text{ Па}$) предотвращает окисление, а качество сварного шва высокое, что делает его пригодным для аэрокосмических компонентов. Сварка вольфрамовым инертным газом (TIG) также широко используется для сварки молибденовых стержней с использованием аргоновой или гелиевой защиты, подходящей для невакуумных сред, но температуру сварки необходимо контролировать, чтобы избежать роста зерен.

Технология соединения также включает в себя механические соединения (например, резьбовые соединения, клепка) и пайку. Механическое соединение требует резьбы или отверстий на поверхности молибденового стержня, что требует высокоточной механической обработки для обеспечения прочности соединения. При пайке используются высокотемпературные присадочные металлы (например, сплавы на основе никеля или Ag), которые выполняются в вакууме или атмосфере водорода и подходят для соединения

молибденовых стержней с разнородными материалами (например, керамикой). Факторы, влияющие на качество сварных швов и соединений, включают контроль атмосферы, температуру сварного шва и конструкцию соединения. Следовые количества кислорода могут привести к окислению сварного шва, поэтому точка росы в атмосфере ($<-40^{\circ}\text{C}$) должна строго контролироваться.

Технологические достижения включают применение технологии лазерной сварки для точного контроля подвода тепла и уменьшения зоны термического влияния; Внедрение технологии ультразвукового контроля для контроля качества сварных швов в режиме реального времени. Кроме того, разработка нового металла для пайки улучшила прочность соединения между молибденовым стержнем и керамикой для удовлетворения потребностей высокотемпературных сложных компонентов.

9.2 Экологические требования к применению молибденовых стержней

Среда, в которой используются молибденовые стержни, оказывает значительное влияние на их производительность и срок службы, поэтому в соответствии со сценарием применения необходимо выбирать соответствующие атмосферные и защитные меры для обеспечения их стабильности в условиях высоких температур или коррозионных сред.

9.2.1 Вакуум и инертная атмосфера

Молибденовые стержни подвержены окислению при высоких температурах, поэтому они в основном используются в вакууме или инертной атмосфере (например, аргон, азот, водород) для предотвращения поверхностного окисления и ухудшения характеристик. Вакуумные среды ($<10^{-3}$ Па) широко используются в высокотемпературных печах, вакуумных трубках и полупроводниковом оборудовании и подходят для молибденовых стержней в качестве нагревательных элементов или электродов. Вакуумные системы должны быть оснащены высокоэффективными насосными агрегатами (например, турбомолекулярными насосами) для поддержания низкого давления и предотвращения окисления следовыми количествами кислорода. В инертной атмосфере используется газ высокой чистоты (чистота $\geq 99,999\%$), который поддерживает однородную атмосферу за счет системы циркуляции газа для предотвращения локального окисления.

Факторы, влияющие на эффективность использования, включают чистоту атмосферы, герметичность и контроль температуры. Следовые количества влаги (точка росы $>-40^{\circ}\text{C}$) могут вызвать окисление поверхности молибденового стержня и должны быть удалены с помощью системы сушки. К технологическим достижениям относятся разработка систем сверхвысокого вакуума ($<10^{-6}$ Па) для повышения стабильности молибденовых стержней в экстремальных условиях; Технология онлайн-мониторинга атмосферы использует анализатор спектра для определения уровней кислорода и влажности в режиме реального времени с целью оптимизации контроля окружающей среды.

9.2.2 Защита от воздействия окружающей среды методом высокотемпературного окисления

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

В высокотемпературных окислительных средах, таких как воздух или кислородная атмосфера, молибденовые стержни склонны к образованию летучих оксидов (MoO_3), что приводит к потере массы. Поэтому необходимо наносить антиоксидантное покрытие (например, MoSi_2 , SiC) или использовать защитную атмосферу. Покрытия MoSi_2 наносятся методом химического осаждения из газовой фазы (CVD) или плазменного напыления с образованием плотного защитного слоя, эффективно предотвращающего окисление при температуре 1200–1600°C. Покрытие должно быть однородным и без трещин, толщиной от десятков до сотен микрон, чтобы сбалансировать защиту и стоимость.

Защитные меры также включают конструкцию газонепроницаемого корпуса печи в сочетании с продувкой инертным газом для снижения воздействия кислорода. К факторам, влияющим на эффективность защиты, относятся качество покрытия, рабочая температура и атмосфера окружающей среды. Дефекты покрытия могут стать причиной локального окисления, для которого требуется ультразвуковой контроль для проверки качества. Технологические достижения включают применение технологии нанопокровтий, которая улучшает компактность и адгезию покрытия; Оборудование для динамических испытаний на окисление оптимизирует решения по защите, контролируя скорость окисления в режиме реального времени.

9.3 Монтаж и крепление молибденовых стержней

Установка и фиксация молибденового стержня напрямую влияют на его производительность и срок службы, и это необходимо для обеспечения стабильности с помощью научных технологий и дизайна, особенно в условиях высоких температур и сложных нагрузок.

9.3.1 Процесс установки и конструкция приспособления

Молибденовые стержни должны быть установлены для обеспечения их геометрической стабильности и равномерной силы в высокотемпературных средах, которые обычно встречаются в высокотемпературных печах и электродах. Процессы установки включают зажим, подвешивание и вложение. При зажиме используются высокотемпературные зажимы (например, из молибденовых сплавов или керамики) для приложения равномерного давления через болты или пружины, чтобы избежать локальных концентраций напряжений. Подвес фиксируется с помощью молибденовой проволоки или молибденового крючка для подвешивания стержня, подходящего для нагревательных элементов, и необходимо обеспечить прочность точки подвеса. Вложенные и неподвижные молибденовые стержни встраиваются в огнеупорные пазы, подходящие для стекловаренных электродов, где вырезы должны быть точно обработаны в соответствии с размером стержня.

При проектировании приспособлений учитываются высокотемпературная прочность и коррозионная стойкость, а в производстве приспособлений часто используются такие материалы, как сплавы TZM или глиноземистая керамика. Поверхность приспособления должна быть отполирована ($R_a < 1,6$ мкм) для уменьшения повреждений от трения с молибденовым стержнем. Факторы, влияющие на эффект установки, включают материал приспособления, усилие крепления и точность установки. Чрезмерное усилие крепления

может привести к деформации молибденовых стержней, и конструкцию необходимо оптимизировать с помощью механического моделирования. К технологическим достижениям относятся разработка автоматизированного монтажного оборудования для точного контроля положения приспособлений с помощью роботов; Модульная конструкция приспособления повышает эффективность и гибкость установки.

