

Энциклопедия молибденовой проволоки

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 Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire

Molybdenum wire is a high-performance metallic filament made from metal molybdenum through hot working, cold drawing, and surface treatment. It features an extremely high melting point, excellent electrical and thermal conductivity, good mechanical strength, and exceptional corrosion resistance. It serves as a core material in various high-temperature and precision application fields.

2. Applications of Molybdenum Wire (Typical)

Application Field	Specific Uses
Lighting Industry	Filament supports, lead wires, halogen lamp electrodes, fluorescent lamp electrodes, LED packaging brackets
Wire-Cut Machining	Electrode wire for EDM, used in mold making and cutting of complex metal parts
Thermal Spraying	Used for surface reinforcement and wear-resistant coatings on automotive, aerospace, and engineering components
Vacuum Coating	Used as evaporation sources and coating materials for optics, solar cells, and semiconductor devices

3. Types of Molybdenum Wire (Typical)

Classification	Type	Description
Surface Condition	Cleaned Molybdenum Wire	Cleaned surface, bright and smooth, suitable for high-precision processing, electronics, coating, and other demanding applications
	Black Molybdenum Wire	Graphite-coated surface, suitable for general industrial processing and cost-effective applications
Use-Based Category	Wire-Cut Molybdenum Wire	For EDM wire-cutting, features high strength, high precision, and excellent durability
	Thermal Spray Molybdenum Wire	Used in thermal spraying processes, requires high density and good melting properties
	Heating Molybdenum Wire	Used as a heating element in high-temperature furnaces, with excellent heat resistance

4. Specifications of Molybdenum Wire from CTIA GROUP LTD

Item	Specification
Purity	≥99.95%
Diameter Range	0.03 mm ~ 3.0 mm (customizable)
Length / Coil Weight	Custom cut lengths (e.g., 200 mm) or continuous winding (e.g., 500g/coil, 2kg/coil)
Diameter Tolerance	±0.002 mm ~ ±0.1 mm
Surface Condition	Cleaned / Black
Packaging Options	Spool, coil, vacuum packaging, customized packaging

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 молибденовой проволоки
- 1.2 История и развитие молибденовой проволоки
- 1.3 Значение молибденовой проволоки в современной промышленности
- 1.4 Текущее состояние исследований и применения молибденовой проволоки

Глава 2: Классификация молибденовой проволоки

- 2.1 Классификация по химическому составу
 - 2.1.1 Проволока из чистого молибдена
 - 2.1.2 Молибденово-лантановая проволока
 - 2.1.3 Проволока из молибдена и рения
 - 2.1.4 Проволока из других сплавов молибдена
- 2.2 Классификация по использованию
 - 2.2.1 Молибденовая проволока для электрического источника света
 - 2.2.2 Молибденовая проволока для резки проволоки
 - 2.2.3 Молибденовая проволока для напыления
 - 2.2.4 Молибденовая проволока для вакуумного нанесения покрытий
 - 2.2.5 Молибденовая проволока для нагревательных элементов
 - 2.2.6 Молибденовая проволока для компонентов высокотемпературных печей
 - 2.2.7 Молибденовая проволока для электронных компонентов
 - 2.2.8 Молибденовая проволока для медицинского и аэрокосмического применения
- 2.3 Классификация по состоянию поверхности
 - 2.3.1 Черная молибденовая проволока
 - 2.3.2 Очищенная молибденовая проволока
- 2.4 Классификация по методу обработки
 - 2.4.1 Горячетяннутая молибденовая проволока
 - 2.4.2 Холоднотянутая молибденовая проволока
 - 2.4.3 Прецизионная молибденовая проволока
- 2.5 Классификация по спецификациям
 - 2.5.1 Проволока ультратонкая молибденовая (диаметр $< 0,05$ мм)
 - 2.5.2 Стандартная тонкомоллибденовая проволока (0,05–0,3 мм)
 - 2.5.3 Среднегрубая молибденовая проволока (диаметр 0,3–1,0 мм)
 - 2.5.4 Проволока грубо-молибденовая (диаметр $> 1,0$ мм)

Глава 3: Характеристики молибденовой проволоки

- 3.1 Физические свойства молибденовой проволоки
 - 3.1.1 Температура плавления и кипения молибденовой проволоки
 - 3.1.2 Плотность молибденовой проволоки
 - 3.1.3 Коэффициент теплового расширения молибденовой проволоки
 - 3.1.4 Проводимость молибденовой проволоки
 - 3.1.5 Теплопроводность молибденовой проволоки

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

- 3.1.6 Твердость молибденовой проволоки по шкале Мооса
- 3.2 Химические свойства молибденовой проволоки
 - 3.2.1 Химическая стабильность молибденовой проволоки
 - 3.2.2 Коррозионная стойкость молибденовой проволоки
 - 3.2.3 Характеристики окисления молибденовой проволоки
 - 3.2.4 Валентность и химическая реакция молибденовой проволоки
- 3.3 Механические свойства молибденовой проволоки
 - 3.3.1 Прочность на разрыв молибденовой проволоки
 - 3.3.2 Пластичность молибденовой проволоки
 - 3.3.3 Ударная вязкость молибденовой проволоки
 - 3.3.4 Усталостные свойства молибденовой проволоки
- 3.4 Особые свойства молибденовой проволоки
 - 3.4.1 Высокотемпературные характеристики молибденовой проволоки
 - 3.4.2 Стойкость молибденовой проволоки к истиранию
 - 3.4.3 Немагнитные свойства молибденовой проволоки
- 3.5 CTIA GROUP LTD Молибденовая проволока MSDS

Глава 4: Подготовка и технология производства молибденовой проволоки

- 4.1 Подготовка сырья
 - 4.1.1 Обогащение и очистка молибденового концентрата
 - 4.1.2 Производство молибденового порошка
 - 4.1.3 Добавление легирующих элементов
- 4.2 Процесс порошковой металлургии
 - 4.2.1 Прессование и формование молибденового порошка
 - 4.2.2 Процесс спекания
 - 4.2.3 Подготовка заготовки
- 4.3 Волочение проволоки
 - 4.3.1 Технология волочения горячей проволокой
 - 4.3.2 Технология холодного волочения
 - 4.3.3 Розыгрыш с несколькими проходами
 - 4.3.4 Технология смазки и охлаждения
- 4.4 Обработка поверхности
 - 4.4.1 Процесс промывки каустической проволокой (очищенная молибденовая проволока)
 - 4.4.2 Процесс полировки
 - 4.4.3 Обработка покрытия
- 4.5 Термическая обработка и отжиг
 - 4.5.1 Параметры процесса отжига
 - 4.5.2 Оборудование для термообработки
- 4.6 Подготовка молибденовой проволоки из специального сплава
 - 4.6.1 Процесс легирования лантаномолибденовой проволокой
 - 4.6.2 Производство проволоки из молибден-ренийевого сплава
- 4.7 Оптимизация процессов и технологические инновации
 - 4.7.1 Технология автоматизированного производства

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

4.7.2 Охрана окружающей среды и энергосберегающие процессы

Глава 5: Использование молибденовой проволоки

- 5.1 Молибденовая проволока для электрического источника света
 - 5.1.1 Опорные провода и выводы при изготовлении лампочек
 - 5.1.2 Электродные материалы для галогенных и люминесцентных ламп
 - 5.1.3 Цоколь светодиодной лампы и соединительный материал
- 5.2 Молибденовая проволока для резки проволоки
 - 5.2.1 Проволочная проволока для электроэрозионных станков
 - 5.2.2 Резка цветных металлов, стали и твердого сплава
 - 5.2.3 Прецизионные формы и обработка сложных форм
- 5.3 Молибденовая проволока для напыления
 - 5.3.1 Износостойкие покрытия для автомобильных деталей
 - 5.3.2 Поверхностный ремонт и упрочнение механических деталей
 - 5.3.3 Термическое напыление компонентов авиационных двигателей
- 5.4 Молибденовая проволока для вакуумного нанесения покрытий
 - 5.4.1 Исходные материалы испарения при осаждении тонких пленок
 - 5.4.2 Оптические и декоративные покрытия
 - 5.4.3 Покрытия для полупроводников и солнечных батарей
- 5.5 Молибденовая проволока для нагревательных элементов
 - 5.5.1 Нагревательная проволока для высокотемпературной электропечи
 - 5.5.2 Нагревательные элементы в вакуумных печах и атмосферных печах
 - 5.5.3 Применение в оборудовании для термообработки
- 5.6 Молибденовая проволока для компонентов высокотемпературных печей
 - 5.6.1 Опорные и крепежные элементы высокотемпературных печей
 - 5.6.2 Выводы и защитные детали вакуумных печей
 - 5.6.3 Конструкционные материалы для печей для выращивания кристаллов
- 5.7 Молибденовая проволока для электронных компонентов
 - 5.7.1 Вакуумная электроника (трубки, рентгеновские трубки)
 - 5.7.2 Производство термопар и датчиков
 - 5.7.3 Соединительные материалы для микроэлектроники и интегральных схем
- 5.8 Молибденовая проволока для медицинского и аэрокосмического использования
 - 5.8.1 Высокотемпературные компоненты в медицинских устройствах (например, рентгеновские мишени)
 - 5.8.2 Высокотемпературные и коррозионностойкие конструкционные части космических аппаратов
 - 5.8.3 Минимально инвазивные хирургические инструменты и материалы для имплантатов

Глава 6: Оборудование для производства молибденовой проволоки

- 6.1 Оборудование для обработки сырья
 - 6.1.1 Оборудование для обогащения полезных ископаемых
 - 6.1.2 Оборудование для производства молибденового порошка
- 6.2 Оборудование для порошковой металлургии

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

- 6.2.1 Прессы
- 6.2.2 Печи для спекания
- 6.3 Оборудование для волочения проволоки
- 6.3.1 Волочильные машины
- 6.3.2 Пресс-формы и системы смазки
- 6.4 Оборудование для термообработки
- 6.4.1 Печи для отжига
- 6.4.2 Вакуумные печи
- 6.5 Оборудование для обработки поверхностей
- 6.5.1 Оборудование для мойки каптиков
- 6.5.2 Оборудование для полировки и нанесения покрытий
- 6.6 Оборудование для тестирования и контроля качества
- 6.6.1 Оборудование для вихретоковой дефектоскопии
- 6.6.2 Машины для испытаний на растяжение
- 6.6.3 Микроскопы и спектрометры
- 6.7 Автоматизация и интеллектуальное оборудование
- 6.7.1 Автоматическая производственная линия для волочения проволоки
- 6.7.2 Система онлайн-мониторинга

Глава 7: Стандарты молибденовой проволоки

- 7.1 Отечественный стандарт на молибденовую проволоку
- 7.1.1 GB/T 4182-2003 《钼丝》
- 7.1.2 GB/T 3462-2007
- 7.1.3 Другие соответствующие национальные стандарты
- 7.2 Международные стандарты на молибденовую проволоку
- 7.2.1 Стандарт ASTM B387 для прутков, прутков и проволоки из молибдена и молибденовых сплавов
- 7.2.2 Стандарты ИСО
- 7.2.3 Другие международные стандарты (например, JIS, DIN)
- 7.3 Промышленный стандарт молибденовой проволоки
- 7.3.1 Национальный технический комитет по стандартизации цветных металлов (TK243)
- 7.3.2 Внутренние стандарты
- 7.4 Сравнение и анализ стандартов молибденовой проволоки
- 7.4.1 Различия между отечественными и зарубежными стандартами
- 7.4.2 Применимость и ограничения стандартов

Глава 8: Методы обнаружения молибденовой проволоки

- 8.1 Испытание химического состава молибденовой проволоки
- 8.1.1 Спектральный анализ (ICP-MS, XRF)
- 8.1.2 Химическое титрование
- 8.2 Испытание физических свойств молибденовой проволоки
- 8.2.1 Испытание на прочность при растяжении
- 8.2.2 Испытание на удлинение

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

- 8.2.3 Испытание на твердость
- 8.3 Контроль качества поверхности молибденовой проволоки
 - 8.3.1 Микроскопическое наблюдение
 - 8.3.2 Вихретоковая дефектоскопия
 - 8.3.3 Испытание на шероховатость поверхности
- 8.4 Испытание размера молибденовой проволоки и допусков
 - 8.4.1 Лазерный штангенциркуль
 - 8.4.2 Микрометры и микроизмерения
- 8.5 Другие испытания молибденовой проволоки
 - 8.5.1 Испытание на устойчивость к высоким температурам
 - 8.5.2 Испытание на коррозионную стойкость
 - 8.5.3 Испытание электрических характеристик
- 8.6 Метод идентификации отходов молибденовой проволоки
 - 8.6.1 Испытание на горение
 - 8.6.2 Магнитное испытание
 - 8.6.3 Испытание на концентрированную азотную кислоту
 - 8.6.4 Проверка веса и эластичности

Глава 9: Рынок молибденовой проволоки и тенденции развития

- 9.1 Обзор мирового рынка молибденовой проволоки
 - 9.1.1 Основные страны-производители
 - 9.1.2 Рыночный спрос и предложение
- 9.2 Внутренний рынок молибденовой проволоки
 - 9.2.1 Основные производители (например, производство вольфрама в Китае)
 - 9.2.2 Доля рынка и конкурентная среда
- 9.3 Тенденция развития молибденовой проволоки
 - 9.3.1 Разработка новых материалов и процессов
 - 9.3.2 Интеллектуальное производство и технологии отслеживания качества
 - 9.3.3 Разработка новых проволок из молибденового сплава
 - 9.3.4 Разработка разлагаемых или альтернативных материалов
 - 9.3.5 Новые перспективы применения молибденовой проволоки в новой энергетике, 5G и медицине

Глава 10: Молибденовая проволока Окружающая среда и безопасность

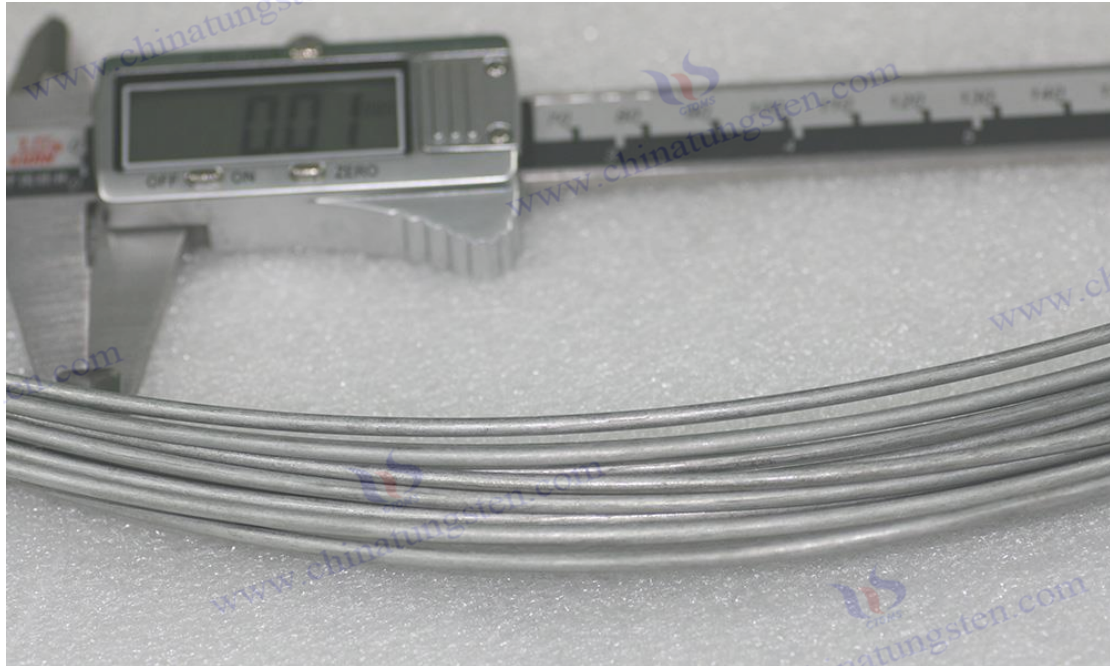
- 10.1 Воздействие производства молибденовой проволоки на окружающую среду
 - 10.1.1 Очистка отходящих газов и сточных вод
 - 10.1.2 Обращение с твердыми отходами
- 10.2 Технические требования по технике безопасности при производстве молибденовой проволоки
 - 10.2.1 Безопасность при работе при высоких температурах
 - 10.2.2 Безопасное использование химических веществ
- 10.3 Переработка и повторное использование отходов молибденовой проволоки
 - 10.3.1 Процесс переработки

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Приложение

А. Глоссарий терминов

В. Ссылки



1

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 1 Введение

1.1 Определение и обзор молибденовой проволоки

Молибденовая проволока представляет собой нитевидный материал, изготовленный из металла молибдена или его сплава путем порошковой металлургии, волочения проволоки, термообработки и других процессов, обычно диаметром от 0,03 мм до нескольких мм. Молибден (химический символ Mo, атомный номер 42) является переходным металлом с высокой температурой плавления с отличными физическими, химическими и механическими свойствами, такие как высокая прочность, высокая термостойкость, коррозионная стойкость и хорошая электро- и теплопроводность. Эти характеристики делают молибденовую проволоку незаменимой в различных отраслях промышленности. Молибденовую проволоку можно разделить на проволоку из чистого молибдена (чистота обычно $\geq 99,95\%$) и проволоку из молибденового сплава (например, проволоку из лантаново-молибденового сплава, проволоку из молибден-ренийевого сплава и т.д.), которую можно разделить на черную молибденовую проволоку (без щелочной промывки, поверхностный оксидный слой черно-серый) и очищенную молибденовую проволоку (после щелочной промывки или полировки поверхность становится серебристо-белой) по состоянию поверхности. Молибденовая проволока доступна в различных спецификациях, от ультратонкой молибденовой проволоки (диаметр $< 0,1$ мм) до грубой молибденовой проволоки (диаметр $> 1,0$ мм), чтобы удовлетворить потребности различных областей применения.

Процесс производства молибденовой проволоки сложен, включает в себя несколько процессов от очистки молибденового концентрата до волочения проволоки, а его суть заключается в контроле структуры зерна и качества поверхности для обеспечения стабильности производительности. Молибденовая проволока используется в широком спектре применений, включая электроэрозионную обработку, электрические источники света, вакуумные покрытия, компоненты высокотемпературных печей, производство электронных компонентов, а также медицинские и аэрокосмические приложения. Высокая температура плавления молибденовой проволоки (около 2623 °C) и низкий коэффициент теплового расширения делают ее превосходной при высоких температурах и экстремальных условиях, а ее хорошая проводимость и химическая стабильность делают ее важной позицией в прецизионной механической обработке и электронной промышленности. Кроме того, молибденовая проволока также является экологически чистой и пригодной для вторичной переработки, а отходы молибденовой проволоки могут быть повторно переработаны в процессе переработки, что соответствует требованиям современного зеленого производства.

1.2 История и развитие молибденовой проволоки

Молибден, как редкий металл, имеет историю открытия и применения, восходящую к концу 18 века. В 1778 году шведский химик Карл Вильгельм Шееле впервые выделил молибденовый элемент и назвал его «молибден», что происходит от греческого слова «молибдос», что означает «похожий на свинец», потому что его руда внешне похожа на свинцовую руду. В 1790 году другой шведский химик, Петер Якоб Хьельм, получил

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

металлический молибден путем восстановления молибденовой кислоты, что заложило основу для последующих применений. Однако из-за высокой температуры плавления и сложности обработки молибдена его применение было ограничено в первые дни и в основном использовалось для лабораторных исследований.

В конце 19-го и начале 20-го веков, с развитием металлургических технологий и спросом на высокотемпературные материалы, молибден начал проникать в промышленную сферу. В начале 1900-х годов был открыт молибден как легирующий элемент, позволяющий значительно повысить прочность и коррозионную стойкость стали, а молибденовую сталь стали использовать в производстве оружия и машиностроении. Развитие молибденовой проволоки тесно связано с развитием индустрии электрических источников света. В 1910 году Уильям М. Уильям Д. Кулидж разработал лампы с вольфрамовой нитью накаливания в компании General Electric в Соединенных Штатах, и молибденовая проволока использовалась в качестве опорной проволоки и свинцового материала для ламп из-за ее аналогичной устойчивости к высоким температурам и более низкой стоимости по сравнению с вольфрамом. С тех пор применение молибденовой проволоки постепенно распространилось и на другие области, такие как вакуумная электроника и высокотемпературные печи.

В середине 20-го века появление технологии электроэрозионной обработки еще больше способствовало развитию молибденовой проволоки. В 1950-х годах Китай начал изучать применение молибденовой проволоки в электроэрозионной обработке, и благодаря своей высокой прочности и устойчивости к дуговой эрозии молибденовая проволока стала идеальным материалом электродов для станков для резки проволоки. В 21 веке, с развитием нанотехнологий, прецизионного производства и аэрокосмической промышленности, процесс подготовки молибденовой проволоки постоянно оптимизируется, а разработка ультратонкой молибденовой проволоки и легированной молибденовой проволоки (такой как лантаново-молибденовая проволока и проволока из молибденно-ренийевого сплава) значительно улучшила ее характеристики. Например, издание Chinatungsten Online сообщило, что в последние годы технология производства молибденовой проволоки в Китае вышла на международный передовой уровень, и были сделаны прорывы в технологии волочения и легирования ультратонкой молибденовой проволоки (диаметр <0,02 мм) для удовлетворения потребностей микроэлектроники и медицины.

1.3 Значение молибденовой проволоки в современной промышленности

Молибденовая проволока занимает незаменимое место в современной промышленности благодаря своему уникальному сочетанию свойств. Прежде всего, высокая температура плавления молибденовой проволоки и отличная устойчивость к высоким температурам делают ее предпочтительным материалом для высокотемпературных сред. Например, в высокотемпературных вакуумных печах в качестве нагревательного элемента и опорного элемента используется молибденовая проволока, которая может стабильно работать в течение длительного времени при температурах выше 2000°C. Во-вторых, отличная проводимость и стойкость к дуговой эрозии молибденовой проволоки делают ее широко используемой в электроэрозионной обработке проволоки, которая может эффективно резать

материалы высокой твердости, такие как твердый сплав и титановый сплав, и широко используется в прецизионной обработке пресс-форм и деталей аэрокосмической отрасли. В Chinatungsten Online отметили, что на долю Китая, как крупнейшего в мире производителя молибденовой проволоки, приходится более 70% доли мирового рынка молибденовой проволоки для резки проволоки.

В области электрических источников света молибденовая проволока используется в качестве опорной проволоки и свинца для лампочек благодаря хорошей теплосовместимости со стеклом и устойчивости к высоким температурам, особенно в галогенных и люминесцентных лампах. Кроме того, молибденовая проволока также играет важную роль в области вакуумного нанесения покрытий и термического напыления. Например, молибденовая проволока может быть использована в качестве исходного материала для испарения для нанесения оптических и полупроводниковых пленок; При термическом напылении напыление молибденовой проволоки может значительно повысить износостойкость автомобильных поршневых колец и компонентов авиационных двигателей. Молибденовая проволока также используется в термopарах, рентгеновских трубках, микроэлектронных проводах при изготовлении электронных компонентов, где ее высокая чистота и низкое содержание примесей обеспечивают высокую надежность устройства.

В медицинской и аэрокосмической сферах нельзя игнорировать применение молибденовой проволоки. Высокая прочность и биосовместимость молибденовой проволоки позволяют использовать ее при изготовлении рентгеновских мишеней и малоинвазивных хирургических инструментов; Проволока из молибден-ренийевого сплава широко используется в высокотемпературных конструкционных деталях космических аппаратов благодаря своей превосходной коррозионной стойкости и высокотемпературной прочности. Кроме того, растет и применение молибденовой проволоки в области новой энергетики, например, в качестве электродных материалов и носителей катализаторов для солнечных батарей, что способствует развитию зеленой энергетики. Таким образом, универсальность и высокая производительность молибденовой проволоки делают ее основным материалом для современной промышленности, которая широко используется в стратегических отраслях, таких как машиностроение, электроника, энергетика, медицина и аэрокосмическая промышленность.

1.4 Современное состояние исследований и применения молибденовой проволоки

В настоящее время исследования и применение молибденовой проволоки находятся на стадии быстрого развития, и во всем мире было проведено большое количество исследований в области материаловедения, технологии процессов и областей применения молибденовой проволоки. В материаловедении исследования сосредоточены на повышении прочности, ударной вязкости и высокотемпературных свойств молибденовой проволоки. Например, молибденовая проволока, легированная редкоземельными элементами (например, лантаном, иттрием), значительно повышает температуру рекристаллизации и прочность на разрыв, что делает ее пригодной для более требовательных высокотемпературных сред. Разработка проволоки из молибден-ренийевого сплава еще больше расширяет возможности

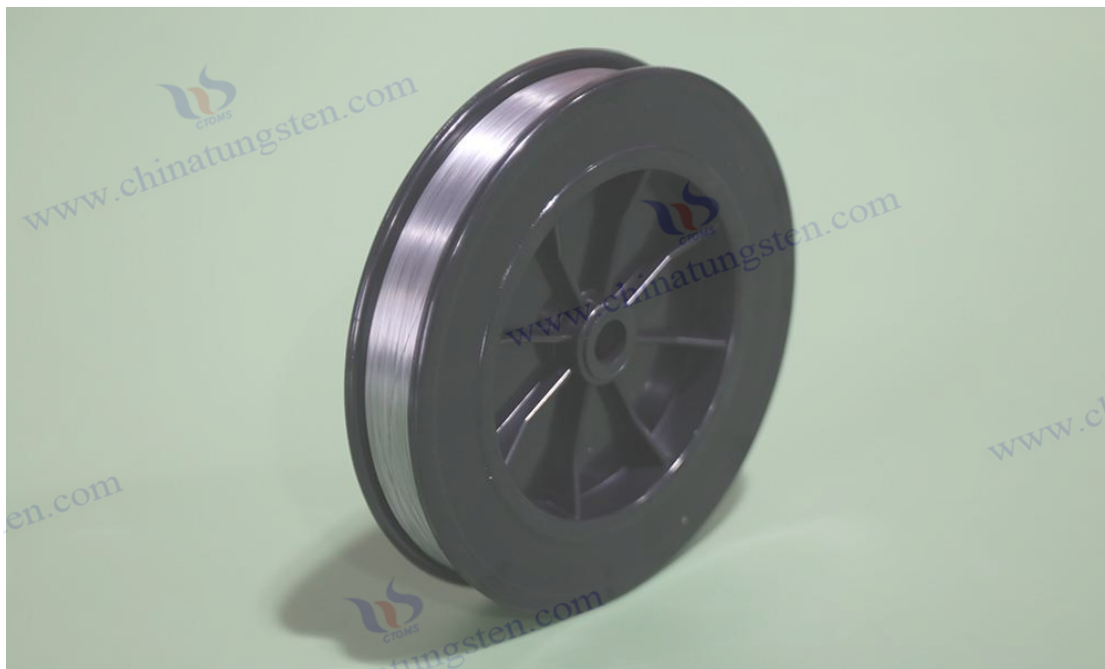
применения молибденовой проволоки в экстремальных условиях, таких как сопла космических кораблей и высокотемпературные датчики. Согласно исследованиям, китайские научно-исследовательские институты в последние годы совершили прорыв в технологии подготовки наноразмерной молибденовой проволоки, а прочность на разрыв ультратонкой молибденовой проволоки может достигать более 3000 МПа за счет контроля размера зерна и поверхностных дефектов, что близко к теоретическому пределу.

С точки зрения производственного процесса, технология подготовки молибденовой проволоки развилась от традиционной порошковой металлургии и процесса волочения проволоки до направления интеллекта и экологичности. Применение автоматической производственной линии волочения проволоки и системы онлайн-мониторинга повышает эффективность производства и стабильность качества продукции. В то же время внедрение экологически чистых процессов, таких как низкоэнергетическое спекание и рециркуляция сточных вод, снижает воздействие производства молибденовой проволоки на окружающую среду. Кроме того, технология переработки отходов молибденовой проволоки также стала горячей точкой исследований, а метод химического растворения и метод электролитического восстановления могут эффективно извлекать металлический молибден с коэффициентом восстановления более 90%.

С точки зрения областей применения, спрос на молибденовую проволоку в отраслях с высокой добавленной стоимостью продолжает расти. Спрос на высокоточную молибденовую проволоку в области электроэрозионной обработки проволоки привел к разработке ультратонкой молибденовой проволоки для удовлетворения требований микронной обработки. В области новой энергетики молибденовая проволока используется в качестве электродного материала для солнечных батарей и топливных элементов, со среднегодовым темпом роста более 10%. Спрос на проволоку из молибден-ренийевых сплавов в аэрокосмической отрасли также растет, особенно в двигателях с высокой тяговооруженностью и оборудовании для исследования дальнего космоса. Исследования в области медицины сосредоточены на применении молибденовой проволоки в биосенсорах и имплантируемых медицинских устройствах, используя преимущества ее биосовместимости и высокой прочности.

Тем не менее, промышленность молибденовой проволоки также сталкивается с проблемами, включая колебания цен на сырье, высокие производственные затраты и растущую конкуренцию на международном рынке. Будучи одной из основных стран в мире по запасам молибдена, Китай обладает уникальными преимуществами, но ему необходимо продолжать совершенствовать свои независимые возможности в области исследований и разработок высококачественной молибденовой проволоки, чтобы справиться с конкуренцией со стороны европейских и американских компаний (таких как Plansee и H.C. Starck). В дальнейшем направление исследований молибденовой проволоки будет сосредоточено на разработке наноматериалов, интеллектуального производства и многофункциональных композиционных материалов для удовлетворения потребностей развивающихся отраслей промышленности.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности



CTIA GROUP LTD Проволока молибденовая очищенная

Глава 2 Классификация молибденовой проволоки

2.1 Классификация по химическому составу

Химический состав молибденовой проволоки является основой для ее разницы в эксплуатационных характеристиках, и по типу и содержанию добавляемых элементов молибденовую проволоку можно разделить на чистую молибденовую проволоку и разновидность легированной молибденовой проволоки. Разница в химическом составе напрямую влияет на механические свойства, высокотемпературные характеристики и области применения молибденовой проволоки. Ниже приведено подробное ознакомление с составом, характеристиками и сценариями применения различных видов молибденовой проволоки.

2.1.1 Проволока из чистого молибдена

Чисто молибденовая проволока относится к молибденовой проволоке, изготовленной из молибдена высокой чистоты (чистота обычно составляет $\geq 99,95\%$) в качестве сырья, которая не содержит или содержит только следовые количества других элементов. Проволока из чистого молибдена имеет высокую температуру плавления (около 2623°C), хорошую электро- и теплопроводность, а также отличную коррозионную стойкость, что особенно подходит для использования в условиях высоких температур и вакуума. Его прочность на разрыв обычно составляет 800-1200 МПа, относительное удлинение составляет около 2-5%, структура зерна однородна, и он подходит для вытягивания в различные спецификации. Процесс производства чистой молибденовой проволоки относительно прост, в основном изготавливается методом порошковой металлургии и многопроходного волочения проволоки, а поверхность может быть черной молибденовой проволокой (со слоем оксида) или очищенной молибденовой проволокой (после щелочной промывки или полировки).

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Проволока из чистого молибдена широко используется в электрических источниках света, резке проволоки и производстве электронных компонентов. Например, в сфере электрических источников света в качестве опорного провода и вывода для колбы используется проволока из чистого молибдена, так как она хорошо согласуется с коэффициентом теплового расширения стекла и обеспечивает надежную герметизацию. В электроэрозионной обработке проволоки чистый молибден стал предпочтительной электродной проволокой для обработки мелких и средних деталей из-за ее высокой прочности и устойчивости к дуговой эрозии. Чистая молибденовая проволока составляет около 60% мирового рынка молибденовой проволоки благодаря своей низкой стоимости и стабильной работе. Однако проволока из чистого молибдена не подходит для применения при экстремально высоких температурах из-за низкой температуры рекристаллизации (около 1000-1200°C) и ее склонности к росту зерен в сверхвысокотемпературных средах, что приводит к снижению прочности.

2.1.2 Молибденово-лантановая проволока

Молибденовая проволока из лантана (Lanthanum molybdenum wire) изготавливается путем легирования небольшого количества оксида лантана (La_2O_3) в молибденовой матрице, обычно 0,3-1,0 мас.%. Добавление оксида лантана значительно повышало температуру рекристаллизации молибденовой проволоки (до 1500-1800°C), а также усиливало сопротивление ползучести и прочность на разрыв при высоких температурах (до более 1500 МПа). Молибденовая лантановая проволока имеет более мелкозернистую структуру, пластичность и ударную вязкость, чем чистая молибденовая проволока, и подходит для использования в условиях высоких температур и динамических нагрузок. Его поверхность обычно представляет собой очищенную молибденовую проволоку, которая тонко полируется для удовлетворения высоких требований точности.

Молибденовая проволока из лантана в основном используется в высокотемпературных печах и аэрокосмической отрасли. Например, в печах для выращивания монокристаллического кремния в качестве нагревательного элемента и опорного элемента используется молибденовая проволока из лантана, которая может работать при температуре выше 1700°C в течение длительного времени без деформации. В аэрокосмической отрасли молибденовая лантановая проволока используется при изготовлении высокотемпературных форсунок и защитных рукавов термпар. В последние годы Китай оптимизировал процесс легирования молибденовой лантановой проволоки и еще больше улучшил стойкость к окислению и механические свойства молибденовой проволоки за счет контроля распределения и размера частиц оксида лантана. Стоимость производства молибденовой лантановой проволоки выше, чем у чистой молибденовой проволоки, но ее превосходные высокотемпературные характеристики дают ей конкурентное преимущество в высокотехнологичных приложениях.

2.1.3 Молибденово-рениевая проволока

Молибден-рениевая проволока представляет собой легированную молибденовую проволоку, легированную элементами рения (Re) в молибденовую матрицу, а содержание рения обычно

составляет от 3 до 41 мас.%. Добавление рения значительно улучшает пластичность, ударную вязкость и коррозионную стойкость молибденовой проволоки, и в то же время снижает температуру хрупкого перехода, благодаря чему молибденовая рениевая проволока по-прежнему обладает хорошей обрабатываемостью при низких температурах. Его прочность на разрыв может достигать более 2000 МПа, температура рекристаллизации достигает 1800-2000 °С, а высокотемпературная стойкость к окислению лучше, чем у чистой молибденовой проволоки и молибденовой лантановой проволоки. Процесс производства молибденово-рениевой проволоки сложен, и ее необходимо спекать и тянуть в вакууме или инертной атмосфере, чтобы предотвратить испарение рения.

Молибденово-рениевая проволока в основном используется в аэрокосмической, медицинской и высокотемпературной промышленности. Например, в аэрокосмических двигателях молибденово-рениевая проволока используется для изготовления устойчивых к высоким температурам сопел и покрытий лопаток турбин; В медицинской сфере молибденово-рениевая проволока используется для рентгеновских мишеней и малоинвазивных хирургических инструментов благодаря своей биосовместимости и высокой прочности. Международный журнал материаловедения сообщает, что развитие молибден-рениевой проволоки способствовало прогрессу материалов из жаропрочных сплавов, но ее высокая стоимость (рений является редким драгоценным металлом) ограничивает ее применение в крупной промышленности. Китайские компании разработали проволоки с низким содержанием рения-молибдена (5-10 мас.%) с более экономичными сплавами за счет оптимизации соотношения сплавов, которые широко используются на медицинском и аэрокосмическом рынках.

