

Энциклопедия молибденовой проволоки для

освещения

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](#)

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 Ханн 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

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire for Lighting Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire for Lighting

As one of the core materials in modern lighting technology, molybdenum wire is widely used in various light sources including incandescent lamps, halogen lamps, fluorescent lamps, and gas discharge lamps, due to its high melting point, high strength, excellent corrosion resistance, and superior electrical conductivity. It is an irreplaceable and critical component in the lighting industry.

2. Typical Applications of Molybdenum Wire for Lighting

Residential and Commercial Lighting: Used in incandescent and halogen lamps to provide warm light and long service life.

Automotive Lighting: Functions as electrodes in HID and xenon lamps, offering high brightness and vibration resistance.

Specialty Lighting: Utilized in projection lamps, ultraviolet (UV) lamps, and infrared (IR) lamps to meet high-temperature and high-precision requirements in medical, industrial, and scientific applications.

Emerging Fields: Serves as conductive leads for LED lamps and supports for phosphors in laser lighting, aligning with future lighting technology development.

3. Basic Data of Molybdenum Wire for Lighting (Reference)

Parameter	Pure Mo Wire	Mo-La Wire	Mo-Re Wire
Mo Content	≥99.95%	≥99.0%	52.5%–86.0%
Diameter Range	0.03–3.2 mm	0.03–1.5 mm	0.03–1.0 mm
Tolerance	±0.002 mm	±0.002 mm	±0.002 mm
Tensile Strength (Room Temp)	800–1200 MPa	900–1400 MPa	1000–1500 MPa
Tensile Strength (at 1500°C)	150–300 MPa	200–400 MPa	250–450 MPa
Elongation at Break	10%–25%	12%–20%	15%–25%
Electrical Resistivity (20°C)	$5.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$6.0 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$6.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$
Main Applications	Incandescent, Halogen	Halogen, Auto Headlights	HID, Projection Lamps

4. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Каталог

Глава 1 Введение

- 1.1 Определение и обзор молибденовой проволоки
 - 1.1.1 Химический состав и физические свойства молибденовой проволоки
 - 1.1.2 Основная функция молибденовой проволоки в области освещения
 - 1.1.3 Сравнение молибденовой проволоки с другими металлическими материалами
- 1.2 История и развитие молибденовой проволоки
 - 1.2.1 Открытие и раннее промышленное применение молибдена
 - 1.2.2 Эволюция молибденовой проволоки в светотехнике
 - 1.2.3 Ключевые технологические прорывы и вехи
- 1.3 Значение молибденовой проволоки в современной светотехнической промышленности
 - 1.3.1 Сравнение характеристик молибденовой проволоки и традиционной вольфрамовой проволоки
 - 1.3.2 Стратегическое положение молибденовой проволоки в высокоэффективном освещении
 - 1.3.3 Роль молибденовой проволоки в энергосберегающих лампах
- 1.4 Статус исследований и применения молибденовой проволоки
 - 1.4.1 Прогресс в исследованиях технологии молибденовой проволоки в стране и за рубежом
 - 1.4.2 Объем мирового рынка и распределение приложений
 - 1.4.3 Технические узкие места и будущие вызовы

Глава 2 Классификация молибденовых проводов для освещения

- 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 Прочие легированные молибденовые проволоки
- 2.2 Классификация по использованию
 - 2.2.1 Молибденовая проволока для ламп накаливания
 - 2.2.2 Молибденовая проволока для галогенных ламп
 - 2.2.3 Молибденовая проволока для люминесцентных ламп и газоразрядных ламп
 - 2.2.4 Молибденовая проволока для специальных ламп
- 2.3 Классификация по спецификации
 - 2.3.1 Диапазон диаметров и допуски
 - 2.3.2 Тип обработки поверхности
 - 2.3.3 Форма провода

Глава 3 Характеристика молибденовой проволоки для освещения

- 3.1 Физические характеристики молибденовой проволоки для освещения
 - 3.1.1 Плотность и температура плавления молибденовой проволоки для освещения
 - 3.1.2 Коэффициент теплового расширения и температурная зависимость молибденовой проволоки для освещения
 - 3.1.3 Анализ теплопроводности и проводимости молибденовой проволоки для освещения

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

- 3.2 Химические характеристики молибденовой проволоки для освещения
 - 3.2.1 Стойкость к окислению и устойчивость к высоким температурам молибденовой проволоки для освещения
 - 3.2.2 Коррозионная стойкость молибденовой проволоки для освещения
 - 3.2.3 Взаимодействие молибденовой проволоки для освещения с инертным газом и вакуумной средой
- 3.3 Механические характеристики молибденовой проволоки для освещения
 - 3.3.1 Высокотемпературная прочность на разрыв и ползучести молибденовой проволоки для освещения
 - 3.3.2 Пластичность и ударная вязкость молибденовой проволоки для освещения
 - 3.3.3 Усталостная прочность и сопротивление разрушению молибденовой проволоки для освещения
- 3.4 Электрические характеристики молибденовой проволоки для освещения
 - 3.4.1 Удельное сопротивление и температурный коэффициент молибденовой проволоки для освещения
 - 3.4.2 Допустимая нагрузка по току молибденового провода для освещения
 - 3.4.3 Дугостойкость молибденовой проволоки к освещению
- 3.5 Оптические свойства молибденовой проволоки для освещения
 - 3.5.1 Шероховатость поверхности и отражательная способность молибденовой проволоки для освещения
 - 3.5.2 Характеристики высокотемпературного излучения и спектральный анализ молибденовой проволоки для освещения
 - 3.5.3 Влияние поверхностного окисления молибденовой проволоки для освещения на оптические свойства
- 3.6 Молибденовая проволока для освещения MSDS от CTIA GROUP LTD

Глава 4 Подготовка и технология производства молибденовой проволоки для освещения

- 4.1 Выбор сырья и предварительная обработка молибденовой проволоки для освещения
 - 4.1.1 Требования к чистоте молибденового порошка и контроль размера частиц
 - 4.1.2 Выбор и соотношение легирующих материалов (лантан, рений и др.)
 - 4.1.3 Предварительная обработка сырья (очистка, просеивание, смешивание)
- 4.2 Выплавка и формовка молибденовой проволоки для освещения
 - 4.2.1 Процесс порошковой металлургии
 - 4.2.2 Технология вакуумного спекания и высокотемпературного спекания
 - 4.2.3 Процессы горячего прессования,ковки и прокатки
- 4.3 Процесс черчения молибденовой проволоки для освещения
 - 4.3.1 Технология грубого волочения, тонкого волочения и сверхтонкого волочения
 - 4.3.2 Выбор смазочного материала и оптимизация конструкции пресс-формы
 - 4.3.3 Процессы промежуточного и окончательного отжига
- 4.4 Технология обработки поверхности молибденовой проволоки для освещения
 - 4.4.1 Химическая чистка и электрополировка
 - 4.4.2 Технологические различия между черной молибденовой проволокой и очищенной

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

молибденовой проволокой

4.4.3 Технологии нанесения покрытий на поверхность (например, антиокислительные покрытия)

4.5 Процесс легирования молибденовой проволоки для освещения

4.5.1 Методы легирования лантаном, рением и другими элементами

4.5.2 Контроль однородности допинга

4.5.3 Механизм легирования для улучшения высокотемпературных характеристик

4.6 Контроль качества и оптимизация технологического процесса молибденовой проволоки для освещения

4.6.1 Оперативный мониторинг параметров технологического процесса

4.6.2 Контроль дефектов (трещины, пористость, включения)

4.6.3 Производительность и оптимизация затрат

Глава 5 Использование молибденовой проволоки для освещения

5.1 Лампы накаливания

5.1.1 Поддержка нити накала и проводящая функция

5.1.2 Стабильность и срок службы в условиях высоких температур

5.2 Галогенные лампы

5.2.1 Ключевая роль молибденовой проволоки в галогенном цикле

5.2.2 Устойчивость к высоким температурам и химической коррозии

5.3 Газоразрядные лампы

5.3.1 Молибденовая проволока для газоразрядных ламп высокой интенсивности (HID)