9.3.2 Согласованная конструкция с тепловым расширением

Молибденовый стержень имеет низкий коэффициент теплового расширения (около $5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$), что может вызывать термическое напряжение с другими материалами (такими как керамика и сталь) при высоких температурах, поэтому его необходимо проектировать с учетом согласования теплового расширения. Расчет включает в себя выбор соединительных материалов с аналогичными коэффициентами теплового расширения (например, сплавы Мо-Ла и глиноземная керамика) или поглощение разностей тепловых расширений с помощью гибких соединений (например, пружинных зажимов). Расширительный зазор (обычно 0,1–0,5 мм) должен быть зарезервирован для установки, чтобы избежать деформации при выдавливании при высоких температурах.

Факторы, влияющие на согласование теплового расширения, включают выбор материала, температурный градиент и тип соединения. Чрезмерный градиент температуры может привести к концентрации напряжений, и конструкцию необходимо оптимизировать с помощью моделирования теплового поля. Технологические достижения включают применение методов анализа методом конечных элементов (МКЭ) для прогнозирования распределения тепловых напряжений; Разработка композитных приспособлений для балансировки требований к тепловому расширению и прочности.

9.4 Обслуживание и чистка молибденовых стержней

Техническое обслуживание и очистка молибденовых стержней является ключом к продлению срока их службы и поддержанию производительности, включая очистку поверхности и регулярные проверки для обеспечения их надежности в суровых условиях.

9.4.1 Методы очистки поверхностей

Очистка поверхности применяется для удаления оксидов, масел и загрязнений с поверхности молибденовых стержней и восстановления их свойств. Ультразвуковая очистка является распространенным методом, при котором используются высокочастотные вибрации (20–40 кГц) для создания пузырьков в деионизированной воде или нейтральные чистящие жидкости для удаления поверхностных загрязнений. Температура моющего раствора контролируется на уровне 40–60 °C, чтобы избежать коррозии молибденового стержня. При травлении используется раствор разбавленной кислоты (например, 10% азотной кислоты или 5% соляной кислоты) для удаления оксидного слоя, который осуществляется в вытяжном шкафу и оснащен системой очистки отработанных жидкостей в соответствии с экологическими требованиями.

Механическая полировка удаляет стойкие оксиды с помощью наждачной бумаги или

полировальной пасты (размер частиц 1–5 мкм) и подходит для точечной очистки. После очистки его необходимо высушить азотом высокой чистоты, чтобы предотвратить вторичное загрязнение. К факторам, влияющим на эффективность чистки, относятся состав чистящей жидкости, время и состояние поверхности. Чрезмерное время травления может привести к коррозии поверхности, которую необходимо точно контролировать. К технологическим достижениям можно отнести применение технологии «зеленой» очистки, использование экологически чистых чистящих средств (таких как лимонная кислота) для снижения загрязнения; Автоматизированное оборудование для очистки использует датчики для контроля pH моющего раствора (6–8) для повышения эффективности очистки.

9.4.2 Периодический осмотр и техническое обслуживание

Периодический осмотр и техническое обслуживание используются для контроля производительности и состояния молибденовых стержней и предотвращения выхода из строя. Контроль включает в себя наблюдение за качеством поверхности (с помощью оптического микроскопа, увеличение 50–100х), размерные измерения (лазерный штангенциркуль, точность 0,01 мм) и неразрушающий контроль (например, ультразвуковой, 5 МГц) для обнаружения трещин или внутренних дефектов. Техническое обслуживание включает в себя повторную полировку поверхности ($Ra < 0,8$ мкм), замену антиокислительного покрытия или ремонт механических повреждений.

Частота технического обслуживания определяется в зависимости от условий использования, высокотемпературная окислительная среда должна проверяться ежемесячно, а вакуумная среда может проверяться ежеквартально. Факторы, влияющие на эффективность технического обслуживания, включают частоту проверок, точность оборудования и эксплуатационные характеристики. Технологические достижения включают разработку системы онлайн-мониторинга для определения температуры поверхности и состояния окисления в режиме реального времени с помощью инфракрасных камер; Интеллектуальная платформа технического обслуживания прогнозирует циклы технического обслуживания на основе анализа данных и сокращает время простоя.

9.5 Требования к технике безопасности при эксплуатации молибденовых стержней

Безопасные методы эксплуатации молибденовых стержней обеспечивают личную безопасность и защиту оборудования во время обработки и использования, особенно в условиях высоких температур и работы с химическими веществами.

9.5.1 Меры предосторожности при работе при высоких температурах

Молибденовые стержни подпадают под строгие правила безопасности при работе при высоких температурах (например, в высокотемпературных печах, при сварке). Операторы обязаны носить защитную одежду, перчатки и маски для защиты от теплового излучения и брызг. Высокотемпературная печь должна быть оснащена системой автоматического отключения питания для предотвращения несчастных случаев, вызванных перегревом (> 1800 °C). Монтаж и разборка молибденового стержня должны производиться после охлаждения до комнатной температуры, чтобы избежать термических напряжений, ведущих

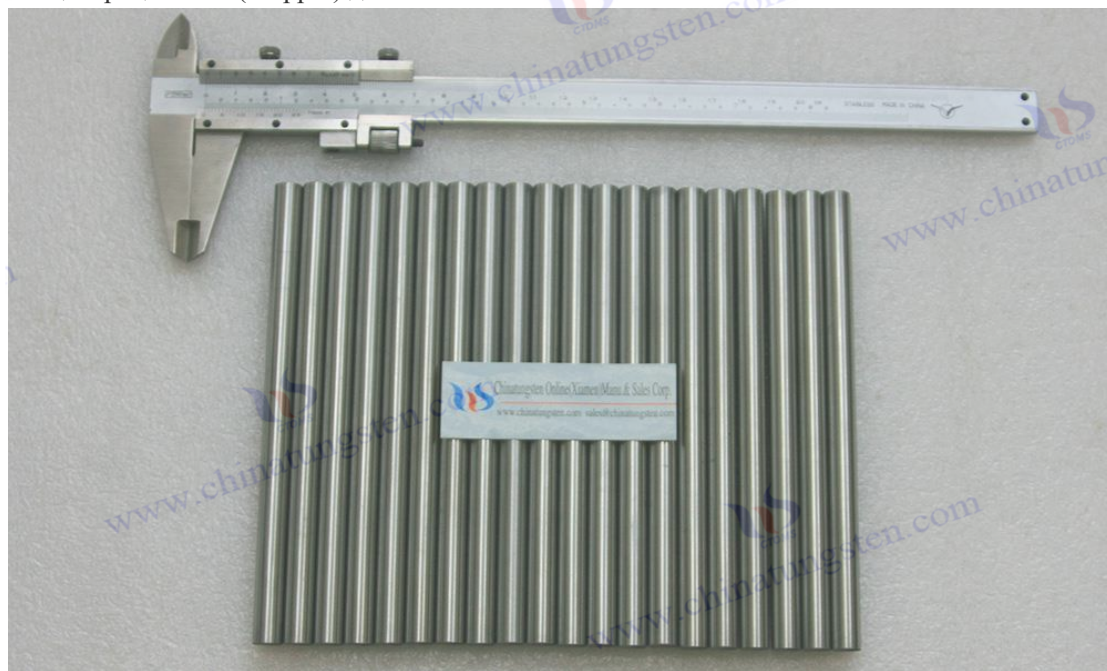
к разрушению.