2.1.4 Проволока из прочих сплавов молибдена

Помимо молибденово-лантановой проволоки и молибденово-рениевой проволоки, другие легированные молибденовые проволоки включают иттриево-молибденовую проволоку (Yttrium Molybdenum Wire), проволоку из кремнево-алюминиевого калий-молибденового сплава (Si-Al-K Molybdenum Wire) и т.д. Иттрий-молибденовая проволока легирована оксидом иттрия (Y_2O_3 , 0,2-0,8 мас.%) для повышения прочности на разрыв и стойкости к окислению молибденовой проволоки, которая подходит для высокотемпературных печей и электронных устройств. Проволока из сплава кремний-алюминий-калий-молибденовый сплав в основном используется в промышленности электрических источников света, где кремний, алюминий и калиевые элементы (общее содержание <1 мас.%) добавляются для повышения устойчивости к провисанию и устойчивости к высоким температурам, и обычно встречаются в поддерживающих нитях галогенных ламп и люминесцентных ламп. Кроме того, проволока из молибден-вольфрамового сплава (Mo-W) и проволока из молибденово-титанового сплава (Mo-Ti) также используются в специфических областях, таких как коррозионно-стойкое химическое оборудование и высокотемпературные конструкционные детали.

Эти проволоки из легированного молибдена были разработаны для конкретных потребностей применения с целью оптимизации производительности за счет точного контроля

соотношений и распределения легирующих элементов. Например, иттрий-молибденовая проволока превосходит молибденово-лантановую проволоку по измельчению зерна и подходит для производства ультратонкой молибденовой проволоки (диаметр $<0,05$ мм). При производстве молибденовой проволоки из других сплавов обычно используется порошковая металлургия в сочетании с технологией легирования, которая требует строгого контроля температуры спекания и процесса волочения, чтобы избежать элементарной сегрегации.

2.2 Классификация по использованию

Молибденовая проволока используется в широком спектре применений, включая электрические источники света, прецизионную обработку, высокотемпературные приложения, покрытия, электронику, медицинские и аэрокосмические приложения. В зависимости от области применения требования к составу, техническим характеристикам и обработке поверхности молибденовой проволоки варьируются. Ниже приведено подробное ознакомление с характеристиками и сценариями применения молибденовой проволоки для различных целей.

2.2.1 Молибденовая проволока для электрического источника света

Молибденовая проволока для электрического источника света в основном используется в производстве лампочек, таких как галогенные лампы, люминесцентные лампы и лампы накаливания, а также обычно используется чистая молибденовая проволока или проволока из кремниево-алюминиево-калиево-молибденового сплава. Его ключевой особенностью является соответствие коэффициента теплового расширения стекла (ок. $5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) для обеспечения надежности высокотемпературной герметизации; В то же время высокая температура плавления и стойкость к окислению молибденовой проволоки обеспечивают ее стабильность при рабочей температуре колбы ($500-1000^{\circ}\text{C}$). Типичная спецификация составляет 0,1-0,5 мм в диаметре, а поверхность в основном очищается молибденовой проволокой для уменьшения загрязнения примесями.

В галогенных лампах молибденовая проволока используется в качестве опоры и провода для вольфрамовой проволоки; В люминесцентных лампах молибденовая проволока действует как электродный вывод, который соединяет люминофорное покрытие с внешней цепью. Молибденовая проволока для электрического источника света должна пройти строгий процесс полировки поверхности и очистки, чтобы избежать следовых примесей, влияющих на срок службы лампы. В последние годы, с ростом популярности светодиодных ламп, применение молибденовой проволоки в основании светодиода и электродном соединении постепенно увеличивается из-за ее высокой проводимости и коррозионной стойкости.

2.2.2 Молибденовая проволока для резки проволоки

Молибденовая проволока для электроэрозионной обработки проволоки является материалом сердечника электроэрозионных станков с использованием проволочной электроэрозионной проволоки, в основном с использованием чистой молибденовой проволоки или молибденовой лантановой проволоки, обычно диаметром 0,1-0,3 мм. Высокая прочность на разрыв (800-1500 МПа) и устойчивость к дуговой эрозии позволяют молибденовой проволоке

выдерживать высокочастотные разряды и подходят для резки материалов высокой твердости, таких как твердый сплав, титановые сплавы и нержавеющая сталь. Молибденовая проволока для электроэрозионной обработки должна иметь одинаковые допуски по диаметру и гладкую поверхность для обеспечения точности обработки.

Согласно сообщениям, Китай является крупнейшим в мире производителем молибденовой проволоки, на долю которой приходится более 70% доли рынка, которая широко используется в производстве пресс-форм, аэрокосмических деталей и прецизионной механической обработке. Например, молибденовая проволока позволяет достичь точности 0,01 мм при микросверлении лопаток турбин для авиационных двигателей. Молибденовая лантановая проволока постепенно вытесняет чистую молибденовую проволоку для высокоскоростной резки проволоки из-за ее более высокой прочности и износостойкости.

2.2.3 Молибденовая проволока для напыления

Молибденовая проволока для напыления используется в процессе термического напыления, где расплавленная молибденовая проволока распыляется на поверхность подложки с помощью плазменного или газопламенного напыления для образования износостойкого и устойчивого к коррозии покрытия. Обычно используется проволока из чистого молибдена или молибденовая проволока из лантана, диаметр обычно составляет 1,0-3,2 мм, а поверхность в основном представляет собой черную молибденовую проволоку для легкого плавления. Молибденовые покрытия выпускаются с твердостью до HV 800-1000, значительно повышая износостойкость и срок службы подложек, и широко используются в автомобильных поршневых кольцах, компонентах авиационных двигателей и промышленных пресс-формах.

Молибденовая проволока для напыления должна иметь высокую чистоту и однородный химический состав для обеспечения качества покрытия. Напыление поверхностного оксидного слоя молибденовой проволоки может повысить эффективность напыления, но степень окисления необходимо контролировать, чтобы избежать дефектов покрытия. В последние годы спрос на молибденовую лантановую проволоку увеличился при высокотемпературном напылении из-за ее более высокой температуры плавления и стойкости к окислению.

2.2.4 Молибденовая проволока для вакуумного нанесения покрытий

Молибденовая проволока для вакуумного нанесения покрытий используется в качестве исходного материала для испарения в процессах физического осаждения из газовой фазы (PVD) для нанесения оптических, декоративных и функциональных пленок. Обычно используется проволока из чистого молибдена или молибденовая лантановая проволока, диаметром 0,1-0,5 мм, а для обеспечения качества пленки требуется высокая чистота ($\geq 99,99\%$) и низкое содержание примесей. Молибденовая проволока нагревается до 1500-2000°C в вакуумной среде, а после испарения на подложке образуется однородная пленка.

Области применения включают покрытия оптических линз, электроды солнечных батарей и

полупроводниковые устройства. В компании [Chinatungsten Online](http://www.chinatungsten.com) указали, что молибденовую проволоку для вакуумных покрытий необходимо несколько раз отжигать и полировать, чтобы уменьшить дефекты поверхности и пористость. Молибденовая лантановая проволока имеет преимущество в оборудовании для нанесения покрытий высокой мощности благодаря более высокой температуре рекристаллизации.

2.2.5 Молибденовая проволока для нагревательных элементов

Молибденовая проволока для нагревательного элемента в основном используется в высокотемпературных электропечах и вакуумных печах, а также обычно используется молибденовая лантановая проволока или молибденово-рениевая проволока, диаметром 0,5-2,0 мм. Его высокая температура плавления и низкое давление пара обеспечивают стабильную работу при температуре выше 2000 °C, что подходит для печей для выращивания монокристаллов, печей для термообработки и печей для спекания. Проводимость молибденовой проволоки (около 18% IACS) и низкий коэффициент теплового расширения делают ее превосходной в высокотемпературных динамических средах.

В настоящее время доля молибденовой лантановой проволоки в нагревательных элементах увеличивается из года в год, потому что ее сопротивление ползучести может продлить срок службы печи. Молибденовую проволоку необходимо использовать в инертной или вакуумной атмосфере для предотвращения окисления при высоких температурах.

2.2.6 Молибденовая проволока для компонентов высокотемпературных печей

Молибденовая проволока для компонентов высокотемпературных печей используется для изготовления опор печей, выводов и экранирующих компонентов, обычно используется молибденовая лантановая проволока или молибденово-рениевая проволока, диаметром 0,3-1,5 мм. Его высокая прочность и устойчивость к высоким температурам делают его пригодным для печей для спекания монокристаллического кремния, сапфира и керамики. Например, молибденовая проволока, которая используется в качестве линии смыкания заправки в печах для выращивания кристаллов, требует точного контроля диаметра и качества поверхности.

Международные журналы сообщают, что применение молибденово-рениевой проволоки в компонентах высокотемпературных печей увеличилось благодаря ее превосходной коррозионной стойкости и ударной вязкости. В процессе производства размер зерна молибденовой проволоки необходимо строго контролировать, чтобы избежать высокотемпературного разрушения.

2.2.7 Молибденовая проволока для электронных компонентов

Молибденовая проволока для электронных компонентов используется для вакуумной электроники, термопар и микроэлектронных соединений, а также обычно используется чистая молибденовая проволока или молибденовая лантановая проволока, диаметром 0,05-0,5 мм. Высокая проводимость и низкое содержание примесей обеспечивают надежность устройства. Например, в рентгеновской трубке молибденовая проволока выступает в роли

катодного вывода; В термопарах молибденовая проволока используется для высокотемпературных измерений.

Молибденовая проволока для электронных компонентов проходит сверхчистую очистку для удаления поверхностных загрязнений. В микроэлектронике растет спрос на ультратонкую молибденовую проволоку (диаметр $<0,05$ мм) для упаковки микросхем и производства сенсоров.

2.2.8 Молибденовая проволока медицинского и аэрокосмического назначения

Молибденовая проволока для медицинского и аэрокосмического использования в основном использует молибденово-ренийскую проволоку или молибденовую проволоку из лантана из-за ее высокой прочности, биосовместимости и коррозионной стойкости. Диапазон диаметров составляет 0,1-1,0 мм, что требует высокой чистоты и точности обработки. В медицинской сфере молибденовая проволока используется в рентгеновских мишенях, проводниках и минимально инвазивных хирургических инструментах; В аэрокосмической отрасли молибденово-ренийская проволока используется в высокотемпературных соплах, компонентах двигателей и конструкционных деталях спутников. Применение молибденово-рениевой проволоки в аэрокосмической промышленности быстро растет благодаря ее стабильности в экстремальных условиях, таких как 3000 °C и сильных коррозионных газов. Медицинская молибденовая проволока проходит строгие испытания на биосовместимость.

2.3 Классификация по состоянию поверхности

Состояние поверхности молибденовой проволоки оказывает важное влияние на ее производительность и применение, и она делится на черную молибденовую проволоку и очищенную молибденовую проволоку в соответствии с методом обработки поверхности.

2.3.1 Черная молибденовая проволока

Черная молибденовая проволока представляет собой молибденовую проволоку, которая не подвергалась едкой промывке или полировке, а поверхность покрыта слоем пленки оксида молибдена (MoO_3), которая имеет черно-серый цвет. Толщина слоя оксида обычно составляет 0,1-1 мкм, что повышает смазывающую способность молибденовой проволоки и подходит для термического напыления и некоторых электроэрозионных работ. Черная молибденовая проволока имеет более низкую себестоимость производства, но в ней больше поверхностных примесей, что может повлиять на производительность прецизионных применений.

Черная молибденовая проволока повышает эффективность напыления за счет легкого плавления оксидного слоя при термическом напылении; При резке проволоки оксидный слой снижает потери электродов. Черная молибденовая проволока должна строго контролироваться на предмет однородности оксидного слоя, чтобы избежать колебаний производительности.

CTIA GROUP LTD
Molybdenum Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire

Molybdenum wire is a high-performance metallic filament made from metal molybdenum through hot working, cold drawing, and surface treatment. It features an extremely high melting point, excellent electrical and thermal conductivity, good mechanical strength, and exceptional corrosion resistance. It serves as a core material in various high-temperature and precision application fields.

2. Applications of Molybdenum Wire (Typical)

Application Field	Specific Uses
Lighting Industry	Filament supports, lead wires, halogen lamp electrodes, fluorescent lamp electrodes, LED packaging brackets
Wire-Cut Machining	Electrode wire for EDM, used in mold making and cutting of complex metal parts
Thermal Spraying	Used for surface reinforcement and wear-resistant coatings on automotive, aerospace, and engineering components
Vacuum Coating	Used as evaporation sources and coating materials for optics, solar cells, and semiconductor devices

3. Types of Molybdenum Wire (Typical)

Classification	Type	Description
Surface Condition	Cleaned Molybdenum Wire	Cleaned surface, bright and smooth, suitable for high-precision processing, electronics, coating, and other demanding applications
	Black Molybdenum Wire	Graphite-coated surface, suitable for general industrial processing and cost-effective applications
Use-Based Category	Wire-Cut Molybdenum Wire	For EDM wire-cutting, features high strength, high precision, and excellent durability
	Thermal Spray Molybdenum Wire	Used in thermal spraying processes, requires high density and good melting properties
	Heating Molybdenum Wire	Used as a heating element in high-temperature furnaces, with excellent heat resistance

4. Specifications of Molybdenum Wire from CTIA GROUP LTD

Item	Specification
Purity	≥99.95%
Diameter Range	0.03 mm ~ 3.0 mm (customizable)
Length / Coil Weight	Custom cut lengths (e.g., 200 mm) or continuous winding (e.g., 500g/coil, 2kg/coil)
Diameter Tolerance	±0.002 mm ~ ±0.1 mm
Surface Condition	Cleaned / Black
Packaging Options	Spool, coil, vacuum packaging, customized packaging

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

2.3.2 Очищенная молибденовая проволока

Очищенная молибденовая проволока представляет собой молибденовую проволоку, которая удаляет поверхностный оксидный слой путем щелочной промывки или электролитической полировки, которая имеет серебристо-белый цвет и высокую обработку поверхности. Очищенная молибденовая проволока имеет более высокую чистоту и подходит для применений с высокими требованиями к качеству поверхности, таких как электрические источники света, вакуумные покрытия и электронные компоненты. В процессе промывки едкой обычно используется раствор гидроксида натрия, который промывается и высушивается после удаления оксидного слоя для предотвращения вторичного окисления.

Очищенная молибденовая проволока дорога в производстве, но ее отличное качество поверхности и низкое содержание примесей делают ее доминирующей в высокотехнологичных приложениях. Например, в полупроводниковых покрытиях очищенная молибденовая проволока уменьшает дефекты примесей в пленке.

2.4 Классификация по способу обработки

Способ обработки молибденовой проволоки влияет на ее микроструктуру и свойства, и делится на горячетянутую молибденовую проволоку, холоднотянутую молибденовую проволоку и прецизионную молибденовую проволоку в зависимости от процесса волочения и последующей обработки.

2.4.1 Горячетянутая молибденовая проволока

Горячетянутая молибденовая проволока изготавливается из многопроходного волочения при высокой температуре (800-1200°C), с крупнозернистой структурой и прочностью на разрыв 700-1000 МПа, что подходит для производства грубой молибденовой проволоки (диаметр > 1,0 мм). Процесс горячего волочения может снизить сопротивление вытягиванию и уменьшить износ формы, но качество поверхности оставляет желать лучшего, и большинство из них представляют собой черные молибденовые проволоки.

Горячетянутая молибденовая проволока обычно используется в компонентах высокотемпературных печей и распылении из-за ее низкой стоимости и пригодности для обработки больших диаметров. Компания Chinatungsten Online сообщила, что температуру нагрева необходимо точно контролировать в процессе горячей волочки, чтобы избежать образования слишком крупных зерен.

2.4.2 Холоднотянутая молибденовая проволока

Холоднотянутая молибденовая проволока тянется при комнатной температуре или низкой температуре (<300 °C), зерно очищается, а прочность на разрыв может достигать 1200-1800 МПа, что подходит для молибденовой проволоки диаметром 0,05-1,0 мм. Процесс холодной волочки, требующий использования высокоэффективных смазочных материалов и прецизионной оснастки для уменьшения царапин на поверхности, обычно используется в электроэрозионной обработке и электронных компонентах.

Чистота поверхности и точность размеров холоднотянутой молибденовой проволоки выше, чем у горячотянутой молибденовой проволоки, которая подходит для высокоточной обработки. Международные журналы отмечают, что процесс холодного волочения может оптимизировать ударную вязкость молибденовой проволоки за счет многократного отжига.

2.4.3 Прецизионная молибденовая проволока

Прецизионная молибденовая проволока изготавливается с помощью нескольких процессов холодного волочения и отжига, с хорошо контролируемыми допусками по диаметру и шероховатостью поверхности, что делает ее пригодной для микроэлектроники, медицинских и вакуумных покрытий. Прочность на разрыв прецизионной молибденовой проволоки может достигать более 2000 МПа, для чего требуются высокоточные волочильные машины и оборудование для онлайн-тестирования.

Согласно общедоступной информации, китайские компании совершили прорыв в технологии волочения прецизионной молибденовой проволоки, а сверхтонкая прецизионная молибденовая проволока (диаметр $<0,02$ мм) использовалась в производстве чипов и биосенсоров.

2.5 Классификация по спецификации

Технические характеристики молибденовой проволоки в основном различаются по их диаметру, а также существуют существенные различия в производительности, производственном процессе и области применения молибденовой проволоки с разными диаметрами. По диаметру молибденовую проволоку можно разделить на ультратонкую молибденовую проволоку (диаметр $<0,05$ мм), стандартную тонкую молибденовую проволоку (0,05–0,3 мм), среднюю грубую молибденовую проволоку (0,3–1,0 мм) и грубомолибденовую проволоку (диаметр $> 1,0$ мм). Эти спецификации отражают разнообразные потребности молибденовой проволоки в прецизионной обработке, при высоких температурах и в тяжелых условиях эксплуатации.

2.5.1 Проволока ультратонкая молибденовая (диаметр $<0,05$ мм)

Ультратонкая молибденовая проволока относится к молибденовой проволоке диаметром менее 0,05 мм, обычно в диапазоне 0,01–0,05 мм, и является типом с самой высокой точностью и самым сложным в изготовлении среди спецификаций молибденовой проволоки. Прочность на разрыв ультратонкой молибденовой проволоки чрезвычайно высока, до 2000–3500 МПа, что значительно выше, чем у обычной металлической проволоки, благодаря нанометровому зернистому размеру и измельчению зерен, достигаемому в процессе холодной волочки и многократного отжига. Чрезвычайно низкая шероховатость поверхности и допуски по диаметру $\pm 0,001$ мм обеспечивают надежность для высокоточных применений. Электропроводность (около 20% IACS) и теплопроводность (около 130 Вт/(м·К)) ультратонкой молибденовой проволоки немного ниже, чем у грубой молибденовой проволоки, но ее высокая прочность и отличная пластичность (удлинение до 8–12%) дают ей уникальные преимущества в области миниатюризации и высокой точности.

Производственный процесс

Процесс производства ультратонкой молибденовой проволоки чрезвычайно сложен, требует высокоточной технологии холодного волочения и многоступенчатого процесса отжига. Сначала, начиная с высокочистой молибденовой заготовки (чистота $\geq 99,95\%$), тонкую заготовку подготавливают методом порошковой металлургии, а затем проводят многопроходное волочение при низкой температуре ($< 300^\circ\text{C}$) с использованием алмазных штампов для обеспечения точности размеров. Высокоэффективные смазочные материалы (например, графитовые эмульсии) используются в процессе волочения для уменьшения царапин на поверхности, а промежуточный отжиг ($500\text{--}800^\circ\text{C}$, инертная атмосфера) выполняется после каждого прохода волочения для снятия напряжения и восстановления пластичности. Кроме того, полировка поверхности и сверхчистые процессы очистки, такие как ультразвуковая очистка, являются необходимыми этапами производства ультратонкой молибденовой проволоки для удаления следовых примесей и поверхностных дефектов.

Сценарии применения

Ультратонкая молибденовая проволока в основном используется в области микроэлектроники, медицинского оборудования и прецизионной резки проволоки. В микроэлектронной промышленности ультратонкая молибденовая проволока используется для соединения проводов корпусов микросхем и проводов миниатюрных сенсоров, а ее высокая прочность и немагнитность (проницаемость ≈ 1) обеспечивают устойчивость устройства в электромагнитной среде. Например, молибденовая проволока диаметром $0,02$ мм может быть использована для проволоочного соединения полупроводниковых чипов с нанометровой точностью. В медицинской сфере ультратонкая молибденовая проволока используется при изготовлении малоинвазивных хирургических проводников и рентгеновских мишеней, а ее биосовместимость и высокая прочность делают ее пригодной для имплантации in vivo или высокоточных устройств визуализации. По данным International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, ультрадисперсная молибденовая проволока из лантана хорошо работает в высокотемпературных миниатюрных сенсорах благодаря более высокой температуре рекристаллизации (около 1800°C). В электроэрозионной обработке проволоки ультратонкая молибденовая проволока используется для обработки пресс-форм микронного размера и сложных геометрий с точностью резки $\pm 0,5$ мкм.

2.5.2 Стандартная тонкомолибденовая проволока (0,05–0,3 мм)

Стандартная тонкая молибденовая проволока имеет диапазон диаметров $0,05\text{--}0,3$ мм и является наиболее распространенной спецификацией для применения в молибденовой проволоке и широко используется для резки проволоки, электрических источников света и производства электронных компонентов. Стандартная тонкая молибденовая проволока сочетает в себе высокую прочность с умеренной обрабатываемостью и подходит для крупномасштабного промышленного производства. Проволока из чистого молибдена и проволока из молибдена-лантана являются основными типами этой спецификации, а проволока из молибдена-лантана выгодна в высокотемпературных приложениях из-за более высокой температуры рекристаллизации ($1500\text{--}1800^\circ\text{C}$).

Производственный процесс

Стандартная тонкая молибденовая проволока изготавливается методом холодного волнения, начиная с молибденовой заготовки и постепенно уменьшая диаметр за несколько проходов (обычно 10–15 проходов). Волочильный станок оснащен твердосплавной или алмазной матрицей, а смазка представляет собой раствор на масляной или водной основе для снижения трения. Промежуточный отжиг (600–900 °C, защита от аргона) используется для устранения деформационного упрочнения, а время и температура отжига необходимо точно контролировать, чтобы сбалансировать прочность и ударную вязкость. Что касается обработки поверхности, то очищенная молибденовая проволока подвергается щелочной промывке (раствор гидроксида натрия, 80–100°C) для удаления оксидного слоя, а черная молибденовая проволока сохраняет тонкий оксидный слой для повышения смазывающей способности.

Сценарии применения

Стандартная тонкая молибденовая проволока является рабочей лошадкой для электроэрозионной обработки проволоки и широко используется в производстве пресс-форм, аэрокосмических деталей и прецизионной механической обработке. Например, молибденовая проволока диаметром 0,18 мм обеспечивает точность обработки ± 3 мкм на высокоскоростных электроэрозионных станках и подходит для резки твердых сплавов и титановых сплавов. В области электрических источников света в качестве опорных проводов и выводов для галогенных и люминесцентных ламп используются стандартные тонкомолибденовые проволоки (диаметром 0,1–0,2 мм), а их низкий коэффициент теплового расширения ($4,8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) обеспечивает надежную герметизацию стеклом. В электронных компонентах для катодных соединений между выводами термопары и вакуумной электроникой используется стандартная тонкая молибденовая проволока, отвечающая требованиям высокой проводимости (около 20% МАКО) и малому содержанию примесей.

2.5.3 Среднекрупная молибденовая проволока (диаметр 0,3–1,0 мм)

Среднегрубая молибденовая проволока выпускается в диаметрах от 0,3 до 1,0 мм, сочетая высокую прочность с умеренной сложностью обработки, с прочностью на разрыв 800–1500 МПа и удлинением 3–8%. Этот сорт молибденовой проволоки подходит для применений, требующих высокой жесткости и долговечности, таких как компоненты высокотемпературных печей, нагревательные элементы и вакуумные покрытия. Теплопроводность (около 135 Вт/(м·К)) и устойчивость к высоким температурам (может выдерживать 2000 °C) средне- и крупнозернистой молибденовой проволоки делают ее превосходной в высокотемпературных средах, и в этой спецификации широко используется молибденовая лантановая проволока и молибденово-ренийевая проволока.

Производственный процесс

Производство среднегрубой молибденовой проволоки сочетает в себе процессы горячего и холодного волочения. Исходная заготовка уменьшается в диаметре до 1,5–2,0 мм методом горячей волочки (800–1200°C), а затем дополнительно обрабатывается до заданного размера методом холодной волочки. Процесс горячей волочки снижает износ пресс-

формы и подходит для массового производства; Процесс холодного волочения повышает точность размеров и качество поверхности. Процесс отжига (700–1000 °С, инертная атмосфера) используется для оптимизации структуры зерна и повышения ударной вязкости. Обработка поверхности включает в себя едкую промывку или электролитическую полировку для обеспечения высокой отделки очищенной молибденовой проволоки.

Сценарии применения

Среднекрупная молибденовая проволока широко используется в компонентах высокотемпературных печей и нагревательных элементах. В печи для выращивания монокристаллического кремния молибденовая лантановая проволока диаметром 0,5 мм используется в качестве линии зажима затравки и опорного элемента, которая может работать при температуре 1700°C в течение длительного времени. При нанесении вакуумных покрытий среднекрупнозернистая молибденовая проволока (диаметр 0,4–0,8 мм) выступает в качестве источника испарения для осаждения оптических и полупроводниковых пленок, а ее высокая чистота ($\geq 99,99\%$) обеспечивает качество пленки. В области электроники проволока среднего и крупного молибдена используется для катодных выводов и защитных рукавов термопар для рентгеновских трубок, которые отвечают требованиям высокотемпературных и вакуумных сред.

2.5.4 Проволока грубомолибденовая (диаметр > 1,0 мм)

Определение и характеристики Диаметр грубой молибденовой проволоки составляет более 1,0 мм, обычно в диапазоне 1,0–3,2 мм, и является самой жесткой и наименее сложной в обработке среди молибденовых проволок. Грубо-молибденовая проволока в основном представляет собой чистую молибденовую проволоку или молибденовую лантановую проволоку, которая подходит для тяжелых условий эксплуатации и высокотемпературных применений, таких как термическое напыление и высокотемпературные опорные элементы печей. Его высокая температурная стабильность (до 2000 °С) и умеренная теплопроводность (около 130 Вт/(м·К)) делают его широко используемым в промышленных приложениях.

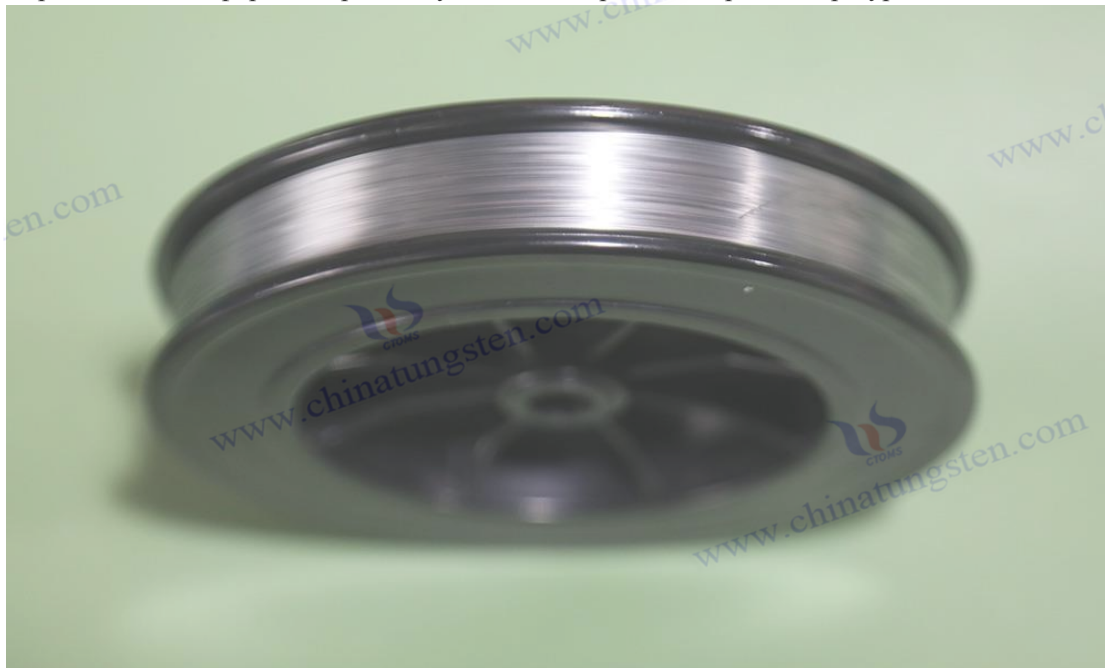
Производственный процесс

Грубая молибденовая проволока в основном производится методом горячего волочения, начиная с молибденовой заготовки (диаметр 5–10 мм) и протягиваясь через матрицу большого диаметра при высоких температурах (1000–1200°C) с уменьшением диаметра за один проход до 20–30%. Процесс горячего волочения снижает сложность обработки и снижает стоимость форм, но качество поверхности оставляет желать лучшего, и большинство из них представляют собой черные молибденовые проволоки. Некоторые грубые молибденовые проволоки необходимо подвергнуть холодной волочке и полировке, чтобы сделать очищенные молибденовые проволоки в соответствии с потребностями конкретных областей применения. Процесс отжига (800–1100°C, защита от аргона) используется для устранения остаточных напряжений и оптимизации механических свойств.

Сценарии применения

Грубомолибденовая проволока в основном используется для термического напыления и

компонентов высокотемпературных печей. При термическом напылении крупномолибденовые проволоки диаметром 1,6–3,2 мм подвергаются плазменному напылению с образованием износостойкого покрытия для поверхностного упрочнения автомобильных поршневых колец, лопаток авиационных двигателей и промышленных пресс-форм. В высокотемпературных печах грубая молибденовая проволока (диаметр 1,0–2,0 мм) используется в качестве опорных элементов и выводов, таких как крепления для печей для выращивания сапфира, которые могут стабильно работать при температуре 1800 °C.



CTIA GROUP LTD Проволока молибденовая очищенная

Глава 3 Характеристики молибденовой проволоки

3.1 Физические свойства молибденовой проволоки

Физические свойства молибденовой проволоки являются основой для ее широкого спектра применения в высокотемпературной, прецизионной обработке и электронике, охватывая такие ключевые параметры, как температура плавления, плотность, коэффициент теплового расширения, электропроводность, теплопроводность и твердость. Эти свойства определяются объемно-центрированной кубической кристаллической структурой молибдена (ВСС) и регуляцией легирующих элементов, которые придают молибденовой проволоке отличные эксплуатационные характеристики в экстремальных условиях. Ниже приведен подробный анализ физических свойств молибденовой проволоки, включая ее микроскопический механизм, метод измерения и влияние применения.

3.1.1 Температура плавления и кипения молибденовой проволоки

С температурой плавления 2623 °C (2896 K) молибденовая проволока является одной из самых высоких среди всех металлов, уступая вольфраму (3422 °C), рению (3186 °C) и осмию (3033 °C). Такая высокая температура плавления обусловлена прочными металлическими связями между атомами молибдена и стабильностью кубической структуры, центрированной

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

по телу, что позволяет молибденовой проволоке сохранять свою структурную целостность без плавления в экстремально высоких температурах, таких как 1700–2000 °C в печи для выращивания монокристаллического кремния. Его высокая температура кипения 4639 °C (4912 K) соответствует очень низкому давлению пара (около 10^{-7} Па при 2000 °C), обеспечивая минимальные потери материала молибденовой проволоки при вакуумном нанесении покрытий и в высокотемпературных печах. Проволока из чистого молибдена может сохранять механическую прочность при температуре 2000 °C, в то время как легированная проволока из молибденового лантана и проволока из молибдена из рения еще больше улучшают высокотемпературные характеристики за счет увеличения температуры рекристаллизации (до 1800 °C и 2000 °C соответственно).

Температуру плавления обычно измеряют с помощью высокотемпературной дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) или оптических пирометров с точностью до $\pm 10^\circ\text{C}$. Для измерения температуры кипения необходимо использовать термогравиметрический анализатор (ТГА) в вакуумной среде для контроля потери массы. В практическом применении высокая температура плавления молибденовой проволоки делает ее идеальным материалом для нагрева элементов в высокотемпературных печах, таких как печи для выращивания кристаллов сапфира, где молибденовая проволока может выдерживать циркуляционный нагрев при 1800 °C без деформации. Тем не менее, молибденовые нити имеют тенденцию вступать в реакцию с кислородом с образованием летучих оксидов (MoO_3) при высоких температурах, поэтому для защиты их характеристик их необходимо работать в вакууме ($<10^{-3}$ Па) или в инертной атмосфере (например, аргон, гелий). Благодаря добавлению рения, молибденово-рениевая проволока может немного повысить температуру плавления до 2650 °C, и в то же время снизить скорость высокотемпературного испарения, что подходит для аэрокосмических высокотемпературных компонентов.

3.1.2 Плотность молибденовой проволоки

При плотности 10,28 г/см³ (20°C) молибденовая проволока находится между железом (7,87 г/см³) и вольфрамом (19,25 г/см³), что является одновременно легким и высокопрочным. Плотность немного уменьшается с температурой, до 10,15 г/см³ при 1000 °C, с изменением всего около 1,3%, что отражает превосходную термическую стабильность молибденовой проволоки. Низкая плотность дает молибденовой проволоке преимущество в весе в аэрокосмической и электронной промышленности, например, в конструкционных деталях спутников, где она снижает общую массу и обеспечивает достаточную жесткость.

Измерения плотности проводятся методом дренажа Архимеда или рентгеновским денситометром с точностью до $\pm 0,01$ г/см³. Плотность молибденовой проволоки оказывает важное влияние на процесс ее волочения: более низкая плотность снижает износ штампа в процессе волочения и облегчает производство ультратонкой молибденовой проволоки (диаметр $<0,05$ мм). В области электрических источников света плотность молибденовой проволоки обеспечивает достаточную жесткость при использовании в качестве опорной проволоки для ламп, при этом избегая усложнения конструкции, вызванного чрезмерным

весом. Плотность молибденово-лантановой проволоки и молибденово-ренийевой проволоки незначительно колеблется ($10,3\text{--}10,5\text{ г/см}^3$) из-за влияния легирующих элементов, но при этом сохраняет легкие характеристики и подходит для высоких температур и динамических нагрузок.

3.1.3 Коэффициент теплового расширения молибденовой проволоки

Коэффициент теплового расширения молибденовой проволоки составляет $4,8\text{--}5,2\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ($20\text{--}1000^{\circ}\text{C}$), что хорошо согласуется со стеклом ($4\text{--}6\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) и керамикой ($3\text{--}7\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$). Это делает его идеальным уплотнительным материалом для электрических источников света и вакуумных устройств. Например, в галогенных лампах и рентгеновских трубках молибденовая проволока выступает в качестве подводящего провода, образуя надежное соединение со стеклянным уплотнителем и предотвращая растрескивание во время термоциклирования. Коэффициент теплового расширения измеряется с помощью дилатометра или лазерной интерферометрии с точностью до $\pm 0,1\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$.