5.3.2 Материалы электродов для люминесцентных ламп

5.4 Специальное освещение

5.4.1 Фары головного света и противотуманные фары

5.4.2 Проекционные лампы, сценическое освещение и фотографическое освещение

5.4.3 Ультрафиолетовые лампы, инфракрасные лампы и медицинское освещение

5.5 Другие области применения

5.5.1 Вакуумная электроника (трубки, рентгеновские трубки)

5.5.2 Молибденовая проволока для электроэрозионной обработки (EDM)

5.5.3 Высокотемпературные нагревательные элементы и термопары

Глава 6 Оборудование для производства молибденовой проволоки для освещения

6.1 Оборудование для обработки сырья из молибденовой проволоки для ламп

6.1.1 Оборудование для измельчения и просеивания молибденового порошка

6.1.2 Оборудование для смешивания и гомогенизации допана

6.1.3 Оборудование для очистки сырья

6.2 Оборудование для плавки и формовки молибденовой проволоки для ламп

6.2.1 Вакуумная печь для спекания и печь для защиты атмосферы

6.2.2 Оборудование для горячего прессования и многонаправленной ковки

6.2.3 Прецизионные прокатные станы

6.3 Оборудование для волочения проволоки для молибденовой проволоки для освещения

6.3.1 Многопроходная волочильная машина и оборудование для непрерывного волочения

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

проволоки

6.3.2 Высокоточные пресс-формы и системы смазки

6.3.3 Печь для отжига и система контроля температуры

6.4 Оборудование для обработки поверхности молибденовой проволоки для освещения

6.4.1 Оборудование для электролитической полировки и химической очистки

6.4.2 Оборудование для нанесения поверхностных покрытий

6.4.3 Оборудование для проверки качества поверхности

6.5 Оборудование для испытаний и контроля качества молибденовой проволоки для освещения

6.5.1 Микроскопы (оптические, электронные) и анализаторы поверхности

6.5.2 Машины для испытания на растяжение и твердомеры

6.5.3 Анализаторы состава (ICP, XRF)

6.5.4 Испытательное оборудование для моделирования условий окружающей среды

Глава 7 Отечественные и зарубежные стандарты на молибденовую проволоку для освещения

7.1 Отечественные стандарты на молибденовую проволоку для освещения

7.1.1 ГБ/Т 3462-2017

7.1.2 ГБ/Т 4191-2015

7.1.3 ГБ/Т 4182-2000

7.1.4 Другие соответствующие национальные стандарты

7.2 Международные стандарты на молибденовую проволоку для освещения

7.2.1 Стандартные технические условия ASTM B387 на прутки, стержни и проволоку из молибдена и молибденовых сплавов

7.2.2 ISO 22447 Изделия из молибдена и молибденовых сплавов

7.2.3 JIS H 4461

7.2.4 Другие стандарты ИСО

7.3 Сравнение и преобразование между различными стандартами молибденовой проволоки для освещения

7.3.1 Сравнение технических параметров отечественных и зарубежных стандартов

7.3.2 Стандартные методы преобразования

7.3.3 Анализ взаимного признания международных стандартов и национальных стандартов

7.4 Охрана окружающей среды и правила RoHS для молибденовой проволоки для освещения

7.4.1 Требования Директивы RoHS (EC 2011/65/EU) к материалам молибденовой проволоки

7.4.2 Китайские RoHS (Меры по контролю загрязнения от электронных информационных продуктов)

7.4.3 Соблюдение экологических норм при производстве молибденовой проволоки

7.4.4 Требования к «зеленому» производству и устойчивому развитию

7.5 Отраслевые стандарты и корпоративные спецификации на молибденовую проволоку для освещения

7.5.1 Стандарты Китайской ассоциации производителей цветных металлов

7.5.2 Внутренние спецификации для светотехнической промышленности

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Глава 8 Технология обнаружения молибденовой проволоки для освещения

- 8.1 Испытание химического состава молибденовой проволоки для освещения
 - 8.1.1 Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА)
 - 8.1.2 Оптико-эмиссионная спектроскопия с индуктивно связанной плазмой (ICP-OES)
 - 8.1.3 Атомно-абсорбционная спектроскопия (ААС)
- 8.2 Испытание физических свойств молибденовой проволоки для освещения
 - 8.2.1 Измерение размеров и допусков (лазерная микрометрия, микроскопия)
 - 8.2.2 Измерение плотности и анализ качества
 - 8.2.3 Испытание на прочность, пластичность и твердость при растяжении
- 8.3 Контроль качества поверхности молибденовой проволоки для освещения
 - 8.3.1 Оптический микроскоп и определение шероховатости поверхности
 - 8.3.2 Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) и энергетическая спектроскопия (ЭДС)
 - 8.3.3 Технология обнаружения поверхностных дефектов
- 8.4 Высокотемпературные испытания молибденовой проволоки для освещения
 - 8.4.1 Испытание на стойкость к окислению при высоких температурах и термическую стабильность
 - 8.4.2 Термическое циклирование и испытание на сопротивление ползучести
 - 8.4.3 Испытание на механические свойства при высоких температурах
- 8.5 Испытание на электрические характеристики молибденовой проволоки для освещения
 - 8.5.1 Испытание удельного сопротивления и электропроводности
 - 8.5.2 Анализ температурного коэффициента и стабильности дуги
 - 8.5.3 Испытание на высокотемпературные электрические характеристики
- 8.6 Неразрушающий контроль молибденовой проволоки для освещения
 - 8.6.1 Технология ультразвуковой дефектоскопии
 - 8.6.2 Рентгеновская дефектоскопия и компьютерная томография
 - 8.6.3 Магнито порошковый контроль и вихретоковый контроль

Глава 9 Будущие тенденции развития молибденовой проволоки для освещения

- 9.1 Новые материалы и легирующие технологии
 - 9.1.1 Исследование новых легированных элементов
 - 9.1.2 НИОКР и применение наноразмерной молибденовой проволоки
 - 9.1.3 Композиты и сплавы на основе молибдена
- 9.2 Интеллектуальный и экологичный производственный процесс
 - 9.2.1 Интеллектуальное производство и технологии Индустрии 4.0
 - 9.2.2 Экологически чистые производственные процессы и переработка отходов
 - 9.2.3 Оптимизация энергопотребления и низкоуглеродное производство
- 9.3 Альтернативные материалы для молибденовой проволоки для освещения
 - 9.3.1 Материалы на основе вольфрама и новые сплавы
 - 9.3.2 Керамика и материалы на основе углерода
 - 9.3.3 Новые высокотемпературные проводящие материалы
- 9.4 Расширение рынка и приложений
 - 9.4.1 Потенциальное применение в светодиодном и лазерном освещении
 - 9.4.2 Расширение деятельности в аэрокосмической и высокотемпературной промышленности

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

9.4.3 Глобальный рыночный спрос и анализ развивающихся рынков

Приложение

А. Глоссарий терминов

В. Ссылки

Глава 1 Введение

1.1 Определение и обзор молибденовой проволоки

1.1.1 Химический состав и физические свойства молибденовой проволоки

Молибденовая проволока представляет собой удлинённый металлический материал с металлическим молибденом в качестве основного компонента, молибден (химический символ Mo, атомный номер 42) является тугоплавким металлом, поскольку его уникальные физико-химические свойства широко используются в промышленных изделиях в условиях высоких температур. Молибденовая проволока обычно производится в форме высокой чистоты с чрезвычайно высокой чистотой, что обеспечивает ее стабильную производительность. Некоторые молибденовые проволоки легированы микроэлементами, такими как лантан или рений, для улучшения определенных свойств в соответствии с потребностями различных сценариев применения. Кристаллическая структура молибдена имеет объемно-центрированную кубическую форму, что придает молибденовой проволоке отличную механическую прочность и устойчивость к деформации при высоких температурах, позволяя ей выдерживать экстремальные условия эксплуатации.