Факторы, влияющие на безопасность работы при высоких температурах, включают герметичность оборудования, контроль температуры и обучение операторов. Плохая герметизация может привести к окислению из-за утечки кислорода, поэтому уровень вакуума ($<10^{-3}$ Па) необходимо регулярно проверять. Технологический прогресс включает в себя применение интеллектуальной системы контроля температуры для контроля температуры в печи в режиме реального времени (точность $\pm 1^{\circ}\text{C}$); Технология дистанционного управления снижает риск для персонала за счет выполнения огневых работ с помощью роботов.

9.5.2 Требования к технике безопасности при обращении с химическими веществами

Химическая обработка (например, травление, подготовка покрытия) осуществляется в соответствии со строгими правилами безопасности для предотвращения химических повреждений. Операция проводится в вытяжном шкафу, оснащённом устройством очистки выхлопных газов (например, адсорбция активированным углем) для поглощения кислых газов. Операторы обязаны носить кислотостойкие перчатки, защитные очки и респираторы для предотвращения контакта с кожей и вдыхания вредных газов. Раствор для травления следует хранить в специальной ёмкости с указанной концентрацией (например, 10% азотной кислоты) и регулярно проверять на герметичность.

Факторы, влияющие на безопасность химической обработки, включают хранение химических веществ, утилизацию отходов и передовые методы. Отработанная жидкость должна быть нейтрализована (pH 6–9) перед сбросом в соответствии со стандартом GB 25466-2010. Технологические достижения включают разработку автоматизированного химического технологического оборудования для сокращения контакта с человеком; Система мониторинга в режиме реального времени использует датчики для определения концентрации газа (<1 ppm) для повышения безопасности.



Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Глава 10 Переработка и устойчивое развитие молибденовых стержней

Поскольку молибденовый стержень является ценным огнеупорным металлическим материалом, производство и использование молибденового стержня оказывает важное влияние на ресурсы и окружающую среду. С глобальным акцентом на устойчивое развитие, переработка и «зеленое» производство молибденовых стержней стали ключевым направлением развития отрасли. В этой главе подробно рассматривается процесс переработки молибденовых стержней, воздействие на окружающую среду и улучшение экологичного производства, а также экономика замкнутого цикла и стратегии устойчивого развития. Благодаря эффективной технологии переработки, оптимизации процессов защиты окружающей среды и внедрению модели экономики замкнутого цикла, потребление ресурсов и загрязнение окружающей среды могут быть значительно снижены, а также может быть обеспечено устойчивое развитие индустрии молибденовых прутков. Они предоставляют технические рекомендации производителям, отвечая глобальным экологическим нормам и рыночному спросу на экологически чистые материалы.

10.1 Процесс переработки молибденовых стержней

Процесс переработки молибденовых стержней предназначен для извлечения молибдена высокой чистоты из отходов и повторного использования его в производстве, снижая зависимость от первичных минералов. Процесс переработки включает в себя сбор и сортировку отходов, а также технологии переработки и очистки для обеспечения эффективной переработки при сохранении качества молибдена.

10.1.1 Сбор и сортировка отходов

Сбор и сортировка лома — это первый этап переработки молибденовых стержней, который включает в себя восстановление лома молибденовых стержней, переработанной стружки и деталей с истекшим сроком службы от производства и использования. К источникам лома относятся отходы от производства молибденовых стержней (например, стружка от резки и токарной обработки), использованные вышедшие из строя молибденовые стержни (например, нагревательные элементы высокотемпературных печей, электроды для варки стекла) и утилизированные компоненты на основе молибдена (например, детали конструкций аэрокосмической отрасли). Для процесса сбора требуется надежная система переработки, обеспечивающая эффективный сбор отходов с завода, пользователей и станций переработки.

Сортировка проводится по форме, составу и степени загрязнения отходов. Твердые молибденовые стержни (например, отработанные электроды) различают молибден высокой чистоты и легированный молибден (например, TZM, Mo-La) путем визуального осмотра и химического анализа. Порошкообразный лом (например, стружка) просеивается и отделяется магнитом для удаления металлических примесей (например, железных опилок). Сильно загрязненные отходы (например, детали с окисленными поверхностями или детали, загрязненные маслом) необходимо предварительно очистить от оксидов или органических веществ. Сортировочное оборудование включает в себя вибрационные сита, магнитные сепараторы и оптические системы сортировки для обеспечения группировки отходов по типу

и чистоте.

К факторам, влияющим на эффективность сбора и сортировки отходов, относятся охват системой вторичной переработки, степень загрязнения отходов и точность сортировки. Сильно загрязненные отходы могут увеличить затраты на последующую очистку, и процесс предварительной обработки необходимо оптимизировать. Технологические достижения включают применение технологии автоматизированной сортировки для идентификации типов отходов с помощью машинного зрения и искусственного интеллекта для повышения эффективности сортировки; Внедрение технологии блокчейн обеспечивает прослеживаемость источников отходов и оптимизирует управление цепочками поставок.