Низкий коэффициент теплового расширения обеспечивает высокую стабильность размеров молибденовой проволоки при высокотемпературном циклировании и снижает деформацию, вызванную термическими напряжениями. В высокотемпературных печах низкий коэффициент теплового расширения молибденовой проволоки позволяет ей выдерживать быстрое повышение температуры (до $50^{\circ}\text{C}/\text{мин}$) без значительной деформации. Молибденовая проволока из лантана может оптимизировать коэффициент теплового расширения до $4,5\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ за счет прикалывающего эффекта частиц оксида лантана, который подходит для высокоточных высокотемпературных компонентов. Молибденово-ренийевая проволока имеет несколько более высокий коэффициент теплового расширения ($5,0\text{--}5,5\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$), но ее превосходная ударная вязкость компенсирует эту разницу, что делает ее пригодной для использования в динамичных аэрокосмических средах.

3.1.4 Проводимость молибденовой проволоки

Проводимость молибденовой проволоки составляет $18\text{--}20\%$ IACS (международный стандарт для отожженной меди, 100% IACS — проводимость чистой меди), что соответствует удельному сопротивлению $5,2\text{--}5,7\text{ }\mu\text{Ом}\cdot\text{см}$ (20°C). Хотя проводимость ниже, чем у меди (100% IACS) и серебра (105% IACS), проводимость молибденовой проволоки превосходна при высоких температурах, а удельное сопротивление увеличивается только примерно до $20\text{ }\mu\text{Ом}\cdot\text{см}$ при 1000°C , что ниже, чем у меди (около $50\text{ }\mu\text{Ом}\cdot\text{см}$). Проводимость измеряли четырехзондовым методом с точностью до $\pm 0,1\text{ }\mu\text{Ом}\cdot\text{см}$. Стабильность высокотемпературной проводимости молибденовой проволоки делает ее превосходной в электроэрозионных печах с проволоочной проволокой (WEDM) и высокотемпературных электропечах, а также может выдерживать высокочастотные импульсные токи ($10\text{--}100\text{ кГц}$) без значительных термических повреждений.

Молибденовая проволока из лантана может увеличить проводимость до 22% за счет очистки зерна IACS для высокоточных электронных компонентов, таких как выводы термопар и микроэлектронные провода. Очищенная молибденовая проволока имеет преимущество в

электрических источниках света и вакуумных устройствах тем, что удаляется поверхностный оксидный слой, а контактное сопротивление ниже, чем у черной молибденовой проволоки (снижение примерно на 10%). При поточной резке проводимость молибденовой проволоки обеспечивает эффективное дугообразование при скорости резки до 10–15 мм²/мин. Проводимость молибденово-ренийевой проволоки немного ниже, чем у чистой молибденовой проволоки (около 16–18% IACS), но ее устойчивость к высоким температурам позволяет широко использовать ее в аэрокосмических электрических разъемах.

3.1.5 Теплопроводность молибденовой проволоки

Теплопроводность молибденовой проволоки составляет 138 Вт/(м·К) (20°C), что является самым высоким показателем среди металлов, уступая только меди (401 Вт/(м·К)) и серебру (429 Вт/(м·К)). При 1000 °C теплопроводность снижается примерно до 100 Вт/(м·К), что все еще может эффективно проводить тепло, что подходит для высокотемпературных печей и оборудования для вакуумного нанесения покрытий. Теплопроводность измеряют методом лазерной вспышки с точностью до ± 5 Вт/(м·К). Высокая теплопроводность молибденовой нити обеспечивает быстрое рассеивание тепла в системах с высокой мощностью и снижает снижение производительности, вызванное локальным перегревом, например, в электрических источниках света, где молибденовая нить отводит тепло нити накаливания наружу и продлевает срок службы лампы (до более чем 2000 часов).

При резке проволоки высокая теплопроводность молибденовой проволоки снижает повреждение проволоки при высокой температуре дуги (>6000°C) и продлевает срок службы (до более чем 100 часов). Теплопроводность молибденовой проволоки из лантана близка к теплопроводности чистой молибденовой проволоки, в то время как молибденово-ренийевая проволока хорошо работает с высокотемпературными компонентами в аэрокосмической отрасли, такими как сопла, оптимизируя содержание рения до 150 Вт/(м·К). Состояние поверхности мало влияет на теплопроводность, но эффективность теплопроводности очищенной молибденовой проволоки немного лучше, чем у черной молибденовой проволоки (примерно на 5% больше) из-за ее высокой чистоты поверхности.

3.1.6 Твердость молибденовой проволоки по Моосу

Молибденовая проволока имеет твердость 5,5—6,0 по шкале Мооса, близкую к стальной (5—6,5), твердость по Виккерсу (HV) 200—250, холоднотянутую молибденовую проволоку до 300—350 HV. Твердость измеряли с помощью твердомера по Виккерсу с приложенной нагрузкой 5–10 кг и точностью ± 5 BV. Твердость молибденовой проволоки обеспечивает ее устойчивость к износу во время волочения и обработки проволоки, сохраняя при этом достаточную прочность, чтобы избежать хрупкости. Молибденовая проволока из лантана легирована оксидом лантана для увеличения твердости до 350–400 HV и молибден-ренийевой проволокой до 400 HV, что делает ее пригодной для применения с высокой износостойкостью.

В электроэрозионной обработке проволоки твердость молибденовой проволоки снижает износ, вызванный дуговой эрозией, со скоростью износа менее 0,01 мм/ч. При термическом напылении соответствующая твердость гарантирует, что молибденовая проволока останется

структурно неповрежденной до плавления, в результате чего твердость покрытия составит до HV 800–1000. Твердость тесно связана с размером зерна, и ультратонкая молибденовая проволока (диаметр <0,05 мм) обеспечивает более высокую твердость с наноразмерными зернами (10–50 нм) для удовлетворения потребностей микроэлектроники и медицины.

3.2 Химические свойства молибденовой проволоки

Химические свойства молибденовой проволоки определяют ее устойчивость в коррозионных средах и условиях высоких температур, включая химическую стабильность, коррозионную стойкость, окислительные свойства и поведение в химической реакции. Эти свойства обусловлены электронной структурой и поверхностными свойствами молибдена, которые дают ему уникальные преимущества в химической, медицинской и высокотемпературной среде.

3.2.1 Химическая стабильность молибденовой проволоки

Молибденовая проволока демонстрирует превосходную химическую стабильность при комнатной температуре и инертна к неокисляющим кислотам (например, соляной кислоте, серной кислоте, фосфорной кислоте), основаниям (например, раствору гидроксида натрия) и органическим растворителям (например, этанолу, ацетону). В растворе 10% соляной кислоты или 5% гидроксида натрия при 20°C скорость коррозии молибденовой проволоки составляет менее 0,001 мм/год практически без потери массы. Эта стабильность делает его пригодным для использования в химических реакторах, электрохимических датчиках и медицинских устройствах. Например, в электрохимических сенсорах молибденовая проволока выступает в качестве электрода для длительной работы в растворе pH 2–12 без деградации.

Химическая стабильность была проверена с помощью иммерсионных испытаний и электрохимических испытаний на коррозию, а коррозионный потенциал (E_{corr}), измеренный потенциостатом, составил примерно -0,2 В (по сравнению со стандартным водородным электродом). При высоких температурах (>400°C) химическая стабильность молибденовой проволоки снижается, она легко вступает в реакцию с кислородом, азотом или галогеном, и для поддержания производительности ее необходимо эксплуатировать в вакууме или инертной атмосфере (например, аргона, азота). Молибденовая проволока из лантана образует защитный слой за счет пассивации поверхности, а ее химическая стабильность немного лучше, чем у чистой молибденовой проволоки.

3.2.2 Коррозионная стойкость молибденовой проволоки

Молибденовая проволока обладает отличной коррозионной стойкостью к неокисляющим кислотам (например, 10% соляной кислоты, 20% фосфорной кислоты) и нейтральным солевым растворам (например, 3,5% хлорида натрия), со скоростью коррозии менее 0,01 мм/год, что лучше, чем у нержавеющей стали 316L (около 0,05 мм/год). В среде морской воды сопротивление точечной коррозии молибденовой проволоки лучше, чем у обычной стали, которая подходит для морской техники и химического оборудования. Молибденово-ренийевая проволока дополнительно усиливается за счет добавления рения (5–41 мас.%), а скорость коррозии составляет менее 0,005 мм/год в средах, содержащих серную кислоту или

разбавленную азотную кислоту, что делает ее пригодной для высокотемпературных химических реакторов.

Молибденовая проволока чувствительна к сильным окисляющим кислотам (таким как концентрированная азотная кислота, горячая серная кислота), а скорость коррозии может достигать 0,1 мм/ч в концентрированной азотной кислоте при 60°C. Коррозионная стойкость была проверена с помощью испытания в солевом тумане и электрохимической импедансной спектроскопии (ЭИС), а значение импеданса молибденовой лантановой проволоки было выше, чем у чистой молибденовой проволоки (около $10^5 \Omega \cdot \text{см}^2$), что указывает на то, что поверхностный пассивирующий слой более плотный. Поверхностные покрытия, такие как силицид молибдена или диоксид циркония, могут еще больше снизить скорость коррозии и продлить срок службы.

3.2.3 Характеристики окисления молибденовой проволоки

Молибденовая нить склонна к окислению в высокотемпературной окислительной атмосфере с образованием летучего триоксида молибдена (MoO_3), начальная температура окисления составляет около 400 °C, а скорость окисления значительно увеличивается выше 600 °C. В воздухе с температурой 800°C на поверхности молибденовой проволоки быстро образовывался желтый оксидный слой, а скорость потери массы могла достигать 0,1 мг/см²ч. Окислительные свойства измеряли с помощью термогравиметрического анализатора (ТГА) при различных температурах и атмосферах с точностью до $\pm 0,01$ мг. Молибденовая проволока предотвращает окисление в вакууме ($<10^{-3}$ Па) или инертной атмосфере (например, аргона, гелия, содержания кислорода <10 ppm) и работает в течение тысяч часов при 2000°C без значительной потери массы.

Молибденовая проволока из лантана увеличивает начальную температуру окисления до 600–700 °C за счет связывающего эффекта частиц оксида лантана, а молибденово-рениевая проволока может достигать 800 °C. Технологии нанесения поверхностных покрытий, такие как покрытия из силицида молибдена толщиной 5–10 мкм, позволяют снизить скорость окисления до 0,01 мг/см²ч (на воздухе при 1000°C) и значительно продлить срок службы при высоких температурах. В высокотемпературных печах требуется молибденовая проволока с вакуумным насосом или системой защиты инертным газом для предотвращения окисления.

3.2.4 Валентность и химическая реакция молибденовой проволоки

Молибден — поливалентный металл с валентностью +2, +3, +4 и +6, который проявляет разнообразие в химических реакциях. При комнатной температуре молибденовая проволока не вступает в реакцию с кислородом, азотом, водой или обычными органическими растворителями, а на поверхности образуется тонкий пассивационный слой (толщиной около 1–2 нм), препятствующий дальнейшим реакциям. При высокой температуре ($>700^\circ\text{C}$) молибденовая проволока вступает в реакцию с кислородом с образованием MoO_3 , с азотом с образованием нитрида молибдена (Mo_2N) и с хлором с образованием хлорида молибдена (MoCl_5). Летучая природа этих продуктов реакции может привести к потерям материала и должна быть предотвращена с помощью атмосферного контроля (например, защиты от

аргона).

В высокощелочном высокотемпературном растворе (например, в расплавленном гидроксиде натрия $> 500^{\circ}\text{C}$) молибденовая проволока растворяется с образованием молибдата (например, Na_2MoO_4) со скоростью растворения около 0,05 мм/ч. Поведение химической реакции было проанализировано с помощью рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (XPS) и инфракрасной спектроскопии (FTIR) для подтверждения состава поверхностных соединений. Благодаря химической инертности рения, молибденово-рениевая проволока более устойчива к галогенам и высокотемпературным кислотам, а скорость коррозии составляет менее 0,01 мм/ч в среде хлора 1000°C , что подходит для экстремальных химических сред.

3.3 Механические свойства молибденовой проволоки

Механические свойства молибденовой проволоки, включая прочность на разрыв, пластичность, ударную вязкость и усталостные свойства, напрямую влияют на ее характеристики при обработке и применении. Эти свойства оптимизируются с помощью легирования, процессов волочения проволоки и термообработки для удовлетворения потребностей различных областей применения.

3.3.1 Прочность на разрыв молибденовой проволоки

Прочность на разрыв молибденовой проволоки варьируется в зависимости от состава и процесса обработки. Прочность на разрыв проволоки из чистого молибдена составляет 800–1200 МПа, которая может быть увеличена до 1500–1800 МПа в процессе холодного волочения. Прочность на разрыв молибденовой проволоки из лантана увеличивают до 1500–2000 МПа за счет легирования оксидом лантана (0,3–1,0 мас.%), молибденово-рениевая проволока (содержание рения 5–41 мас.%) может достигать 2000–3000 МПа, а ультратонкая молибденовая проволока (диаметр $< 0,05$ мм) может быть очищена до 3500 МПа нанокристаллическими зернами. Прочность на разрыв измеряется с помощью универсальной машины для испытаний на разрыв со скоростью нагружения 0,5 мм/мин и точностью ± 1 МПа.

Прочность на разрыв уменьшается с повышением температуры, и при 1000°C прочность чистой молибденовой проволоки снижается примерно до 500 МПа, а молибденовая лантановая проволока и молибденово-рениевая проволока остаются на уровне 1000 МПа и 1500 МПа соответственно. В электроэрозионной обработке проволоки высокая прочность на разрыв (напряжение 10–20 Н) гарантирует, что молибденовая проволока не сломается, а точность резки достигает ± 3 мкм. Высокая прочность ультратонкой молибденовой проволоки делает ее превосходной в микроэлектронных соединительных проводах и медицинских проводниках, а также может выдерживать сложные нагрузки без деформации.

3.3.2 Пластичность молибденовой проволоки

Пластичность молибденовой проволоки выражается в показателях удлинения, а удлинение чистой молибденовой проволоки составляет 2–5%, которое может быть увеличено до 8–10% после холодной волочения. Молибденово-лантановая проволока и молибденово-рениевая проволока упрочнены путем измельчения зерна и легирования с удлинением на 10–15%, что

делает их пригодными для обработки сложных форм. Пластичность измерялась с помощью испытания на растяжение, которое регистрировало процентное удлинение перед разрушением с точностью $\pm 0,1\%$. При высоких температурах ($>500^{\circ}\text{C}$) пластичность молибденовой проволоки значительно улучшается, при этом удлинение составляет 15–20%, что удобно для термической обработки.

Молибденовая проволока с высокой пластичностью выдерживает многократные изгибы и растяжения, например, в электрических источниках света молибденовую проволоку нужно изгибать в сложные геометрии в качестве опорной проволоки; В высокотемпературных печах молибденовая проволока в качестве свинца должна адаптироваться к деформации, вызванной тепловым расширением. Молибденово-ренийевая проволока обладает отличной низкотемпературной пластичностью и при этом может обрабатываться при температуре -50°C без хрупкости, что подходит для аэрокосмических сред с низкими температурами.

3.3.3 Ударная вязкость молибденовой проволоки

Вязкость молибденовой проволоки отражает ее способность поглощать энергию удара, а вязкость разрушения (K_{IC}) чистой молибденовой проволоки составляет $10\text{--}15 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$, поскольку объемноцентрированная кубическая структура склонна к хрупкому преобразованию при низкой температуре. Молибденово-лантановая проволока и молибденово-ренийевая проволока увеличивают вязкость разрушения до $20\text{--}30 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ за счет легирования и измельчения зерна, что значительно снижает риск хрупкости. Ударная вязкость измерялась с помощью испытания на трехточечный изгиб или испытания на ударный изгиб по Шарле с точностью $\pm 1 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$.

Высокоэластичная молибденовая проволока подходит для условий динамической нагрузки, таких как высокочастотные вибрации (10–100 Гц) при резке проволоки или термоциклирование в высокотемпературных печах ($50^{\circ}\text{C}/\text{мин}$). Ультратонкая молибденовая проволока оптимизирует ударную вязкость за счет многоступенчатого отжига, чтобы удовлетворить требования к гибкости минимально инвазивных хирургических проводников. Ударная вязкость молибденово-ренийевой проволоки лучше, чем у чистой молибденовой проволоки при низкой температуре (-50°C) и высокой температуре (2000°C), что подходит для аэрокосмических динамических компонентов.

3.3.4 Усталостные свойства молибденовой проволоки

Усталостные свойства молибденовой проволоки обусловлены ее прочностью при циклических нагрузках, а предел усталостной прочности молибденовой проволоки составляет 400–600 МПа (10^7 циклов). Молибденово-лантановая проволока и молибденово-ренийевая проволока упрочняются путем измельчения зерна и легирования до усталостных пределов 800–1000 МПа. Усталостные характеристики были измерены с помощью усталостного испытания на изгиб с частотой 50 Гц и точностью $\pm 10 \text{ МПа}$. При резке проволокой молибденовая проволока подвергается высокочастотным циклам растяжения (10–20 Н), а очищенная молибденовая проволока имеет усталостную долговечность примерно на 20% больше, чем черная молибденовая проволока из-за высокой чистоты

поверхности ($Ra < 0,2$ мкм).

Усталостные свойства имеют решающее значение для высокотемпературных компонентов и электроэрозионной обработки. Термический цикл молибденовой лантановой проволоки в высокотемпературной печи может достигать более 5000 раз, а усталостная долговечность молибденово-рениевой проволоки в аэрокосмических соплах может достигать 10^8 циклов. Оптимизация волочильного штампа (шероховатость поверхности $Ra < 0,05$ мкм) и процесса отжига ($700\text{--}900$ °C, защита от аргона) еще больше улучшает усталостные свойства и уменьшает поверхностные микротрещины.

3.4 Особые свойства молибденовой проволоки

Особые свойства молибденовой проволоки включают в себя высокотемпературные характеристики, износостойкость и немагнитность, что делает ее уникально выгодной в определенных областях для удовлетворения потребностей высокотемпературных, трибологических и электромагнитно чувствительных сред.

3.4.1 Высокотемпературные характеристики молибденовой проволоки

Наиболее заметной характеристикой молибденовой проволоки являются высокотемпературные характеристики, чистая молибденовая проволока сохраняет структурную целостность при температуре 2000 °C, а прочность на разрыв составляет около 500 МПа. Температура рекристаллизации молибденовой лантановой проволоки составляет до 1800 °C, а температура рекристаллизации молибденовой и рениевой проволоки составляет до 2000 °C, что подавляет рост зерна за счет легирования и улучшает сопротивление ползучести более чем на 50% . Высокотемпературные эксплуатационные испытания включают в себя высокотемпературное испытание на растяжение и испытание на ползучесть $\pm$ точность контроля температуры составляет 5 °C. В печах для выращивания монокристаллического кремния молибденовая проволока из лантана может эксплуатироваться при температуре 1700 °C в течение тысяч часов в качестве нагревательного элемента со скоростью деформации менее $0,1\%$.

Молибденово-рениевая проволока демонстрирует отличную термостойкость в сопле космического двигателя при температуре 2500 °C, и выдерживает 1000 тепловых циклов (скорость нагрева 100 °C/c) без трещин. На работу при высоких температурах влияет атмосфера, и для предотвращения окисления необходимо работать в вакууме ($< 10^{-3}$ Па) или в инертном газе (содержание кислорода < 10 ppm). Поверхностные покрытия, такие как диоксид циркония толщиной $5\text{--}10$ мкм, продлевают срок службы при высоких температурах до более чем 5000 часов.

3.4.2 Стойкость молибденовой проволоки к истиранию

Износостойкость молибденовой проволоки связана с ее твердостью и качеством поверхности, а молибденовая проволока с твердостью по Виккерсу $200\text{--}400$ ВН противостоит дуговой эрозии в электроэрозионной проволоке со скоростью износа менее $0,01$ мм/ч. Молибденово-лантановая проволока и молибденово-рениевая проволока увеличивают твердость до 350--

400 HV за счет измельчения зерна, а износостойкость увеличивают на 30%. Стойкость к истиранию проверяется с помощью машины для испытаний на трение и износ с твердосплавной парой и нагрузкой 10 Н. При термическом напылении молибденовые проволоки образуют покрытия с твердостью HV 800–1000 и коэффициентом трения менее 0,3, что значительно повышает износостойкость таких оснований, как автомобильные поршневые кольца.

Благодаря высокому качеству поверхности ($Ra < 0,1$ мкм) и износостойкости очищенной молибденовой проволоки, очищенная молибденовая проволока подходит для работы в условиях высокочастотной вибрации. Ультратонкие молибденовые нити дополнительно усилены нанокристаллическими зернами (10–50 нм) для удовлетворения потребностей микроэлектроники и медицинских проводников. Оптимизация процесса волочения (например, с помощью алмазных штампов) и полировка поверхности снижают скорость износа до 0,005 мм/ч.

3.4.3 Немагнитные свойства молибденовой проволоки

Молибденовая проволока является немагнитным материалом с относительной проницаемостью, близкой к 1 (как у вакуума), не намагничивается в магнитном поле и подходит для электромагнитно чувствительных сред, таких как оборудование ядерного магнитного резонанса (МРТ) и аэрокосмические навигационные системы. Немагнитный показатель измеряется с помощью магнитометра с вибрационным образцом (VSM) с намагниченностью $< 10^{-6}$ эму/г. Немагнитная природа молибденовой проволоки обусловлена ее объемно-центрированной кубической структурой и низким содержанием примесей, а легированные элементы (такие как лантан и рений) не изменяют эту характеристику.

В оборудовании для МРТ в качестве материала используется молибденовая проволока, позволяющая избежать помех магнитного поля и обеспечить точность визуализации (разрешение < 1 мм). В аэрокосмической отрасли молибденовая проволока используется в проводах для подключения спутниковых датчиков и выдерживает сильные магнитные поля (> 1 Тл) без изменения характеристик. Немагнитная природа также дает преимущество молибденовой проволоке в прецизионных приборах, таких как масс-спектрометры, где магнитные поля мешают траекториям ионов.

3.5 CTIA GROUP LTD Молибденовая проволока MSDS

Паспорт безопасности материалов (MSDS) содержит подробные рекомендации по безопасному использованию, хранению и утилизации проволоки из китайского вольфрама-молибдена, включая химический состав, идентификацию опасностей, защитные меры, физические и химические свойства и т. д., чтобы обеспечить безопасность эксплуатации и соблюдение экологических норм.

A. Наименование продукта

Название: Молибденовая проволока

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

Номер CAS: 7439-98-7 (молибден), 7440-15-5 (рений), 1317-33-5 (оксид лантана)

2. Состав и информация о составе

Проволока из чистого молибдена: молибден $\geq 99,95\%$, примеси (C $< 0,01\%$, O $< 0,005\%$, N $< 0,003\%$, Fe $< 0,005\%$)

Молибденовая проволока из лантана: молибден $\geq 99,0\%$, оксид лантана (LO₃) 0,3–1,0%

Молибденово-рениевая проволока: молибден 59–95%, рений 5–41%

Физическая форма: серебристо-белая или черно-серая металлическая нить, диаметр 0,03–3,2 мм

Запах: Без запаха

3. Идентификация опасностей

При комнатной температуре: молибденовая проволока является стабильным металлом, не токсична, не радиоактивна, не представляет существенной опасности для здоровья и не вызывает раздражения при контакте с кожей.

Высокая температура ($>400^{\circ}\text{C}$): При вдыхании может выделяться летучая пыль оксида молибдена (MoO₃), которая может вызвать раздражение дыхательных путей (например, кашель, раздражение горла).

Механическая обработка: резка, шлифовка или волочение проволоки могут привести к образованию металлической пыли, которая может вызвать раздражение легких при вдыхании, а легкий фиброз легких может быть вызван длительным воздействием.

Опасность возгорания: Молибденовая проволока сама по себе не горюча, но в высокотемпературной окислительной атмосфере образуются легковоспламеняющиеся оксиды (MoO₃), которые могут представлять опасность возгорания.

Опасность для окружающей среды: молибденовая проволока сама по себе не наносит существенного вреда окружающей среде, а отходы молибденовой проволоки необходимо правильно перерабатывать, чтобы избежать случайного выброса.

4. Меры первой помощи

Ингаляция: Переместите человека в хорошо проветриваемое помещение, чтобы обеспечить приток свежего воздуха, немедленно обратитесь за медицинской помощью и обеспечьте кислородную поддержку, если дыхание затруднено.

Контакт с кожей: Прополощите контакт мылом и большим количеством воды в течение не менее 15 минут, обратитесь к дерматологу при появлении покраснения, отека или раздражения.

Контакт с глазами: промойте глаза большим количеством воды или физиологического раствора в течение не менее 15 минут, откройте верхние и нижние веки, чтобы убедиться, что они тщательно промыты, и немедленно обратитесь за медицинской помощью, если дискомфорт не проходит.

Прием: Вероятность ошибочного проглатывания молибденовой проволоки очень низка, если

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

это произойдет, немедленно обратитесь за медицинской помощью, не вызывайте рвоту, не дайте пациенту проснуться и предоставьте информацию MSDS.

5. Противопожарные мероприятия

Огнетушащие средства: использовать порошковые огнетушители с сухим порошком, сухим песком или углекислым газом, а также запрещается использовать водные или пенные огнетушащие вещества.

Особые опасности: Пары оксида молибдена образуются при высоких температурах, поэтому пожарным необходимо носить дыхательные аппараты с положительным давлением и защитную одежду для всего тела.

Меры предосторожности при пожаре: контроль источника возгорания, предотвращение распространения дыма, поддержание вентиляции и предотвращение вдыхания токсичных газов.

6. Неотложная обработка протечек

Соберите разбросанные молибденовые провода и используйте антистатические инструменты, чтобы избежать попадания пыли.

Используйте пылесос (оснащенный фильтром HEPA) или влажный, чтобы очистить металлическую пыль, чтобы предотвратить вдыхание.

Собранные отходы молибденовой проволоки хранятся в герметичном контейнере и передаются в профессиональное агентство по переработке для утилизации в соответствии с местными нормами.

Место утечки должно быть изолировано, а защитное снаряжение должно быть надето, чтобы избежать контакта с необученным персоналом.

7. Обращение и хранение

Меры предосторожности при обращении: Во время обработки надевайте защитные перчатки (нитриловые или кожаные), защитные очки и противопылезащитные маски (N95 или выше), а также используйте местное вытяжное оборудование (объем воздуха > 500 м³/ч).

Условия хранения: Хранить в сухом (влажность < 60%), проветриваемом (температура 20–25°C) складе, избегать высокой температуры (>400°C) и влажной среды для предотвращения окисления поверхности.

Несовместимые вещества: Избегайте контакта с сильными окислителями (например, концентрированной азотной кислотой, перекисью водорода), высокотемпературным кислородом и расплавленной щелочью.

Требования к упаковке: Используйте влагонепроницаемые пластиковые пакеты или металлические банки для запечатывания упаковки во избежание физических повреждений и окисления.

8. Контроль воздействия и личная защита

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Инженерное управление: Оснащен локальной вытяжной системой (скорость ветра > 0,5 м/с) и пылеулавливающим устройством для поддержания концентрации молибденовой пыли в воздухе на рабочем месте ниже 5 мг/м³.

Средства индивидуальной защиты: защитные очки (согласно EN 166), респиратор от пыли (согласно NIOSH N95), защитные перчатки и комбинезон с длинными рукавами.

Пределы воздействия: молибденовая пыль OSHA PEL составляет 5 мг/м³ (вдыхаемые частицы), ACGIH TLV составляет 10 мг/м³ (общая пыль), а китайский стандарт GBZ 2.1 составляет 6 мг/м³.

Метод мониторинга: Регулярное определение концентрации пыли на рабочем месте с точностью до $\pm 0,1$ мг/м³.

9. Физико-химические свойства

Внешний вид: серебристо-белая (очищенная молибденовая проволока) или черно-серая (черная молибденовая проволока) металлическая нить

Температура плавления: 2623 °C (чистая молибденовая проволока), 2650 °C (молибденовая ренийевая проволока)

Температура кипения: 4639 °C

Плотность: 10,28 г/см³ (20°C)

Растворимость: нерастворим в воде, разбавленной кислоте и щелочи, растворим в высокотемпературной концентрированной азотной кислоте или расплавленном гидроксиде натрия

Давление пара: 10^{-7} Па (2000°C).

Температура вспышки: нет (негорючий)

Стабильность: Стабильный при комнатной температуре, MoO₃ легко образуется в высокотемпературной (>400°C) окислительной атмосфере

Коэффициент теплового расширения: $4,8-5,2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ (20–1000°C).

Теплопроводность: 138 Вт/(м·К) (20°C)

Удельное сопротивление: 5,2–5,7 мОм·см (20°C)

10. Стабильность и реакционная способность

Стабильность: химически стабилен при комнатной температуре, не вступает в реакцию с водой, воздухом или обычными растворителями.

Реакционная способность: Высокая температура (>400°C) вступает в реакцию с кислородом, азотом и галогенами с образованием MoO₃, Mo₂N или MoCl₅.

Избегайте условий: высокотемпературная окисляющая атмосфера, сильный окислитель, расплавленная щелочь.

Опасные продукты разложения: пыль оксида молибдена (MoO₃), высоколетучая при высоких температурах.

11. Токсикологическая информация

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

Острая токсичность: низкая токсичность, ЛД50 (крысиные, пероральные) > 2000 мг/кг, ЛК50 (крысиные, ингаляционные) > 5 мг/л (4 часа).

Раздражение кожи: Без значительного раздражения, длительное воздействие может вызвать легкое покраснение и отек.

Раздражение глаз: пыль может вызывать механическое раздражение и не вызывает химической коррозии.

Хроническая токсичность: длительное вдыхание высоких концентраций молибденовой пыли (>10 мг/м³) может вызвать раздражение легких или легкий фиброз, системной токсичности не наблюдалось.

Канцерогенность: Не классифицируется как канцероген IARC, NTP или OSHA.

Репродуктивная токсичность: нет данных о репродуктивной токсичности или токсичности для развития.

12. Экологическая информация

Воздействие на окружающую среду: Молибденовая проволока сама по себе не наносит существенного вреда воде, почве и атмосфере, а отходы молибденовой проволоки необходимо перерабатывать, чтобы избежать накопления в окружающей среде.

Биоаккумуляция: Значительная биоаккумуляция отсутствует, молибден является микроэлементом, а растения и животные могут метаболизировать следовые количества молибдена.

Экотоксичность: Нет острой токсичности для водных организмов (таких как рыбы), ЛК50 (96 часов) > 100 мг/л.

Стойкость и разлагаемость: Молибденовая проволока является неразлагаемым металлом, который необходимо перерабатывать.

13. Утилизация и переработка

Способ утилизации: Отходы молибденовой проволоки восстанавливаются путем химического растворения (раствор азотной кислоты или щелочи) или электролиза, при этом коэффициент восстановления может достигать 90–95%.

Процесс переработки: Отходы шелка собираются → химически очищаются → растворяются и очищаются → а молибденовые заготовки подвергаются повторной подготовке, которые необходимо эксплуатировать на профессиональном предприятии.

Экологические требования: Не выбрасывайте его на свалки или в водоемы по своему усмотрению, а сдайте в уполномоченные учреждения для утилизации в соответствии с местными правилами обращения с опасными отходами.

Преимущества переработки: Около 950 кг молибдена может быть восстановлено на тонну отходов молибденовой проволоки, что снижает отходы ресурсов и загрязнение окружающей среды.

14. Информация о доставке

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

Классификация опасных грузов: неопасные грузы, перевозимые как обычные грузы.

Требования к транспортировке: Используйте влагонепроницаемую и ударопрочную упаковку (например, герметичные пластиковые пакеты или металлические банки), чтобы избежать повреждений или влаги во время транспортировки.

Транспортировочная идентификация: маркировка «молибденовая проволока» и технические характеристики, маркировка «влагозащитный» и «обращение с осторожностью».

Международные нормы: Соответствует транспортным стандартам IATA, IMDG и ADR.

15. Нормативная информация

Китайские нормы: соответствуют GB/T 4182-2003 «Молибденовая проволока» и GBZ 2.1 «Пределы профессионального воздействия вредных факторов на рабочем месте».

Международные нормы: Соответствует стандарту ASTM B387 для прутков, полос и проволоки из молибдена и молибденовых сплавов, требованиям REACH и OSHA по химическому менеджменту.

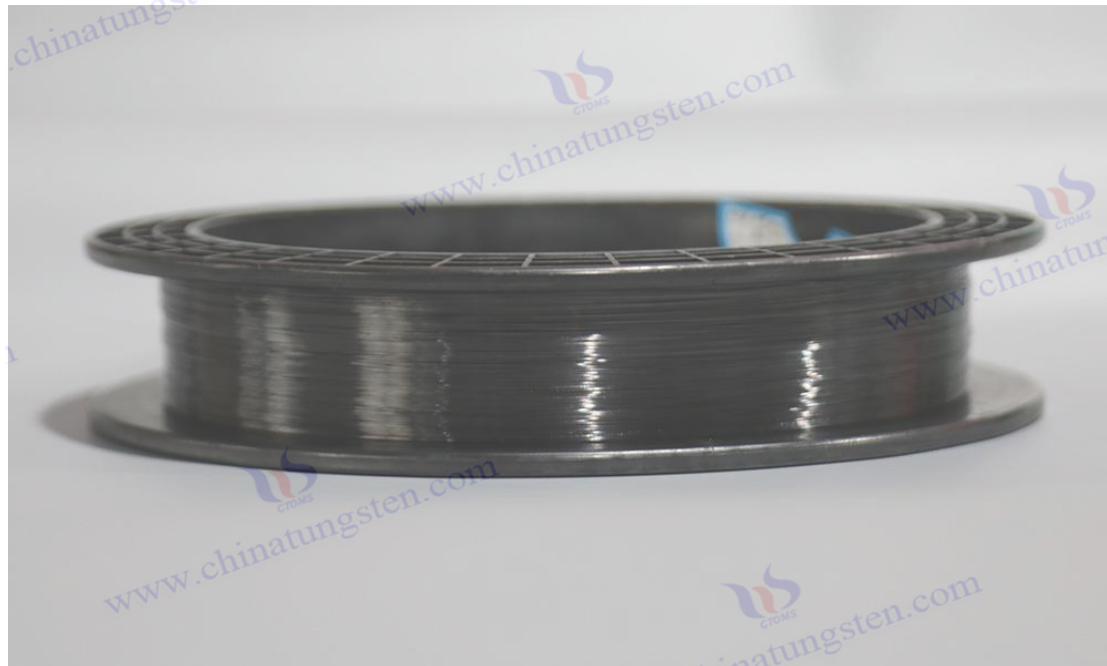
Экологические нормы: Утилизация отходов молибденовой проволоки должна соответствовать Закону о предотвращении и контроле загрязнения окружающей среды твердыми отходами и Директиве EC RoHS.

Сертификация безопасности: сертификация системы менеджмента качества ISO 9001 и сертификация системы экологического менеджмента ISO 14001.