Молибденовая проволока имеет чрезвычайно высокую температуру плавления, достаточную для работы в условиях высоких температур в осветительных приборах. Его высокая плотность придает материалу твердые физические свойства, в то время как его тепло- и электропроводность превосходны, что дает ему преимущество в электрических приложениях. Молибденовая проволока обладает хорошей химической стабильностью при комнатной температуре и может противостоять эрозии кислотами, щелочами и другими химическими веществами, но при воздействии воздуха при высоких температурах она легко вступает в реакцию с кислородом с образованием оксидов, поэтому в лампах и фонарях обычно требуется защита окружающей среды в вакууме или инертном газе (например, аргоне или азоте) для предотвращения реакций окисления от повреждения свойств материала.

Характеристики теплового расширения молибденовой проволоки являются одним из важных факторов для ее применения в области освещения. Его коэффициент теплового расширения в значительной степени соответствует некоторым стеклянным материалам, таким как боросиликатное стекло, что делает молибденовую проволоку идеальным выбором в процессах герметизации стекла в металл при производстве светильников, обеспечивая герметичность и структурную стабильность. Кроме того, существенное влияние на ее свойства оказывают поверхностные свойства молибденовой проволоки. Благодаря электролитической полировке или химической очистке поверхность молибденовой проволоки может получить высокую отделку, уменьшая неровности во время дугового разряда, тем самым улучшая стабильность и оптические характеристики светильника. Легированная молибденовая проволока (например, г. Молибденовая проволока из лантана или молибденово-ренийевая проволока) При добавлении редкоземельных элементов или других элементов сопротивление ползучести и температура рекристаллизации материала при высоких температурах значительно улучшаются, что делает его более подходящим для сложных сценариев применения освещения.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

1.1.2 Основная функция молибденовой проволоки в области освещения

Применение молибденовой проволоки в области освещения охватывает множество ключевых функций, включая опору нити, материал электрода, уплотнительные компоненты, поддержку галогенного цикла и т. д., которые подробно описаны ниже:

Поддержка нити накаливания: В лампах накаливания и галогенных лампах молибденовая нить часто используется в качестве конструкционного материала для поддержки вольфрамовой нити. Вольфрамовая нить склонна к деформации или провисанию при работе при высоких температурах, в то время как молибденовая нить, обладая отличной прочностью при высоких температурах и сопротивлением ползучести, может прочно поддерживать нить накала и сохранять ее геометрию, тем самым обеспечивая световую отдачу и срок службы лампы. Эта поддерживающая функция особенно важна в условиях высоких температур, где нить может находиться вблизи точки плавления в течение длительных периодов времени.

Материал электрода: В газоразрядных лампах (например, газоразрядных лампах высокой интенсивности, люминесцентных лампах) молибденовая проволока выступает в качестве материала электрода, который отвечает за направление дуги и передачу тока. Его высокая проводимость и устойчивость к дуговой коррозии позволяют ему выдерживать воздействие мгновенных дуг высокого напряжения и высокой температуры, сохраняя целостность структуры электрода. Например, в натриевых или металлогалогенных лампах высокого давления электрод из молибденовой проволоки должен стабильно работать в экстремальных условиях, чтобы светильник горел и продолжал излучать свет.

Уплотнительные компоненты: Молибденовая проволока соответствует коэффициенту теплового расширения стекла, что делает ее предпочтительным материалом для герметизации стекла в металл при производстве светильников. Уплотнительные компоненты должны обеспечивать герметичность внутри светильника и предотвращать утечку инертного газа или проникновение наружного воздуха, тем самым защищая окружающую среду внутри лампы и продлевая срок службы. Химическая стабильность молибденовой проволоки позволяет ей противостоять коррозии в высокотемпературной газовой среде внутри лампы, обеспечивая долгосрочную надежность уплотнительной части.

Помощь галогенному циклу: В галогенных лампах молибденовые нити накаливания участвуют в процессе галогенного цикла вместе с галогенными газами (такими как йод или бром) в лампе. Галогенный цикл отсаживает испарившийся вольфрам обратно в нить в результате химической реакции, что значительно продлевает срок службы нити накала и увеличивает световую отдачу. Химическая стойкость молибденовой проволоки гарантирует, что она не подвергается воздействию галогенных сред, тем самым сохраняя стабильность циклического процесса и поддерживая высокую производительность галогенных ламп.

Универсальность молибденовой проволоки делает ее незаменимой в как традиционном освещении (например, лампах накаливания, галогенных лампах), так и в специализированном освещении (например, автомобильных лампах, сценических лампах,

медицинских лампах). Его потенциал в новых технологиях освещения, таких как высокоомощные газоразрядные лампы, также становится важной опорой современной светотехнической промышленности.

1.1.3 Сравнение молибденовой проволоки с другими металлическими материалами

Уникальные преимущества молибденовой проволоки в освещении можно продемонстрировать путем детального сравнения с широко используемыми металлическими материалами, такими как вольфрам, медь, никель и платина:

Контраст с вольфрамом: вольфрам является предпочтительным материалом для нитей накаливания из-за его чрезвычайно высокой температуры плавления, что делает его пригодным для непосредственного использования в качестве светоизлучающего элемента. Световая отдача вольфрама при высокой температуре лучше, чем у молибдена, но его коэффициент теплового расширения немного менее совместим с коэффициентом теплового расширения стекла, и он легко перекристаллизуется при высокой температуре, что приводит к охрупчиванию материала. Напротив, молибденовая проволока обладает лучшим сопротивлением ползучести и структурной стабильностью при высоких температурах, что делает ее особенно подходящей в качестве основы для нити накаливания или материала для электродов. Кроме того, стоимость сырья и сложность обработки молибдена ниже, чем у вольфрама, что делает его более экономичным и широко используемым в сценариях, требующих стабильности при высоких температурах и герметизирующих функций.

Отличие от меди: медь обладает чрезвычайно высокой электропроводностью и хорошей пластичностью, но ее низкая температура плавления делает ее неспособной выдерживать высокие температуры, характерные для осветительных приборов. Кроме того, коэффициент теплового расширения меди сильно отличается от коэффициента теплового расширения стекла, что делает его непригодным для герметизации стекла в металл. Устойчивость молибденовой проволоки к высоким температурам и совместимость со стеклом делают ее намного превосходящей медь в производстве светильников, особенно в приложениях, требующих высокой термостойкости и герметичности.

Сравнение с никелем: никель используется в качестве материала электродов в некоторых маломощных лампах из-за его коррозионной стойкости и технологичности. Тем не менее, никель имеет низкую температуру плавления и недостаточную прочность при высоких температурах, чтобы удовлетворить строгие требования разрядных или галогенных ламп высокой интенсивности. Превосходные свойства молибденовой проволоки в высокотемпературных дуговых и химически коррозионных средах делают ее более подходящим материалом для высокопроизводительных осветительных приборов.

Контраст с платиной: платина иногда используется в высококачественных специальных лампах из-за ее высокой химической стабильности и стойкости к окислению. Однако платина имеет более низкую температуру плавления, чем молибден, и чрезвычайно высокую стоимость, что ограничивает ее широкомасштабное применение в промышленности.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Молибденовая проволока обеспечивает хороший баланс между производительностью и стоимостью, что делает ее подходящей для широкого спектра осветительных приборов и высокотемпературных применений.

Таким образом, молибденовая проволока занимает уникальное положение в области освещения благодаря сочетанию высокотемпературных характеристик, герметизирующей способности, химической стабильности и экономичности, особенно в приложениях, требующих высокотемпературной стабильности и герметичного соединения.

1.2 История и развитие молибденовой проволоки

1.2.1 Открытие и раннее промышленное применение молибдена

Открытие молибдена датируется концом 18 века. В 1778 году шведский химик Карл Вильгельм Шерер выделил молибденовую кислоту из молибденита с помощью химических экспериментов, положив начало исследованиям молибдена. В 1781 году Питер Якоб Хийем успешно получил металлический молибден путем восстановления молибденовой кислоты, что ознаменовало официальное открытие молибдена. В конце 19 века, с развитием металлургических технологий, молибден начал проникать в промышленную сферу, первоначально в основном использовавшийся в производстве стальных сплавов для повышения прочности, жаростойкости и коррозионной стойкости стали. В начале 20-го века огнеупорные свойства молибдена были постепенно признаны, а его высокая температура плавления и высокотемпературная прочность привели к его применению в высокотемпературных отраслях, таких как нагревательные элементы электрических печей и вакуумное оборудование.