10.1.2 Технологии переработки и очистки

Технология переработки и очистки используется для преобразования отсортированных отходов молибденовых стержней в молибденовый порошок высокой чистоты или многоразовые молибденовые стержни, что предполагает химическую очистку и металлургическую обработку. Химическая очистка осуществляется в основном с помощью гидрометаллургического процесса, при котором отходы растворяются в кислотных или щелочных растворах (таких как аммиак или азотная кислота) для извлечения молибдата или оксида молибдена. Раствор фильтруют и осаждают для удаления примесей (например, железа, меди). Впоследствии путем кристаллизации или обжига получают оксид молибдена высокой чистоты, который в атмосфере водорода восстанавливается до молибденового порошка (чистота $\geq 99,95\%$). Оборудование включает в себя реактор, фильтр и трубчатую восстановительную печь, а атмосферу (точка росы $< -40^{\circ}\text{C}$) необходимо строго контролировать, чтобы избежать окисления.

Металлургическая обработка применяется к твердым молибденовым стержням для удаления летучих примесей (таких как углерод, кислород) путем вакуумного плавления или электронно-лучевой плавки для получения молибденовых слитков высокой чистоты. Вакуумные плавильные печи должны поддерживать высокий уровень вакуума ($< 10^{-3}$ Па), чтобы процесс плавления не загрязнял окружающую среду. Очищенные молибденовые слитки могут быть переделаны в молибденовые стержни методом порошковой металлургии или термической обработки. К факторам, влияющим на результаты очистки, относятся начальная чистота лома, параметры процесса очистки и герметичность оборудования. Сильно загрязняющие отходы могут потребовать нескольких ступеней очистки для увеличения потребления энергии.

Технологический прогресс включает в себя разработку технологии «зеленой» очистки, такой как использование экологически чистых растворителей (лимонной кислоты) вместо сильных кислот для снижения загрязнения отходами жидкости; Применение технологии ионного обмена повышает эффективность удаления примесей. Кроме того, автоматизированная система очистки оптимизирует эффективность очистки и извлечение молибдена за счет мониторинга состава раствора и параметров атмосферы в режиме реального времени.

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Rods Introduction

1. Overview of Molybdenum Rods

Molybdenum rods are high-performance metal materials made from high-purity molybdenum powder through pressing, sintering, forging, and drawing processes. They possess excellent high-temperature performance, thermal conductivity, and chemical stability. These rods are widely used in advanced technological fields such as metallurgy, electronics, glass, aerospace, and nuclear energy, making them one of the key functional materials in modern industrial high-temperature environments.

2. Main Application Fields of Molybdenum Rods

- Heating elements and support rods for high-temperature electric furnaces
- Diffusion tubes and wafer carriers in the semiconductor industry
- Electrodes and targets for vacuum coating equipment
- High-temperature components in nuclear reactors and aircraft engines
- Electrode rods and heat-resistant fixtures in the glass industry
- Medical devices and X-ray targets
- High-temperature experimental materials and components in scientific research

3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)

Category	Description	Typical Applications
High-Purity Moly Rods	Purity $\geq 99.95\%$, extremely low impurity levels	Electronics, semiconductors, research equipment
Industrial-Grade Rods	Purity around 99.90%, cost-effective	Electric heating, glass, metallurgical equipment
Doped Moly Rods	Doped with La, Ti, Zr, etc., for enhanced performance	High-temperature structural parts, TZM alloy applications

4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD

Item	Value Range
Density	$> 10.0 \text{ g/cm}^3$
Hardness (HV30)	160 – 250 HV
Tensile Strength (Rm/MPa)	$\geq 590 \text{ MPa}$
Yield Strength (Rp0.2/MPa)	$\geq 490 \text{ MPa}$
Elongation after fracture (A/%)	10–25%
Diameter Range	$\Phi 1 \text{ mm} - \Phi 200 \text{ mm}$, Customizable
Length Range	10 mm – 2000 mm, Customizable

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com
Phone: +86 592 5129595; 592 5129696
Website: www.molybdenum.com.cn

10.2 Воздействие молибденовой катанки на окружающую среду и «зеленое» производство

Процесс производства молибденовых прутков сопряжен с высоким энергопотреблением и потенциальным загрязнением окружающей среды, а применение технологий «зеленого» производства позволяет значительно снизить воздействие на окружающую среду и достичь целей устойчивого развития.

10.2.1 Потребление энергии и выбросы в процессе производства

Производство молибденового прутка включает в себя очистку сырья, порошковую металлургию, термическую обработку и обработку поверхности, каждая из которых потребляет много энергии и генерирует выбросы. Очистка сырья (например, обжиг и восстановление) осуществляется при высоких температурах (600–1000 °C), что потребляет много электроэнергии и может выделять оксиды серы (например, SO₂) в процессе обжига. В процессе спекания в порошковой металлургии используются вакуумные печи или водородные печи, которым необходимо поддерживать высокие температуры (1500–1800 °C) и высокочистую атмосферу для увеличения энергопотребления. Горячая обработка (например, ковка, прокатка) требует многократного нагрева и потребляет много электроэнергии. При обработке поверхности (например, травлении) образуются кислотные отходы и выхлопные газы, которые необходимо правильно утилизировать в соответствии с экологическими нормами (например, GB 25466-2010).

Выбросы в основном включают выхлопные газы (например, SO₂, NO_x), сточные воды (содержащие кислоты или тяжелые металлы) и твердые отходы (например, шлак). Отходящие газы должны быть очищены с помощью влажной очистки или адсорбции активированным углем, сточные воды должны быть нейтрализованы (pH 6–9) перед сбросом, а твердые отходы должны быть отсортированы и переработаны или безопасно захоронены. К факторам, влияющим на воздействие на окружающую среду, относятся масштабы производства, эффективность оборудования и мощности по переработке отходов. К технологическим достижениям относятся применение систем мониторинга энергопотребления для регистрации данных о потреблении энергии и выбросах в режиме реального времени с помощью датчиков; При разработке технологии рекуперации отходящего тепла используется отходящее тепло высокотемпературной печи для предварительного нагрева сырья и снижения энергопотребления.

10.2.2 Совершенствование процессов охраны окружающей среды

Усовершенствование экологических процессов направлено на снижение энергопотребления и выбросов при производстве молибденовых стержней, а также на повышение эффективности использования ресурсов. Усовершенствования включают оптимизацию процесса обжига, замену традиционных вращающихся печей на жаровни с кипящим слоем, повышение тепловой эффективности и сокращение выбросов SO₂ за счет циркуляционных газовых потоков. В процессе сокращения используются экологически чистые восстановители, такие как водород, полученный из биомассы, для замены традиционного ископаемого топлива и сокращения углеродного следа. В процессе спекания используется

индукционная нагревательная печь средней частоты для точного контроля температуры ($\pm 1^{\circ}\text{C}$), сокращения времени нагрева и снижения энергопотребления.