16. Информация о поставщиках

Поставщик: CTIA GROUP LTD

Тел.: 0592-5129696/5129595



CTIA GROUP LTD Черная молибденовая проволока

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 4 Подготовка и технология производства молибденовой проволоки

Подготовка молибденовой проволоки представляет собой сложный многоступенчатый процесс, включающий в себя несколько этапов от очистки сырья до окончательного формования, включая подготовку сырья, порошковую металлургию, обработку волочения проволоки, обработку поверхности, термическую обработку и подготовку специальной молибденовой проволоки из специального сплава. Технические параметры и выбор оборудования для каждого звена напрямую влияют на производительность, технические характеристики и область применения молибденовой проволоки. В последние годы внедрение технологий автоматизации, охраны окружающей среды и энергосбережения позволило значительно повысить эффективность производства и качество продукции. Ниже приведен подробный анализ технологических звеньев и технических деталей подготовки молибденовой проволоки.

4.1 Подготовка сырья

Подготовка сырья является основой производства молибденовой проволоки, которая включает в себя обогащение и очистку молибденового концентрата, получение молибденового порошка, добавление легирующих элементов. Эти этапы гарантируют, что молибденовая проволока имеет высокую чистоту и однородный химический состав, отвечающий строгим требованиям прецизионной обработки и высокотемпературных применений.

4.1.1 Обогащение и очистка концентрата молибдена

Концентрат молибдена в основном извлекается из молибденита (MoS_2), наиболее распространенного минерала молибдена, встречающегося в природе, обычно содержащего 50–60% молибдена. В процессе обогащения молибденит отделяется от попутных минералов (например, меди, сульфидов железа) путем флотации. После дробления (размер частиц < 10 мм) и измельчения (размер частиц $< 0,074$ мм, составляющих 80%) концентрат молибдена разделяли во флотационной машине с добавлением коллекторов (типа ксантогеноген) и пенообразователей (например, терпинеолового масла), при этом содержание молибдена увеличивали до 55–58%, а примеси (такие как Si, Fe, Cu) были снижены до $< 1\%$.

Очистка осуществляется процессами обжига и химического выщелачивания. Обжиг происходит во вращающейся печи (температура 600–700°C, кислородная атмосфера), окисляется MoS_2 до MoO_3 , а сера выделяется в виде SO_2 , с помощью установки очистки выхлопных газов (эффективность десульфурации $> 95\%$). В дальнейшем раствор молибдата аммония получают путем выщелачивания аммиака (концентрация NH_4OH 10–15%, температура 60–80 °C), фильтрации для удаления примесей (Fe, Si и др.), а затем кристаллизации и термического разложения (500–600 °C) с получением MoO_3 высокой чистоты (чистота $> 99,9\%$). Этот процесс гарантирует, что содержание примесей в молибденовом сырье составляет менее 0,01%, что удовлетворяет производственные потребности молибденовой проволоки высокой чистоты.

4.1.2 Производство молибденового порошка

Молибденовый порошок получают путем восстановления водорода с помощью MoO_3 высокой чистоты. Процесс восстановления является двухступенчатым: первая стадия восстанавливает MoO_3 до MoO_2 при 450–600 °C, а вторая стадия восстанавливает MoO_2 до металлического молибденового порошка при 900–1100 °C. В восстановительной печи используется трубчатая печь с высокочистым водородом (чистота >99,999% чистоты, точка росы <-40°C) и контролируемым расходом газа (0,5–1,0 м³/ч) для обеспечения однородной реакции. Полученный молибденовый порошок имеет размер частиц 1–5 мкм, чистоту ≥ 99,95%, содержание кислорода <0,005%, содержание углерода <0,01%.

Распределение частиц по размерам и морфология порошка молибдена определяются с помощью лазерного анализатора размера частиц и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), а однородные сферические частицы могут улучшить плотность и производительность спекания при последующем сжатии. Температура восстановления и чистота водорода должны строго контролироваться в процессе производства, чтобы предотвратить окисление порошка или агломерацию частиц. Ультрадисперсный молибденовый порошок (размер частиц < 1 мкм) используется для производства ультрадисперсной молибденовой проволоки (диаметр <0,05 мм), которая нуждается в дальнейшей оптимизации с помощью технологии плазменной сфероидизации.

4.1.3 Добавление легирующих элементов

Легирующая молибденовая проволока (например, молибденовая проволока из лантана, молибденово-ренийевая проволока) должна добавлять легирующие элементы в порошок молибдена для улучшения характеристик. Молибденовая проволока из лантана была увеличена путем добавления оксида лантана (La_2O_3 , 0,3–1,0 мас.%) для повышения температуры и прочности рекристаллизации, и был принят процесс мокрого легирования: раствор $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ смешивали с молибденовым порошком, и после распылительной сушки образовывался однородный легированный порошок, а температура сушки составляла 120–150°C. Молибденово-ренийевая проволока повышает ударную вязкость и коррозионную стойкость за счет добавления порошка рения (Re, 5–41 мас.%), а также использует метод механического смешивания или плазменного плавления со временем смешивания 2–4 часа для обеспечения равномерного распределения частиц рения.

Процесс легирования должен контролировать равномерность распределения элементов и избегать сегрегации. С помощью рентгеновской дифракции (XRD) и энергетической спектроскопии (EDS) для определения содержания и распределения легированных элементов с точностью до ±0,01 мас.% использовали методы рентгеновской дифракции (XRD) и энергетической спектроскопии (EDS). Легирующие элементы добавляются в инертной атмосфере (аргон или азот) для предотвращения окисления порошка. Чрезмерные уровни дозирования могут привести к сложному спеканию, поэтому соотношения легирования необходимо оптимизировать, чтобы сбалансировать производительность и стоимость.

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire

Molybdenum wire is a high-performance metallic filament made from metal molybdenum through hot working, cold drawing, and surface treatment. It features an extremely high melting point, excellent electrical and thermal conductivity, good mechanical strength, and exceptional corrosion resistance. It serves as a core material in various high-temperature and precision application fields.

2. Applications of Molybdenum Wire (Typical)

Application Field	Specific Uses
Lighting Industry	Filament supports, lead wires, halogen lamp electrodes, fluorescent lamp electrodes, LED packaging brackets
Wire-Cut Machining	Electrode wire for EDM, used in mold making and cutting of complex metal parts
Thermal Spraying	Used for surface reinforcement and wear-resistant coatings on automotive, aerospace, and engineering components
Vacuum Coating	Used as evaporation sources and coating materials for optics, solar cells, and semiconductor devices

3. Types of Molybdenum Wire (Typical)

Classification	Type	Description
Surface Condition	Cleaned Molybdenum Wire	Cleaned surface, bright and smooth, suitable for high-precision processing, electronics, coating, and other demanding applications
	Black Molybdenum Wire	Graphite-coated surface, suitable for general industrial processing and cost-effective applications
Use-Based Category	Wire-Cut Molybdenum Wire	For EDM wire-cutting, features high strength, high precision, and excellent durability
	Thermal Spray Molybdenum Wire	Used in thermal spraying processes, requires high density and good melting properties
	Heating Molybdenum Wire	Used as a heating element in high-temperature furnaces, with excellent heat resistance

4. Specifications of Molybdenum Wire from CTIA GROUP LTD

Item	Specification
Purity	≥99.95%
Diameter Range	0.03 mm ~ 3.0 mm (customizable)
Length / Coil Weight	Custom cut lengths (e.g., 200 mm) or continuous winding (e.g., 500g/coil, 2kg/coil)
Diameter Tolerance	±0.002 mm ~ ±0.1 mm
Surface Condition	Cleaned / Black
Packaging Options	Spool, coil, vacuum packaging, customized packaging

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

4.2 Процесс порошковой металлургии

Порошковая металлургия является основным процессом подготовки заготовки молибденовой проволоки, включая прессование и формование молибденового порошка, спекание и подготовку заготовок, гарантируя, что заготовка имеет высокую плотность и однородную микроструктуру, обеспечивая основу для последующего волочения проволоки.

4.2.1 Прессование и формование молибденового порошка

Молибденовый порошок формуется в стержневую заготовку методом холодного изостатического прессования или прессования. Холодное изостатическое прессование (CIP) выполняется при давлении 200–300 МПа, с использованием резиновых форм, временем прессования 5–10 минут, плотностью заготовки 6,0–6,5 г/см³ (60–65% от теоретической плотности). Отлитый из стали с давлением 100–150 МПа, он подходит для мелкосерийного производства. Небольшое количество связующего вещества (например, поливинилового спирта, 0,5–1,0 мас.%) добавляется в процессе прессования для увеличения прочности заготовки, которая должна полностью улетучиваться при последующем спекании.

Размеры прессованной заготовки должны контролироваться при диаметре 10–20 мм, длине 100–500 мм и ровной поверхности без трещин. Прессовое оборудование оснащено встряхивателем для уменьшения пустот порошка, однородность плотности проверяется ультразвуковым контролем, а размер дефекта < 0,1 мм. Процесс прессования осуществляется в чистом помещении (класс ISO 7) во избежание загрязнения порошком.

4.2.2 Процесс спекания

Прессованная заготовка уплотняется высокотемпературным спеканием, и используется защищенная водородом индукционная печь промежуточной частоты с температурой спекания 1800–2000 °C, временем выдержки 2–4 часа и расходом газообразного водорода 0,5–1,0 м³/ч. Спекание подразделяется на предварительное спекание (800–1000 °C, для удаления связующих веществ и влаги) и высокотемпературное спекание (1800–2000 °C, способствующее склеиванию зерна). После спекания плотность заготовки составляет 9,8–10,0 г/см³ (95–98% от теоретической плотности), а размер зерна – 20–50 мкм.

В процессе спекания следует контролировать скорость нагрева (5–10 °C/мин), чтобы избежать термического растрескивания под напряжением, а скорость охлаждения следует контролировать на уровне 10–20 °C/мин, чтобы предотвратить образование слишком крупных зерен. При спекании заготовок молибденовой проволоки из лантана распределение частиц оксида лантана необходимо дополнительно контролировать для предотвращения агломерации. Качество спекания определяли с помощью плотномера и металлографического микроскопа, пористость составила <2%. Печь для спекания должна быть оснащена системой очистки отходящих газов для восстановления водорода и обработки летучих примесей.

4.2.3 Подготовка заготовки

Спеченная заготовка перерабатывается в заготовку для волочения проволоки методом горячей штамповки или горячей прокатки. Горячая штамповка осуществляется при

температуре 1200–1400 °C с помощью гидравлической ковочной машины с деформацией 30–50% и уменьшением диаметра заготовки до 5–10 мм. Горячая прокатка осуществляется в многовалковом стане при температуре 1100–1300 °C с деформацией 10–15% за проход, в результате чего получается прутки диаметром 2–5 мм. Поверхность заготовки обтачивается или шлифуется для удаления оксидного слоя, а шероховатость поверхности составляет $Ra < 1,0$ мкм.

Микроструктура заготовки анализируется с помощью сканирующей электронной микроскопии и рентгеновской дифракции, чтобы убедиться, что зерна однородны и не имеют внутренних дефектов. Заготовки проволоки из молибдена и рения нуждаются в дополнительном контроле распределения рениевых элементов для предотвращения испарения при высоких температурах. Подготовка заготовки осуществляется в инертной атмосфере для предотвращения окисления, а готовая заготовка хранится в вакуумном пакете для сохранения качества.

4.3 Волочение проволоки

Волочение проволоки является ключевым этапом обработки заготовок в молибденовую проволоку, включающим горячее волочение, холодное волочение, многопроходное волочение проволоки, технологию смазки и охлаждения, которая непосредственно определяет точность размеров и механические свойства молибденовой проволоки.

4.3.1 Технология волочения горячей проволокой

Горячее волочение применяется для производства грубой молибденовой проволоки (диаметр $> 1,0$ мм) при температуре 800–1200 °C с использованием оборудования с высокочастотным индукционным нагревом. Заготовка протягивается через твердосплавную матрицу с уменьшением диаметра на 15–20% за проход и скоростью волочения 2–5 м/с. Температура нагрева должна точно контролироваться (± 10 °C), чтобы избежать слишком крупных зерен или окисления поверхности. Горячее волочение снижает износ штампа и продлевает стойкость инструмента (до 1000 м), но качество поверхности оставляет желать лучшего, часто образуется черная молибденовая проволока (толщина слоя оксида 0,1–1,0 мкм).

Термоволоочильная машина оснащена инфракрасным термометром и системой контроля натяжения (напряжение 20–50 Н) для обеспечения стабильности размеров. Прочность на разрыв крупномолибденовой проволоки составляет 700–1200 МПа, что подходит для термического напыления и компонентов высокотемпературных печей. Волочение горячей проволоки необходимо проводить под защитой водорода или аргона, чтобы предотвратить окисление при высоких температурах.

4.3.2 Технология холодного волочения

Холодное волочение используется для производства стандартной тонкой молибденовой проволоки (0,05–0,3 мм) и ультратонкой молибденовой проволоки ($< 0,05$ мм) при комнатной температуре (20–50 °C) или низкой температуре (< 300 °C) с использованием алмазных штампов (допуск на апертуру $\pm 0,001$ мм). Диаметр каждого прохода уменьшается на 5–10%,

а скорость волочения составляет 0,5–2 м/с. Холодное волочение повышает прочность на разрыв (1500–3500 МПа) и чистоту поверхности ($Ra < 0,2$ мкм) для электроэрозионной обработки проволоки и электронных компонентов.

Высокоэффективные смазочные материалы (например, графитовые эмульсии, вязкость 10–20 мПа·с) необходимы для холодного волочения для снижения трения и повышения стойкости инструмента около 500 м. Напряжение (5–15 Н) и температура (< 100 °С) контролируются в процессе волочения, чтобы предотвратить обрыв проволоки. Машина для холодного волочения оснащена лазерным штангенциркулем для определения допусков по диаметру ($\pm 0,001$ мм) в режиме реального времени.

4.3.3 Многопроходное рисование

Многопроходное волочение проволоки — это основной процесс постепенной обработки заготовки до заданного диаметра, который требует 5–10 проходов для грубой молибденовой проволоки, 10–20 проходов для стандартной тонкой молибденовой проволоки и 20–30 проходов для ультратонкой молибденовой проволоки. Промежуточный отжиг (600–900 °С, защита от аргона, инкубация в течение 10–30 минут) после каждого прохода для устранения деформационного упрочнения и восстановления пластичности. Волочильная машина оснащена многорежимным оборудованием непрерывного волочения, оснащенным автоматическим контролем натяжения (точность $\pm 0,1$ Н) и онлайн-обнаружением дефектов (вихретоковая дефектоскопия, точность обнаружения 0,01 мм).

Конструкция пресс-формы должна быть оптимизирована для многопроходного волочения проволоки, а скорость уменьшения апертуры должна контролироваться на уровне 5–15%, чтобы избежать концентрации напряжений. Волочение ультратонкой молибденовой проволоки требует использования наноразмерных алмазных штампов (апертура $< 0,05$ мм), что является дорогостоящим, но точным $\pm 0,0005$ мм. Поверхность молибденовой проволоки после волочения осматривается микроскопом и измерителем шероховатости, чтобы убедиться в отсутствии микротрещин или царапин.

4.3.4 Технология смазки и охлаждения

Смазка и охлаждение играют ключевую роль в процессе волочения, влияя на срок службы штампа и качество поверхности молибденовой проволоки. Смазочный материал представляет собой эмульсию на водной основе (содержащую графит или MoS_2 , вязкость 10–20 мПа·с) или смазочную смазку на масляной основе (вязкость 20–50 мПа·с) с толщиной покрытия 0,01–0,05 мм и пониженным коэффициентом трения до 0,05–0,1. Охлаждение осуществляется системой циркуляционной воды (температура 15–25 °С, расход 1–2 л/мин) или распылительным охлаждением для поддержания температуры формы и молибденовой проволоки ниже 100 °С.

Смазку необходимо регулярно фильтровать (с точностью до 1 мкм) для удаления загрязнений и предотвращения царапин на поверхности. Волочение ультратонкой молибденовой проволоки требует использования малолетучих смазочных материалов для уменьшения

остатков. Система охлаждения оснащена датчиком температуры и расходомером для обеспечения равномерного охлаждения. Согласно данным Chinatungsten Online, оптимизированная технология смазки и охлаждения может увеличить срок службы пресс-формы на 30% и снизить скорость обрыва проволоки до 0,05%.

4.4 Обработка поверхности

Обработка поверхности улучшает качество поверхности и эксплуатационные характеристики молибденовой проволоки, включая каустическую промывку, полировку и обработку покрытий, для удовлетворения потребностей различных областей применения, таких как электрические источники света, резка проволоки и вакуумное покрытие.

4.4.1 Процесс промывки каустика (очищенная молибденовая проволока)

Процесс промывки едкой используется для получения очищенной молибденовой проволоки, удаления поверхностного оксидного слоя (MoO_3 , толщина 0,1–1,0 мкм) и улучшения качества поверхности ($R_a < 0,2$ мкм). В процессе используется раствор гидроксида натрия (концентрация 10–20%, температура 80–100 °C), замоченный на 1–5 минут, с последующим промыванием деионизированной водой (проводимость < 1 мСм/см) в течение 5–10 минут и сушка горячим воздухом (60–80 °C). Установка для промывки каустика представляет собой линию непрерывной очистки, оснащенную узлом ультразвуковой очистки (частота 28–40 кГц) для удаления мелких частиц.

Щелочная промывка должна контролировать pH (12–14) и температуру ($\pm 2^\circ\text{C}$) раствора, чтобы избежать чрезмерной коррозии. Низкое контактное сопротивление (снижение на 10–15%) и низкое содержание примесей ($< 0,005\%$) очищенной молибденовой проволоки делают ее пригодной для использования в электрических источниках света и микроэлектронике. Отработанная жидкость должна быть нейтрализована и осаждена (pH скорректирован до 6–8) в соответствии с экологическими требованиями.

4.4.2 Процесс полировки

Полировка еще больше улучшает качество поверхности очищенной молибденовой проволоки с помощью электрохимической полировки или механической полировки. При электрохимической полировке используется смесь фосфорной кислоты и сернокислотного электролита (соотношение 3:1, плотность тока 0,5–1,0 А/см²) с временем полировки 30–60 секунд и выполняется в вытяжном шкафу. Для механической полировки используется алмазный шлифовальный круг (размер зерна 1–5 мкм) при 1000–2000 об/мин и времени полировки 1–2 минуты.

После полировки поверхность молибденовой проволоки осматривается с помощью атомно-силовой микроскопии (АСМ). Процесс полировки повышает точность резки проволокой (± 2 мкм) и качество пленки с вакуумным покрытием (плотность дефектов $< 10/\text{см}^2$). Жидкость для отходов полировки должна быть переработана, чтобы предотвратить загрязнение тяжелыми металлами.

4.4.3 Обработка покрытий

Обработка покрытий повышает стойкость молибденовой проволоки к окислению и истиранию, а обычные покрытия включают силицид молибдена (MoSi_2) и диоксид циркония (ZrO_2). Покрытие из силицида молибдена получали методом химического осаждения из газовой фазы (CVD) при температуре осаждения 1000–1200°C, толщине покрытия 5–10 мкм и скорости окисления 0,01 мг/см²ч на воздухе при 1000°C. Покрытие из диоксида циркония получают методом плазменного напыления с мощностью напыления 20–30 кВт, толщиной покрытия 10–20 мкм и повышением износостойкости на 50%.

Качество покрытия определяли методами сканирующей электронной микроскопии и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, а адгезия покрытия составляла > 50 МПа. Молибденовая проволока с покрытием используется в высокотемпературных печах и аэрокосмических компонентах для продления срока службы до более чем 5000 часов. Для обеспечения однородности процесса нанесения покрытия требуется контролируемая скорость осаждения (0,1–0,5 мкм/мин) и атмосфера (вакуум < 10⁻² Па).

4.5 Термическая обработка и отжиг

Термическая обработка и отжиг оптимизируют микроструктуру и механические свойства молибденовой проволоки, устраняют напряжение волочения, улучшают пластичность и ударную вязкость.

4.5.1 Параметры процесса отжига

Отжиг проводят под защитой водорода или аргона при температуре 600–1000°C, времени выдержки 10–60 минут, скорости нагрева 5–10°C/мин и скорости охлаждения 10–20°C/мин. Температура отжига составляет 600–800 °C для ультратонкой молибденовой проволоки (диаметр < 0,05 мм) и 800–1000 °C для грубой молибденовой проволоки (диаметр > 1,0 мм). После отжига прочность на разрыв снижается на 10–20%, а удлинение увеличивается до 8–15%. Молибденово-лантановая проволока и молибденово-ренийевая проволока требуют более высокой температуры отжига (800–1200 °C) для оптимизации распределения легирующих элементов.

Процесс отжига был верифицирован с помощью металлургической микроскопии и испытания на растяжение, размер зерна контролировался на уровне 10–50 мкм, а вязкость разрушения была увеличена до 20–30 МПа·м^{1/2}. Параметры отжига должны быть оптимизированы в соответствии со спецификациями и областями применения молибденовой проволоки, например, молибденовая проволока для резки проволоки должна быть высокопрочной, а время отжига коротким (10–20 минут).

4.5.2 Оборудование для термообработки

Термическая обработка осуществляется с помощью трубчатых печей отжига или линий непрерывного отжига с системами защиты от высокочистого водорода (чистота > 99,999%) или аргона (содержание кислорода < 10 ppm). Благодаря точности регулирования температуры ± 5 °C и длине печи 1–2 м трубчатая печь подходит для мелкосерийного

производства. Линия непрерывного отжига оснащена многозонным нагревом (зоны 3–5 с температурным градиентом $10^{\circ}\text{C}/\text{см}$) и скоростью волочения 0,5–2 м/мин, что делает ее пригодной для крупносерийного производства.

Оборудование должно быть оснащено инфракрасным термометром и анализатором атмосферы (точность определения содержания кислорода $\pm 1 \text{ ppm}$) для обеспечения стабильной среды отжига. Выхлопные газы обрабатываются устройством каталитического сгорания, а коэффициент преобразования составляет $> 99\%$. Оборудование для термообработки регулярно обслуживается, чтобы загрязнение печи не повлияло на качество молибденовой проволоки.

4.6 Получение проволоки из специального сплава молибдена

Проволока из специального сплава молибдена (например, молибденовая проволока из лантана, проволока из молибдена и рения) изготавливается методом легирования и специальных процессов для удовлетворения потребностей высоких температур и экстремальных сред.

4.6.1 Процесс легирования молибденовой лантановой проволоки

Молибденовую проволоку из лантана получают путем добавления оксида лантана (La_2O_3 , 0,3–1,0 мас.%) к молибденовому порошку, который легируется либо влажным, либо сухим легированием. При влажном легировании раствор $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ смешивается с молибденовым порошком и высушивается распылением (температура $120\text{--}150^{\circ}\text{C}$) с образованием однородного порошка с размером частиц 1–3 мкм. Сухое легирование осуществляется путем смешивания порошка молибдена и порошка оксида лантана на высокоскоростной шаровой мельнице (300–500 об/мин, 2–4 часа). Легированный порошок превращали в заготовку методом холодного изостатического прессования и спекания ($1900\text{--}2000^{\circ}\text{C}$), а размер частиц оксида лантана контролировали на уровне 0,1–0,5 мкм, а равномерность распределения составляла $>95\%$.

Необходимо оптимизировать процесс волочения и отжига молибденовой лантановой проволоки с температурой отжига $800\text{--}1000^{\circ}\text{C}$, 20–30 проходами волочения проволоки, прочностью на разрыв 1500–2000 МПа и температурой рекристаллизации 1800°C . Процесс легирования был проверен с помощью рентгеновской дифракции и просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), а эффект связывания частиц оксида лантана значительно улучшил высокотемпературные характеристики.

4.6.2 Производство проволоки из молибден-рениевого сплава

Молибдено-рениевую проволоку получают путем добавления порошка рения (5–41 мас.%) с использованием процессов плазменного плавления или механического смешивания. Плазменный синтез осуществляется в аргоновой плазме (мощность 10–20 кВт) при температуре плавления $2500\text{--}3000^{\circ}\text{C}$ с равномерностью распределения рения $>98\%$. Для механического перемешивания используется планетарная мельница (200–400 об/мин, 4–6 часов) для обеспечения равномерного диспергирования частиц рения (1–5 мкм). Смешанный

порошок изготавливают в заготовку методом холодного изостатического прессования (250 МПа) и высокотемпературного спекания (2000–2200 °C) плотностью $> 10,3 \text{ г/см}^3$.

Процесс волочения молибденово-рениевой проволоки осуществляется методом холодной волочки, допуск по диаметру отверстия матрицы составляет $\pm 0,001 \text{ мм}$, а температура отжига составляет 900–1200°C. Обладая прочностью на разрыв 2000–3000 МПа и увеличенной на 50% ударной вязкостью, он подходит для аэрокосмической и медицинской промышленности. Производство должно осуществляться в вакууме или аргоне для предотвращения испарения рения, а оборудование оснащено системой рекуперации конденсации выхлопных газов.

4.7 Оптимизация процессов и технологические инновации

Оптимизация процессов и технологические инновации для повышения эффективности производства, качества и экологических характеристик молибденовой проволоки включают в себя автоматизированные производственные и энергосберегающие процессы.

4.7.1 Автоматизированная технология производства

Технология автоматизации используется при волочении проволоки, отжиге и контроле. Линия волочения проволоки оснащена многоосевым волочильным станком с ЧПУ, который автоматически регулирует натяжение (точность $\pm 0,1 \text{ Н}$) и скорость (0,1–5 м/с), а коэффициент обрыва проволоки снижается до 0,05%. Для контроля качества молибденовой проволоки в режиме реального времени используется лазерный штангенциркуль (точность $\pm 0,0005 \text{ мм}$) и вихретоковая дефектоскопия (дефектоскопия $< 0,01 \text{ мм}$). Линия отжига использует ПЛК для контроля температуры ($\pm 2^\circ\text{C}$) и атмосферы (содержание кислорода $< 5 \text{ ppm}$) для непрерывного производства.

Система автоматизации интегрирует MES (Manufacturing Execution System) для записи производственных данных (например, скорости волочения, времени отжига) в режиме реального времени для повышения согласованности партий. Автоматизированное производство позволит повысить эффективность на 30% и снизить трудозатраты на 20%, что подходит для крупносерийного производства ультратонкой молибденовой проволоки и легированной молибденовой проволоки.

4.7.2 Охрана окружающей среды и энергосберегающие процессы

Экологически безопасные процессы включают в себя очистку отходящих газов, рекуперацию отработанных жидкостей и энергосберегающее оборудование. Печь для спекания и отжига оснащена системой рекуперации водорода (коэффициент рекуперации $> 90\%$) и установкой каталитического сжигания выхлопных газов (коэффициент конверсии $> 99\%$) для снижения выбросов SO_2 и MoO_3 . Молибдат был восстановлен путем нейтрализации (pH 6–8) и осаждения отходов щелочной промывки с коэффициентом извлечения $> 95\%$. Волочильная смазка на водной основе, экологически безопасна и снижает выбросы летучих органических соединений (ЛОС) на 80%.

К энергосберегающим технологиям относятся индукционная печь промежуточной частоты (на 15% меньше энергопотребления) и эффективная система охлаждения (коэффициент рециркуляции воды >90%). «Зеленое» производство соответствует стандартам ISO 14001 и способствует устойчивому развитию индустрии молибденовой проволоки.



CTIA GROUP LTD Черная молибденовая проволока

Глава 5 Использование молибденовой проволоки

Обладая превосходной термостойкостью, механической прочностью, коррозионной стойкостью и электропроводностью, молибденовая проволока показала широкий спектр применения в области электрических источников света, резки проволоки и напыления. Различные области применения выдвигают особые требования к техническим характеристикам, чистоте и обработке поверхности молибденовой проволоки, охватывая различные сценарии от прецизионной обработки на микронном уровне до высокотемпературных и тяжелых условий эксплуатации. Ниже приведено подробное текстовое описание для анализа конкретных областей применения молибденовой проволоки в производстве электрических источников света, электроэрозионной обработки и термического напыления, а также для объяснения ее эксплуатационных преимуществ, технологического процесса и технических проблем.

5.1 Молибденовая проволока для электрического источника света

Молибденовая проволока является незаменимым материалом в производстве электрических источников света и широко используется в производстве лампочек, опорных конструкций, выводов и соединительных деталей для галогенных, люминесцентных и светодиодных ламп. Его низкий коэффициент теплового расширения в значительной степени соответствует стеклу и керамике, а его превосходная проводимость и стабильность при высоких температурах позволяют ему выдерживать высокие температуры и частые термоциклы в

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

электрических источниках света, обеспечивая при этом надежность при длительной эксплуатации.

5.1.1 Опорные провода и провода при изготовлении лампочек

При изготовлении традиционных лампочек, таких как лампы накаливания, молибденовые нити используются в качестве опорных проводов и выводов, которые отвечают за удержание высокотемпературных нитей накаливания и подачу тока в колбу. Молибденовая проволока может образовывать плотное соединение со стеклянным уплотнением, которое может сохранять стабильные характеристики уплотнения даже при высоких температурах и избегать растрескивания, вызванного тепловым расширением и холодным сжатием. В качестве поддерживающей нити молибденовая проволока принимает на себя вес нити, предотвращая ее провисание из-за высокой температуры при зажигании, обеспечивая точное позиционирование нити, тем самым сохраняя равномерность света. В качестве провода молибденовый провод подключает внешний источник питания к нити накаливания, эффективно проводит ток, снижает потери энергии и продлевает срок службы лампы.

В процессе производства молибденовая проволока обычно изготавливается из материала высокой чистоты, а процесс тонкого холодного волочения используется для изготовления проволоки мелкого диаметра, а затем поверхностный слой оксида удаляется путем промывки щелочью, чтобы получить очищенную молибденовую проволоку с гладкой поверхностью. Качество поверхности очищенной молибденовой проволоки имеет решающее значение, и следовые примеси необходимо удалять с помощью ультразвуковой очистки, чтобы гарантировать отсутствие пузырей или трещин при герметизации стеклом. В производстве молибденовая проволока отжигается под защитой водорода для снятия технологического напряжения, повышения ударной вязкости и облегчения последующей гибки и формования. Техническая задача заключается в том, чтобы гарантировать отсутствие дефектов на поверхности молибденовой проволоки и при этом избежать окисления в процессе высокотемпературной герметизации, что требует строгого контроля чистоты и чистоты атмосферы производственной среды.

5.1.2 Электродные материалы для галогенных и люминесцентных ламп

Молибденовая проволока используется в качестве электродного подводящего провода в галогенных и люминесцентных лампах для подключения нити накаливания или люминофорного покрытия к внешней цепи, а также подвергается воздействию высоких температур и химически агрессивных сред. В галогенных лампах молибденовая нить подвергается воздействию высококоррозионной атмосферы галогеновых газов, а ее превосходная коррозионная стойкость гарантирует, что она не подвергается эрозии при длительной эксплуатации, при этом поддерживая стабильный блеск нити накаливания при высоких температурах. В люминесцентных лампах в качестве катодного провода используется молибденовая проволока, которая участвует в процессе высокочастотного разряда, а проводящие характеристики обеспечивают стабильность дуги, тем самым улучшая световую отдачу и срок службы лампы.

Производственный процесс требует высокой чистоты поверхности и постоянства размеров молибденовой проволоки, обычно с использованием процесса холодного волочения, многократного волочения проволоки и промежуточного отжига, чтобы обеспечить гибкость проволоки и отсутствие внутренних напряжений. Поверхность обрабатывается щелочной промывкой и сверхчистой очисткой для удаления оксидного слоя и частиц, а также для уменьшения интерференции загрязнений во время электродного разряда. Молибденовую проволоку часто легируют микроэлементами (например, кремнием, алюминием, калием) для повышения способности противостоять провисанию и адаптироваться к тепловому циклу частого переключения ламп. Задача состоит в том, чтобы контролировать однородность легированных элементов и избежать окисления при высокотемпературной пайке, обеспечивая надежное соединение электродов.

5.1.3 Основание светодиодной лампы и соединительный материал

При производстве светодиодных ламп молибденовая проволока используется для опоры основания и подключения электродов, фиксации светодиодного чипа и проведения тока. Его низкий коэффициент теплового расширения хорошо согласуется с керамической подложкой, что позволяет избежать растрескивания под напряжением, вызванного термоциклированием. Проводимость и немагнитные свойства молибденовой проволоки обеспечивают стабильность тока и электромагнитную совместимость мощных светодиодов, которые особенно подходят для освещения высокой яркости и прецизионного электронного оборудования. Отделка поверхности молибденовой проволоки оказывает значительное влияние на контактное сопротивление, и необходимо обеспечить низкое сопротивление для снижения тепловыделения и повышения энергоэффективности и срока службы светодиодных ламп.

В производстве молибденовая проволока использует ультратонкий процесс холодной волочения с полировкой и сверхчистой очисткой, чтобы гарантировать отсутствие царапин или загрязнений на поверхности. Лазерная сварка используется для фиксации молибденовой проволоки к основанию, при этом паяные соединения должны быть прочными и свободными от примесей. Процесс отжига оптимизирует ударную вязкость молибденовой проволоки и позволяет изгибать ее в сложные формы в соответствии с базовой конструкцией. Технические задачи включают в себя достижение точности размеров на микронном уровне и поддержание вакуума в процессе сварки для предотвращения влияния окисления на проводимость.

5.2 Молибденовая проволока для резки проволоки

Молибденовая проволока является материалом сердечника электрода электроэрозионных станков (WEDM) и широко используется для резки металлов и изготовления прецизионных пресс-форм благодаря своей высокой прочности, устойчивости к дуге и отличной электропроводности. Его высокая прочность и качество поверхности позволяют выполнять высокоточную обработку в соответствии с требованиями сложных форм и допусками на микронном уровне.

CTIA GROUP LTD
Molybdenum Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire

Molybdenum wire is a high-performance metallic filament made from metal molybdenum through hot working, cold drawing, and surface treatment. It features an extremely high melting point, excellent electrical and thermal conductivity, good mechanical strength, and exceptional corrosion resistance. It serves as a core material in various high-temperature and precision application fields.

2. Applications of Molybdenum Wire (Typical)

Application Field	Specific Uses
Lighting Industry	Filament supports, lead wires, halogen lamp electrodes, fluorescent lamp electrodes, LED packaging brackets
Wire-Cut Machining	Electrode wire for EDM, used in mold making and cutting of complex metal parts
Thermal Spraying	Used for surface reinforcement and wear-resistant coatings on automotive, aerospace, and engineering components
Vacuum Coating	Used as evaporation sources and coating materials for optics, solar cells, and semiconductor devices

3. Types of Molybdenum Wire (Typical)

Classification	Type	Description
Surface Condition	Cleaned Molybdenum Wire	Cleaned surface, bright and smooth, suitable for high-precision processing, electronics, coating, and other demanding applications
	Black Molybdenum Wire	Graphite-coated surface, suitable for general industrial processing and cost-effective applications
Use-Based Category	Wire-Cut Molybdenum Wire	For EDM wire-cutting, features high strength, high precision, and excellent durability
	Thermal Spray Molybdenum Wire	Used in thermal spraying processes, requires high density and good melting properties
	Heating Molybdenum Wire	Used as a heating element in high-temperature furnaces, with excellent heat resistance

4. Specifications of Molybdenum Wire from CTIA GROUP LTD

Item	Specification
Purity	≥99.95%
Diameter Range	0.03 mm ~ 3.0 mm (customizable)
Length / Coil Weight	Custom cut lengths (e.g., 200 mm) or continuous winding (e.g., 500g/coil, 2kg/coil)
Diameter Tolerance	±0.002 mm ~ ±0.1 mm
Surface Condition	Cleaned / Black
Packaging Options	Spool, coil, vacuum packaging, customized packaging

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

5.2.1 Проволока проволочная для электроэрозионных станков

В электроэрозионных станках молибденовая проволока используется в качестве электродной проволоки для создания микроскопического отверстия на заготовке с помощью высокочастотного импульсного разряда, что обеспечивает высокоточную резку. Молибденовая проволока способна выдерживать высокие температуры натяжения и дуги, сохраняя стабильные характеристики разряда, обеспечивая непрерывный и эффективный процесс резки. Его проводимость поддерживает быструю проводимость тока и снижает потери энергии, а высокая прочность предотвращает обрыв провода при работе на высокой скорости. Благодаря своей гладкой поверхности и низкому контактному сопротивлению очищенная молибденовая проволока особенно подходит для высокоточной резки, снижая потери дуги и продлевая срок службы.