В области освещения применение молибдена началось с разработки ламп накаливания в конце 19 века. В ранних лампах накаливания в качестве нити накаливания использовалась угольная нить накаливания или платиновая нить, но углеродная нить имела короткий срок службы, а стоимость платиновой нити была высокой, что затрудняло удовлетворение потребностей крупномасштабного производства. Молибден был опробован в качестве основы для нитей накаливания и электродных материалов благодаря своей высокой температуре плавления и хорошим механическим свойствам, особенно в вакууме или среде инертного газа. В начале 20 века молибденовую проволоку начали использовать в уплотнительных деталях ламп накаливания, потому что она лучше других металлов соответствовала тепловому расширению стекла, и значительно улучшила герметичность и надежность ламп.

1.2.2 Эволюция молибденовой проволоки в светотехнике

Применение молибденовой проволоки в светотехнике претерпело несколько этапов эволюции с развитием световой техники:

Эпоха ламп накаливания (конец 19-го - начало 20-го веков): Изобретение ламп накаливания привело к раннему применению молибденовой проволоки. Когда Томас Эдисон и его коллеги разрабатывали лампы накаливания, они столкнулись с проблемой выбора опоры нити

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

накаливания и уплотнительных материалов. Молибденовая проволока использовалась для поддержки вольфрамовых нитей и формирования герметичных соединений благодаря своей высокотемпературной прочности и совместимости со стеклом. В 1900-х годах процесс волочения молибденовой проволоки постепенно совершенствовался, производя более тонкую и однородную молибденовую проволоку, которая отвечала потребностям точного производства ламп накаливания.

Появление галогенных ламп (середина 20-го века): В 1950-х годах изобретение галогенных ламп выдвинуло более высокие требования к молибденовой проволоке. Галогенные лампы работают при экстремально высоких температурах и наполнены химически активными галогенными газами. Молибденовая проволока является идеальным выбором для электродов и вспомогательных материалов благодаря своей высокой температурной и химической стойкости. Легированная молибденовая проволока (например, молибденовая лантановая проволока) была разработана в этот период для дальнейшего улучшения высокотемпературных характеристик.

Газоразрядные лампы и специальное освещение (конец 20-го века): С ростом популярности газоразрядных ламп высокой интенсивности (HID), люминесцентных ламп и специального освещения (например, автомобильных ламп, проекционных ламп) спектр применения молибденовой проволоки еще больше расширился. Его стабильность в условиях дугового разряда и надежность герметизации стекла делают его предпочтительным материалом для электродов газоразрядных ламп и уплотнительных компонентов.

Современные технологии освещения (21 век): Хотя светодиодное освещение постепенно вытесняет традиционные светильники, молибденовая проволока по-прежнему незаменима на фондовом рынке мощного специального освещения (например, сценических светильников, медицинских ламп) и традиционных светильников. Кроме того, был дополнительно изучен потенциал применения молибденовой проволоки в вакуумных электронных устройствах, аэрокосмических высокотемпературных компонентах и других областях, что показало ее межпольную адаптивность.

1.2.3 Ключевые технологические прорывы и вехи

Широкое применение молибденовой проволоки в сфере освещения обусловлено следующими ключевыми технологическими прорывами:

Зрелость технологии порошковой металлургии: В начале 20-го века прогресс технологии порошковой металлургии позволил производить молибденовую проволоку высокой чистоты в больших масштабах. Путем прессования, спекания иковки молибденового порошка в заготовку он обеспечивает высококачественное сырье для последующего процесса волочения.

Улучшение процесса волочения проволоки: В 1920-х годах оптимизация технологии многопроходного волочения проволоки и конструкции штампа привела к значительному уменьшению диаметра молибденовой проволоки, что позволило производить нити

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

микронного размера для удовлетворения потребностей прецизионных ламп. Внедрение процесса отжига улучшает пластичность и ударную вязкость молибденовой проволоки, а также снижает скорость разрушения при обработке.

Развитие технологии легирования: В 1950-х годах сопротивление ползучести при высоких температурах и температура рекристаллизации молибденовой проволоки были значительно улучшены за счет легирующих элементов, таких как оксид лантана или рений. Например, молибденовая проволока из лантана имеет температуру рекристаллизации на сотни градусов Цельсия выше, чем чистая молибденовая проволока, что позволяет использовать ее в более сложных условиях.

Достижения в технологии обработки поверхности: В 1980-х годах применение технологии электролитической полировки и химической очистки значительно улучшило качество поверхности молибденовой проволоки, уменьшило неоднородность дугового разряда и продлило срок службы светильников.

Внедрение автоматизированного производства: В начале 21 века широкое применение автоматизированных производственных линий улучшило стабильность и эффективность производства молибденовой проволоки, снизило производственные затраты и еще больше повысило конкурентоспособность молибденовой проволоки на мировом рынке.

Эти технологические прорывы не только способствуют применению молибденовой проволоки в области освещения, но и закладывают основу для ее распространения в других областях высокотемпературной промышленности.

1.3 Значение молибденовой проволоки в современной светотехнической промышленности

1.3.1 Сравнение характеристик молибденовой проволоки и традиционной вольфрамовой проволоки

Молибденовая проволока и вольфрамовая проволока являются двумя наиболее часто используемыми высокотемпературными металлическими материалами в светотехнической промышленности. Ниже приведено подробное сравнение с нескольких аспектов:

Высокие температурные характеристики: Температура плавления вольфрама выше, чем у молибдена, что делает его более подходящим в качестве светящейся нити накаливания для ламп накаливания и непосредственно поддерживает высокотемпературные люминесцентные задачи. Тем не менее, молибден обладает лучшим сопротивлением ползучести и структурной стабильностью при высоких температурах, что делает его пригодным в качестве поддерживающего материала или электрода, особенно в сценариях, где требуется долгосрочное сохранение формы.

Характеристики теплового расширения: Коэффициент теплового расширения молибдена в значительной степени согласуется с уплотнительными материалами, такими как

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

боросиликатное стекло, которое может образовывать надежное герметичное уплотнение. Коэффициент теплового расширения вольфрама немного менее совместим со стеклом, а для герметизации часто требуются дополнительные переходные материалы, что усложняет производство.

Химическая стабильность: В галогенной газовой среде галогенных ламп коррозионная стойкость молибденовой проволоки выше, чем у вольфрама, который может эффективно противостоять химическому воздействию галогена, поддерживать процесс галогенного цикла и продлевать срок службы лампы.

Стоимость и технологичность: Молибден имеет более низкие затраты на сырье и обработку, чем вольфрам, а его процессы волочения и формовки относительно просты, что делает его пригодным для крупномасштабного производства. Вольфрам сложен в обработке, особенно при производстве ультратонкой проволоки, а выход невелик.

Электрические свойства: Удельное сопротивление вольфрама и молибдена аналогично, но молибден обладает лучшей стабильностью дуги в газоразрядных лампах и подходит в качестве материала электрода, чтобы выдерживать мгновенное воздействие дуги высокого напряжения и высокой температуры.

Таким образом, молибденовая проволока и вольфрамовая проволока образуют взаимодополняющие отношения в осветительных приборах, молибденовая проволока широко используется в поддерживающих, электродных и герметизирующих функциях благодаря своим превосходным герметизирующим характеристикам, химической стабильности и экономичности, в то время как вольфрамовая проволока в основном используется для светоизлучающей нити.

1.3.2 Стратегическое место молибденовой проволоки в высокоэффективном освещении

Высокоэффективное освещение (например, галогенные лампы, газоразрядные лампы высокой интенсивности) предъявляет повышенные требования к высокотемпературным характеристикам, химической стабильности и электрическим свойствам материалов, а молибденовая проволока показала свою стратегическую позицию в следующих аспектах:

Ключевая роль в галогенных лампах: галогенные лампы обеспечивают более высокую световую отдачу и более длительный срок службы за счет галогенного цикла. В качестве электрода и поддерживающего материала молибденовая проволока должна выдерживать высокую температуру и химическое воздействие газообразного галогена, а ее превосходная коррозионная стойкость и высокая термостойкость обеспечивают стабильную работу лампы, обеспечивая ключевую поддержку для высокой эффективности галогенной лампы.