Что касается обработки отходов, то система рециркуляции сточных вод восстанавливает кислоту и воду с помощью ионного обмена и технологии обратного осмоса для сокращения выбросов. При очистке выхлопных газов используются высокоэффективные катализаторы, такие как технология SCR, для преобразования NOx в безвредные газы. Твердые отходы перерабатываются путем высокотемпературной плавки для уменьшения количества молибдена на свалках. Факторы, влияющие на эффективность улучшений, включают инвестиции в оборудование, стабильность процесса и зрелость технологий. Технологические достижения включают применение интеллектуальных систем управления для оптимизации параметров процесса и снижения энергопотребления с помощью искусственного интеллекта; Внедрение «зеленых» систем сертификации, таких как ISO 14001, направляет предприятия на достижение экологически чистого производства.

10.3 Экономика замкнутого цикла и стратегия устойчивого развития молибденового стержня

Экономика замкнутого цикла и стратегия устойчивого развития способствуют «зеленому» развитию индустрии молибденовых прутков и снижают зависимость от первичных ресурсов за счет переработки ресурсов и промышленной синергии.

Модель экономики замкнутого цикла подчеркивает управление полным жизненным циклом молибденовых стержней, от производства до переработки. Отходы молибденовых стержней перерабатываются, очищаются и повторно вводятся в производственную цепочку для изготовления новых молибденовых стержней или продуктов на основе молибдена, сокращая добычу молибденита. Модель замкнутого цикла включает в себя создание сети переработки отходов, работу с пользователями и станциями переработки для обеспечения эффективного сбора отходов; Оптимизировать процесс очистки для улучшения коэффициента извлечения (целевой > 95%); Разработка технологий восстановления для переработки переработанного молибдена в продукты с высокой добавленной стоимостью, такие как мишени для распыления или порошки для 3D-печати.

Стратегии устойчивого развития включают в себя сохранение ресурсов, экологичность и социальную ответственность. Ресурсосбережение: сокращение отходов сырья за счет эффективных производственных процессов, таких как изотермическая ковка; Экологичность: сокращение выбросов за счет зеленых технологий и переработки отходов; Социальная ответственность включает в себя повышение экологической осведомленности сотрудников и поддержку проектов по устойчивому развитию сообщества. К факторам, влияющим на внедрение экономики замкнутого цикла, относятся полнота систем переработки, стоимость технологий и рыночный спрос. Технологические достижения включают применение технологии цифровых двойников для оптимизации процессов переработки и производства с помощью виртуальных моделей; Технология блокчейн обеспечивает прозрачность в цепочке переработки. Кроме того, политическая поддержка, такая как Закон Китая о содействии

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

экономике замкнутого цикла, создает стимулы для индустрии молибденовых прутков для содействия устойчивому развитию.



Молибденовые стержни CTIA GROUP LTD

Глава 11 Новейшие технологии и будущие тенденции в области молибденовых стержней

Будучи высокоэффективным тугоплавким металлическим материалом, молибденовый стержень постоянно расширяется в аэрокосмической, электронной, новой энергетике и других областях, а его технологические исследования и разработки, а также промышленная модернизация способствуют развитию отрасли в более эффективном, зеленом и интеллектуальном направлении. В этой главе подробно обсуждается прогресс в исследованиях и разработках сплавов на основе молибдена, разработка наноструктурированных молибденовых стержней, интеллектуальные технологии производства и тестирования, потенциал молибденовых стержней в области новой энергетике, а также будущие направления исследований и задачи. Отражая последние достижения в технологии молибденовых стержней, это содержимое разработано для того, чтобы предоставить производителям, исследователям и пользователям технические знания, которые помогут отрасли опережать глобальную конкуренцию, решая проблемы устойчивого развития и технологических инноваций.

11.1 Ход научных исследований и разработок сплавов на основе молибдена

Сплавы на основе молибдена значительно улучшают высокотемпературные характеристики, сопротивление ползучести и коррозионную стойкость молибденовых стержней за счет оптимизации их состава и микроструктуры, удовлетворяя потребности требовательных приложений, таких как аэрокосмическая и атомная промышленность. Исследования и разработки сосредоточены на оптимизации сплавов TZM и Mo-La, а также на новых

технологиях легирования.

11.1.1 Оптимизация сплавов TZM и Mo-La

Сплав TZM (титан-цирконий-молибден) значительно улучшает прочность, сопротивление ползучести и высокую температурную стабильность молибдена за счет добавления небольшого количества титана, циркония и углерода и широко используется в высокотемпературных печах, аэрокосмических конструкционных деталях и других областях. Последние исследования и разработки еще больше оптимизируют свойства сплавов TZM за счет точного контроля соотношений легирующих элементов и процессов термообработки. Например, изотермическая ковка и технологии управляемого охлаждения используются для уточнения размера зерна и повышения термоусталостной прочности. В процессе термической обработки атмосфера и градиент температуры точно контролируются для снижения окисления границ зерен и улучшения долговременной стабильности сплава при высоких температурах.

Сплавы Mo-La (молибден-лантан) легированы оксидом лантана (La_2O_3) для повышения стойкости к ползучести и окислению, что делает их особенно подходящими для электродов для плавления стекла и высокотемпературных нагревательных элементов. Прогресс в области исследований и разработок включает в себя оптимизацию распределения и размера частиц оксида лантана, а также равномерное распределение оксидных частиц в молибденовой матрице с помощью технологии жидкофазного легирования и высокотемпературного спекания с целью повышения прочности межфазного соединения. Также совершенствуется технология антиокислительных покрытий сплавов Mo-La, например, нанесение покрытий MoSi_2 методом химического осаждения из газовой фазы (CVD) для повышения их долговечности в окислительных средах.

Факторы, влияющие на оптимизацию сплавов TZM и Mo-La, включают однородность легирования, процесс термообработки и стоимость производства. Неравномерное легирование может привести к нестабильной работе и должно быть устранено с помощью высокоточного смесительного оборудования. Технологические достижения включают применение технологии синхротронного излучения и анализ распределения легированных элементов в режиме реального времени; В новой печи для термообработки используется индукционный нагрев для улучшения однородности температуры и оптимизации свойств сплава.