В производственном процессе используется технология холодного волочения путем многократного волочения проволоки и промежуточного отжига, чтобы обеспечить равномерность диаметра молибденовой проволоки и гладкую поверхность. Смазочные материалы снижают трение и предотвращают появление царапин на поверхности во время волочения проволоки, в то время как встроенное диагностическое оборудование контролирует размер проволоки и дефекты для обеспечения стабильного качества. Молибденовые нити необходимо эксплуатировать в деионизированной водной среде с высокоточной системой контроля натяжения для поддержания стабильного разряда. Задача заключалась в том, чтобы снизить риск обрыва проволоки, оптимизировать системы смазки и охлаждения, а также обеспечить точность волочильной матрицы в соответствии с микронными допусками.

5.2.2 Резание цветных металлов, стали и твердого сплава

Молибденовая проволока используется для резки цветных металлов (таких как медь, алюминий), стали и твердого сплава (например, вольфрамо-кобальтового сплава), а также широко используется в механической обработке и изготовлении пресс-форм. Его высокая прочность и стойкость к истиранию позволяют ему резать материалы высокой твердости, сохраняя при этом стабильное качество резки. Молибденовая проволока выдерживает высокотемпературную дуговую эрозию во время разряда, превосходную теплопроводность и быстрое рассеивание тепла, снижая потери проволоки и продлевая срок службы. Легированная молибденовая проволока, такая как молибденовая лантановая проволока, еще больше повышает эффективность резки твердого сплава за счет повышения износостойкости и стабильности при высоких температурах.

В производстве молибденовая проволока подготавливается методом холодного волочения и полировки для обеспечения гладкой поверхности и снижения нестабильности дуги. Процесс резки охлаждается деионизированной водой высокой чистоты для предотвращения перегрева заготовки и проволоки. Отходы шелка перерабатываются путем химического растворения для сокращения отходов ресурсов. Техническая сложность заключается в оптимизации параметров разгрузки и контроля натяжения, чтобы сбалансировать скорость и точность резки при одновременном снижении износа проволоки при твердосплавной резке.

5.2.3 Прецизионные формы и обработка сложных форм

Молибденовая проволока достигает микронной точности при изготовлении прецизионных форм и обработке сложных форм, а также подходит для обработки формовочной стали, титановых сплавов и других материалов, удовлетворяя потребности аэрокосмической и автомобильной промышленности в сложных геометрических формах. Ультратонкая молибденовая проволока способна резать мелкие детали, такие как миниатюрные зубчатые формы или сложные изогнутые поверхности, а ее высокая прочность позволяет работать на высокой скорости без поломки. Чистота поверхности имеет решающее значение для точности резки, а очищенная молибденовая проволока уменьшает дефекты поверхности с помощью процесса полировки, чтобы обеспечить гладкий срез без заусенцев.

Производственный процесс включает в себя несколько проходов холодной волочения и строгий контроль отжига, чтобы гарантировать, что проволока гибкая и свободна от внутренних напряжений. Многоосевые станки с ЧПУ используются для обработки сложных форм, а молибденовая проволока должна работать под точным контролем натяжения, чтобы избежать вибраций. Система циркуляции охлаждающей жидкости поддерживает стабильность процесса и предотвращает термические искажения. Задача состоит в том, чтобы добиться постоянства размеров и стабильности при обработке сложных форм с помощью ультратонкой молибденовой проволоки с использованием высокоточной оснастки и технологии поточного мониторинга.

5.3 Молибденовая проволока для напыления

Молибденовая проволока используется в термическом напылении для формирования износостойких, устойчивых к коррозии покрытий и широко используется в автомобильной, механической и аэрокосмической промышленности для упрочнения и ремонта поверхности. Его высокая температура плавления и механическая прочность обеспечивают отличную производительность в экстремальных условиях.

5.3.1 Износостойкие покрытия для автомобильных деталей

Молибденовая проволока распыляется на поверхность автомобильных деталей (таких как поршневые кольца, коленчатые валы) с образованием износостойкого покрытия, которое значительно повышает долговечность и противоизносную способность компонентов. Молибденовая проволока расплавляется с помощью плазменного или газопламенного напыления и наносится на поверхность подложки с образованием плотного покрытия, способного выдерживать высокое трение и высокую температуру окружающей среды, продлевая срок службы компонентов. Черная молибденовая проволока часто используется для газопламенного напыления, потому что ее поверхностный оксидный слой легко плавится при напылении, обладает высокой эффективностью и низкой стоимостью.

В производстве молибденовая проволока превращается в проволоку более грубого диаметра с использованием процесса горячего волочения, и поверхность не нуждается в полировке для удержания оксидного слоя. Распылительное оборудование оснащено мощным плазменным пистолетом, а температура и расстояние распыления необходимо контролировать, чтобы

обеспечить равномерное покрытие. Качество покрытия проверяется под микроскопом, чтобы убедиться в отсутствии пористости или трещин. Задача состоит в том, чтобы оптимизировать параметры распыления для улучшения адгезии покрытия при одновременном контроле выбросов пыли в соответствии с экологическими требованиями.

5.3.2 Поверхностный ремонт и упрочнение механических узлов

Молибденовая проволока используется для ремонта изношенных механических деталей (например, подшипников, валов) или улучшения их поверхностных свойств, а также распыляется для получения толстого, износостойкого, устойчивого к коррозии покрытия. Молибденовая проволока плавится при плазменном напылении и наносится на изношенные поверхности, восстанавливая размер детали и повышая коррозионную стойкость, что делает ее особенно подходящей для компонентов в химическом оборудовании и шельфовой технике. Легированная молибденовая проволока, такая как молибденовая лантановая проволока, продлевает срок службы отремонтированных деталей в высокотемпературных средах за счет повышения стойкости покрытия к окислению.

Производственный процесс включает в себя горячее волочение и очистку поверхности, чтобы убедиться, что на проволоке нет примесей. Процесс распыления осуществляется под защитой инертного газа (например, аргона) для предотвращения окисления. Покрытие проверено испытаниями на износ, чтобы обеспечить низкий коэффициент трения и высокую долговечность. Технические задачи включают в себя обеспечение прочности связи между покрытием и подложкой, а также контроль термических напряжений в процессе напыления, чтобы избежать деформации подложки.

5.3.3 Термическое напыление компонентов авиационных двигателей

Молибденовая проволока напыляется высокотемпературными и износостойкими покрытиями на компоненты авиационных двигателей (такие как лопасти и форсунки) в соответствии с требованиями высоких температур, высокого давления и агрессивных сред. Молибденово-рениевая проволока часто используется при плазменном напылении из-за ее отличной термостойкости и коррозионной стойкости, образуя покрытие, которое может работать в течение длительного времени в высокотемпературных газовых потоках. Покрытие повышает износостойкость и стойкость лопастей к окислению, а также продлевает интервалы технического обслуживания двигателя.

В производстве молибденово-рениевая проволока подготавливается методом холодного волочения и высокотемпературного отжига для обеспечения ударной вязкости и прочности проволоки. Напыление происходит в вакууме или инертной атмосфере и требует точного контроля параметров напыления для создания однородного покрытия. Качество покрытия проверяется с помощью термоциклических испытаний и микроскопического анализа, чтобы убедиться в отсутствии трещин и отслаивания. Задача заключалась в том, чтобы получить покрытие с высокой адгезией при одновременном снижении потерь материала и воздействия молибденовой проволоки на окружающую среду в процессе напыления.

5.4 Молибденовая проволока для вакуумного нанесения покрытий

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Молибденовая проволока используется в качестве ключевого исходного материала для испарения в индустрии вакуумных покрытий для нанесения высокопроизводительных тонких пленок в широкий спектр оптических, декоративных и функциональных покрытий. Его высокая температура плавления, отличная теплопроводность и химическая стабильность обеспечивают стабильное испарение в условиях высокотемпературного вакуума, образуя однородную и плотную пленку, отвечающую строгим требованиям к качеству и надежности прецизионных приборов.

5.4.1 Исходные материалы для испарения при тонкопленочном осаждении

Молибденовая проволока используется в качестве исходного материала для испарения в процессе физического осаждения из газовой фазы (PVD), при котором металл или соединение плавится и испаряется под действием тепла с образованием тонкой пленки на подложке. Молибденовая проволока способна выдерживать экстремально высокие температуры без плавления и деформации, что делает ее пригодной для длительной эксплуатации в вакуумной среде для обеспечения стабильности тонкопленочного осаждения. Он обладает отличной теплопроводностью и способен равномерно передавать тепло, предотвращая неравномерное испарение, вызванное локальным перегревом. Химическая стабильность молибденовой проволоки гарантирует, что в процессе испарения не будут попадать примеси, сохраняя высокую чистоту и эксплуатационные характеристики пленки.

В производстве молибденовая проволока обычно изготавливается из материалов высокой чистоты, а проволока тонкого диаметра изготавливается методом холодной волочения, а поверхность полируется и сверхочищается для достижения очень высокой отделки и снижения влияния пористости или дефектов на качество пленки. Молибденовая проволока источника испарения должна нагреваться электронным пучком или сопротивлением в вакуумной среде, а процесс нагрева должен точно контролироваться для обеспечения стабильной скорости испарения. Производственный процесс включает в себя несколько проходов волочения проволоки и отжига для снятия напряжения и повышения ударной вязкости, способствуя образованию источника испарения, который наматывается на проволоку определенной формы. Техническая задача заключается в том, чтобы гарантировать, что поверхность молибденовой проволоки свободна от следовых загрязнений и в то же время избежать преждевременной потери проволоки в процессе высокотемпературного испарения, который требует сверхвысокого вакуумного оборудования и высококачественного процесса очистки.

5.4.2 Оптические и декоративные покрытия

Молибденовая проволока используется в оптических покрытиях (например, линзах, фильтрах) и декоративных покрытиях (например, часах, корпусах ювелирных изделий) для нанесения оксидных или металлических пленок для высоких отражательных или эстетических потребностей. Его устойчивость к высоким температурам способствует осаждению материалов с высокой температурой плавления, таких как диоксид кремния или диоксид титана, обеспечивая отличные оптические свойства и долговечность пленки. Низкое давление паров молибденовой проволоки гарантирует, что при испарении в вакуумной среде

не выделяются вредные газы, сохраняя оборудование для нанесения покрытий в чистоте и чистоту пленки. Благодаря своей гладкой поверхности и низкому содержанию примесей, очищенная молибденовая проволока особенно подходит для нанесения высокоточных оптических покрытий, уменьшая рассеяние света и дефекты.

Производственный процесс требует, чтобы молибденовая проволока имела чрезвычайно высокое качество поверхности, при этом поверхностные оксиды и частицы удалялись путем холодного волочения, полировки и ультразвуковой очистки. В процессе нанесения покрытия молибденовая проволока наматывается на спиральную или ладьевидную структуру, которая нагревается электронным пучком и испаряется в вакуумной камере. Этот процесс требует точного контроля мощности нагрева и уровня вакуума, чтобы обеспечить равномерную толщину пленки и отсутствие точечных отверстий. Технические задачи включают в себя достижение однородности пленки и контроль скорости испарения молибденовой проволоки, что требует высокоточной системы контроля толщины и стабильного нагревательного оборудования.

5.4.3 Покрытия для полупроводников и солнечных батарей

Молибденовая проволока используется в покрытиях полупроводников и солнечных батарей для осаждения проводящих или функциональных пленок, таких как медь, серебро или прозрачные проводящие оксиды, чтобы удовлетворить требования к высокой производительности чипов и фотоэлектрических устройств. Его проводимость и устойчивость к высоким температурам способствуют эффективному осаждению, обеспечивая низкую стойкость и хорошую адгезию пленки. Благодаря своей высокой прочности и точному размеру, ультратонкая молибденовая проволока подходит для нанесения тонких пленок микронной толщиной, отвечая потребностям полупроводниковой промышленности в миниатюризации и высокой точности. Немагнитная природа молибденовой проволоки позволяет избежать помех для электромагнитно чувствительных устройств в процессе напыления и особенно подходит для интегральных схем и фотоэлектрических электродов.

При производстве ультратонкая молибденовая проволока подготавливается путем нескольких проходов холодной волочки и строгого процесса отжига для обеспечения постоянства диаметра и чистоты поверхности. Поверхность необходимо очистить, чтобы удалить следовые загрязнения и предотвратить загрязнение пленки. Оборудование для нанесения покрытий использует систему сверхвысокого вакуума, а молибденовая проволока нагревается лазером или электронным лучом для нанесения материала. Вакуум и скорость осаждения строго контролируются для обеспечения электрических и оптических свойств пленки. Техническая задача заключается в том, чтобы добиться однородности ультратонкой пленки и предотвратить микроиспарение молибденовой проволоки при высоких температурах, а также оптимизировать метод нагрева и вакуумную среду.

5.5 Молибденовая проволока для нагревательных элементов

Молибденовая проволока используется в качестве нагревательного элемента в

высокотемпературных электропечах, вакуумных печах и оборудовании для термообработки, а благодаря высокой температуре плавления и низкому давлению пара она может стабильно работать при экстремальных температурах для удовлетворения потребностей промышленного нагрева и обработки материалов. Его превосходная теплопроводность и механическая прочность обеспечивают эффективную теплопередачу и долгосрочную надежность.

5.5.1 Нагревательная проволока для высокотемпературной электропечи

Молибденовая проволока используется в качестве нагревательной проволоки в высокотемпературной электропечи для выработки тепла непосредственно за счет электричества, которое используется при выплавке металлов, спекании керамики и других процессах. Его стабильность при высоких температурах позволяет ему работать при температурах, близких к температуре плавления, без деформации или плавления, что делает его идеальным для применений, требующих быстрого наращивания мощности и точного контроля температуры. Проводимость молибденовой проволоки способствует прохождению больших токов, создавая равномерное тепловое поле, чтобы материалы в печи нагревались равномерно. Молибденовая проволока из лантана легирована оксидом лантана, который обладает более сильным сопротивлением ползучести и подходит для длительной работы при высоких температурах.

В производстве молибденовая проволока превращается в проволоку среднего диаметра методом горячего волочения, а поверхность промывается или полируется каустически для уменьшения неравномерного сопротивления. Нагревательная проволока наматывается на печь определенной формы (например, спираль или сетку) и припаивается к корпусу печи. Производственный процесс включает в себя отжиг для снятия напряжения и обеспечения гибкости проволоки и простоты формования. Техническая сложность заключалась в том, чтобы предотвратить окисление при высоких температурах, работать в условиях вакуума или защиты от инертного газа, а также оптимизировать конструкцию обмотки для предотвращения локального перегрева.

5.5.2 Нагревательные элементы в вакуумных печах и атмосферных печах

В вакуумных печах и атмосферных печах (например, для защиты от аргона или азота) молибденовая проволока действует как нагревательный элемент, обеспечивая стабильную высокотемпературную среду для таких процессов, как рост кристаллов, спекание сплавов и т. д. Низкое давление пара гарантирует, что газ не выделяется во время работы в вакуумной среде, сохраняя печь в чистоте. Благодаря своей превосходной ударной вязкости и устойчивости к тепловому удару, молибденово-ренийевая проволока подходит для печей с частыми термическими циклами, и может выдерживать быстрое повышение и понижение температуры без растрескивания. Теплопроводность молибденовой проволоки способствует эффективной теплопередаче и снижению потерь энергии.

В процессе производства используется холодное волочение и высокотемпературный отжиг для обеспечения прочности и ударной вязкости проволоки. Оксидный слой необходимо

удалить путем промывки щелочью на поверхности, чтобы уменьшить влияние примесей на тепловые характеристики. Нагревательные элементы вакуумируются или закрепляются механически для обеспечения надежного соединения. Технические проблемы включают в себя поддержание сверхнизкого содержания кислорода в вакуумной печи, предотвращение окисления молибденовой проволоки и оптимизацию геометрии нагревательных элементов для достижения равномерного теплового поля.

5.5.3 Применение в оборудовании для термообработки

Молибденовая проволока используется в качестве нагревательного элемента в оборудовании для термообработки (например, печах отжига, закалочных печах) для процессов термической обработки металлов или сплавов. Его устойчивость к высоким температурам и сопротивление ползучести гарантируют, что его форма и производительность сохраняются в течение длительных периодов эксплуатации, что делает его пригодным для точно контролируемых процессов термообработки. Молибденовая проволока быстро реагирует на изменения температуры, поддерживает процессы динамической термообработки, улучшает однородность свойств материала. Благодаря низкому сопротивлению и гладкой поверхности очищенная молибденовая проволока снижает потери тепла и продлевает срок службы оборудования.

При производстве молибденовая проволока подготавливается с помощью многопроходного волочения и отжига для обеспечения гибкости и прочности. Поверхность полируется или промывается едким способом для улучшения проводящей эффективности. Нагревательные элементы припаяны или прижаты к корпусу печи, а точки подключения должны быть устойчивыми к высоким температурам и механическим нагрузкам. Техническая задача заключается в том, чтобы обеспечить стабильность молибденовой проволоки во время термоциклирования, оптимизировать процесс отжига и контролировать атмосферу печи для предотвращения окисления или деформации.

5.6 Молибденовая проволока для компонентов высокотемпературных печей

Молибденовая проволока широко используется в вакуумных печах и печах для выращивания кристаллов в качестве поддерживающих, фиксирующих, ведущих и экранирующих компонентов в высокотемпературных печах. Его высокая прочность, низкий коэффициент теплового расширения и высокая термостойкость позволяют ему выдерживать механические и термические нагрузки в экстремальных условиях и соответствовать требованиям сложных конструкций печей.

5.6.1 Опорные и крепежные элементы высокотемпературных печей

Молибденовая проволока используется в качестве опоры и крепежного элемента в высокотемпературной печи (например, в печи для выращивания монокристаллического кремния) для удержания затравочных кристаллов, тиглей или нагревательных элементов, выдерживающих вес и термические нагрузки при высоких температурах. Его высокая прочность и низкий коэффициент теплового расширения гарантируют, что компоненты не расслабляются и не деформируются при высоких температурах, сохраняя стабильность

конструкции печи. Благодаря своему превосходному сопротивлению ползучести молибденовая лантановая проволока особенно подходит для печей, которые работают в течение длительного времени и могут выдерживать повторяющиеся термические циклы без сбоев.

В производстве молибденовая проволока превращается в проволоку среднего диаметра методом холодной волочки, а поверхность полируется для снижения концентрации напряжений. Компоненты фиксируются с помощью лазерной сварки, а паяные соединения подвергаются воздействию высоких температур и механических нагрузок. Производственный процесс включает в себя отжиг для повышения ударной вязкости и облегчения обработки сложных форм. Техническая задача заключается в том, чтобы обеспечить качество сварных швов и точность размеров компонентов с помощью высокоточного сварочного оборудования и жесткого контроля допусков.

5.6.2 Выводы и защитные детали вакуумных печей

Молибденовая проволока используется в качестве свинца и экрана в вакуумной печи для проведения тока и экранирования теплового излучения для защиты других компонентов в печи. Его проводимость и устойчивость к высоким температурам поддерживают прохождение больших токов, что делает его пригодным для систем отопления высокой мощности. Низкое давление паров молибденовой проволоки гарантирует, что газ не выделяется в вакуумной среде, сохраняя печь в чистоте. Благодаря гладкой поверхности и низкому содержанию примесей, очищенная молибденовая проволока снижает контактное сопротивление и улучшает экранирующий эффект.

В производственном процессе используется холодное волочение и сверхчистая очистка, чтобы гарантировать, что поверхность проволоки свободна от загрязнений. Выводы фиксируются с помощью вакуумной пайки или плазменной сварки, а экранирующие детали необходимо обработать в сетчатую или пластинчатую структуру для увеличения площади экранирования. Процесс отжига оптимизирует ударную вязкость проволоки и предотвращает растрескивание во время сварки. Технические проблемы включают в себя поддержание чистоты вакуумной среды и обеспечение долгосрочной надежности свинцовых соединений, что требует систем сверхвысокого вакуума и высококачественной технологии пайки.

5.6.3 Конструкционные материалы для печей для выращивания кристаллов

Молибденовая проволока используется в печах для выращивания кристаллов (например, в печах для выращивания сапфира или монокристаллического кремния) в качестве линий зажима затравки и конструкционных материалов для удержания кристаллов затравки на месте и поддержки внутренних устройств печи. Его высокая прочность и высокая термостойкость обеспечивают стабильность при температурах, близких к температуре плавления, что делает его пригодным для длительных процессов роста кристаллов. Благодаря высокой температуре рекристаллизации молибденовая лантановая проволока может выдерживать тепловой удар от быстрого нарастания и температуры, снижая риск деформации или разрушения.

В производстве молибденовая проволока подготавливается методом холодного волочения и полировки для обеспечения чистоты поверхности и постоянства размеров. Компоненты вырезаются и свариваются лазером с точными допусками для работы в печах сложной формы. Процесс отжига улучшает гибкость проволоки и облегчает намотку или фиксацию. Технические задачи заключаются в обеспечении стойкости к окислению и структурной стабильности молибденовой проволоки при высоких температурах, работе в вакууме или среде инертного газа, а также в оптимизации конструкции компонента для снижения термического напряжения.

5.7 Молибденовая проволока для электронных компонентов

Молибденовая проволока играет ключевую роль в производстве электронных компонентов и широко используется в вакуумной электронике, термopарах, датчиках, соединительных деталях для микроэлектроники и интегральных схем. Его высокая электропроводность, немагнитность, стабильность при высоких температурах и характеристики теплового расширения, соответствующие керамике и стеклу, делают его незаменимым в высокоточных и высоконадежных электронных приложениях. Молибденовая проволока способна выдерживать сложные электромагнитные среды и высокие температурные условия, сохраняя при этом стабильные механические и электрические свойства, отвечая строгим требованиям точности и долговечности в электронной промышленности.

5.7.1 Вакуумная электроника (трубки, рентгеновские трубки)

Молибденовая проволока используется в качестве катодного вывода, опорной конструкции и электродного материала в вакуумной электронике, такой как электронные и рентгеновские трубки, для проведения тока и защиты критически важных компонентов. В электронной трубке молибденовая проволока используется в качестве провода для соединения катода и внешней цепи, которая должна выдерживать высокие температуры и частые импульсы тока в вакуумной среде для обеспечения стабильной электронной эмиссии и передачи сигнала. Его немагнитная природа позволяет избежать помех электромагнитным полям, что делает его особенно подходящим для высокочастотных ламп. В рентгеновских трубках молибденовая проволока используется в качестве катодной опоры или провода, который необходимо сохранить структурно неповрежденным в условиях высокой температуры и высокого вакуума, чтобы предотвратить выход из строя из-за теплового расширения или повреждения дуги. Его проводимость и коррозионная стойкость обеспечивают стабильную работу электродов при длительной эксплуатации и продлевают срок службы устройства.

Производственный процесс требует, чтобы молибденовая проволока имела чрезвычайно высокую чистоту и чистоту поверхности, обычно с использованием ультратонкого процесса холодной волочения, многопроходного волочения и отжига для подготовки проволоки тонкого диаметра, поверхность путем щелочной промывки и ультразвуковой очистки для удаления оксидного слоя и частиц, чтобы гарантировать, что никакие примеси не влияют на электрические характеристики. Молибденовая проволока должна быть закреплена в устройстве методом вакуумной пайки или лазерной сварки, а паяные соединения должны быть устойчивыми к высоким температурам и механическим воздействиям. Очищенная

молибденовая проволока особенно подходит для высокоточных приборов благодаря низкому контактному сопротивлению и гладкой поверхности. Техническая задача заключается в том, чтобы обеспечить стойкость к окислению и стабильность размеров молибденовой проволоки в условиях высокотемпературного вакуума, требующих сверхвысокого вакуумного оборудования и строгих процессов обработки поверхности, а также оптимизировать технологию сварки во избежание появления микротрещин или примесей.

5.7.2 Производство термопар и датчиков

Молибденовая проволока используется в качестве ведущего или чувствительного элемента при производстве высокотемпературных термопар и датчиков, а также широко используется для измерения температуры в промышленных печах, аэрокосмической промышленности и научных исследованиях. Его устойчивость к высоким температурам позволяет ему работать при экстремальных температурах в течение длительных периодов времени без ухудшения качества, что делает его пригодным для измерения точных данных в условиях высоких температур. Проводимость молибденовой проволоки обеспечивает надежную передачу сигнала датчиком, в то время как ее низкий коэффициент теплового расширения согласован с керамической или металлической подложкой, чтобы предотвратить растрескивание или разрыхление, вызванное термоциклированием. Молибденовая проволока из лантана легирована оксидом лантана, который обладает более высоким сопротивлением ползучести, что позволяет сохранять стабильность в высокотемпературных динамических средах и продлевать срок службы датчика.

В процессе производства молибденовая проволока приобретает тонкий диаметр с помощью процесса холодного волочения, который отжигается для устранения технологического напряжения и повышения гибкости при намотке или фиксации. Поверхность должна быть отполирована и очищена, чтобы никакие дефекты поверхности не повлияли на качество сигнала. Молибденовая проволока обычно удерживается на месте в структуре датчика с помощью лазерной сварки или механического зажима, а точки подключения должны быть низкопрочными и низкопрочными. На производстве необходимо работать в среде инертного газа или вакуума, чтобы предотвратить высокотемпературное окисление. Технические проблемы включают в себя обеспечение химической стабильности молибденовой проволоки при экстремальных температурах и оптимизацию процесса соединения для снижения контактного сопротивления, что требует высокоточного сварочного оборудования и строгого контроля процесса.

5.7.3 Соединительные материалы для микроэлектроники и интегральных схем

Молибденовая проволока используется в качестве соединительного провода или связующего провода в микроэлектронике и интегральных схемах для соединения микросхем с внешними схемами для удовлетворения потребностей миниатюризации и высокой надежности. Его высокая прочность и немагнитные характеристики гарантируют, что передача сигнала не создает помех в сложных электромагнитных средах, что делает его пригодным для интегральных схем высокой плотности и микроэлектромеханических систем (МЭМС). Проводимость молибденовой проволоки обеспечивает эффективную передачу тока, в то

время как шероховатость ее поверхности напрямую влияет на качество соединения, снижая контактное сопротивление и затухание сигнала. Ультратонкая молибденовая проволока может адаптироваться к требованиям обработки на микронном уровне, чтобы удовлетворить потребности полупроводниковой промышленности в прецизионных соединениях.

В производственном процессе используется технология сверхтонкого холодного волочения, а проволока сверхтонкого диаметра подготавливается путем многопроходного волочения и промежуточного отжига для обеспечения постоянства размеров и высокой ударной вязкости. Поверхность подвергается электрохимической полировке и очистке для достижения зеркального качества и предотвращения загрязнения твердыми частицами или оксидами. Молибденовая проволока крепится к кристаллу с помощью ультразвукового соединения или лазерной пайки, чтобы убедиться, что точка соединения прочная и не повреждает структуру чипа. Техническая задача состоит в том, чтобы достичь точности размеров и качества поверхности ультратонкой молибденовой проволоки с использованием высокоточных волочильных матриц и условий чистого помещения, а также оптимизировать процесс склеивания для повышения прочности и надежности соединения.

5.8 Молибденовая проволока для медицинского и аэрокосмического применения

Молибденовая проволока используется в медицине и аэрокосмической промышленности для получения высокотемпературных, коррозионноустойчивых и биосовместимых компонентов, отвечающих потребностям экстремальных условий и высокоточных приложений. Его высокая прочность, коррозионная стойкость и устойчивость к высоким температурам дают ему уникальное преимущество в медицинских устройствах и космических аппаратах, особенно в сценариях, требующих долгосрочной надежности и сложной обработки.

5.8.1 Высокотемпературные компоненты в медицинских устройствах (например, рентгеновские мишени)

Молибденовая проволока используется в медицинских устройствах для рентгеновских мишеней, нагревательных элементах и опорных конструкциях, особенно в оборудовании для рентгеновской визуализации. Его устойчивость к высоким температурам позволяет ему выдерживать высокие температуры и бомбардировку электронами внутри рентгеновской трубки, сохраняя структуру неповрежденной и стабильную производительность. Проводимость и низкий коэффициент теплового расширения молибденовой проволоки гарантируют, что мишень не трескается во время быстрого термоциклирования, что делает ее пригодной для мощного оборудования для визуализации. Благодаря своей превосходной ударной вязкости и коррозионной стойкости, молибденово-рениевая проволока особенно подходит для целей с высокой нагрузкой и может работать в коррозионных средах в течение длительного времени. Биосовместимость молибденовой проволоки была тщательно протестирована для обеспечения безопасного использования в медицинских устройствах.

В процессе производства молибденовая проволока подготавливается процессами холодного волочения и полировки для обеспечения гладкой поверхности без дефектов. Целевые детали свариваются электронным лучом и работают в вакууме для предотвращения окисления.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Производственный процесс включает в себя отжиг для повышения ударной вязкости и облегчения обработки сложных форм. Техническая задача заключается в том, чтобы обеспечить стабильность и биосовместимость молибденовой проволоки в условиях высокой температуры и высокого вакуума, используя материалы сверхвысокой чистоты и технологию прецизионной сварки, гарантируя при этом отсутствие микротрещин или примесей благодаря тщательному контролю качества.

5.8.2 Высокотемпературные и коррозионностойкие конструкционные части космических аппаратов

Молибденовая проволока используется в космических аппаратах для изготовления высокотемпературных и устойчивых к коррозии конструкционных деталей, таких как сопла двигателей, тепловые экраны и соединительные детали для удовлетворения экстремальных температур и требований химической коррозии в космической среде. Его высокая температура плавления и стойкость к тепловому удару позволяют ему оставаться стабильным в высокотемпературных газовых потоках, что делает его пригодным для компонентов ракетных двигателей и возвращаемых космических аппаратов. Благодаря добавлению рения, молибденово-рениевой проволоки значительно улучшается ударная вязкость и коррозионная стойкость, а также может длительное время работать в серосодержащих или кислых средах, продлевая межсервисный интервал космических аппаратов. Его низкий коэффициент теплового расширения гарантирует, что детали конструкции не деформируются во время термоциклирования, сохраняя структурную целостность космического аппарата.

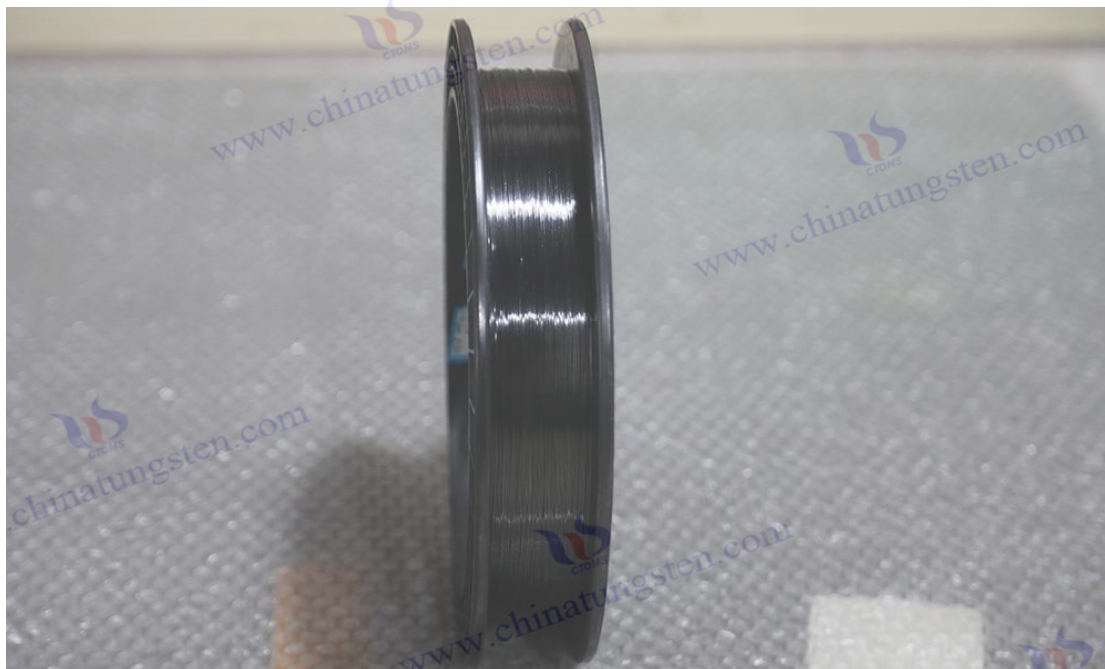
В производственном процессе используется холодное волочение и высокотемпературный отжиг для подготовки высокопрочной проволоки, а поверхность полируется или покрывается покрытием для повышения стойкости к окислению. Конструкционные детали формируются методом вакуумной пайки или плазменной сварки, а точки соединения должны быть устойчивыми к высоким температурам и вибрациям. Во время производства необходимо работать в среде инертного газа или вакуума, чтобы предотвратить окисление материала. Технические задачи включают в себя оптимизацию антиокислительного покрытия и процесса сварки молибденовой проволоки для работы в экстремальных условиях аэрокосмической среды, обеспечивая при этом малый вес и высокую надежность компонентов.

5.8.3 Минимально инвазивные хирургические инструменты и материалы для имплантатов

Молибденовая проволока используется в качестве ключевого материала в минимально инвазивных хирургических инструментах (например, проводниках) и имплантатах (например, стентах) для удовлетворения потребностей в точности медицинской области благодаря своей высокой прочности, гибкости и биосовместимости. Ультратонкая молибденовая проволока может обрабатываться в очень тонкие диаметры и подходит для проведения катетеров через сложные сосудистые структуры, а ее гибкость позволяет работать без разрыва при малом радиусе изгиба. Коррозионная стойкость молибденовой проволоки обеспечивает долговременную стабильность во внутренней среде, не вызывая побочных

реакций. Благодаря своей превосходной прочности и биосовместимости, молибденово-рениевая проволока особенно подходит для изготовления высокоточных имплантатов, способных выдерживать сложные механические нагрузки.