Применение газоразрядных ламп высокой интенсивности: В газоразрядных лампах высокой интенсивности, таких как металлогалогенные лампы и натриевые лампы высокого давления, молибденовая проволока, как материал электрода, должна выдерживать мгновенное высокое

напряжение и экстремально высокую температуру дуговой дуги. Его устойчивость к дуге и высоким температурам делают его незаменимым материалом, обеспечивающим быстрый запуск и непрерывное свечение светильника.

Надежность в специальном освещении: В автомобильных фарах, проекционных лампах и сценическом освещении светильники должны стабильно работать в сложных условиях, таких как вибрация и высокие температуры. Высокая надежность молибденовой проволоки и способность к герметизации стеклом обеспечивают долговечность и стабильность работоспособности светильника.

Поддержка энергосбережения и защиты окружающей среды: высокая эффективность и долговечность молибденовой проволоки поддерживают конструкцию энергосберегающих ламп и фонарей, которые отвечают требованиям современной светотехнической промышленности по энергоэффективности и защите окружающей среды. Процесс его производства и использования также соответствует строгим экологическим стандартам, таким как директива Европейского Союза RoHS.

Стратегическое положение молибденовой проволоки отражается в ее способности способствовать развитию светотехнических технологий в направлении высокой производительности, длительного срока службы и энергосбережения, особенно при преобразовании традиционного освещения в высокоэффективное освещение.

1.3.3 Роль молибденовой проволоки в энергосберегающих лампах

Энергосберегающие светильники (например, галогенные лампы, компактные люминесцентные лампы, газоразрядные лампы высокой интенсивности) являются основным направлением современного освещения, и молибденовая проволока играет в нем ключевую роль:

Галогенные лампы: Молибденовые нити накаливания продлевают срок службы нитей накаливания и снижают потребление энергии, поддерживая галогенные циклы. Надежность молибденовой нити является ключом к достижению этого преимущества благодаря значительной доле световой отдачи галогенных ламп по сравнению с обычными лампами накаливания, обеспечивая стабильную работу светильников в условиях высоких температур и химических воздействий.

Компактные люминесцентные лампы: В компактных люминесцентных лампах молибденовая проволока действует как материал электрода и отвечает за инициирование и поддержание флуоресцентного разряда. Его высокая проводимость и устойчивость к дуговой коррозии обеспечивают быстрый запуск и долгосрочную стабильность светильников, отвечая требованиям к высокой эффективности в энергоэффективном освещении.

Газоразрядные лампы высокой интенсивности: Световая эффективность газоразрядных ламп высокой интенсивности намного превосходит эффективность традиционных ламп накаливания, и они являются представителем высокоэффективного освещения. В качестве

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

электрода и уплотнительного материала молибденовая проволока поддерживает работу ламп в условиях высоких температур и высокого давления, а также значительно повышает энергоэффективность.

Характеристики защиты окружающей среды: Производство и использование молибденовой проволоки соответствуют строгим нормам охраны окружающей среды, не содержат свинца, ртути и других вредных веществ, а также отвечают требованиям зеленого освещения. Его высокая долговечность также снижает частоту замены светильников, снижая потребление ресурсов и образование отходов.

Применение молибденовой проволоки в энергосберегающих лампах и фонарях способствует миниатюризации, высокой производительности и защите окружающей среды ламп и фонарей, а также отвечает потребностям современного общества в низкоуглеродном и устойчивом развитии.

1.4 Исследование и статус применения молибденовой проволоки

1.4.1 Прогресс в исследованиях технологии молибденовой проволоки в стране и за рубежом

В глобальном масштабе исследования технологии молибденовой проволоки в основном сосредоточены на следующих направлениях:

Легирующие технологии: отечественные и зарубежные научно-исследовательские институты стремятся к разработке новых легированных молибденовых проволок путем добавления редкоземельных элементов (таких как лантан, церий, иттрий) или драгоценных металлов (таких как рений) для улучшения сопротивления ползучести при высоких температурах и стойкости к окислению. Например, высокоэффективная проволока из молибдена и лантана, разработанная Институтом исследований металлов Китайской академии наук, имеет значительно более высокую температуру рекристаллизации и подходит для более требовательных высокотемпературных сред. Исследования в Европе и Соединенных Штатах были сосредоточены на разработке молибден-ренийевых сплавов для улучшения пластичности и стойкости к окислению.

Оптимизация производственного процесса: Компании в Германии и Австрии значительно улучшили качество поверхности и стабильность производства молибденовой проволоки за счет внедрения интеллектуальных производственных технологий и прецизионного оборудования для волочения проволоки. Китайские компании совершили прорыв в процессах порошковой металлургии и волочения проволоки, оптимизируя эффективность производства и снижая затраты.

Наноразмерная молибденовая проволока: с развитием нанотехнологий некоторые исследовательские институты изучают возможность получения наноразмерной молибденовой проволоки для высокоточных электронных устройств и новых технологий освещения. Ожидается, что прочность и проводимость наномолибденовой проволоки будут

и дальше улучшаться, что обеспечит возможность для технологии освещения следующего поколения.

Зеленое производство: исследования в Европе и Японии сосредоточены на экологически чистых технологиях производства, таких как снижение энергопотребления и выбросов выхлопных газов в процессе спекания. Китай также продвигает низкоуглеродное производство молибденовой проволоки, развивает технологии переработки отходов и «зеленые» процессы, а также реагирует на глобальную тенденцию в области защиты окружающей среды.

1.4.2 Объем мирового рынка и распределение приложений

Согласно отраслевому анализу, мировой рынок молибденовой проволоки в последние годы демонстрирует устойчивый рост, и сфера освещения является одним из основных сценариев его применения. Рост объема рынка в основном обусловлен следующими факторами:

Региональное распределение: Китай является крупнейшим в мире производителем молибденовой проволоки, с богатыми ресурсами молибденовой руды и зрелой технологией переработки, на долю которого приходится значительная доля мирового производства. Европа (Германия, Австрия) и США имеют технологические преимущества в производстве высококачественной легированной молибденовой проволоки, ориентируясь на продукцию с высокой добавленной стоимостью.

Применение распространения: В области освещения галогенные лампы и газоразрядные лампы высокой интенсивности являются основными сценариями применения молибденовой проволоки, занимая большую долю рынка молибденовой проволоки для освещения. Другие области применения включают специальное освещение (например, автомобильные фары, медицинские лампы) и вакуумную электронику (например, рентгеновские трубки).

Движущие силы рынка: Растущий спрос на высокоэффективное освещение, быстрое расширение рынка автомобильного освещения и использование специального освещения в аэрокосмическом и медицинском секторах стимулируют продолжающийся рост рынка молибденовой проволоки. Глобальный акцент на энергоэффективном и экологически чистом освещении также способствовал дальнейшему применению молибденовой проволоки.