11.1.2 Новые технологии допинга

Новая технология легирования еще больше улучшает комплексные свойства молибденовых стержней за счет введения редкоземельных элементов (таких как церий и иттрий) или других металлических элементов (таких как вольфрам и рений). Легирование редкоземельными элементами повышает сопротивление молибдена ползучести и высокотемпературную прочность за счет образования наноразмерных оксидных частиц, что делает его пригодным для ядерных реакторов и высокотемпературных сверхпроводящих приложений. Например, сплавы Mo-Se значительно повышают радиационную стойкость за счет добавления оксида

церия. Легирование вольфрамом или рением повышает твердость и коррозионную стойкость молибденовых стержней за счет упрочнения раствора, который подходит для компонентов аэрокосмических силовых установок.

Процесс легирования должен быть реализован с помощью порошковой металлургии или технологии плавки, а жидкофазное легирование и плазменное легирование стали новыми методами, которые могут обеспечить равномерное распределение на нанометровом уровне. Факторы, влияющие на эффективность легирования, включают выбор легирующей примеси, размер частиц и управление процессом. Технологические достижения включают разработку технологии нанолегирования для получения ультрадисперсных легированных частиц путем шарового фрезерования или осаждения из паровой фазы; Аналитические методы in-situ, такие как рентгеновская дифракция, контролируют процесс легирования в режиме реального времени и улучшают стабильность. Кроме того, применение зеленых легирующих примесей (таких как восстановители на биологической основе) снижает загрязнение окружающей среды.

11.2 Разработка наноструктурированных молибденовых стержней

Наноструктурированные молибденовые стержни значительно повышают прочность, ударную вязкость и коррозионную стойкость за счет контроля микроструктуры до наноразмера (размер зерна < 100 нм), что подходит для таких передовых областей, как микроэлектроника и 3D-печать. Процесс разработки включает в себя технологии получения нанопорошка, спекания и формования. Наномолибденовый порошок готовится путем высокоэнергетического шарового измельчения или осаждения из паровой фазы, а размер частиц точно контролируется для обеспечения однородности. При спекании используется технология искрового плазменного спекания (SPS) для достижения высокой плотности формования при высокой температуре и высоком давлении ($1500\text{--}1800$ °C, $50\text{--}100$ МПа) за короткий промежуток времени, сохраняя при этом наноструктуру.

Задача наноструктурированных молибденовых стержней заключается в поддержании стабильности нанокристаллов, которые легко выращиваются при высоких температурах и должны быть подавлены легированием или покрытием. Легирование оксидом лантана или оксидом иттрия может пригвоздить границы зерен и предотвратить рост зерна; Покрытия SiC или Al_2O_3 повышают коррозионную стойкость поверхности. К факторам, влияющим на результаты разработки, относятся качество порошка, параметры спекания и контроль затрат. Технологические достижения включают применение технологии сверхбыстрого лазерного спекания, которая точно контролирует скорость нагрева и снижает рост зерна; Микроскопия синхротронного излучения используется для анализа эволюции наноструктур. Кроме того, технология 3D-печати наноструктурированных молибденовых стержней реализует прямое формование сложных форм с помощью лазерного осаждения из расплава.

11.3 Интеллектуальное производство и испытательная техника

Благодаря автоматизации, анализу данных и искусственному интеллекту, интеллектуальные технологии производства и контроля значительно повысили эффективность, качество и отслеживаемость производства молибденовых стержней, адаптируясь к тенденции развития

Индустрии 4.0.

11.3.1 Онлайн-мониторинг и анализ больших данных

Поточная система мониторинга использует датчики для регистрации ключевых параметров производственного процесса, таких как температура, давление, размер и состав атмосферы, в режиме реального времени для оптимизации процесса и контроля качества. Например, инфракрасный термометр в печи спекания (точность ± 1 °C) отслеживает распределение температуры в режиме реального времени, лазерный штангенциркуль (точность $\pm 0,01$ мм) определяет размер молибденовых стержней, а инфракрасный спектрометр анализирует содержание кислорода и влаги в атмосфере (точка росы < -40 °C). Аналитика больших данных собирает огромные объемы производственных данных для выявления аномалий в процессах и оптимизации настроек параметров. Например, анализируя взаимосвязь между температурой спекания и плотностью, можно сократить время спекания и снизить энергопотребление.

Факторы, влияющие на эффективность онлайн-мониторинга, включают точность датчиков, частоту сбора данных и системную интеграцию. Технологические достижения включают применение технологии Интернета вещей (IoT) для обеспечения взаимодействия устройств и обмена данными; Облачная платформа прогнозирует отказы оборудования с помощью алгоритмов больших данных и сокращает время простоя. Кроме того, технология цифровых двойников моделирует производственный процесс с помощью виртуальной модели для оптимизации параметров процесса.

11.3.2 Применение искусственного интеллекта в производстве молибденовых стержней

Искусственный интеллект (ИИ) используется в производстве молибденовых стержней для оптимизации процессов, прогнозирования качества и диагностики неисправностей. Алгоритмы машинного обучения анализируют исторические данные для оптимизации параметров порошковой металлургии и термической обработки. Например, нейросетевая модель предсказывает плотность и размер зерна молибденового стержня в процессе спекания, определяя температуру и давление. ИИ также используется в распознавании изображений для обнаружения микроскопических дефектов, таких как пористость или включения, путем анализа изображений микроскопа (увеличение 50–100 раз). Система диагностики неисправностей анализирует данные датчиков с помощью искусственного интеллекта, чтобы прогнозировать износ или отказ оборудования и заранее планировать техническое обслуживание.

Факторы, влияющие на эффективность приложений ИИ, включают качество данных, точность алгоритмов и вычислительную мощность. Технологические достижения включают применение генеративно-сопоставительных сетей (GAN) для моделирования эволюции микроструктуры молибденовых стержней; Внедрение технологии периферийных вычислений позволяет обрабатывать данные в режиме реального времени на производственной площадке для сокращения задержек. Кроме того, искусственный интеллект сочетается с блокчейном для обеспечения безопасности и прослеживаемости производственных данных.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

CTIA GROUP LTD
Molybdenum Rods Introduction

1. Overview of Molybdenum Rods

Molybdenum rods are high-performance metal materials made from high-purity molybdenum powder through pressing, sintering, forging, and drawing processes. They possess excellent high-temperature performance, thermal conductivity, and chemical stability. These rods are widely used in advanced technological fields such as metallurgy, electronics, glass, aerospace, and nuclear energy, making them one of the key functional materials in modern industrial high-temperature environments.