В производстве ультратонкая молибденовая проволока подготавливается многопроходным холодным волочением и строгим процессом отжига для обеспечения точности размеров и чистоты поверхности. Поверхность отполирована электрохимически и сверхчиста, чтобы соответствовать стандартам чистоты медицинского класса и предотвратить загрязнение твердыми частицами. Направляющие проволоки вырезаются лазером и подвергаются микрообработке, чтобы обеспечить гладкие края и избежать повреждения тканей. Техническая задача заключалась в том, чтобы добиться постоянства размеров и биосовместимости ультратонких молибденовых проволок, что требовало высокоточного волочильного оборудования и строгих условий в чистых помещениях, обеспечивая при этом безопасность за счет испытаний на биосовместимость.



CTIA GROUP LTD Черная молибденовая проволока

Глава 6 Оборудование для производства молибденовой проволоки

Производство молибденовой проволоки опирается на целый ряд высокоточного оборудования, от обработки сырья до порошковой металлургии и волочения проволоки, каждый этап которого требует высокой надежности, точного управления и адаптивности к окружающей среде. Эти устройства обеспечивают высокую чистоту, однородность и механические свойства молибденовой проволоки для удовлетворения потребностей различных областей применения, таких как электрические источники света, резка проволоки, напыление и т. Д. Ниже приведено подробное текстовое описание для анализа функций, технологических требований и эксплуатационных проблем оборудования для транспортировки сырья, оборудования для порошковой металлургии и оборудования для волочения проволоки, используемого в производстве молибденовой проволоки.

6.1 Оборудование для транспортировки сырья

Оборудование для переработки сырья используется для извлечения из молибденита молибденового сырья высокой чистоты и приготовления молибденового порошка, который является основным звеном в производстве молибденовой проволоки. Оборудование должно быть оснащено эффективным сепарацией, точным контролем и экологическими характеристиками для обеспечения чистоты сырья и эффективности производства, а также сокращения отходов ресурсов и загрязнения окружающей среды.

6.1.1 Оборудование для обогащения полезных ископаемых

Обогатительное оборудование используется для отделения молибденового концентрата от молибденита, удаления попутных минералов (таких как медь, сульфиды железа) и получения высококачественного сырья для последующей очистки. Основное оборудование включает в себя дробилки, шаровые мельницы и флотационные камеры. Дробилка измельчает сырую руду на мелкие частицы для обеспечения эффективности последующего измельчения, и должна обладать высокой износостойкостью и большой перерабатывающей мощностью, что позволяет обрабатывать руду с высокой твердостью. Шаровая мельница дополнительно измельчает измельченную руду в мелкие частицы, которые подходят для процесса флотации, а оборудование должно быть оснащено эффективной мелющей средой и точным контролем скорости, чтобы избежать неравномерных частиц, вызванных чрезмерным измельчением. Флотационная машина отделяет молибденит и примеси в жидкой среде путем добавления коллектора и пенообразователя, и должна иметь стабильную систему образования пузырьков и перемешивания для обеспечения высокого извлечения концентрата молибдена.

Во время работы обогатительное оборудование необходимо сочетать с точной системой контроля технологических параметров для контроля концентрации пульпы и распределения пузырьков в режиме реального времени для оптимизации эффективности сепарации. Материал оборудования должен быть устойчивым к коррозии и адаптироваться к агрессивной среде химических реактивов. Система очистки хвостохранилищ используется для переработки отходов и очистки сточных вод, снижая загрязнение окружающей среды. Техническая задача заключалась в повышении эффективности и чистоты обогащения при

одновременном снижении энергопотребления и использования химических реагентов, а также в интеграции автоматизированных систем управления и очистки выхлопных газов в соответствии с экологическими требованиями.

6.1.2 Оборудование для производства молибденового порошка

Оборудование для производства молибденового порошка преобразует очищенный концентрат молибдена в порошок молибдена высокой чистоты, в основном включая печь обжига и печь восстановления водорода. Жаровня окисляет молибденит до оксида молибдена, который должен обладать высокой температурной теплоемкостью и равномерным распределением теплового поля, чтобы реакция окисления была полной и не содержала остаточного сульфида. Оборудование оснащено системой очистки выхлопных газов для улавливания оксидов серы и снижения загрязнения окружающей среды. Печь восстановления водорода преобразует оксид молибдена в металлический порошок молибдена с помощью многоступенчатого восстановительного процесса, который должен работать в среде с высоким содержанием водорода, с точным контролем температуры и регулированием воздушного потока для обеспечения равномерного размера частиц и низкого содержания кислорода в порошке.

При производстве обжиговая установка должна быть оснащена высокотемпературными и коррозионностойкими материалами, чтобы предотвратить повреждение корпуса печи при длительной эксплуатации. Печь защищена инертной атмосферой для предотвращения окисления молибденового порошка, а также оснащена высокоточным расходомером и системой очистки газов для поддержания чистоты водорода. Автоматическая система мониторинга определяет размер частиц и химический состав порошка в режиме реального времени, чтобы обеспечить постоянство качества. Техническая задача заключалась в том, чтобы контролировать стабильность атмосферы и морфологию порошка в процессе восстановления, оптимизировать распределение газового потока и градиент температуры в печи, а также оснастить печь пылеулавливающим устройством для повышения безопасности и экологичности.

6.2 Оборудование для порошковой металлургии

Оборудование для порошковой металлургии используется для прессования и спекания молибденового порошка в заготовки высокой плотности, обеспечивая прочную основу для последующего волочения проволоки. Оборудование должно быть оснащено высоким давлением, точным управлением и высокой надежностью, чтобы обеспечить однородность плотности и микроструктурную стабильность заготовок.

6.2.1 Прессы

Прессы используются для прессования молибденового порошка в стержневые или пластинчатые заготовки, а к распространенным типам относятся холодные изостатические прессы и формовочные прессы. Холодный изостатический пресс оказывает равномерное давление через жидкую среду для прессования молибденового порошка в заготовки высокой плотности, что подходит для производства заготовок сложной формы, а оборудование

необходимо оснастить высокопрочными резиновыми формами и стабильной системой контроля давления, чтобы гарантировать, что заготовки не имеют трещин или пустот. Формовочная машина использует стальную форму для прессования молибденового порошка в правильную форму, которая подходит для мелкосерийного производства и требует очень жесткой рамы и точного выравнивания формы во избежание отклонений в процессе прессования.

Во время работы пресс необходимо совмещать с вибрационным столом или устройством вакуумной экстракции, чтобы уменьшить воздушную пустоту в порошке и увеличить плотность заготовки. Оборудование необходимо эксплуатировать в чистой среде, чтобы предотвратить загрязнение порошком и повлиять на качество последующего спекания. Автоматизированная система управления используется для контроля давления и времени прессования для обеспечения постоянства партии. Техническая задача состоит в том, чтобы добиться равномерной плотности заготовки и избежать износа, что требует регулярного обслуживания формы и оптимизации процесса прессования для уменьшения количества дефектов.

6.2.2 Печи для спекания

Печь для спекания используется для нагрева прессованной заготовки до высокой температуры, так что частицы молибдена объединяются в заготовку высокой плотности, и обычно используется в среднечастотных индукционных печах или печах сопротивления. Печь для спекания должна обладать высокой температурной теплопроизводительностью и точным контролем температуры, чтобы обеспечить равномерное уплотнение заготовки при высоких температурах без растрескивания. Оборудование защищено водородом или инертным газом для предотвращения окисления молибденовых заготовок и должно быть оснащено эффективной системой циркуляции и очистки газа для поддержания чистоты атмосферы в печи. Печи для спекания обычно делятся на две зоны: предварительного спекания и высокотемпературного спекания, для удаления связующих веществ и улучшения сцепления зерна соответственно, а также требуют многозонного нагрева для оптимизации распределения температуры.

В процессе производства печь для спекания должна быть оснащена устойчивым к высоким температурам материалом печи, чтобы выдерживать длительную работу при высоких температурах. Автоматическая система управления контролирует скорость нагрева и охлаждения, чтобы предотвратить деформацию заготовки термическим напряжением. Устройство очистки выхлопных газов улавливает летучие примеси и соответствует стандартам охраны окружающей среды. Техническая задача заключается в том, чтобы обеспечить микроструктурную однородность и высокую плотность спеченной заготовки, оптимизировать профиль нагрева и контроль атмосферы, одновременно снижая энергопотребление и выбросы выхлопных газов.

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire

Molybdenum wire is a high-performance metallic filament made from metal molybdenum through hot working, cold drawing, and surface treatment. It features an extremely high melting point, excellent electrical and thermal conductivity, good mechanical strength, and exceptional corrosion resistance. It serves as a core material in various high-temperature and precision application fields.

2. Applications of Molybdenum Wire (Typical)

Application Field	Specific Uses
Lighting Industry	Filament supports, lead wires, halogen lamp electrodes, fluorescent lamp electrodes, LED packaging brackets
Wire-Cut Machining	Electrode wire for EDM, used in mold making and cutting of complex metal parts
Thermal Spraying	Used for surface reinforcement and wear-resistant coatings on automotive, aerospace, and engineering components
Vacuum Coating	Used as evaporation sources and coating materials for optics, solar cells, and semiconductor devices

3. Types of Molybdenum Wire (Typical)

Classification	Type	Description
Surface Condition	Cleaned Molybdenum Wire	Cleaned surface, bright and smooth, suitable for high-precision processing, electronics, coating, and other demanding applications
	Black Molybdenum Wire	Graphite-coated surface, suitable for general industrial processing and cost-effective applications
Use-Based Category	Wire-Cut Molybdenum Wire	For EDM wire-cutting, features high strength, high precision, and excellent durability
	Thermal Spray Molybdenum Wire	Used in thermal spraying processes, requires high density and good melting properties
	Heating Molybdenum Wire	Used as a heating element in high-temperature furnaces, with excellent heat resistance

4. Specifications of Molybdenum Wire from CTIA GROUP LTD

Item	Specification
Purity	≥99.95%
Diameter Range	0.03 mm ~ 3.0 mm (customizable)
Length / Coil Weight	Custom cut lengths (e.g., 200 mm) or continuous winding (e.g., 500g/coil, 2kg/coil)
Diameter Tolerance	±0.002 mm ~ ±0.1 mm
Surface Condition	Cleaned / Black
Packaging Options	Spool, coil, vacuum packaging, customized packaging

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

6.3 Волоочильное оборудование

Волоочильное оборудование используется для переработки спеченной заготовки в молибденовую проволоку мелкого диаметра, которая является ключевым звеном в производстве молибденовой проволоки. Оборудование должно обладать высокой точностью, стабильностью и эффективными функциями смазки и охлаждения, чтобы обеспечить точность размеров и качество поверхности молибденовой проволоки и удовлетворить потребности прецизионных применений.

6.3.1 Волоочильные машины

Волоочильная машина используется для постепенного растягивания молибденовой заготовки в тонкую проволоку через форму, которая делится на машину для горячего волочения и машину для холодного волочения проволоки. Машина для волочения горячей проволоки используется для производства молибденовой проволоки более крупного диаметра, оснащена устройством высокочастотного индукционного нагрева, которое размягчает заготовку при высокой температуре и снижает сопротивление разрыву, и подходит для производства молибденовой проволоки для напыления или нагревательных элементов. Машины холодного волочения используются для производства проволоки тонкого диаметра и ультратонкой молибденовой проволоки, которая требует высокоточного контроля натяжения и регулировки скорости, чтобы обеспечить постоянный и непрерывный диаметр проволоки. Современные волоочильные машины спроектированы с многорежимным непрерывным волочением проволоки, которое способно одновременное многопроходное растяжение и повышение эффективности производства.

Во время работы волоочильная машина должна быть оснащена системой онлайн-мониторинга для обнаружения диаметра и дефектов поверхности проволоки в режиме реального времени для обеспечения стабильного качества. Автоматическая система контроля натяжения поддерживает постоянное растягивающее усилие, чтобы предотвратить деформацию или разрыв проволоки. Оборудование необходимо регулярно калибровать, чтобы поддерживать точность диаметра отверстия формы и скорости растяжения. Техническая задача заключалась в том, чтобы добиться непрерывного растяжения и высокоточного управления ультратонкой молибденовой проволокой с помощью высокопроизводительных серводвигателей и лазерных штангенциркулей при одновременной оптимизации скорости волочения для баланса эффективности и качества.

6.3.2 Пресс-формы и системы смазки

Волоочильная матрица и система смазки являются основными компонентами волоочильной машины, которые напрямую влияют на качество поверхности и точность размеров молибденовой проволоки. Форма обычно изготавливается из цементированного карбида или алмазного материала, форма из цементированного карбида подходит для грубого волочения молибденовой проволоки, а алмазная форма подходит для прецизионной обработки ультратонкой молибденовой проволоки из-за ее сверхвысокой твердости и износостойкости. Пресс-форма должна иметь высокоточную конструкцию отверстия и гладкую внутреннюю стенку для уменьшения трения и царапин на поверхности. Система смазки обеспечивает

смазку на водной или масляной основе, которая снижает трение между матрицей и молибденовой проволокой, продлевая срок службы матрицы и улучшая качество поверхности проволоки. Система охлаждения контролирует температуру матрицы и проволоки с помощью циркуляционной воды или распылительного охлаждения для предотвращения деформации, вызванной перегревом.

Во время производства форму необходимо полировать и регулярно заменять, чтобы поддерживать постоянство размера отверстия. Система смазки оснащена фильтрующим устройством для удаления загрязнений из смазки и предотвращения царапин на поверхности молибденовой проволоки. Система охлаждения должна поддерживать стабильную температуру воды и расход для обеспечения равномерного охлаждения. Техническая задача заключалась в том, чтобы оптимизировать материал формы и рецептуру смазочного материала, чтобы снизить риск обрыва проволоки при растяжении ультратонкой молибденовой проволоки, и в то же время оснастить ее эффективной системой рекуперации для снижения отходов смазочного материала и воздействия на окружающую среду.

6.4 Оборудование для термообработки

Оборудование для термообработки используется для отжига и высокотемпературной обработки молибденовой проволоки, снятия технологического напряжения, оптимизации микроструктуры и улучшения ударной вязкости и пластичности, чтобы молибденовая проволока соответствовала потребностям прецизионных применений. Эти устройства должны иметь высокоточный контроль температуры, стабильную защиту от атмосферы и эффективное распределение теплового поля, чтобы молибденовая проволока не окислялась и работала равномерно при высоких температурах.

6.4.1 Печи отжига

Печь для отжига используется для термической обработки молибденовой проволоки, которая устраняет напряжение, возникающее в процессе волочения, и восстанавливает пластичность проволоки за счет нагрева и сохранения тепла, а также подходит для высокоточных применений, таких как резка проволоки и электрический источник света. Печи для отжига обычно доступны в трубчатом или непрерывном исполнении и могут работать под защитой водорода или инертных газов, таких как аргон, для предотвращения окисления поверхности молибденовой проволоки. Оборудование оснащено многозональной системой отопления для обеспечения равномерного теплового поля и исключения неравномерности зерен, вызванной локальным перегревом. Трубчатые печи для отжига подходят для мелкосерийного производства, что позволяет гибко регулировать параметры отжига, в то время как печи непрерывного отжига обеспечивают высокоскоростную обработку с помощью конвейерных лент или тяговых систем, что делает их пригодными для крупносерийного производства.

Во время работы печь для отжига должна точно контролировать скорость нагрева и охлаждения, чтобы предотвратить термическое напряжение, вызывающее деформацию или растрескивание молибденовой проволоки. Атмосфера внутри печи должна быть высокой чистоты, и она оснащена системой очистки и циркуляции газа для удаления следовых

количеств кислорода и воды. Автоматическая система управления контролирует температуру и атмосферные условия, чтобы обеспечить стабильную производительность от партии к партии. Техническая задача заключалась в том, чтобы оптимизировать процесс отжига для обеспечения баланса ударной вязкости и прочности при одновременном снижении потребления энергии и газа, что потребовало интеграции эффективных систем рекуперации тепла и устройств мониторинга в режиме реального времени.

6.4.2 Вакуумные печи

Вакуумные печи используются для высокотемпературной термообработки молибденовой проволоки, особенно в тех случаях, когда требуется чрезвычайно высокая чистота и среда без окисления, например, при отжиге молибденовой лантановой проволоки или молибденово-ренийевой проволоки. Вакуумная печь предотвращает окисление молибденовой проволоки при высоких температурах благодаря высокому вакууму, поддерживая при этом сложные процессы термообработки, такие как измельчение зерна и оптимизация распределения легированных элементов. Оборудование оснащено высокопроизводительным вакуумным насосом и системой уплотнения для поддержания среды со сверхнизким давлением воздуха и обеспечения отсутствия примесей на поверхности молибденовой проволоки. В системе нагрева используется резистивный или индукционный нагрев, который может быстро нагреваться и поддерживать стабильное тепловое поле, и подходит для обработки ультратонкой молибденовой проволоки или проволоки из высокопрочного сплава.

В производстве вакуумные печи должны быть оснащены устойчивыми к высоким температурам материалами печей, чтобы выдерживать тепловую нагрузку при длительной эксплуатации. Автоматическая система управления контролирует степень вакуума и температуру в режиме реального времени, чтобы обеспечить стабильность параметров процесса. Устройство очистки выхлопных газов улавливает летучие примеси и отвечает требованиям охраны окружающей среды. Техническая задача состоит в том, чтобы поддерживать сверхвысокий вакуум и предотвращать микроутечки, что требует использования высокоточных датчиков и технологии герметизации, а также оптимизации эффективности нагрева для снижения энергопотребления.

6.5 Оборудование для обработки поверхностей

Оборудование для обработки поверхности используется для очистки, полировки и нанесения покрытий на молибденовую проволоку, улучшения качества поверхности, коррозионной стойкости и функциональности, а также удовлетворения высоких требований к качеству электрического источника света, вакуумного покрытия и других применений. Оборудование должно быть оснащено эффективными функциями очистки и точной модификации поверхности, обеспечивая при этом защиту окружающей среды и безопасность.

6.5.1 Оборудование для мойки каустика

Оборудование для промывки щелочей используется для удаления оксидного слоя и загрязнений с поверхности молибденовой проволоки и подготовки очищенной молибденовой проволоки, которая подходит для сценариев с высокими требованиями к качеству

поверхности, таких как электрический источник света и резка проволоки. Оборудование обычно представляет собой линию непрерывной очистки с щелочной ванной, установкой ультразвуковой очистки и системой промывки деионизированной водой. В щелочной ванне используется раствор гидроксида натрия для очистки молибденовой проволоки для удаления слоя оксида молибдена, и она должна быть оснащена системой нагрева и перемешивания для обеспечения эффективности очистки. Устройство ультразвуковой очистки использует высокочастотную вибрацию для удаления мелких частиц и остатков и улучшения чистоты поверхности. Система промывки деионизированной водой полностью удаляет остатки щелочи и предотвращает вторичное загрязнение.

Во время работы едкое моечное оборудование должно точно контролировать концентрацию и температуру раствора, чтобы обеспечить равномерную очистку без повреждения поверхности молибденовой проволоки. Система очистки сточных вод снижает загрязнение окружающей среды за счет нейтрализации и осаждения восстановления молибдата. Автоматическая система управления контролирует время очистки и уровень жидкости для повышения эффективности производства. Техническая задача заключалась в том, чтобы оптимизировать процесс очистки, чтобы избежать чрезмерной коррозии и в то же время повысить извлечение сточных вод, что требовало высокоэффективных устройств фильтрации и нейтрализации.

6.5.2 Оборудование для полировки и нанесения покрытий

Оборудование для полировки и нанесения покрытий используется для улучшения качества поверхности молибденовой проволоки или для нанесения функциональных покрытий, таких как покрытия из силицида молибдена или диоксида, для повышения износостойкости и стойкости к окислению. Полировальное оборудование включает в себя электрохимическую полировальную машину и механическую полировальную машину, электрохимическая полировальная машина использует кислотный электролит для сглаживания поверхности молибденовой проволоки посредством электрохимической реакции, и должна быть оснащена стабильным источником питания и электролитической ячейкой для обеспечения равномерной полировки. Механические полировальные станки используют алмазные шлифовальные круги или полировальные ленты и подходят для высокоточной полировки небольшими партиями, требующими высоких скоростей вращения и точного управления подачей. Оборудование для нанесения покрытий включает в себя оборудование для химического осаждения из газовой фазы (CVD) и плазменного напыления, способное наносить равномерный защитный слой на поверхность молибденовой проволоки, оснащенное вакуумной камерой и системой контроля газа для обеспечения качества покрытия.

В процессе производства полировальное оборудование должно работать в чистой среде, чтобы предотвратить загрязнение твердыми частицами, а качество поверхности проверяется под микроскопом, чтобы убедиться в отсутствии царапин. Оборудование для нанесения покрытий должно точно контролировать скорость нанесения покрытий и атмосферу, чтобы предотвратить неравномерность или отслаивание покрытия. Техническая задача заключалась

в том, чтобы добиться высокой отделки и прочного адгезионного покрытия, оптимизировать рецептуру электролита и параметры осаждения, а также оборудовать установку очистки выхлопных газов в соответствии с экологическими нормами.

6.6 Оборудование для испытаний и контроля качества

Оборудование для проверки и контроля качества используется для оценки точности размеров, качества поверхности и механических свойств молибденовой проволоки, чтобы гарантировать, что продукция соответствует стандартам для таких областей применения, как электроэрозионная проволока, электронные компоненты и многое другое. Эти устройства должны быть высокоточными, отзывчивыми и неразрушающими, чтобы поддерживать эффективное производство и управление качеством.

6.6.1 Оборудование для вихретоковой дефектоскопии

Вихретоковая дефектоскопия применяется для обнаружения микротрещин, включений и внутренних дефектов на поверхности молибденовой проволоки, а также подходит для внутритрубного контроля в непрерывном производстве. Благодаря принципу электромагнитной индукции оборудование генерирует вихревые токи на поверхности молибденовой проволоки для обнаружения изменений электрического сигнала, вызванных дефектами, и обладает высокой чувствительностью и быстрой способностью сканирования. Вихретоковые дефектоскопы обычно оснащаются многоканальными датчиками и автоматизированными сканирующими системами, которые могут анализировать всю длину молибденового провода в режиме реального времени для выявления незначительных дефектов. Оборудование должно быть интегрировано с волочильной линией для обеспечения высокоскоростного контроля без прерывания производства.

Во время работы оборудование для вихретокового контроля необходимо откалибровать для работы с молибденовой проволокой различного диаметра для обеспечения точности обнаружения. Система обработки данных фиксирует местоположение и тип дефектов в режиме реального времени и формирует отчеты о качестве. Техническая задача состоит в том, чтобы повысить чувствительность обнаружения для идентификации дефектов микронного масштаба, избегая при этом ложных срабатываний, а также оптимизировать конструкцию датчика и алгоритмы обработки сигналов.

6.6.2 Машины для испытаний на растяжение

Машины для испытаний на растяжение используются для проверки механических свойств молибденовой проволоки, таких как прочность и пластичность, чтобы убедиться, что проволока соответствует потребностям применения. Оборудование измеряет деформацию и разрушение молибденовой проволоки в процессе растяжения путем приложения контролируемого усилия растяжения, которое подходит для оценки характеристик грубой молибденовой проволоки и ультратонкой молибденовой проволоки. Машины для испытаний на растяжение оснащены высокоточными захватами и преобразователями усилия, которые могут точно захватывать молибденовую проволоку малого диаметра, не вызывая повреждений. Автоматическая система управления фиксирует кривую растяжения и

анализирует механические свойства материала.

На производстве машины для испытаний на растяжение должны работать в условиях постоянной температуры, чтобы изменения температуры не повлияли на результаты испытаний. Оборудование регулярно калибруется для обеспечения точности датчика силы и измерений перемещений. Техническая задача заключается в том, чтобы избежать повреждения зажима при испытании ультратонкой молибденовой проволоки, проектировании специальных приспособлений и оптимизации параметров испытаний для улучшения повторяемости.

6.6.3 Микроскопы и спектрометры

Микроскопы и спектрометры используются для анализа микроструктуры, топографии поверхности и химического состава молибденовых проволок для обеспечения стабильного качества и производительности продукции. Световая микроскопия и сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) используются для наблюдения за царапинами, трещинами и зернистыми структурами на поверхности молибденовой проволоки, а также подходят для оценки результатов волочения и полировки. Спектрометры (такие как рентгеновские фотоэлектронные спектрометры или энергодисперсионные анализаторы) определяют элементный состав и содержание примесей в молибденовых проволоках для обеспечения высокой чистоты и равномерного распределения легированных элементов. Оборудование должно обладать высоким разрешением и возможностями быстрого анализа, а также подходить для контроля партий.

Во время работы микроскоп должен быть оснащен объективом с большим увеличением и системой обработки изображений для получения четких микроскопических изображений. Спектрометр должен работать в чистой среде, чтобы предотвратить загрязнение пробы, а программное обеспечение для анализа данных используется для количественной оценки химического состава. Техническая задача состоит в том, чтобы добиться быстрого и высокоточного анализа, оптимизируя систему освещения микроскопа и процесс калибровки спектрометра, обеспечивая при этом пригодность устройства для ультратонких молибденовых проводов.

6.7 Автоматизация и интеллектуальное оборудование

Автоматизация и интеллектуальное оборудование повышают эффективность, стабильность и прослеживаемость производства молибденовой проволоки, включая волочение проволоки, инспекцию и управление технологическим процессом. Эти устройства обеспечивают эффективное производство и оптимизацию качества за счет интеграции датчиков, систем управления и технологий анализа данных.

6.7.1 Автоматическая производственная линия волочения проволоки

Автоматическая производственная линия по волочению проволоки включает в себя многорежимную волочильную машину, систему контроля натяжения и устройство онлайн-обнаружения для реализации непрерывной обработки от заготовки до готовой молибденовой

проволоки. С помощью серводвигателей и систем управления ПЛК оборудование точно регулирует скорость волочения и натяжение, чтобы обеспечить постоянный диаметр проволоки и отсутствие обрыва. Производственная линия оснащена системой автоматической смены пресс-формы и смазки для сокращения ручного вмешательства и повышения эффективности производства. Устройство непрерывного отжига интегрировано с волочильной машиной для снятия технологического напряжения в режиме реального времени и оптимизации ударной вязкости молибденовой проволоки.

В процессе эксплуатации производственная линия должна быть оснащена высокоточными датчиками для контроля диаметра проволоки и качества поверхности, а данные в режиме реального времени подаются обратно в систему управления для корректировки параметров процесса. Автоматизированная производственная линия поддерживает производство молибденовой проволоки различных спецификаций с высокой гибкостью. Техническая задача заключалась в том, чтобы добиться стабильности многократных проходов волочения и непрерывной обработки ультратонкой молибденовой проволоки, оптимизации алгоритмов управления и интеграции оборудования, сократив при этом время простоя.

6.7.2 Система онлайн-мониторинга

Система онлайн-мониторинга используется для определения ключевых параметров в процессе производства молибденовой проволоки, таких как диаметр, дефекты поверхности и механические свойства в режиме реального времени, чтобы обеспечить стабильное качество продукции. Система включает в себя лазерный штангенциркуль, вихретоковый дефектоскоп и датчик температуры для сбора данных в режиме реального времени во время волочения проволоки, отжига и обработки поверхности. Лазерный штангенциркуль обнаруживает небольшие изменения диаметра молибденовой проволоки путем бесконтактного измерения, что делает его пригодным для высокоскоростного производства. Система обработки данных интегрирует MES (Manufacturing Execution System) для регистрации производственных параметров и создания отчетов о качестве для поддержки прослеживаемости и оптимизации процессов.

На производстве система онлайн-мониторинга должна быть бесшовно интегрирована с производственной линией и передавать данные в центр управления в режиме реального времени. Система нуждается в регулярной калибровке для обеспечения точности датчиков и надежности данных. Техническая задача заключается в повышении скорости отклика и чувствительности системы мониторинга, оптимизации расположения датчиков и алгоритмов обработки данных, а также обеспечении стабильности системы в условиях высоких температур и высокого вакуума.



CTIA GROUP LTD Черная молибденовая проволока

Глава 7 Стандарты молибденовой проволоки

Поскольку молибденовая проволока является материалом с высокими эксплуатационными характеристиками, производство и применение которой регулируется строгими стандартами для обеспечения качества, производительности и стабильности. Отечественные стандарты, международные стандарты и отраслевые стандарты стандартизируют химический состав, механические свойства, точность размеров и качество поверхности молибденовой проволоки с разных уровней для удовлетворения потребностей различных применений, таких как электрический источник света, резка проволоки, вакуумное покрытие и т. Д. Эти стандарты обеспечивают единую основу для производства, испытаний и торговли благодаря четким техническим требованиям и методам испытаний, и в то же время способствуют технологическому прогрессу и международному развитию отрасли. Ниже приведено подробное текстовое описание для анализа отечественных, международных и отраслевых стандартов молибденовой проволоки, а также сравнения и применимости стандартов.

7.1 Отечественный стандарт на молибденовую проволоку

Являясь крупнейшим в мире производителем молибденовой проволоки, Китай сформулировал ряд национальных стандартов (GB/T) для регулирования производства, тестирования и применения молибденовой проволоки и связанных с ней продуктов. Эти стандарты выпущены Администрацией по стандартизации Китайской Народной Республики, охватывающие свойства материалов, требования к обработке и контролю качества молибденовой проволоки, молибденовых прутков и молибденовых плит, и широко используются в отечественных производителях молибденовой проволоки и отраслях последующего применения.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

7.1.1 GB/T 4182-2003, Молибденовая проволока»

GB/T 4182-2003 является основным национальным стандартом для молибденовой проволоки в Китае, который подходит для молибденовой проволоки в таких приложениях, как электрический источник света, резка проволоки и высокотемпературная печь. Настоящий стандарт определяет классификацию, химический состав, механические свойства, точность размеров и требования к качеству поверхности молибденовой проволоки, охватывающей чистую молибденовую проволоку и легированную молибденовую проволоку (например, молибденовую лантановую проволоку). Стандарт требует, чтобы молибденовая проволока обладала высокой чистотой и однородной микроструктурой для обеспечения стабильности в условиях высоких температур и агрессивных сред. Методы проверки включают химический анализ, испытание на растяжение и осмотр поверхности, чтобы убедиться, что молибденовая проволока соответствует эксплуатационным требованиям различных областей применения, таким как прочность на разрыв при резке проволоки и проводимость электрических источников света.

Стандарт также регулирует процесс производства молибденовой проволоки, такой как волочение проволоки, отжиг и обработка поверхности, и требует, чтобы производители работали в чистой среде для предотвращения загрязнения. Требования к упаковке и хранению гарантируют, что молибденовая проволока не подвержена воздействию влаги или окисления во время транспортировки и сохраняет качество поверхности. Техническая сложность заключается в том, чтобы сбалансировать высокие требования к производительности с производственными затратами, а также оптимизировать процесс контроля для обеспечения эффективного и последовательного соблюдения стандартов. Этот стандарт обеспечивает единую техническую основу для отечественной промышленности молибденовой проволоки, а также способствует повышению качества продукции и конкурентоспособности на рынке.

7.1.2 GB/T 3462-2007

GB/T 3462-2007 регламентирует молибденовые прутки и молибденовые плиты, используемые в производстве молибденовой проволоки, которые подходят для использования в качестве сырья для процессов порошковой металлургии и волочения проволоки. В стандарте подробно указан химический состав, плотность, качество поверхности и допуски на размеры молибденовых прутков и молибденовых плит, а также требуются материалы с высокой чистотой и низким содержанием примесей, пригодные для последующей переработки в высокоэффективные молибденовые проволоки. Стандарт охватывает требования к эксплуатационным характеристикам различных типов молибденовых прутков (например, спеченных, кованных), чтобы гарантировать, что заготовка имеет однородную микроструктуру и механическую прочность до волочения.

Требования к производственному процессу включают прессование порошка, спекание и термическую обработку, которые должны выполняться в водородной или вакуумной среде для предотвращения окисления. Методы тестирования включают измерение плотности, металлографический анализ и испытание химического состава, чтобы убедиться, что

качество заготовки соответствует требованиям чертежа. В стандарте также указаны требования к упаковке и транспортировке для защиты заготовки от влаги или механических повреждений. Техническая задача заключалась в том, чтобы обеспечить однородность заготовки и постоянство партии, что требовало высокоточного прессового и агломерационного оборудования, а также оптимизации процесса контроля для повышения эффективности. Этот стандарт содержит спецификации для восходящих звеньев производства молибденовой проволоки и способствует стабильности качества сырья.

7.1.3 Другие соответствующие национальные стандарты

В дополнение к вышеуказанным стандартам, Китай также сформулировал ряд национальных стандартов, связанных с молибденовой проволокой, таких как GB/T 4197 «Методы химического анализа молибдена и молибденовых сплавов» и GB/T 3461 «Молибденовый порошок», которые используются для стандартизации анализа химического состава и приготовления порошка молибденовых материалов. Эти стандарты подробно описывают методы обнаружения примесных элементов (например, железа, углерода, кислорода) в молибденовых материалах и требуют использования высокоточного спектроскопического анализа и методов химического титрования для обеспечения чистоты материала для высокопроизводительных применений. Другие стандарты также касаются упаковки, хранения и транспортировки молибденовой проволоки, уделяя особое внимание мерам против влаги, окисления и механических повреждений, и применимы как на экспортный, так и на внутренний рынок.

Вместе эти стандарты составляют полную стандартную систему для производства молибденовой проволоки, охватывающую весь процесс от сырья до готовой продукции. Техническая задача состоит в том, чтобы гармонизировать требования к испытаниям различных стандартов и создать единую систему управления качеством для повышения эффективности внедрения. В то же время, с расширением применения молибденовой проволоки, стандарты должны постоянно обновляться, чтобы адаптироваться к новым технологиям и новым потребностям рынка.

7.2 Международные стандарты на молибденовую проволоку

Международные стандарты обеспечивают единую техническую основу для глобальной торговли и применения молибденовой проволоки, которые в основном сформулированы Американским обществом по испытаниям и материалам (ASTM), Международной организацией по стандартизации (ISO) и национальными органами по стандартизации, такими как Япония (JIS) и Германия (DIN). Эти стандарты регулируют требования к эксплуатационным характеристикам, обработке и испытаниям молибденовой проволоки и ее сплавов, а также способствуют стандартизированному применению молибденовой проволоки на мировом рынке.

7.2.1 Стандарт ASTM B387 для прутков, прутков и проволоки из молибдена и молибденовых сплавов

ASTM B387 является наиболее широко используемым международным стандартом для

молибденовой проволоки, покрывающих стержней, прутков и проволоки из молибдена и молибденовых сплавов (таких как молибден, лантан, молибден, рений) и подходит для электрических источников света, вакуумных покрытий, высокотемпературных печей и других отраслей промышленности. Этот стандарт определяет химический состав, механические свойства, качество поверхности и допуски на размеры материалов, а также требует, чтобы молибденовая проволока обладала высокой чистотой и отличной устойчивостью к высоким температурам, пригодной для применения в экстремальных условиях. Стандарт также подробно описывает методы испытаний, такие как испытание на растяжение, определение твердости и металлографический анализ, чтобы убедиться, что молибденовая проволока соответствует механическим и электрическим свойствам для различных применений.