1.4.3 Технические узкие места и будущие вызовы

Несмотря на то, что молибденовая проволока широко используется в области освещения, она по-прежнему сталкивается со следующими техническими узкими местами и проблемами:

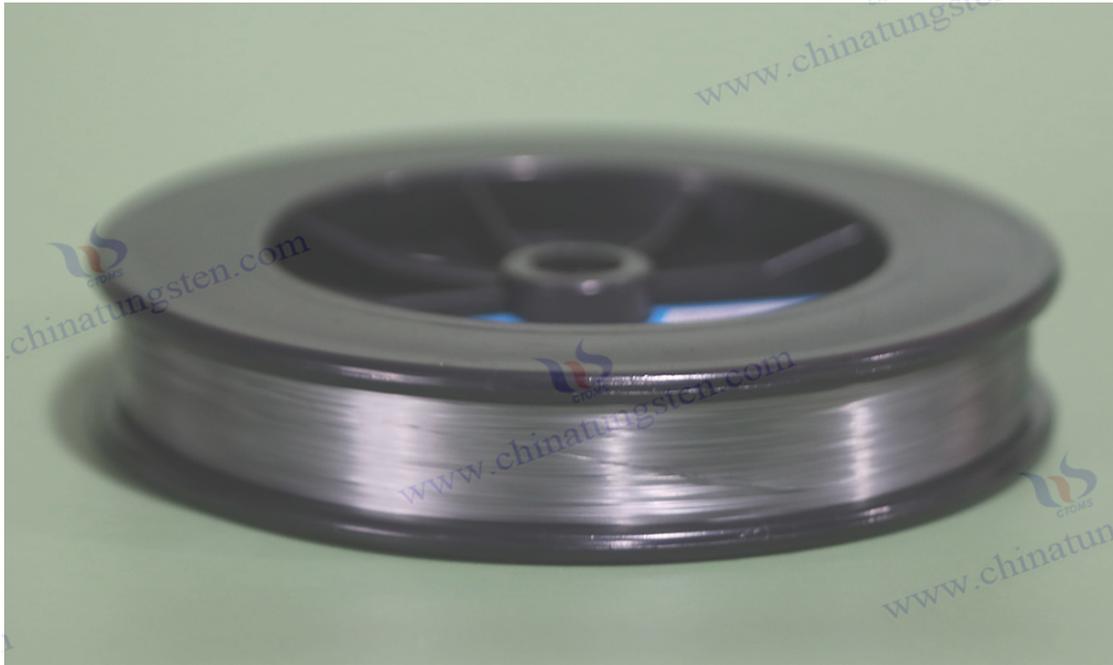
Проблема высокотемпературного окисления: Молибденовая проволока легко окисляется в высокотемпературном воздухе, что ограничивает ее применение в средах без вакуума или инертного газа. Разработка антиокислительных покрытий или новых легированных материалов находится в центре внимания будущих исследований с целью дальнейшего расширения сценариев их применения.

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

Сложность производства ультратонкой молибденовой проволоки: Производство ультратонкой молибденовой проволоки (диаметр менее 0,02 мм) требует чрезвычайно высокой точности процесса и низкого выхода продукции, что приводит к увеличению стоимости. Повышение стабильности производства и снижение затрат являются важными задачами для отрасли.

Конкуренция в светодиодном освещении: Популярность светодиодных ламп значительно снизила спрос на традиционные лампы (такие как лампы накаливания и галогенные лампы), и в определенной степени пострадала доля рынка молибденовой проволоки в области освещения. Разработка приложений молибденовой проволоки в высокотемпературных компонентах, связанных со светодиодами, или в новых областях является ключом к решению этой проблемы.

Охрана окружающей среды и устойчивое развитие: Потребление энергии и утилизация отходов при производстве молибденовой проволоки регулируются все более строгими экологическими нормами (например, директивами RoHS и REACH в Европейском Союзе). Важным направлением развития отрасли стало развитие технологий «зеленого» производства и системы переработки отходов.



молибденовая проволока для освещения от CTIA

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire for Lighting Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire for Lighting

As one of the core materials in modern lighting technology, molybdenum wire is widely used in various light sources including incandescent lamps, halogen lamps, fluorescent lamps, and gas discharge lamps, due to its high melting point, high strength, excellent corrosion resistance, and superior electrical conductivity. It is an irreplaceable and critical component in the lighting industry.

2. Typical Applications of Molybdenum Wire for Lighting

Residential and Commercial Lighting: Used in incandescent and halogen lamps to provide warm light and long service life.

Automotive Lighting: Functions as electrodes in HID and xenon lamps, offering high brightness and vibration resistance.

Specialty Lighting: Utilized in projection lamps, ultraviolet (UV) lamps, and infrared (IR) lamps to meet high-temperature and high-precision requirements in medical, industrial, and scientific applications.

Emerging Fields: Serves as conductive leads for LED lamps and supports for phosphors in laser lighting, aligning with future lighting technology development.

3. Basic Data of Molybdenum Wire for Lighting (Reference)

Parameter	Pure Mo Wire	Mo-La Wire	Mo-Re Wire
Mo Content	≥99.95%	≥99.0%	52.5%–86.0%
Diameter Range	0.03–3.2 mm	0.03–1.5 mm	0.03–1.0 mm
Tolerance	±0.002 mm	±0.002 mm	±0.002 mm
Tensile Strength (Room Temp)	800–1200 MPa	900–1400 MPa	1000–1500 MPa
Tensile Strength (at 1500°C)	150–300 MPa	200–400 MPa	250–450 MPa
Elongation at Break	10%–25%	12%–20%	15%–25%
Electrical Resistivity (20°C)	5.5×10 ⁻⁸ Ω·m	6.0×10 ⁻⁸ Ω·m	6.5×10 ⁻⁸ Ω·m
Main Applications	Incandescent, Halogen	Halogen, Auto Headlights	HID, Projection Lamps

4. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Глава 2 Классификация молибденовых проводов для освещения

Являясь ключевым материалом в светотехнической промышленности, молибденовая проволока для освещения имеет разнообразные свойства и сценарии применения благодаря различным химическим составам, использованию и физическим характеристикам. По химическому составу молибденовую проволоку можно разделить на чистую молибденовую проволоку, молибденовую лантановую проволоку, молибденово-ренийевую проволоку и другую легированную молибденовую проволоку; В зависимости от применения, он делится на лампу накаливания, галогенную лампу, люминесцентную лампу и газоразрядную лампу и молибденовую проволоку для специальной лампы; В соответствии со спецификациями он делится на различные диапазоны диаметров, типы обработки поверхности и формы проволоки. В этой главе будет представлен всесторонний и подробный анализ характеристик, процессов подготовки, сценариев применения, технических проблем и состояния рынка каждой классификации в сочетании с глобальными исследованиями и промышленной практикой.

2.1 Классификация по химическому составу

Химический состав молибденовой проволоки является основным фактором, определяющим ее физические, химические, механические и электрические свойства. Легируя различные элементы в молибденовой матрице или поддерживая высокую чистоту, молибденовая проволока может удовлетворить различные потребности от недорогих ламп накаливания до высокопроизводительных специальных ламп. Ниже приведено подробное введение в характеристики, производственный процесс и применение проволоки из чистого молибдена, проволоки из молибдена, лантана, проволоки из молибдена и других легированных молибденовых проволок.

2.1.1 Проволока из чистого молибдена

Проволока из чистого молибдена относится к молибденовой проволоке с содержанием молибдена $\geq 99,95\%$, без добавления каких-либо легирующих элементов, и является наиболее основным и широко используемым типом молибденовой проволоки для освещения. Его высокая чистота и отличные физико-химические свойства делают его предпочтительным материалом для обычных осветительных приборов.

Химический состав и чистота: Чистая молибденовая проволока основана на молибдене высокой чистоты, а общее содержание примесей (таких как железо, никель, углерод, кислород, кремний и т. Д.) обычно контролируется ниже 0,05% и может составлять всего 0,01% в некоторых приложениях с высоким спросом. Высокая чистота достигается за счет водородного восстановления молибдата аммония (АМТ) или триоксида молибдена (MoO_3) для получения молибденового порошка. Решающее значение имеет строгий контроль примесей по проводимости молибденовой проволоки (удельное сопротивление около $5,5 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$) и коррозионной стойкости. Например, слишком высокий уровень кислорода может привести к ускоренному окислению при высоких температурах, что приведет к образованию летучих MoO_3 и повлияет на срок службы светильника.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Физические свойства: Проволока из чистого молибдена имеет высокую температуру плавления (2623°C), высокую плотность ($10,2 \text{ г/см}^3$) и низкий коэффициент теплового расширения ($4,8 \times 10^{-6}/\text{K}$). Его теплопроводность ($138 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$) лучше, чем у вольфрама ($174 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$), что делает его пригодным для тепло- и электропроводности. Объемно-центрированная кубическая кристаллическая структура молибденовой проволоки придает ей превосходную механическую прочность, но она склонна к рекристаллизации при высоких температурах ($>1000^{\circ}\text{C}$), что приводит к росту зерен и охрупчиванию.