2. Main Application Fields of Molybdenum Rods

- Heating elements and support rods for high-temperature electric furnaces
- Diffusion tubes and wafer carriers in the semiconductor industry
- Electrodes and targets for vacuum coating equipment
- High-temperature components in nuclear reactors and aircraft engines
- Electrode rods and heat-resistant fixtures in the glass industry
- Medical devices and X-ray targets
- High-temperature experimental materials and components in scientific research

3. Classification of Molybdenum Rods (by purity)

Category	Description	Typical Applications
High-Purity Moly Rods	Purity $\geq 99.95\%$, extremely low impurity levels	Electronics, semiconductors, research equipment
Industrial-Grade Rods	Purity around 99.90%, cost-effective	Electric heating, glass, metallurgical equipment
Doped Moly Rods	Doped with La, Ti, Zr, etc., for enhanced performance	High-temperature structural parts, TZM alloy applications

4. Typical Specifications of Molybdenum Rods from CTIA GROUP LTD

Item	Value Range
Density	$> 10.0 \text{ g/cm}^3$
Hardness (HV30)	160 – 250 HV
Tensile Strength (Rm/MPa)	$\geq 590 \text{ MPa}$
Yield Strength (Rp0.2/MPa)	$\geq 490 \text{ MPa}$
Elongation after fracture (A/%)	10–25%
Diameter Range	$\Phi 1 \text{ mm} - \Phi 200 \text{ mm}$, Customizable
Length Range	10 mm – 2000 mm, Customizable

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com
Phone: +86 592 5129595; 592 5129696
Website: www.molybdenum.com.cn

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

11.4 Потенциал молибденовых стержней в области новой энергетики

Потенциал применения молибденового стержня в области новой энергетики продолжает появляться, особенно в области водородной энергетики, хранения энергии и высокотемпературной сверхпроводимости, демонстрируя уникальные преимущества благодаря своим высокотемпературным характеристикам и химической стабильности.

11.4.1 Применение водородной энергии и аккумуляирования энергии

Молибденовые стержни используются в области водородной энергетики для электродов и высокотемпературных компонентов оборудования для производства водорода для электролиза воды из-за их отличной проводимости и коррозионной стойкости. В качестве материала электрода стержень из сплава Mo-La может стабильно работать в высокотемпературном щелочном электролите и продлевать срок службы электрода. В области хранения энергии молибденовые стержни используются в электродах или токосъемниках высокотемпературных жидкометаллических аккумуляторов, которые подвергаются воздействию высоких температур ($>600^{\circ}\text{C}$) и агрессивных сред. Производство требует прецизионной механической обработки и нанесения покрытий на поверхность (например, MoSi_2) для повышения коррозионной стойкости.

Факторы, влияющие на эффективность применения, включают состояние поверхности электрода, состав электролита и рабочую температуру. Технологические достижения включают применение технологии нанопокровов для повышения каталитической эффективности электродов; Разработка технологии аддитивного производства для получения электродов на основе молибдена сложной формы. Кроме того, применение молибденовых стержней в твердотельных батареях показало потенциал для улучшения электропроводности за счет легирования.

11.4.2 Высокотемпературная подкладка из сверхпроводящего материала

Молибденовые стержни используются в области высокотемпературной сверхпроводимости для опорных конструкций или электродов, а также используются в сверхпроводящих магнитах и оборудовании для передачи энергии. Стержни из сплава TZM или Mo-W стабильны в жидкой азотной или гелиевой среде (от -196°C до -269°C) благодаря своей высокой прочности и низкому коэффициенту теплового расширения. Сверхпрецизионная механическая обработка необходима для обеспечения точности размеров ($\pm 0,01$ мм) и полировка поверхности ($R_a < 0,4$ мкм) для снижения сопротивления. Рабочая среда должна строго контролировать содержание кислорода и влаги, чтобы предотвратить загрязнение сверхпроводящими материалами.

Факторы, влияющие на эффективность применения, включают чистоту материала, точность обработки и низкотемпературные характеристики. Технологические достижения включают разработку сплавов Mo-Re для повышения ударной вязкости при низких температурах; Метод испытаний in-situ позволяет оценить характеристики молибденовых стержней с помощью испытания на растяжение при низких температурах. Кроме того, исследования по применению молибденовых стержней в термоядерных реакторах, таких как вспомогательные

компоненты устройств токамака, показывают долгосрочный потенциал.

11.5 Будущие направления исследований и проблемы молибденовых стержней

Будущие направления исследований молибденового стержня включают в себя следующие аспекты:

Разработка высокоэффективных сплавов: исследование и разработка новых сплавов на основе молибдена (таких как Mo-Re, Mo-Nb) для повышения радиационной стойкости и высокотемпературной прочности для удовлетворения потребностей атомной промышленности и аэрокосмической промышленности.

Применение нанотехнологий: Разработка стабильных наноструктурированных молибденовых стержней для изучения их применения в микроэлектронике и биомедицине, таких как нанозлектроды или имплантируемые сенсоры.

Технологии экологически чистого производства: Продвижение технологий очистки и переработки с низким энергопотреблением для сокращения выбросов отработанных газов и сточных вод в соответствии с целью достижения углеродной нейтральности.

Интеллектуальное производство: углубите применение искусственного интеллекта и технологии цифровых двойников в производстве, чтобы реализовать автоматизацию и оптимизацию всего процесса.

Новое расширение энергетики: исследуйте новые применения молибденовых стержней в ядерном синтезе, перовскитных солнечных элементах и высокопроизводительных накопителях энергии.