Требования к производственным процессам включают порошковую металлургию, волочение проволоки и термообработку, которые должны работать в атмосфере высокой чистоты или вакууме для предотвращения окисления. Стандарт подчеркивает важность обработки поверхности и требует, чтобы поверхность молибденовой проволоки не имела трещин, царапин или оксидных слоев и была пригодна для прецизионных применений. Требования к упаковке и хранению гарантируют сохранение качества проволоки во время транспортировки и хранения. Техническая задача заключается в том, чтобы соответствовать требованиям стандартов к высокой точности и согласованности с помощью передового производственного и испытательного оборудования, оптимизируя при этом процессы для снижения затрат. Этот стандарт обеспечивает единый технический справочник для мирового рынка молибденовой проволоки и способствует международной торговле и применению.

7.2.2 Стандарты ИСО

Международная организация по стандартизации (ISO) разработала стандарты, связанные с молибденом и молибденовыми сплавами, такие как ISO 24361, который посвящен свойствам и методам испытаний молибденовых материалов и подходит для производства и применения молибденовой проволоки. Этот стандарт регламентирует химический состав, микроструктуру и механические свойства молибденовой проволоки, и требует, чтобы материал обладал высокой чистотой и однородностью, подходил для высоких температур и агрессивных сред. Методы тестирования включают химический анализ, микроскопическое наблюдение и механические испытания, чтобы убедиться, что молибденовая проволока соответствует требованиям качества мирового рынка. Стандарт также охватывает экологические требования производственного процесса, уделяя особое внимание сокращению выбросов выхлопных газов и обработанных жидкостей.

Стандарт ISO фокусируется на международной универсальности молибденовой проволоки и подходит для многонациональных применений в области электрических источников света, резки проволоки и медицинского оборудования. Для получения достоверных результатов в производстве используется высокоточное оборудование, такое как спектрометры и машины для испытаний на растяжение. Техническая задача состоит в том, чтобы примирить различия между стандартами ИСО и национальными стандартами, создать глобальную систему

контроля качества и оптимизировать процесс контроля для повышения эффективности. Этот стандарт способствует международному развитию индустрии молибденовой проволоки и повышает глобальную конкурентоспособность продукции.

7.2.3 Другие международные стандарты (например, JIS, DIN)

Японский промышленный стандарт (JIS) и немецкий промышленный стандарт (DIN) также разработали спецификации, связанные с молибденовой проволокой, такие как JIS H 4461 «Молибден и молибденовые сплавы» и DIN EN 10204 «Инспекционная документация для металлических изделий». Стандарт JIS определяет химический состав, механические свойства и требования к обработке молибденовой проволоки и подходит для применения в электрических источниках света и электронных компонентах на японском рынке, подчеркивая высокую точность и качество поверхности. Стандарт DIN ориентирован на сертификацию качества и документы по испытаниям молибденовой проволоки и требует от производителей предоставления подробных отчетов о характеристиках материалов для обеспечения прослеживаемости продукции.

Эти стандарты требуют производства молибденовой проволоки с использованием сырья высокой чистоты и прецизионных процессов обработки, включая спектроскопический анализ и осмотр поверхности, а также работы в чистой окружающей среде. Техническая задача заключается в том, чтобы соответствовать конкретным требованиям различных национальных стандартов и гибко адаптировать производственные и испытательные процессы, обеспечивая при этом экономическую эффективность. Стандарты JIS и DIN обеспечивают техническую поддержку применения молибденовой проволоки на конкретных рынках и способствуют стандартизации региональных рынков.

7.3 Промышленный стандарт молибденовой проволоки

Отраслевые стандарты формулируются профессиональными ассоциациями или предприятиями, дополняя национальные и международные стандарты, и предоставляя более подробные спецификации для конкретных звеньев или сценариев применения производства молибденовой проволоки. Эти стандарты обычно ближе к реальным производственным потребностям, что способствует технологическим инновациям и повышению качества.

7.3.1 Национальный технический комитет по стандартизации цветных металлов (TK243)

Национальный технический комитет по стандартизации цветных металлов (TC243) является основным органом по стандартизации для цветной металлургии Китая и сформулировал ряд отраслевых стандартов, связанных с молибденовой проволокой, таких как YS/T 369 «Методы химического анализа молибденовой проволоки». Эти стандарты подробно описывают обнаружение примесей, эксплуатационные испытания и требования к производственному процессу молибденовой проволоки и подходят для таких областей применения, как резка проволоки, вакуумное нанесение покрытий и высокотемпературные печи. Стандарт требует, чтобы молибденовая проволока обладала высокой чистотой и стабильными механическими свойствами, а методы обнаружения включают высокоточный спектральный анализ и

испытания на растяжение, чтобы гарантировать, что качество продукции соответствует потребностям отрасли.

Отраслевой стандарт также охватывает эксплуатационные характеристики производственного оборудования, такие как рабочие параметры волочильных машин и печей для спекания, подчеркивая стабильность и экологичность процесса. Техническая задача заключается в применении стандартов к различным производственным сценариям, координации оборудования и технологических уровней различных предприятий, а также в содействии обновлению стандартов для адаптации к новым технологиям и приложениям. Стандарт TC243 содержит технические рекомендации для промышленности молибденовой проволоки в Китае и способствует стандартизированному управлению в отрасли.

7.3.2 Внутренние стандарты

Ведущий производитель молибденовой проволоки, применяющий собственные стандарты для удовлетворения конкретных потребностей клиентов и высокотехнологичных приложений. Эти стандарты, как правило, более строгие, чем национальные или международные стандарты, с подробными спецификациями требований к эксплуатационным характеристикам ультратонкой молибденовой проволоки, молибденовой лантановой проволоки или молибденово-ренийевой проволоки.

Внутренние стандарты компании также регулируют детали производственного процесса, такие как точность волочильного штампа и чистота атмосферы отжига, чтобы гарантировать, что продукт соответствует потребностям высококласных рынков, таких как аэрокосмическая и медицинская промышленность. Техническая задача состоит в том, чтобы сбалансировать высокие стандарты с производственными затратами, оптимизировать процессы и испытательное оборудование, а также обеспечить соответствие стандартов потребностям клиентов. Эти стандарты способствуют технологическим инновациям и конкурентоспособности предприятий на рынке.

7.4 Сравнение и анализ стандартов молибденовой проволоки

Сравнительный анализ отечественных, зарубежных и отраслевых стандартов полезен для понимания различий, применимости и ограничений спецификаций молибденовой проволоки, дает рекомендации по производству и применению, а также способствует оптимизации и интернационализации стандартной системы.

7.4.1 Различия между отечественными и зарубежными стандартами

Существуют различия между национальными стандартами (такими как GB/T 4182-2003) и международными стандартами (такими как ASTM B387) по химическому составу, механическим свойствам и методам испытаний. Отечественные стандарты уделяют больше внимания универсальности молибденовой проволоки, охватывая различные сценарии применения, такие как резка проволоки и электрические источники света, подчеркивая производственные затраты и эффективность, и подходят для крупномасштабного производства на китайском рынке. Международные стандарты в большей степени

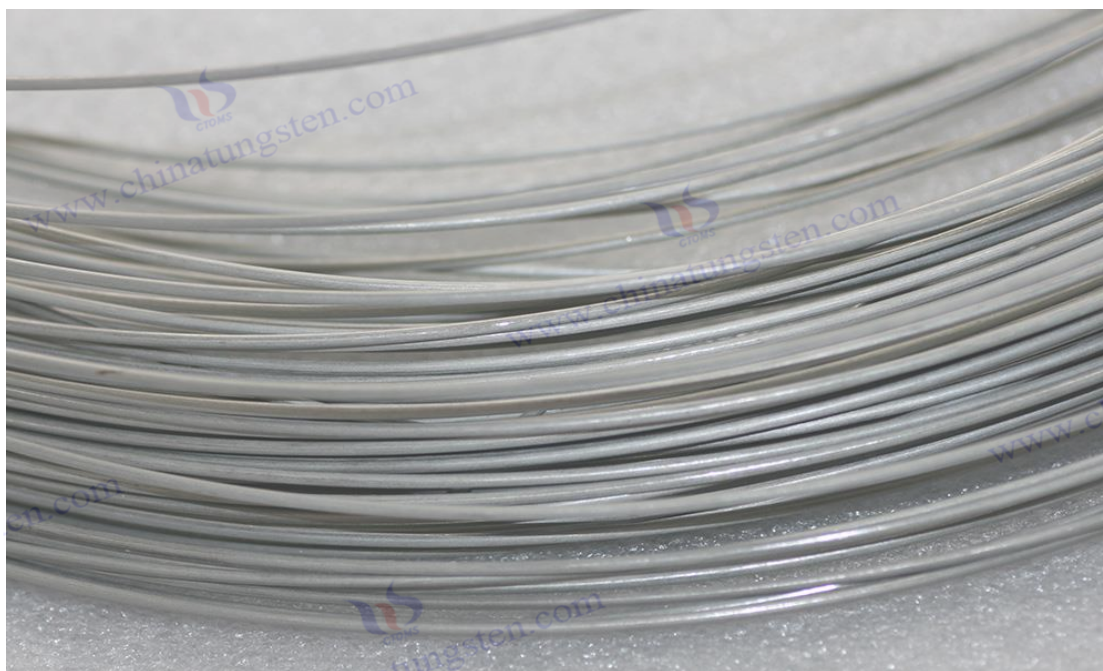
сосредоточены на требованиях к производительности высокотехнологичных приложений, таких как аэрокосмическая промышленность и полупроводники, уделяя особое внимание высокой чистоте и точности испытаний, и применимы к мировому рынку. Стандарты ISO ориентированы на международную общность и гармонизируют национальные требования, в то время как стандарты JIS и DIN больше ориентированы на конкретные потребности региональных рынков, такие как электронные компоненты в Японии и сертификаты качества в Германии.

Что касается методов обнаружения, то в отечественных стандартах в основном используется химический анализ и простые механические испытания, а требования к испытательному оборудованию относительно просты, в то время как международные стандарты требуют высокоточных спектрометров и микроскопов, а процесс детектирования более сложный. Что касается требований к упаковке и хранению, то международные стандарты более строгие, подчеркивающие влагозащитные и антиокислительные меры, которые подходят для транспортировки на дальние расстояния. Техническая задача состоит в том, чтобы примирить эти различия, создать единую систему сертификации качества и способствовать взаимному признанию отечественных и зарубежных стандартов.

7.4.2 Применимость и ограничения стандартов

Пригодность стандартов молибденовой проволоки зависит от сценария применения и рыночного спроса. Отечественные стандарты подходят для крупномасштабного производства и недорогих применений, таких как резка проволоки и обычные электрические источники света, с низкими затратами на внедрение и простотой продвижения. Международные стандарты применимы к рынкам высокого класса, таким как аэрокосмическая промышленность и медицинское оборудование, для удовлетворения высоких требований к производительности, но являются дорогостоящими в внедрении. Отраслевые стандарты и внутренние стандарты более специфичны для конкретных областей применения и являются более гибкими, но они имеют ограниченную область применения и могут не подходить для межотраслевого развертывания.

Ограничением стандарта является то, что он медленно обновляется, и его трудно быстро адаптировать к потребностям новых технологий и приложений, таких как ультратонкая молибденовая проволока и новая проволока из сплава. В некоторых стандартах недостаточно требований по охране окружающей среды и энергосбережению, а спецификации «зеленого» производства необходимо дополнять. Техническая задача заключается в формулировании стандартов, которые учитывают как универсальность, так и профессионализм, и необходимо укреплять международное сотрудничество и отраслевые обмены для содействия динамичному обновлению и глобальному применению стандартов.



CTIA GROUP LTD Молибденовая проволока

Глава 8 Методы обнаружения молибденовой проволоки

Эксплуатационные характеристики молибденовой проволоки напрямую влияют на эффект ее применения в электроисточнике света, резке проволоки, вакуумном покрытии и других областях, поэтому необходимо оценивать ее химический состав, физические свойства и качество поверхности с помощью точных методов обнаружения. Эти методы обнаружения охватывают различные методы, такие как спектральный анализ, механические испытания, микроскопические наблюдения и т. д., чтобы гарантировать, что молибденовая проволока соответствует национальным стандартам (например, GB/T 4182-2003), международным стандартам (например, ASTM B387) и конкретным отраслевым потребностям. Инспекционное оборудование должно быть высокоточным, отзывчивым и неразрушающим, чтобы поддерживать эффективное производство и контроль качества. Ниже приведено подробное текстовое описание методов, технологических требований и проблем испытания химического состава, физических свойств и контроля качества поверхности молибденовой проволоки.

8.1 Испытание химического состава молибденовой проволоки

Испытание химического состава используется для анализа чистоты и содержания примесей в молибденовой проволоке, чтобы убедиться, что материал соответствует требованиям высокопроизводительных приложений, таким как проводимость электрических источников света и коррозионная стойкость высокотемпературных печей. Метод обнаружения должен обладать высокой чувствительностью и точностью, иметь возможность обнаруживать микроэлементы и адаптироваться к различным спецификациям молибденовой проволоки (например, чистой молибденовой проволоки, молибденовой лантановой проволоки).

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire

Molybdenum wire is a high-performance metallic filament made from metal molybdenum through hot working, cold drawing, and surface treatment. It features an extremely high melting point, excellent electrical and thermal conductivity, good mechanical strength, and exceptional corrosion resistance. It serves as a core material in various high-temperature and precision application fields.

2. Applications of Molybdenum Wire (Typical)

Application Field	Specific Uses
Lighting Industry	Filament supports, lead wires, halogen lamp electrodes, fluorescent lamp electrodes, LED packaging brackets
Wire-Cut Machining	Electrode wire for EDM, used in mold making and cutting of complex metal parts
Thermal Spraying	Used for surface reinforcement and wear-resistant coatings on automotive, aerospace, and engineering components
Vacuum Coating	Used as evaporation sources and coating materials for optics, solar cells, and semiconductor devices

3. Types of Molybdenum Wire (Typical)

Classification	Type	Description
Surface Condition	Cleaned Molybdenum Wire	Cleaned surface, bright and smooth, suitable for high-precision processing, electronics, coating, and other demanding applications
	Black Molybdenum Wire	Graphite-coated surface, suitable for general industrial processing and cost-effective applications
Use-Based Category	Wire-Cut Molybdenum Wire	For EDM wire-cutting, features high strength, high precision, and excellent durability
	Thermal Spray Molybdenum Wire	Used in thermal spraying processes, requires high density and good melting properties
	Heating Molybdenum Wire	Used as a heating element in high-temperature furnaces, with excellent heat resistance

4. Specifications of Molybdenum Wire from CTIA GROUP LTD

Item	Specification
Purity	≥99.95%
Diameter Range	0.03 mm ~ 3.0 mm (customizable)
Length / Coil Weight	Custom cut lengths (e.g., 200 mm) or continuous winding (e.g., 500g/coil, 2kg/coil)
Diameter Tolerance	±0.002 mm ~ ±0.1 mm
Surface Condition	Cleaned / Black
Packaging Options	Spool, coil, vacuum packaging, customized packaging

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

8.1.1 Спектроскопический анализ (ИСП-МС, РФБ)

Спектроскопия является основным методом определения химического состава молибденовых нитей, также широко используются масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) и рентгенофлуоресцентная спектроскопия (РФА). ICP-MS анализирует массовый спектр элементов путем растворения образца молибденовой проволоки в растворе и его ионизации, что позволяет точно обнаруживать следовые примеси (такие как железо, углерод, кислород), и подходит для анализа состава молибденовой проволоки высокой чистоты. Оборудование оснащено масс-спектрометром высокого разрешения и системой очистки, чтобы гарантировать, что результаты испытаний не будут нарушены окружающей средой, особенно в связи с жесткими требованиями к молибденовой проволоке для полупроводников и медицинских устройств. РФА — это неразрушающий метод, который возбуждает поверхность молибденовой проволоки с помощью рентгеновских лучей и анализирует сигнал флуоресценции для определения элементного состава, что делает его пригодным для быстрого обнаружения партий и широко используется для контроля качества на производственных линиях.

В работе ИСП-МС выполняется в сверхчистой среде, пробоподготовка включает растворение и разбавление кислотой, а чистоту раствора необходимо строго контролировать, чтобы избежать загрязнения. Оборудование РФА необходимо регулярно калибровать для обеспечения стабильности и точности источника рентгеновского излучения. Оба метода необходимо сравнивать со стандартами, чтобы обеспечить надежные результаты. Техническая задача заключается в повышении чувствительности обнаружения для выявления сверхнизких уровней примесей при одновременной оптимизации процесса подготовки образцов для сокращения времени обнаружения, что требует эффективных систем обработки данных и чистых помещений.

8.1.2 Химическое титрование

Химическое титрование является традиционным методом определения химического состава, который количественно анализирует основные элементы и некоторые примеси в молибденовой проволоке посредством химических реакций, и подходит для лабораторных и мелкосерийных испытаний. Методы включают растворение образца молибденовой проволоки в кислотном растворе, добавление определенного реагента для инициирования химической реакции и определение содержания элементов по конечной точке титрования. Этот метод прост в эксплуатации, недорог, подходит для определения содержания молибдена и распространенных примесей (таких как сера, фосфор), а также широко используется для проверки качества на ранней стадии производства молибденовой проволоки.

В процессе химического титрования необходимо использовать реагенты высокой чистоты и прецизионное оборудование для титрования для обеспечения стабильных условий реакции и воспроизводимых результатов. Подготовка образцов должна выполняться в вытяжном шкафу для предотвращения утечки вредных газов. Отработанная жидкость должна быть нейтрализована и осаждена в соответствии с требованиями охраны окружающей среды. Техническая задача состоит в том, чтобы повысить точность титрования для обнаружения

следовых примесей, оптимизировать рецептуру реагента и процесс титрования, сократив при этом количество ошибок при ручном обращении, а также сделать его пригодным для использования в сочетании со спектроскопии для повышения надежности.

8.2 Испытание физических свойств молибденовой проволоки

При испытании физических свойств оцениваются механические свойства молибденовой проволоки, включая прочность на разрыв, удлинение и твердость, чтобы убедиться, что она соответствует механическим требованиям таких применений, как резка проволоки, нагревательные элементы и т. д. Эти методы требуют использования высокоточного оборудования, которое может точно измерять характеристики молибденовой проволоки в различных состояниях, учитывая при этом крошечный размер ультратонкой молибденовой проволоки.

8.2.1 Испытание на прочность при растяжении

Испытание на прочность на разрыв используется для измерения прочности на разрыв молибденовой проволоки под растягивающей нагрузкой, отражающей ее механическую прочность и долговечность, и подходит для молибденовой проволоки для резки проволоки и высокотемпературной печи. Испытание проводится машиной для испытаний на растяжение, где молибденовая проволока зажимается в специальном приспособлении, прилагается прогрессивно увеличивающееся растягивающее усилие до тех пор, пока она не разорвется, и регистрируется максимальная нагрузка и деформационное поведение. Оборудование должно быть оснащено высокоточным датчиком силы и системой контроля перемещения, чтобы обеспечить стабильный зажим без повреждения поверхности молибденовой проволоки, и подходит для тестирования грубой молибденовой проволоки и ультратонкой молибденовой проволоки.

Во время работы испытание следует проводить при постоянной температуре и влажности, чтобы факторы окружающей среды не повлияли на результаты. Конструкция приспособления должна учитывать различные диаметры молибденовой проволоки, чтобы предотвратить скольжение или локальные концентрации напряжений. Автоматическая система управления фиксирует кривую растяжения и анализирует прочность и ударную вязкость материала. Техническая задача заключалась в том, чтобы проверить устойчивость к зажиму ультратонких молибденовых проволок, разработать специальные микроприспособления и оптимизировать скорость испытания, чтобы избежать влияния скорости деформации на результаты и гарантировать, что данные точно отражают характеристики молибденовой проволоки.

8.2.2 Испытание на удлинение

Испытание на удлинение оценивает способность молибденовой проволоки к пластической деформации до разрушения при растяжении, отражая ее пластичность и ударную вязкость, и подходит для электрических источников света и молибденовой проволоки для микроэлектроники. Испытание обычно проводится в сочетании с испытанием на прочность при растяжении, где машина для испытаний на растяжение используется для регистрации

удлинения молибденовой проволоки в процессе растяжения и расчета ее удлинения. Оборудование должно быть оснащено высокоточным датчиком перемещения, который может обнаруживать деформацию на микронном уровне, что подходит для тестирования ультратонких молибденовых проволок. Результаты испытаний используются для оценки пригодности молибденовой проволоки в процессе гибки или намотки.

Во время работы необходимо убедиться, что поверхность молибденовой проволоки не имеет дефектов, чтобы преждевременный перелом не повлиял на результаты. Приспособления должны быть точно выровнены, чтобы уменьшить влияние эксцентриситетов. Автоматизированная система записывает кривую деформации и анализирует пластические свойства молибденовой проволоки. Техническая задача заключается в том, чтобы добиться высокоточных измерений деформации, оптимизации чувствительности датчика и конструкции приспособления, обеспечивая при этом стабильную испытательную среду для повторяемости.

8.2.3 Испытание на твердость

Испытание на твердость оценивает сопротивление деформации молибденовой проволоки, отражая ее износостойкость и технологичность, и подходит для молибденовой проволоки для напыления и резки проволоки. Тест на твердость по Виккерсу или тест на микротвердость обычно используется для определения твердости материала путем приложения определенной нагрузки к поверхности молибденовой проволоки и измерения размера вдавливания. Оборудование должно быть оснащено высокоточным индентором и микроскопом, который может выполнять тесты на небольшой площади, и подходит для обнаружения ультратонких молибденовых проводов. Результаты испытаний используются для оценки долговечности молибденовой проволоки в условиях высоких нагрузок.

Во время работы испытание необходимо проводить в чистой среде, чтобы поверхностное загрязнение не повлияло на измерение вдавливания. Молибденовая проволока должна быть закреплена в специальном приспособлении, чтобы контрольная точка была ровной. Автоматизированная система записывает изображение вдавливания и рассчитывает значение твердости. Техническая задача заключалась в том, чтобы проверить точность позиционирования ультратонких молибденовых проволок с помощью микроскопов высокого разрешения и миниатюрных инденторов, оптимизируя при этом выбор нагрузки, чтобы не повредить поверхность проволоки.

8.3 Контроль качества поверхности молибденовой проволоки

Контроль качества поверхности используется для оценки качества поверхности, дефектов и шероховатости молибденовой проволоки, чтобы убедиться, что она соответствует высоким требованиям таких областей применения, как электрические источники света, вакуумные покрытия и т. д. Метод контроля должен быть с высоким разрешением и неразрушающим, способным быстро выявлять поверхностные дефекты и обеспечивать внутритрубную диагностику.

8.3.1 Микроскопическое наблюдение

Микроскопическое наблюдение используется для осмотра царапин, трещин и оксидных слоев на поверхности молибденовой проволоки, а также подходит для контроля качества электроисточника света и молибденовой проволоки для резки проволоки. Оптические микроскопы идеально подходят для быстрого изучения рельефа поверхности и оснащены объективами с большим увеличением для наблюдения за дефектами микронного размера. Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) обеспечивает более высокое разрешение и подходит для анализа микроструктуры и поверхностных дефектов ультратонких молибденовых проволок, выявления границ зерен и следов обработки. Оборудование должно быть оснащено системой обработки изображений, которая позволяет получать четкие изображения поверхности для упрощения классификации и анализа дефектов.

Во время работы молибденовую проволоку необходимо очищать ультразвуком для удаления поверхностных загрязнений, чтобы предотвратить помехи при наблюдении. Микроскопы необходимо регулярно калибровать для обеспечения качества изображения и разрешения. Результаты испытаний используются для оценки эффективности процессов волочения и обработки поверхности. Техническая задача заключалась в том, чтобы повысить точность изображения ультратонких молибденовых проводов с помощью микроскопа, оптимизировать систему освещения и фиксации образца, а также уменьшить воздействие вибраций окружающей среды.

8.3.2 Вихретоковая дефектоскопия

Вихретоковый дефектоскоп применяется для выявления микротрещин, включений и внутренних дефектов на поверхности молибденовой проволоки, а также подходит для резки проволоки и внутритрубного контроля молибденовой проволоки для электронных компонентов. Благодаря принципу электромагнитной индукции аппаратура генерирует вихревые токи на поверхности молибденовой проволоки для обнаружения изменений электрического сигнала, вызванных дефектами, которая обладает характеристиками неразрушающей и высокой чувствительности. Вихретоковые дефектоскопы оснащены многоканальными датчиками и автоматической системой сканирования, которая может быстро обнаруживать длинные молибденовые проволоки и выявлять мелкие дефекты, что делает их пригодными для непрерывного производства.

Во время работы оборудование необходимо откалибровать для работы с молибденовыми проволоками разного диаметра для обеспечения чувствительности обнаружения. Система обработки данных фиксирует местоположение и тип дефектов в режиме реального времени и формирует отчеты о качестве. Вихретоковый контроль должен быть интегрирован с линией волочения проволоки для обеспечения высокоскоростного контроля. Техническая задача заключается в повышении точности обнаружения дефектов микронного масштаба, оптимизации конструкции датчиков и алгоритмов обработки сигналов, а также в сокращении количества ложных тревог для повышения надежности.

8.3.3 Испытание на шероховатость поверхности

Тест на шероховатость поверхности оценивает гладкость поверхности молибденовой проволоки, влияющую на ее характеристики в вакуумных покрытиях и электрических источниках света. В испытании используется контактный или бесконтактный измеритель шероховатости, а контактное устройство сканирует поверхность молибденовой проволоки через зонд для измерения изменения профиля поверхности, который подходит для проверки грубой молибденовой проволоки. Бесконтактные устройства используют лазеры или оптические системы и подходят для контроля ультратонких молибденовых проводов во избежание повреждения зонда. Оборудование должно быть оснащено высокоточными датчиками и системами анализа данных для формирования параметров шероховатости поверхности, отражающих отделку проволоки.

Во время работы молибденовую проволоку необходимо очищать, чтобы удалить масло с поверхности, а для обеспечения точности необходимо проводить испытание в среде без вибрации. Автоматизированная система фиксирует данные профиля и анализирует качество поверхности. Техническая задача состоит в том, чтобы проверить точность позиционирования ультратонких молибденовых проволок, оптимизируя чувствительность зонда или лазерной системы, а также обеспечив адаптивность устройства к различным диаметрам молибденовых проволок.

8.4 Испытание размера молибденовой проволоки и допусков

Испытания размеров и допусков используются для оценки постоянства диаметра и геометрической точности молибденовой проволоки, чтобы убедиться, что она соответствует высоким требованиям к точности таких областей применения, как электроэрозионная проволока, электрические источники света и вакуумные покрытия. Метод обнаружения должен обладать характеристиками высокого разрешения, быстрого отклика и неразрушающей способности, адаптироваться к различным спецификациям от грубой молибденовой проволоки до ультратонкой молибденовой проволоки, а также соответствовать строгим требованиям национальных стандартов (таких как GB/T 4182-2003) и международных стандартов (таких как ASTM B387).

8.4.1 Лазерный штангенциркуль

Лазерный штангенциркуль используется для определения диаметра и округлости молибденовой проволоки в режиме онлайн или офлайн и широко используется для контроля качества производственных линий волочения проволоки в режиме реального времени. Устройство сканирует поверхность молибденовой проволоки, испуская лазерный луч, анализирует отраженный или проходящий световой сигнал, а также рассчитывает диаметр и геометрическое отклонение проволоки, что подходит для высокоскоростных производственных сред. Лазерный штангенциркуль имеет преимущество бесконтактного измерения, что позволяет избежать повреждения поверхности молибденовой проволоки, и особенно подходит для обнаружения ультратонкой молибденовой проволоки. Его высокое разрешение и быстрый отклик позволяют фиксировать небольшие изменения размеров в режиме реального времени, гарантируя, что провод соответствует требованиям

прецизионных приложений, таких как допуски на микронный уровень в электроэрозионной обработке проводов.

Во время работы лазерный штангенциркуль должен работать в среде без вибрации, чтобы внешние помехи не влияли на точность измерения. Устройство оснащено многоосевой системой лазерного сканирования, которая способна осматривать всю окружность молибденовой проволоки и формировать подробный отчет о размерах. В системе калибровки используются стандартные образцы для обеспечения надежных результатов измерений. Техническая задача заключалась в том, чтобы повысить чувствительность системы контроля к ультратонким молибденовым проводам, оптимизировать источник лазера и алгоритмы обработки сигнала, а также интегрировать систему онлайн-мониторинга для обратной связи в режиме реального времени и корректировки процесса.

8.4.2 Микрометры и микроизмерения

Микрометры и микроизмерения используются для автономного контроля диаметра и геометрии поверхности молибденовой проволоки, подходят для лабораторной и мелкосерийной проверки качества. Микрометр измеряет диаметр молибденовой проволоки с помощью прецизионной механической структуры и оснащен высокоточным щупом для обнаружения отклонения размеров грубой молибденовой проволоки и проволоки среднего диаметра, а также подходит для напыления или нагрева элемента молибденовой проволоки. Микроскопическое измерение в сочетании с оптическим микроскопом или системой цифрового микроскопа увеличивает поверхность молибденовой проволоки, точно измеряет диаметр и округлость, подходит для обнаружения ультратонкой молибденовой проволоки, а также отвечает высокоточным требованиям микроэлектроники и медицинского оборудования.

Во время работы микрометр необходимо регулярно калибровать, чтобы убедиться, что щуп плоский и не изнашивается, а молибденовая проволока должна быть аккуратно зажата во избежание деформации. Для микроскопических измерений требуется чистая поверхность молибденовой проволоки, ультразвуковая очистка для удаления масла или частиц и тестирование при постоянной температуре для устранения эффектов теплового расширения. Система обработки данных фиксирует результаты измерений и формирует отчет об анализе допусков. Техническая задача заключается в том, чтобы обеспечить точность измерений, подходящую для ультратонких молибденовых проводов, оптимизируя увеличение микроскопа и конструкцию зонда микрометра, при одновременном снижении рабочих ошибок для улучшения воспроизводимости.

8.5 Другие испытания молибденовой проволоки

Другие методы испытаний оценивают устойчивость к высоким температурам, коррозионную стойкость и электрические свойства молибденовой проволоки, обеспечивая ее надежность в высокотемпературных печах, химических средах и электронных компонентах. Эти методы сочетают в себе лабораторные испытания и моделирование окружающей среды для проверки характеристик молибденовой проволоки в экстремальных условиях и удовлетворения

потребностей высокотехнологичных приложений, таких как аэрокосмическая и медицинская промышленность.

8.5.1 Испытание на устойчивость к высоким температурам

Высокотемпературные эксплуатационные испытания оценивают стабильность, сопротивление ползучести и стойкость к окислению молибденовой проволоки в высокотемпературной среде и подходят для высокотемпературных печей и аэрокосмической молибденовой проволоки. В ходе испытания имитируется реальная среда использования в высокотемпературной печи и молибденовая проволока помещается в высокотемпературную атмосферу (например, водородную или вакуумную) для наблюдения за ее деформацией, образованием оксидного слоя и изменениями механических свойств. Оборудование оснащено высокоточной системой контроля температуры и устройством кондиционирования атмосферы, которое может имитировать различные высокотемпературные условия, чтобы результаты испытаний отражали характеристики молибденовой проволоки в реальных условиях. Испытание также включает в себя эксперимент по термоциклированию для оценки термостойкости молибденовой проволоки к тепловому удару при быстрых температурных пандусах.

Во время работы испытание необходимо проводить в атмосфере высокой чистоты или вакуумной среде, чтобы предотвратить окисление молибденовой нити, а оборудование должно быть оснащено инфракрасным термометром для контроля температуры в режиме реального времени. Приспособление для образцов обеспечивает равномерный нагрев молибденовой проволоки, а после испытания под микроскопом наблюдаются изменения поверхности и микроструктуры. Техническая задача заключалась в том, чтобы смоделировать экстремально высокие температуры при сохранении точности испытаний, оптимизировать распределение теплового поля и контроль атмосферы в печи, а также оснастить эффективную систему очистки отходящих газов в соответствии с экологическими требованиями.

8.5.2 Испытание на коррозионную стойкость

Испытания на коррозионную стойкость оценивают стабильность молибденовой проволоки в химических средах, таких как кислоты, щелочи или галогенные газы, и подходят для галогенных ламп, напыляемых покрытий и молибденовой проволоки для медицинских устройств. В ходе испытания наблюдаются поверхностная коррозия, потеря массы и изменения производительности при погружении молибденовой проволоки в коррозионную среду, такую как раствор соли или кислота, или при воздействии на нее коррозионного газа. Оборудование включает в себя коррозионную камеру и систему циркуляции газов, способную моделировать широкий спектр химических сред, а также высокоточные весы и микроскопы для анализа степени коррозии. Испытание также сочетает в себе электрохимические методы для измерения коррозионного потенциала и тока молибденовой проволоки для оценки механизма ее коррозионной стойкости.

В процессе работы концентрация среды и условия окружающей среды строго

контролируются для обеспечения воспроизводимых результатов. Образец очищается ультразвуком для удаления поверхностных примесей, а продукты коррозии обнаруживаются с помощью спектроскопического анализа после испытания. Отработанные жидкости и выхлопные газы должны быть нейтрализованы и отфильтрованы в соответствии с экологическими стандартами. Техническая задача состоит в том, чтобы смоделировать разнообразие сложных химических сред, оптимизировать конструкцию камеры и рецептуры агрессивных сред, одновременно повышая эффективность испытаний для поддержки контроля партий.

8.5.3 Испытание электрических характеристик

Испытание электрических характеристик оценивает проводимость и сопротивление молибденовой проволоки и подходит для электрических источников света, электронных компонентов и молибденовой проволоки для резки проволоки. В ходе испытания измеряется удельное сопротивление и контактное сопротивление молибденовой проволоки с помощью четырехзондового метода или тестера сопротивления для отражения ее текущей эффективности проводимости. Оборудование оснащено высокоточным источником тока и вольтметром, который может обнаруживать небольшие изменения сопротивления, и подходит для тестирования ультратонких молибденовых проводов. Тест также включает в себя эксперимент с высокочастотным разрядом для моделирования работы дуги при резке проволоки и оценки стабильности молибденовой проволоки под действием высокочастотных токов.

Во время работы испытание должно проводиться при постоянной температуре и влажности окружающей среды, чтобы факторы окружающей среды не влияли на измерение сопротивления. Молибденовую проволоку необходимо очистить, чтобы удалить оксидный слой с поверхности, а испытательное приспособление должно убедиться, что контакт стабилен и не повреждает провод. Система обработки данных записывает кривую сопротивления и анализирует однородность электрических свойств. Техническая задача заключалась в том, чтобы повысить чувствительность тестируемого к ультратонким молибденовым проводам, оптимизировать конструкцию приспособления и контроль тока, а также обеспечить возможность адаптации оборудования к потребностям контроля проволоки различного диаметра.

8.6 Метод идентификации отходов молибденовой проволоки

Метод идентификации отходов молибденовой проволоки используется для отличия отработанной молибденовой проволоки от новой проволоки или другой металлической проволоки (например, вольфрамовой проволоки, стальной проволоки), поддержки переработки и повторного использования, а также сокращения отходов ресурсов. Эти методы просты и эффективны, подходят как для производства, так и для переработки, сочетают в себе физические, химические и механические свойства.