Механические свойства: При комнатной температуре прочность на разрыв чистой молибденовой проволоки составляет $800\text{-}1000 \text{ МПа}$, а удлинение при разрыве составляет около $5\%\text{-}10\%$. При высоких температурах (1500°C) прочность на разрыв падает до $200\text{-}300 \text{ МПа}$, а сопротивление ползучести слабое, что ограничивает его применение в экстремально высоких температурах. Пластичность молибденовой проволоки позволяет перерабатывать ее в ультратонкие проволоки диаметром до $0,01 \text{ мм}$ методом многопроходного волочения.

Химическая стабильность: Проволока из чистого молибдена обладает хорошей коррозионной стойкостью к кислотам, щелочам и воде при комнатной температуре, но она быстро окисляется при воздействии воздуха при высокой температуре ($>600^{\circ}\text{C}$) с образованием MoO_3 . Поэтому чистая молибденовая проволока для освещения обычно используется в вакууме или среде инертного газа (например, аргона, азота) во избежание окислительных потерь.

Процесс приготовления:

Подготовка сырья: порошок молибдена высокой чистоты (размер частиц $1\text{-}5 \text{ мкм}$) получают путем восстановления молибдата аммония или триоксида молибдена водородом. Такие примеси, как кислород и углерод в порошке, должны строго контролироваться.

Порошковая металлургия: Порошок молибдена прессуется в заготовку методом холодного изостатического прессования (СІР) и спекается ($1800\text{-}2000^{\circ}\text{C}$) в вакууме или атмосфере водорода с образованием плотной молибденовой заготовки.

Горячая обработка: заготовка подвергается горячей штамповке, горячему прокату или ротационной ковке с образованием молибденовых стержней с уменьшенным до $1\text{-}5 \text{ мм}$ диаметром.

Волочение проволоки: Молибденовый стержень растягивается до целевого диаметра с помощью алмазной матрицы и смазки, такой как графитовая эмульсия, с помощью многократных проходов ($10\text{-}20$ проходов). Промежуточный отжиг ($800\text{-}1200^{\circ}\text{C}$) выполняется в процессе волочения для устранения деформационного упрочнения.

Обработка поверхности: В зависимости от требований к применению, оксидный слой (черная молибденовая проволока) может быть сохранен или очищен молибденовой проволокой путем травления и электролитической полировки.

Сценарий применения: Проволока из чистого молибдена в основном используется для опорных нитей накаливания и уплотнительных электродов в маломощных лампах накаливания ($40\text{-}100 \text{ Вт}$), поскольку она высоко согласуется с коэффициентом теплового

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

расширения боросиликатного стекла (разница $<0,5 \times 10^{-6}/\text{K}$), что может образовывать надежное герметичное соединение. Кроме того, проволока из чистого молибдена также используется в качестве электродного материала для люминесцентных ламп и отвечает за инициирование разряда. Он экономичен и подходит для крупносерийного производства.

Состояние рынка и технологии: Технология производства чистой молибденовой проволоки была очень развитой в мире, и на долю Китая приходится более 60% мирового производства.

Преимущества и ограничения:

Преимущества: Невысокая стоимость (около \$1-2/кг, в зависимости от спецификаций), отличные показатели обработки, подходит для недорогих осветительных приборов. Процесс производства чистой молибденовой проволоки прост, а выход продукции высокий ($>95\%$).

Ограничения: Плохая стойкость к ползучести и окислению при высоких температурах ограничивает его применение в мощных галогенных или газоразрядных лампах. В среде $> 1500\text{ }^\circ\text{C}$ срок службы чистой молибденовой проволоки обычно составляет менее 1000 часов.

Технические проблемы: Для улучшения высокотемпературных характеристик чистой молибденовой проволоки требуется оптимизированный процесс отжига или пассивации поверхности для снижения роста зерна и потерь на окисление. В перспективе прорывным направлением может стать разработка недорогих антиокислительных покрытий.

2.1.2 Молибденово-лантановая проволока

Молибденовая проволока из лантана изготавливается путем легирования оксида лантана (La_2O_3 , содержание 0,3%-1,0%) в молибденовой матрице, который широко используется в высококачественных осветительных приборах из-за его превосходных высокотемпературных характеристик и сопротивления ползучести.

Химический состав: Молибденовая проволока из лантана основана на молибдене высокой чистоты ($\geq 99,5\%$) и легирована частицами оксида лантана (размер частиц 10-100 нм). Оксид лантана распределяется в виде диффузной фазы на границе молибденового зерна, что препятствует росту зерна и скольжению дислокаций за счет эффекта штифтинга. Содержание примесей (например, железа, углерода) следует контролировать на уровне ниже 0,03%, чтобы избежать ухудшения производительности.

Физические свойства: Температура плавления молибденовой лантановой проволоки близка к температуре плавления чистого молибдена (около $2620\text{ }^\circ\text{C}$), но температура рекристаллизации значительно повышена до $1800\text{-}2000\text{ }^\circ\text{C}$ ($1400\text{-}1600\text{ }^\circ\text{C}$ для чистой молибденовой проволоки). Его коэффициент теплового расширения ($4,8 \times 10^{-6}/\text{K}$) и теплопроводность (около $135\text{ Вт/м}\cdot\text{K}$) сопоставимы с коэффициентами чистого молибденового волокна, но стойкость к окислению немного улучшена, поскольку частицы оксида лантана могут замедлять диффузию кислорода.

Механические свойства: Прочность на разрыв молибденовой лантановой проволоки при высокой температуре (2000°C) составляет 300-500 МПа, а сопротивление ползучести в 2-3 раза выше, чем у чистой молибденовой проволоки. Его удлинение при разрыве составляет 8-12% при комнатной температуре, и он все еще сохраняет определенную ударную вязкость при высокой температуре. Штифтовый эффект оксида лантана делает молибденовую проволоку из лантана более устойчивой к усталости во время термоциклирования.

Химическая стабильность: Молибденовая проволока из лантана хорошо работает в галогенных газовых средах (таких как йод, бром) и лучше химически устойчива, чем чистая молибденовая проволока. В вакууме или инертных газах его стойкость к окислению может поддерживать срок службы светильника > 2000 часов.

Процесс приготовления:

Легирование препаратом: Обеспечить равномерное распределение оксида лантана путем влажного легирования (смешивание раствора оксида лантана с порошком молибдена) или распылительной сушки. Коэффициент легирования должен быть точно контролируемым (0,3%-1,0%), слишком высокий может привести к охрупчиванию материала.

Порошковая металлургия: легированный молибденовый порошок прессуется в заготовку и спекается в атмосфере водорода (1900-2100 °C) для образования однородной диффузной фазовой структуры.

Горячая обработка и волочение проволоки: заготовка формируется путем многопроходного волочения проволоки после горячей штамповки и горячей прокатки. В процессе волочения требуется несколько отжигов (900-1300°C) для поддержания пластичности. Выбор пресс-формы и смазочного материала имеет решающее значение для качества поверхности.

Обработка поверхности: Обычно из него делают очищенную молибденовую проволоку, а оксидный слой удаляется электролитической полировкой для улучшения стабильности дуги и коррозионной стойкости.

Сценарий применения: Молибденовая лантановая проволока широко используется в качестве электрода и опорного материала для галогенных ламп и газоразрядных ламп высокой интенсивности (HID). Например, в автомобильных фарах молибденовая проволока из лантана выдерживает высокие температуры (>2500°C) и вибрацию, обеспечивая срок службы лампы более 2000 часов. Применение его электродов в металлогалогенных лампах также значительно улучшает стабильность разряда.

Рынок и техническое состояние: Молибденовая лантановая проволока составляет около 30% рынка ламповой молибденовой проволоки. Благодаря внедрению технологий и независимым исследованиям и разработкам, Китай реализовал широкомасштабное производство молибденовой лантановой проволоки, которая экспортируется в Европу и Северную Америку. Мировой рынок растет со скоростью около 5% в год и обусловлен спросом на автомобильное освещение.