Основные проблемы включают в себя:

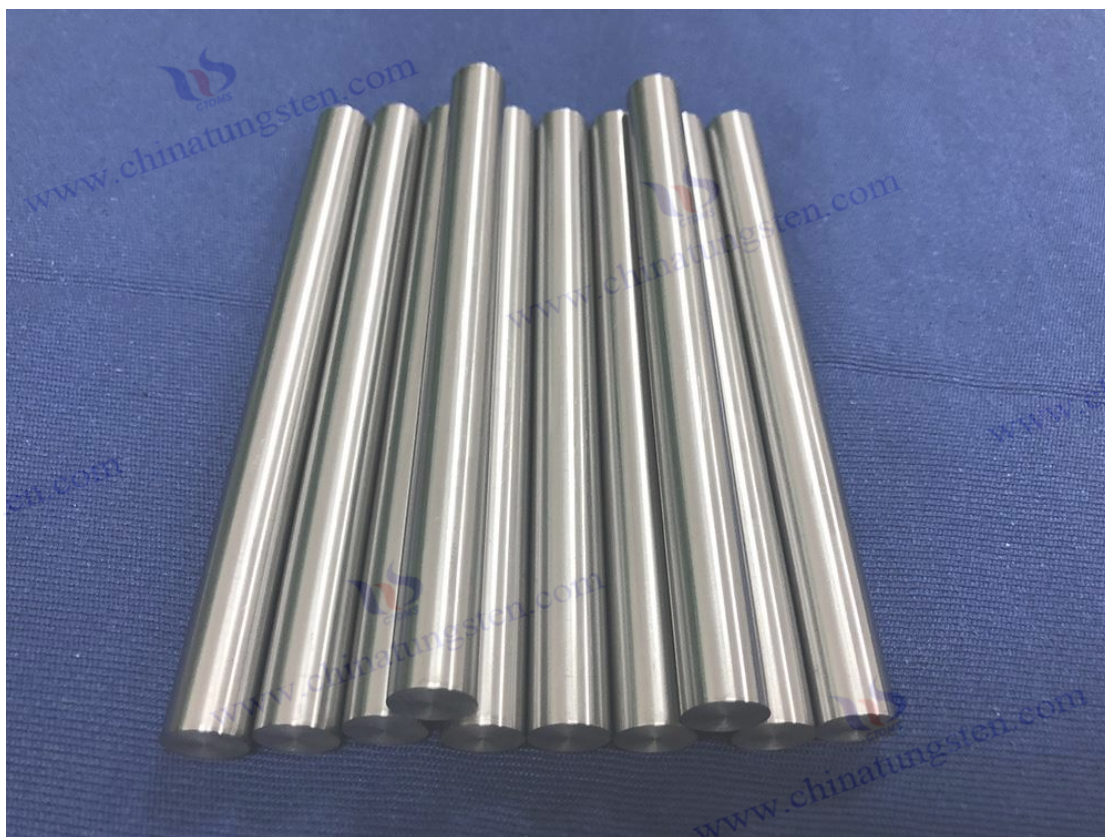
Контроль затрат: Стоимость новых легирующих и нанотехнологий высока, и процесс необходимо оптимизировать для снижения производственных затрат.

Давление на окружающую среду: Строгие экологические нормы требуют более эффективного управления отходами и управления энергией, а также увеличения инвестиций в технологии.

Техническая стабильность: Долгосрочная стабильность наноструктур и интеллектуальных технологий нуждается в дальнейшей проверке.

Рыночная конкуренция: молибденовые стержни должны конкурировать с альтернативными материалами, такими как вольфрам и ниобий, а соотношение производительности и цены должно быть улучшено.

Технологические достижения включают междисциплинарное сотрудничество для ускорения инноваций за счет конвергенции материаловедения, искусственного интеллекта и новых энергетических технологий; Увеличение числа проектов международного сотрудничества в целях содействия обмену технологиями и гармонизации стандартов.



Молибденовые стержни CTIA GROUP LTD

Приложение

А. Глоссарий

Молибденовый стержень: стержневой материал, изготовленный из молибдена высокой чистоты или молибденовых сплавов, обычно используемый в высокотемпературных или высокопроизводительных приложениях.

Сплав TZM: титан-цирконий-молибденовый сплав, обладающий отличной термостойкостью и сопротивлением ползучести.

Сплав Mo-La: Молибден-лантановый сплав для повышения стойкости к окислению и пластичности при высоких температурах.

Порошковая металлургия: процесс подготовки материалов путем прессования и спекания металлических порошков.

Спекание: процесс нагрева металлического порошка до температуры ниже точки плавления с образованием твердого материала.

Горячая обработка: процесс пластической деформации металла при высоких температурах.

Неразрушающий контроль (НК): метод обнаружения внутренних дефектов без повреждения структуры материала, такой как ультразвуковой контроль, рентгеновский контроль.

Антиокислительное покрытие: используется для защиты поверхностного покрытия молибденового стержня в высокотемпературной среде окисления.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Ползучесть: Явление, при котором материал медленно деформируется под воздействием высоких температур и постоянного напряжения.

Мишень для распыления: материал, используемый для получения тонких пленок методом физического осаждения из газовой фазы (PVD).

В. Ссылки

- [1] Китайский вольфрам, онлайн. Производство молибденовых прутков со стандартными техническими характеристиками.
- [2] GB/T 3462-2017. Национальный стандарт на молибденовый стержень и молибденовый стержень.
- [3] Журнал материаловедения и инженерии. Исследования по переработке молибденовых прутков и производству продукции в области охраны окружающей среды.
- [4] YS/T 495-2005. Методы химического анализа молибдена и молибденовых сплавов.
- [5] GB 25466-2010. Нормативы выбросов промышленных загрязняющих веществ цветных металлов.
- [6] GB/T 4188-2015. Пруток из молибденового сплава ТЗМ стандартный.
- [7] Журнал материаловедения и инженерии. Свойства и подготовка прутков из сплава на основе молибдена.
- [8] Отчет о развитии молибденовой промышленности. Китайская ассоциация промышленности цветных металлов.
- [9] Природные материалы. Высокоэффективные молибденовые сплавы для применения в энергетике.
- [10] Передовые материалы. ИИ в производстве материалов.
- [11] Возобновляемые источники энергии. Молибден в водороде и накопителях энергии.
- [12] Международная ассоциация молибдена (ИМОА). Переработка молибдена и устойчивое развитие.
- [13] ASTM B387-18. Стандартная спецификация на прутки, прутки и проволоку из молибдена и молибденового сплава.
- [14] ИСО 6892-1:2019. Металлические материалы – испытание на растяжение.
- [15] ASTM E8/E8M-21. Стандартные методы испытаний металлических материалов на растяжение.
- [16] ASTM E9-19. Стандартные методы испытаний металлических материалов на сжатие.
- [17] ASTM E290-14. Стандартные методы испытаний на изгиб материала на пластичность.
- [18] Международная молибденовая ассоциация (ИМОА). Тестирование и анализ молибдена.
- [19] Международная молибденовая ассоциация (ИМОА). Обзор мирового рынка молибдена.