8.6.1 Испытание на горение

При испытании на горение наблюдаются характеристики реакции отходов молибденовой

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

проволоки при ее нагревании и определяется ее материал. Молибденовая проволока не плавится при высоких температурах, и на поверхности образуется желтый порошок оксида молибдена, в то время как другие металлы (например, стальная проволока) могут плавиться или образовывать оксиды разных цветов. В тесте используется небольшая печь сгорания или паяльная лампа для нагрева молибденовой проволоки на воздухе и наблюдения за изменением ее цвета и продуктами окисления. Оборудование должно быть оснащено высокотемпературным отопительным устройством и системой вентиляции для обеспечения безопасной работы.

Во время работы испытание проводится в вытяжном шкафу, чтобы предотвратить растекание оксидного порошка. Образец очищают от примесей, чтобы избежать попадания примесей, а морфологию продукта окисления наблюдают с помощью микроскопии после испытания. Техническая задача состоит в том, чтобы быстро отличить молибденовую проволоку от других металлов с высокой температурой плавления (например, вольфрамовой проволоки) и объединить другие методы испытаний для повышения точности идентификации.

8.6.2 Магнитное испытание

Магнитные испытания используют немагнитные свойства молибденовой проволоки, чтобы отличить ее от ферромагнитных материалов, таких как стальная проволока. В тесте используется сильный магнит или магнитный детектор, чтобы проверить, намагничивается ли лом молибденовой проволоки, не притягивается ли молибденовая проволока из-за своей немагнитной природы, а стальная проволока обычно проявляет значительный магнетизм. Оборудование простое и портативное, подходит для быстрого обнаружения на месте и широко используется для сортировки отходов.

Во время работы испытание должно убедиться, что сила магнита достаточна, а среда обнаружения свободна от сильных помех магнитного поля. Поверхность образца необходимо очистить, чтобы отложения не повлияли на результаты. Техническая задача состоит в том, чтобы отличить молибденовую проволоку от других немагнитных металлов (например, вольфрамовой проволоки) и объединить другие методы для повышения надежности идентификации.

8.6.3 Испытание на концентрированную азотную кислоту

Тест на концентрированную азотную кислоту идентифицирует отходы молибденовой нити в результате химической реакции и использует низкую реакционную способность молибденовой нити в концентрированной азотной кислоте. Молибденовая проволока медленно реагирует в концентрированной азотной кислоте, и поверхность остается гладкой, в то время как другие металлы, такие как медь или сталь, могут быстро растворяться или вызывать значительную коррозию. В ходе испытания отработанная молибденовая нить была погружена в концентрированный раствор азотной кислоты для наблюдения за скоростью реакции и изменениями поверхности, а оборудование включает в себя кислотостойкий контейнер и систему вентиляции для обеспечения безопасной работы.

Во время работы испытание проводится в вытяжном шкафу для предотвращения утечки кислого газа. Образец следует очистить для удаления масла с поверхности, а следы коррозии следует наблюдать в микроскоп после испытания. Отработанная жидкость должна быть обезврежена и обработана в соответствии с требованиями охраны окружающей среды. Техническая сложность заключается в контроле концентрации азотной кислоты и времени реакции, а условия испытаний должны быть оптимизированы, чтобы отличать молибденовую проволоку от других коррозионноустойчивых металлов.

8.6.4 Проверка веса и упругости

Проверка веса и упругости определяется путем измерения плотности и механических свойств лома молибденовой проволоки. Молибденовая проволока обладает высокой плотностью и эластичностью, что отличается от других металлов, таких как алюминий или сталь. В ходе испытания используются прецизионные весы для измерения веса молибденовой проволоки в сочетании с длиной для расчета плотности. Проверка упругости проверяет гибкость и упругость молибденовой проволоки путем ручного изгиба или с помощью специального приспособления, и молибденовая проволока обычно демонстрирует высокую ударную вязкость и эластичное восстановление.

В процессе работы используются высокоточные весы, обеспечивающие точное измерение веса. Испытание на упругость должно проводиться осторожно, чтобы предотвратить обрыв молибденовой проволоки, что подходит для идентификации грубой молибденовой проволоки. Техническая задача состоит в том, чтобы быстро отличить молибденовую проволоку от других металлов высокой плотности в сочетании с горящими или химическими испытаниями для повышения точности, а также оптимизировать процесс тестирования для поддержки идентификации партий.



CTIA GROUP LTD Черная молибденовая проволока

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 9 Рынок молибденовой проволоки и тенденции развития

Будучи высокоэффективным материалом, молибденовая проволока имеет широкий спектр применения в области резки проволоки, электрических источников света, аэрокосмической промышленности, новой энергетики и медицины, а на развитие ее рынка влияют глобальный промышленный технологический прогресс, распределение ресурсов и спрос на последующие этапы. Мировой рынок молибденовой проволоки демонстрирует устойчивый рост, а Азиатско-Тихоокеанский регион, особенно Китай, занимает доминирующее положение благодаря своим ресурсным преимуществам и производственным возможностям. Внутренний рынок характеризуется высокой конкуренцией: крупные предприятия укрепляют свои рыночные позиции за счет технологических инноваций и крупносерийного производства, в то время как малые и средние предприятия концентрируются на сегментах рынка. В будущем индустрия молибденовой проволоки будет развиваться в направлении высокой производительности, интеллекта и устойчивости, а применение новых материалов, новых процессов и новых областей энергии, 5G и медицины еще больше расширит рыночное пространство. Ниже представлен глубокий анализ текущей ситуации на мировом и отечественном рынке молибденовой проволоки, а также технологического прогресса и перспектив применения.

9.1 Обзор мирового рынка молибденовой проволоки

Мировой рынок молибденовой проволоки обусловлен сочетанием распределения ресурсов, производственных мощностей и спроса на последующее применение. Уникальные свойства молибденовой проволоки в прецизионной обработке, электронных устройствах и высокотемпературных средах делают ее незаменимым материалом, а рыночный спрос тесно связан с модернизацией промышленных технологий. Развитие рынка сталкивается с такими проблемами, как колебания цен на сырье, конкуренция альтернативных материалов и требования к защите окружающей среды, и необходимо обеспечить качество продукции и конкурентоспособность на рынке за счет эффективных технологий тестирования и оптимизации процессов.

9.1.1 Основные страны-производители

Китай, США, Чили, Перу и Канада являются крупнейшими производителями молибденовой проволоки в мире, каждый из которых занимает важное положение на рынке благодаря своим ресурсным преимуществам и технологии производства. Китай обладает крупнейшими в мире запасами молибденовой руды, сосредоточенными в Луаньчжуане, Хэнане, Цзиньдуйчэне, Шэньси и других местах, образуя полную промышленную цепочку от добычи молибдена до обработки молибденовой проволоки. Благодаря масштабному производству и передовой технологии волочения проволоки, отечественные предприятия поставляют молибденовую проволоку для резки проволоки, электрического источника света и высокотемпературной печи, а продукция экспортируется в Северную Америку, Европу и Юго-Восточную Азию. США уделяют особое внимание молибденовой проволоке с высокой добавленной стоимостью, такой как ультратонкая молибденовая проволока для аэрокосмического и медицинского использования, полагаясь на высокоточное производственное оборудование и

строгие технологии тестирования (такие как лазерное измерение диаметра, ICP-MS) для удовлетворения высокого рыночного спроса. Чили и Перу используют попутные рудные ресурсы медно-молибденовой руды для производства молибденового концентрата и переработки его в молибденовую проволоку для экспорта на мировые рынки, особенно в Южную Америку и Европу. Канада поставляет молибденовую проволоку высокой чистоты по высокоэффективной обогащательной и металлургической технологиям, в основном обслуживая рынок Северной Америки.

Китай делает акцент на контроле затрат и масштабах производства, США и Канада делают упор на высокую производительность и точность обработки, а Чили и Перу — на поставках сырья. В процессе производства методы испытаний (например, вихретоковый контроль, анализ химического состава) гарантируют, что молибденовая проволока соответствует международным стандартам (например, ASTM B387). Техническая задача состоит в том, чтобы согласовать разработку ресурсов с экологическими требованиями, оптимизировать процессы обогащения и плавки, а также повысить качество продукции за счет высокоточных испытаний. Например, китайские компании значительно улучшили постоянство размеров и чистоту поверхности молибденовой проволоки за счет автоматизации волочения проволоки и систем онлайн-мониторинга.

9.1.2 Рыночный спрос и предложение

Рыночный спрос на молибденовую проволоку в основном связан с резкой проволоки, электрическими источниками света, аэрокосмической промышленностью и новой энергетикой. В области резки проволоки существует большой спрос на высокопрочную молибденовую проволоку тонкого диаметра, особенно в автомобильных пресс-формах, аэрокосмических деталях и прецизионной обработке, молибденовая проволока должна обладать высокой прочностью на разрыв и износостойкостью, а ее производительность обеспечивается испытаниями на растяжение и тестированием на шероховатость поверхности. Промышленность электрических источников света полагается на устойчивость к высоким температурам и проводимость молибденовых проводов, которые используются в галогенных лампах, светодиодных нитях накаливания и выводах рентгеновских трубок, и должны быть испытаны на электрические свойства для проверки их характеристик низкого сопротивления. Аэрокосмическая промышленность требует молибденовой проволоки с отличной стойкостью к ползучести и коррозии и используется в соплах двигателей и высокотемпературных опорах, где для обеспечения надежности требуются высокотемпературные эксплуатационные испытания и микроскопические наблюдения. Новые отрасли энергетики, такие как тонкопленочные солнечные батареи и ветроэнергетическое оборудование, предъявляют более высокие требования к проводимости и коррозионной стойкости молибденовых проводов, а также проверяют стабильность материала с помощью химического титрования и коррозионных испытаний.

Что касается предложения, то на мировое производство молибденовой проволоки влияют эффективность добычи молибдена и колебания цен. Производители стабилизируют поставки сырья за счет оптимизации цепочки поставок и интеграции ресурсов. Например, китайские

компании используют отечественные ресурсы молибденовой руды для обеспечения качества молибденового порошка с помощью высокоэффективного оборудования для обогащения полезных ископаемых (например, флотационных машин) и технологии порошковой металлургии. Технические проблемы включают в себя борьбу с колебаниями цен на сырье и повышение эффективности производства, а также снижение затрат за счет интеллектуального производства и технологий отслеживания качества, таких как онлайн-системы мониторинга, как описано в главе 8. Рынок также сталкивается с конкуренцией со стороны альтернативных материалов, таких как вольфрамовые нити и углеродные нанотрубки, которые требуют инноваций в процессах и технологий обнаружения (таких как спектроскопический анализ) для улучшения эксплуатационных преимуществ молибденовых проводов.

9.2 Внутренний рынок молибденовой проволоки

Китай является крупнейшим в мире производителем и потребителем молибденовой проволоки, полагаясь на обильные ресурсы молибдена и совершенную производственную систему для удовлетворения потребностей внутреннего и внешнего рынков. Рынок отличается высокой конкуренцией, на котором крупные предприятия доминируют благодаря технологическим инновациям и преимуществам бренда, а малые и средние предприятия — благодаря индивидуальным продуктам и конкуренции на региональном рынке.

9.2.1 Основные производители (например, CTIA GROUP LTD)

CTIA GROUP LTD является дочерней компанией Chinatungsten Online с независимым юридическим статусом. Компания стремится продвигать интеллектуальное, интегрированное и гибкое проектирование и производство вольфрамовых и молибденовых материалов в эпоху промышленного интернета. Компания обладает полной производственной цепочкой от рафинирования молибденового концентрата до переработки молибденовой проволоки высокой чистоты. Ее производственное оборудование включает в себя передовые многоматричные волочильные машины и автоматизированные печи для отжига, в то время как технологии контроля охватывают лазерные измерители диаметра и вихревые дефектоскопы. Продукция широко используется в резке проволоки, электрических источниках света и высокотемпературных печах, отвечая требованиям к высокой точности и высокотемпературным характеристикам.

9.2.2 Доля рынка и конкурентная среда

Внутренний рынок молибденовой проволоки характеризуется высокой концентрацией и региональной конкуренцией. К конкурентным факторам относятся технологические инновации, точность контроля и эффективность производства. Ведущие компании повышают эффективность производства и качество продукции за счет интеграции цепочек поставок и внедрения интеллектуальных производственных технологий, таких как автоматизированные линии волочения проволоки. Малые и средние предприятия (МСП) сталкиваются с проблемами обновления технологий и давления на затраты и нуждаются в повышении своей конкурентоспособности за счет партнерства с крупными предприятиями или внедрения технологий. Рынок также обусловлен экспортным спросом: китайская молибденовая проволока экспортируется в Юго-Восточную Азию и Европу, где она должна соответствовать

международным стандартам (например, ASTM B387). Техническая задача состоит в том, чтобы найти баланс между высокой производительностью и низкой стоимостью, а также справиться с внутренней и международной конкуренцией за счет эффективных испытаний и оптимизации процессов.

9.3 Тенденции развития молибденовой проволоки

Будущее развитие молибденовой проволоки обусловлено новыми материалами, новыми процессами, интеллектуальным производством и новыми областями применения. Достижения в области технологий контроля (такие как вихретоковая дефектоскопия и лазерное измерение траекторий, как описано в главе 8) способствуют повышению качества продукции и разработке новых продуктов, а рыночная тенденция развивается в направлении высокой производительности, экологичного производства и интеллекта.

9.3.1 Разработка новых материалов и процессов

Разработка новых материалов и процессов направлена на улучшение механических свойств, проводимости и адаптивности молибденовой проволоки к воздействию окружающей среды. Технология легирования значительно улучшает сопротивление ползучести при высоких температурах и пластичность молибденовой проволоки за счет добавления редкоземельных элементов (таких как лантан и церий) или металлических элементов (таких как рений). Например, молибденовая лантановая проволока выдерживает более длительные термические циклы в высокотемпературных печах, продлевая срок ее службы. В новом процессе волочения используются высокоточные формы и экологически чистые смазочные материалы для производства более тонких и однородных молибденовых проводов, отвечающих микронным требованиям устройств 5G и микроэлектроники. Технологии обработки поверхности, такие как покрытие из силицидида молибдена и покрытие из диоксида циркония, повышают стойкость к окислению и коррозии молибденовой проволоки, подходящей для аэрокосмической промышленности и галогенных ламп.

Технология обнаружения имеет решающее значение при разработке. Например, микроскопическое наблюдение используется для анализа равномерности распределения легированных элементов, а химическое титрование проверяет стабильность состава покрытия. Техническая задача заключается в том, чтобы сбалансировать повышение производительности с производственными затратами, снизить энергопотребление за счет эффективных испытаний (например, определение шероховатости поверхности) и автоматизированного оборудования, обеспечивая при этом соответствие новых материалов международным стандартам (например, ISO 24361).

9.3.2 Интеллектуальное производство и технология отслеживания качества

Интеллектуальное производство повышает эффективность и стабильность производства молибденовой проволоки за счет автоматизации, Интернета вещей и технологий больших данных. Автоматическая производственная линия для волочения проволоки включает в себя серводвигатели, датчики и системы управления ПЛК для динамической регулировки скорости волочения и натяжения для снижения обрыва проволоки и частоты дефектов.

Система прослеживаемости качества использует блокчейн и технологию штрих-кодов для записи химического состава, параметров обработки и результатов испытаний молибденовой проволоки от сырья до готовой продукции, обеспечивая соответствие продукции стандартам GB/T 4182 и ASTM B387.

Интеллектуальное производство также поддерживает обратную связь по качеству в режиме реального времени, вихретоковую дефектоскопию и данные электрических испытаний, передаваемые непосредственно в центр управления для оптимизации параметров процесса. В качестве примера можно привести интеллектуальную производственную линию Luoyang Dingdin, которая снизила процент брака на 10% с помощью онлайн-системы мониторинга. Технические проблемы связаны с системной интеграцией и безопасностью данных, что требует разработки высоконадежных программных платформ и мер защиты сети, а также обучения технических специалистов адаптации к интеллектуальным устройствам.

9.3.3 Разработка новых проволок из молибденовых сплавов

Новая проволока из молибденового сплава улучшает эксплуатационные характеристики за счет технологии легирования для удовлетворения потребностей высокотехнологичных приложений. Проволока из молибденового сплава лантана подходит для вспомогательных компонентов печи для выращивания монокристаллического кремния путем добавления оксида лантана для повышения сопротивления ползучести и ударной вязкости при высоких температурах, а также может выдерживать тепловой удар при быстром повышении и падении температуры. Провод из молибден-ренийевого сплава удовлетворяет потребности антенн базовых станций 5G и медицинских имплантируемых электродов за счет добавления рениевых элементов для улучшения электропроводности и коррозионной стойкости. Методы испытаний (например, ICP-MS, определение твердости) разрабатываются для проверки состава и механических свойств сплава для обеспечения стабильных характеристик.

9.3.4 Разработка разлагаемых или альтернативных материалов

Молибденовая проволока трудно поддается разложению в качестве металлического материала, но устойчивость может быть достигнута за счет переработки отходов молибденовой проволоки и разработки альтернативных материалов. Технология переработки отходов молибденовой проволоки использует химическое растворение и электролизную очистку для преобразования отработанной проволоки в молибденовый порошок высокой чистоты для воспроизведения. Альтернативные материалы, такие как вольфрамовые нити, углеродные нанотрубки и графеновые проволоки, являются конкурентоспособными в некоторых приложениях. Например, вольфрамовая нить постепенно вытесняет молибденовую нить в высокотемпературной нити благодаря более высокой температуре плавления, но стоимость выше; Углеродные нанотрубки имеют потенциал в области микроэлектроники благодаря своему легкому весу и высокой проводимости, но технология производства еще не созрела.

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire

Molybdenum wire is a high-performance metallic filament made from metal molybdenum through hot working, cold drawing, and surface treatment. It features an extremely high melting point, excellent electrical and thermal conductivity, good mechanical strength, and exceptional corrosion resistance. It serves as a core material in various high-temperature and precision application fields.

2. Applications of Molybdenum Wire (Typical)

Application Field	Specific Uses
Lighting Industry	Filament supports, lead wires, halogen lamp electrodes, fluorescent lamp electrodes, LED packaging brackets
Wire-Cut Machining	Electrode wire for EDM, used in mold making and cutting of complex metal parts
Thermal Spraying	Used for surface reinforcement and wear-resistant coatings on automotive, aerospace, and engineering components
Vacuum Coating	Used as evaporation sources and coating materials for optics, solar cells, and semiconductor devices

3. Types of Molybdenum Wire (Typical)

Classification	Type	Description
Surface Condition	Cleaned Molybdenum Wire	Cleaned surface, bright and smooth, suitable for high-precision processing, electronics, coating, and other demanding applications
	Black Molybdenum Wire	Graphite-coated surface, suitable for general industrial processing and cost-effective applications
Use-Based Category	Wire-Cut Molybdenum Wire	For EDM wire-cutting, features high strength, high precision, and excellent durability
	Thermal Spray Molybdenum Wire	Used in thermal spraying processes, requires high density and good melting properties
	Heating Molybdenum Wire	Used as a heating element in high-temperature furnaces, with excellent heat resistance

4. Specifications of Molybdenum Wire from CTIA GROUP LTD

Item	Specification
Purity	≥99.95%
Diameter Range	0.03 mm ~ 3.0 mm (customizable)
Length / Coil Weight	Custom cut lengths (e.g., 200 mm) or continuous winding (e.g., 500g/coil, 2kg/coil)
Diameter Tolerance	±0.002 mm ~ ±0.1 mm
Surface Condition	Cleaned / Black
Packaging Options	Spool, coil, vacuum packaging, customized packaging

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

9.3.5 Новые перспективы применения молибденовой проволоки в новой энергетике, 5G и медицинском направлении

Применение молибденовой проволоки в сферах новой энергетике, 5G и медицины имеет широкие перспективы, обусловленные технологическим прогрессом и рыночным спросом. В области новой энергетике молибденовая проволока используется в проводящем слое тонкопленочных солнечных элементов, что повышает эффективность ячейки с высокой проводимостью и коррозионной стойкостью. Например, компания, занимающаяся солнечной энергетикой, использует молибденовую проволоку в качестве заднего электрода батареи CIGS (селенид меди индия и галлия) и проверяет ее долгосрочную стабильность с помощью испытаний на коррозионную стойкость. Ветроэнергетическое оборудование использует молибденовую проволоку для изготовления износостойких разъемов, которые должны пройти испытания на твердость и разрыв для обеспечения механических свойств. Область 5G основана на сверхтонком диаметре и низком сопротивлении молибденового провода, который применяется к радиочастотным компонентам антенн базовых станций. В медицине молибденовая проволока используется для изготовления минимально инвазивных хирургических проводников и имплантируемых электродов, которые должны быть защищены с помощью микроскопического наблюдения и тестирования на биосовместимость.

В будущем молибденовая проволока будет развиваться в направлении более мелкого диаметра и более высокой производительности, чтобы удовлетворить потребности миниатюризации и высокой надежности. Например, ультратонкая молибденовая проволока может быть использована при изготовлении антенн для устройств 6G, где размер и проводимость должны быть проверены с помощью лазерного измерения диаметра и испытаний электрических характеристик. Техническая задача состоит в том, чтобы разработать молибденовую проволоку для экстремальных условий, сочетающую передовые технологии контроля (например, вихревой контроль, высокотемпературный контроль) и инновационные материалы, оптимизируя при этом производственные затраты для поддержки крупномасштабных применений.



CTIA GROUP LTD Черная молибденовая проволока

Глава 10 Молибденовая проволока: окружающая среда и безопасность

Производство молибденовой проволоки включает в себя сложные процессы обогащения, металлургии, волочения проволоки и обработки поверхности, что выдвигает строгие требования к управлению охраной окружающей среды и безопасностью. Выхлопные газы, сточные воды и твердые отходы производственного процесса должны быть надлежащим образом утилизированы в соответствии с экологическими нормами, а операторы должны соблюдать правила высокой температуры и химической безопасности для снижения рисков. Переработка и повторное использование отходов молибденовой проволоки сокращает потери ресурсов и способствует устойчивому развитию за счет эффективных процессов. Управление охраной окружающей среды и безопасностью связано не только с соблюдением требований, но и оказывает непосредственное влияние на производительность и конкурентоспособность предприятий на рынке. Ниже представлен глубокий анализ воздействия на окружающую среду, требований безопасности и процесса переработки при производстве молибденовой проволоки, а также процесса реализации и проблем с подробным текстовым описанием.

10.1 Воздействие производства молибденовой проволоки на окружающую среду

Производство молибденовой проволоки включает в себя несколько этапов от добычи молибдена до переработки готовой продукции, в результате чего могут образовываться выхлопные газы, сточные воды и твердые отходы, что может оказывать воздействие на окружающую среду. Эффективная технология обработки отходов и строгие меры по охране окружающей среды гарантируют, что производственный процесс соответствует национальным и международным стандартам охраны окружающей среды (таким как GB/T 17196, ISO 14001), снижает ущерб экосистеме и в то же время повышает имидж корпоративной социальной ответственности.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

10.1.1 Очистка отходящих газов и сточных вод

Отходящий газ при производстве молибденовой проволоки в основном поступает в результате процесса обжига молибдена и восстановления водорода, в то время как сточные воды поступают в результате процессов обогащения, промывки щелочи и обработки поверхности. При преобразовании молибденита в оксид молибдена на обжиге образуется серосодержащий отходящий газ, который необходимо улавливать с помощью устройства десульфурации и преобразовывать в серную кислоту или побочные продукты гипса для использования в строительных материалах или химической промышленности.

Сточные воды в основном поступают из флотационных машин и едкого промывочного оборудования и содержат ионы тяжелых металлов (например, молибден, медь) и химические реагенты (например, гидроксид натрия). Процесс очистки включает в себя нейтрализацию, осаждение и фильтрацию с использованием флокулянтов для осаждения ионов тяжелых металлов в твердые соединения, которые затем отделяются фильтр-прессом.

10.1.2 Управление твердыми отходами

К твердым отходам относятся хвосты обогащения, остатки спекания и отходы от процесса волочения проволоки. Хвостохранилища в основном состоят из кремнезема и низкосортного молибденита, а остаточные ресурсы молибдена необходимо восстанавливать с помощью методов управления запасами и повторной сепарации. Остаток спекания содержит оксид молибдена и примеси, которые необходимо химически очистить в многофазовый молибденовый порошок и проверить на состав в сочетании с методом химического титрования, описанным в главе 8. Отходы волочения проволоки включают в себя оборванные провода и несоответствующие провода, которые сортируются и переплавляются для переработки. Для управления твердыми отходами требуются специальные хранилища для предотвращения диффузии пыли и утечки дождевой воды.

10.2 Технические требования по технике безопасности при производстве молибденовой проволоки

Производство молибденовой проволоки связано с работой при высоких температурах и использованием химических веществ, что сопряжено с риском ожогов, отравлений и аварий оборудования, а также требует строгих мер безопасности для защиты операторов и оборудования. Управление безопасностью сочетает в себе национальные стандарты (например, GB/T 27948) и международные нормы (например, OSHA) для снижения рисков за счет технического обслуживания оборудования, обучения персонала и принятия мер в чрезвычайных ситуациях.

10.2.1 Безопасность при работе при высоких температурах

Высокотемпературные операции в основном связаны с обжигowymi печами, печами спекания и печами отжига, которые требуют безопасности оборудования и защиты персонала. Обжиговые печи и печи для спекания работают в условиях высоких температур, а корпус печи должен быть изготовлен из огнеупорных материалов и систем охлаждения для предотвращения повреждения оборудования из-за перегрева. Печь отжига защищена

водородом или инертным газом и оснащена детектором утечки газа и автоматическим запорным клапаном для обеспечения быстрой остановки подачи газа в случае утечки. Операторы обязаны носить высокотемпературную защитную одежду и теплоизоляционные перчатки, а также пройти профессиональную подготовку по работе с оборудованием и обращению с аварийными ситуациями.

Нормы безопасности требуют регулярных проверок герметичности печи и нагревательных элементов для предотвращения утечки горячих газов. План действий в чрезвычайных ситуациях включает в себя учения по профилактике пожаров и эвакуации, оснащенные огнетушителями и системами дымоудаления. Техническая задача заключалась в том, чтобы сбалансировать эффективность и безопасность при работе при высоких температурах, оптимизировать распределение теплового поля и систему циркуляции газа в печи, сократив при этом ручное вмешательство за счет автоматизированного управления.

10.2.2 Безопасное использование химических веществ

Использование химических реагентов связано с флотациями при обогащении, гидроксидом натрия при промывке каустика и кислотными электролитами при обработке поверхности, что представляет риск коррозии и отравления. Флотационные агенты (например, ксантогенат) должны храниться в герметичном контейнере и точно дозироваться через автоматическую систему дозирования для снижения испарения и утечки. Оборудование для промывки щелочей использует раствор гидроксида натрия и должно быть оснащено устойчивыми к коррозии трубами и резервуарами для сбора сточных вод для предотвращения переполнения раствора.

Правила безопасности требуют, чтобы операторы носили костюмы химической защиты, защитные очки и респираторы, а также проходили обучение по химической безопасности. Во избежание случайного контакта в зоне хранения химикатов должны быть установлены предупреждающие знаки и устройства для аварийной промывки. Отработанная жидкость должна быть нейтрализована и осаждена, а состав отработанной жидкости проверяется в сочетании с методом химического титрования, описанным в главе 8, чтобы убедиться в соблюдении стандартов сброса. Техническая задача состоит в том, чтобы повысить безопасность использования химических веществ, оптимизировать герметичность оборудования и эффективность очистки выхлопных газов и жидкостей, сократив при этом ручной контакт с помощью автоматизированных систем.

10.3 Переработка и повторное использование отходов молибденовой проволоки

Переработка и повторное использование отходов молибденовой проволоки сокращает потери ресурсов за счет эффективных процессов и способствует экономике замкнутого цикла. Процесс рециркуляции должен сочетаться с методами идентификации, описанными в главе 8 (такими как испытание на горение, испытание концентрированной азотной кислотой) для обеспечения качества отходов, и в то же время использовать технологию защиты окружающей среды для снижения вторичного загрязнения и удовлетворения требований устойчивого развития.

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire

Molybdenum wire is a high-performance metallic filament made from metal molybdenum through hot working, cold drawing, and surface treatment. It features an extremely high melting point, excellent electrical and thermal conductivity, good mechanical strength, and exceptional corrosion resistance. It serves as a core material in various high-temperature and precision application fields.

2. Applications of Molybdenum Wire (Typical)

Application Field	Specific Uses
Lighting Industry	Filament supports, lead wires, halogen lamp electrodes, fluorescent lamp electrodes, LED packaging brackets
Wire-Cut Machining	Electrode wire for EDM, used in mold making and cutting of complex metal parts
Thermal Spraying	Used for surface reinforcement and wear-resistant coatings on automotive, aerospace, and engineering components
Vacuum Coating	Used as evaporation sources and coating materials for optics, solar cells, and semiconductor devices

3. Types of Molybdenum Wire (Typical)

Classification	Type	Description
Surface Condition	Cleaned Molybdenum Wire	Cleaned surface, bright and smooth, suitable for high-precision processing, electronics, coating, and other demanding applications
	Black Molybdenum Wire	Graphite-coated surface, suitable for general industrial processing and cost-effective applications
Use-Based Category	Wire-Cut Molybdenum Wire	For EDM wire-cutting, features high strength, high precision, and excellent durability
	Thermal Spray Molybdenum Wire	Used in thermal spraying processes, requires high density and good melting properties
	Heating Molybdenum Wire	Used as a heating element in high-temperature furnaces, with excellent heat resistance

4. Specifications of Molybdenum Wire from CTIA GROUP LTD

Item	Specification
Purity	≥99.95%
Diameter Range	0.03 mm ~ 3.0 mm (customizable)
Length / Coil Weight	Custom cut lengths (e.g., 200 mm) or continuous winding (e.g., 500g/coil, 2kg/coil)
Diameter Tolerance	±0.002 mm ~ ±0.1 mm
Surface Condition	Cleaned / Black
Packaging Options	Spool, coil, vacuum packaging, customized packaging

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

10.3.1 Процесс переработки

Процесс переработки отходов молибденовой проволоки включает в себя сбор, сортировку, очистку и переработку, и подходит для резки проволоки, электрического источника света и высокотемпературной проволоки печей. На стадии сбора отходы молибденовой проволоки отделяются от другого металлолома (например, стальной проволоки и вольфрамовой проволоки) с помощью сортировочного устройства, а немагнитная молибденовая проволока различается магнитным испытанием в главе 8, характеристики окисления проверяются испытанием на горение, а коррозионная стойкость подтверждается испытанием концентрированной азотной кислотой. Отсортированная отработанная молибденовая проволока очищается ультразвуком для удаления поверхностного слоя масла и оксидов для обеспечения эффективности очистки. На стадии очистки отходы молибденовой проволоки растворяются в растворе молибдата путем химического растворения или электролиза, а затем превращаются в порошок молибдена высокой чистоты путем электролиза или восстановления.

На стадии переработки молибденовый порошок прессуется в заготовку с помощью процесса порошковой металлургии, а затем изготавливается новая молибденовая проволока путем волочения и отжига. Методы детектирования (например, ICP-MS, микроскопическое наблюдение) используются для проверки химического состава и микроструктуры восстановленного молибденового порошка, чтобы убедиться в его соответствии стандарту GB/T 3462. Оборудование для переработки должно быть оснащено высокоэффективными системами фильтрации и очистки сточных вод для предотвращения вторичного загрязнения. Техническая задача состоит в том, чтобы повысить эффективность переработки и качество продукции, оптимизировать параметры электролиза и процессы тестирования, а также разработать автоматизированное оборудование для переработки для поддержки крупномасштабного производства.



CTIA GROUP LTD Черная молибденовая проволока

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

Приложение

А. Глоссарий

Молибденовая проволока: тонкая проволока, изготовленная из молибдена или молибденовых сплавов.

Проволока из чистого молибдена: молибденовая проволока, изготовленная из молибдена высокой чистоты, обычно с чистотой $\geq 99,95\%$.

Лантаново-молибденовая проволока: Молибденовая проволока, легированная редкоземельным лантаном, характеризуется высокой температурой рекристаллизации.

Проволока из иттрий-молибдена: молибденовая проволока, легированная иттрием, известная отличной прочностью на разрыв и ударной вязкостью.

Проволока из молибденового сплава Si-Al-K: проволока из молибденового сплава, содержащая кремний, алюминий, калий и т. Д., В основном используется в светотехнической промышленности.

Молибден-ренийевая проволока: Проволока из сплава молибдена и рения, используемая в высокотемпературных и коррозионных средах.

Черная молибденовая проволока: молибденовая проволока, не прошедшая щелочную очистку, с темно-серой поверхностью.

Белая молибденовая проволока: молибденовая проволока, прошедшая щелочную очистку, имеет серебристо-белую поверхность.

Резка проволокой: Метод обработки, при котором молибденовая проволока используется в качестве электродной проволоки для резки металла с помощью электроэрозионной обработки (EDM).

Термическое напыление: процесс, при котором расплавленная молибденовая проволока распыляется на поверхность основания для повышения износостойкости.

Порошковая металлургия: процесс, при котором молибденовые заготовки производятся путем прессования и спекания молибденового порошка.

Волочение проволоки: метод обработки, при котором молибденовые заготовки вытягиваются в тонкую проволоку.

Отжиг: процесс термической обработки, включающий нагрев и охлаждение для улучшения механических свойств молибденовой проволоки.

Вихрековый контроль: метод неразрушающего контроля, используемый для обнаружения поверхностных дефектов на молибденовой проволоке.

Прочность на разрыв: максимальное напряжение, которое молибденовая проволока может выдержать при растяжении.

Температура рекристаллизации: температура, при которой кристаллическая структура молибденовой проволоки восстанавливается при воздействии высоких температур.

Электропроводность: Способность молибденовой проволоки проводить электрический ток.

Теплопроводность: способность молибденовой проволоки проводить тепло.

Коррозионная стойкость: стабильность молибденовой проволоки в коррозионных средах.

Устойчивость к высоким температурам: способность молибденовой проволоки сохранять производительность в условиях высоких температур.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

A. Ссылки

- [1] Chinatungsten Online, Производство и применение молибденовой проволоки, www.chinatungsten.com
- [2] Официальный аккаунт Chinatungsten в онлайн-WeChat, технический прогресс и рыночные тенденции молибденовой проволоки, 2024 г.
- [3] Китайская ассоциация вольфрамовой промышленности (CTIA), Отраслевые стандарты и технический отчет по молибденовой проволоке, www.ctia.com.cn
- [4] Журнал материаловедения, Проволока из молибденового сплава: свойства и применение, 2022 г.
- [5] Материаловедение и инженерия: А, Достижения в области молибден-рениевых сплавов, 2021 г.
- [6] Международный журнал тугоплавких металлов и твердых материалов, Ультратонкая молибденовая проволока для микроэлектроники, 2020
- [7] Управление по стандартизации Китая, GB/T 4182-2003 Молибденовая проволока
- [8] Управление по стандартизации Китая, GB/T 3462-2007 Молибденовые стержни и плиты
- [9] ASTM International, Стандартная спецификация ASTM B387 на прутки и проволоку из молибдена и молибденового сплава, 2023 г.
- [10] Международная организация по стандартизации, ISO 24361 Молибден и молибденовые сплавы, 2020 г.
- [11] Национальный технический комитет по стандартизации цветных металлов (TC243), YS/T 369 Методы химического анализа молибденовой проволоки