Преимущества и ограничения:

Преимущества: Сопротивление ползучести и стойкость к окислению при высоких температурах значительно лучше, чем у чистой молибденовой проволоки, подходит для высокопроизводительных ламп. Срок службы может достигать в 2-3 раза больше, чем у чистой молибденовой проволоки.

Ограничения: Процесс легирования увеличивает себестоимость продукции (около 3-5 долларов США/кг), а равномерное распределение оксида лантана предъявляет высокие требования к оборудованию и процессам. Неправильное легирование может привести к агломерации частиц и снижению производительности.

Технические проблемы: Основными направлениями являются оптимизация однородности допинга и снижение затрат. Технология получения и диспергирования наноразмерных частиц оксида лантана находится в центре внимания будущих исследований и разработок.

2.1.3 Молибденово-рениевая проволока

Проволока из рения молибдена представляет собой проволоку из сплава, изготовленную путем легирования рения (Re) в молибденовой матрице, которая обладает уникальными преимуществами в специальном освещении благодаря своей превосходной пластичности и стойкости к окислению.

Химический состав: молибденово-рениевая проволока основана на молибдене и легирована металлическим рением с образованием твердого раствора. Добавление рения улучшает кристаллическую структуру молибдена и снижает хрупкость при низких температурах. Содержание примесей (таких как кислород и азот) должно контролироваться ниже 0,02% для обеспечения стабильной работы.

Физические свойства: Температура плавления молибденово-рениевой проволоки немного ниже, чем у чистого молибдена (около 2600 °C), потому что температура плавления рения (3186 °C) немного ниже. Его коэффициент теплового расширения ($4,9 \times 10^{-6}/K$) и теплопроводность (около 130 Вт/м·К) аналогичны коэффициентам чистого молибдена, но стойкость к окислению значительно улучшается, а скорость окисления снижается примерно на 30% при высоких температурах.

Механические свойства: Прочность на разрыв молибденово-рениевой проволоки при комнатной температуре составляет 900-1200 МПа, а удлинение при разрыве составляет 15%-20%, что значительно выше, чем у чистой молибденовой проволоки (5%-10%). При температуре 2000°C прочность на разрыв составляет 300-400 МПа, а сопротивление усталости лучше, чем у молибденовой лантановой проволоки, которая подходит для частых термических циклических сред.

Химическая стабильность: Молибденово-рениевая проволока хорошо работает в галогенной газовой и вакуумной среде, а ее химическая коррозионная стойкость лучше, чем у чистой молибденовой проволоки и молибденовой лантановой проволоки. Его

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

антиоксидантные свойства обусловлены защитным оксидным слоем, образованным рением, который замедляет испарение MoO_3 .

Процесс приготовления:

Легирующая подготовка: порошок рения смешивается с порошком молибдена путем механического смешивания или химического осаждения, которое необходимо эксплуатировать в вакууме или инертной атмосфере для предотвращения окисления рения.

Порошковая металлургия: легированный порошок прессуется в заготовку и спекается под воздействием водорода или вакуума ($1900-2100^\circ\text{C}$). Температура спекания должна точно контролироваться, чтобы избежать испарения рения.

Горячая обработка и волочение проволоки: заготовка формируется путем прецизионного волочения проволоки после горячей штамповки и горячей прокатки. Низкотемпературный отжиг ($700-1000^\circ\text{C}$) требуется в процессе волочения проволоки для поддержания ударной вязкости.

Обработка поверхности: в основном используется очищенная молибденовая проволока, а качество поверхности улучшается за счет электролитической полировки или химической очистки.

Сценарий применения: Молибденово-рениевая проволока в основном используется для специальных ламп, таких как проекционные лампы, сценические светильники, медицинские ультрафиолетовые лампы и авиационные фонари. Его высокая пластичность подходит для конструкций со сложной формой электродов (например, спиральные или изогнутые электроды), а его стойкость к окислению продлевает срок службы светильника (до более чем 3000 часов).

Состояние рынка и технологии: молибденово-рениевая проволока составляет около 10% рынка молибденовой проволоки для ламп. В последние годы Китай добился мелкосерийного производства за счет внедрения технологий, но дефицит и высокая цена рения ограничивают размер рынка.

Преимущества и ограничения:

Преимущества: Пластичность и стойкость к окислению лучше, чем у чистой молибденовой проволоки и молибденовой лантановой проволоки, подходят для сложных форм и экстремальных условий. Высокая ударная вязкость и высокая устойчивость к термоциклированию.

Ограничения: Высокая стоимость рения делает цену молибденово-рениевой проволоки примерно в 3-5 раз выше, чем чистой молибденовой проволоки, что ограничивает широкомасштабное применение. Коэффициент легирования необходимо точно контролировать, так как слишком высокий уровень может привести к размягчению материала.

Технические проблемы: Снижение количества рения или разработка альтернативных элементов (например, рутения, осмия) является ключом к оптимизации затрат. Повышение однородности допинга и эффективности производства также является шагом вперед.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

2.1.4 Прочие легированные молибденовые проволоки

В дополнение к молибденово-лантановой проволоке и молибденово-ренийевой проволоке, другие легированные молибденовые проволоки включают молибденовые проволоки, легированные вольфрамовыми, иттриевыми, цериевыми или многоэлементными композитными легированными проволоками, оптимизированные для конкретных высокотехнологичных применений.

Молибденовая вольфрамовая проволока:

Характеристика: Молибденовая проволока, легированная вольфрамом (W, содержание 1%-10%), сочетает в себе герметизирующие свойства молибдена с высокой температурой плавления вольфрама (3422°C). Его прочность на разрыв может достигать 600 МПа при 2000 °С, что делает его пригодным для мощных светильников.

Применение: Электроды и опорные материалы для мощных ламп накаливания и металлогалогенных ламп.

Ограничения: Плохая пластичность (удлинение при разрыве <5%), высокая сложность обработки, а стоимость примерно в 2 раза выше, чем у чистой молибденовой проволоки.

Молибденово-иттриевая проволока:

Характеристики: легирован оксидом иттрия (Y_2O_3 , содержание 0,5%-2%), температура рекристаллизации до 1900 °С, отличная стойкость к окислению и ползучести.

Применение: Используется в аэрокосмической промышленности в специальных лампах (таких как навигационные огни) и высокотемпературных инфракрасных лампах.

Ограничения: Процесс легирования оксидом иттрия сложен, а выход невелик (около 80%).

Молибденовая и цериевая проволока:

Характеристики: легированный оксид церия (SeO_2 , содержание 0,3%-1%), высокая стойкость к дуговой коррозии, подходит для среды высокочастотного разряда.

Применение: используется для ультрафиолетовых ламп и медицинских источников света.

Ограничения: Более высокая стоимость и узкое рыночное применение.

Многоэлементная легированная молибденовая проволока:

Характеристики: такие как композитная молибденовая проволока, легированная лантаном, рением и иттрием, которая сочетает в себе высокую термпрочность, пластичность и стойкость к окислению.

Применение: Используется в экстремальных условиях, таких как газоразрядные лампы высокого давления и научные источники света.

Ограничения: Процесс подготовки сложный, стоимость высокая, и он ограничен мелкосерийным производством.

Процесс подготовки: аналогично молибденовой лантановой проволоке, ее необходимо выровнять путем влажного легирования или распылительной сушки, температура спекания составляет 1900-2200 °С, а для волочения проволоки требуются высокоточные формы и многопроходный отжиг.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Рынок и техническое состояние: Прочая легированная молибденовая проволока составляет 5% рынка ламповой молибденовой проволоки, которую в основном выпускают зарубежные предприятия. Китай добился некоторого прогресса в области молибденово-иттриевой проволоки и молибденовой и цериевой проволоки, но технологию еще предстоит прорвать.

Преимущества и ограничения:

Преимущества: Производительность оптимизирована для конкретных потребностей высокопроизводительных приложений.

Ограничения: высокая стоимость, небольшой размер рынка, сложная технология производства.

Технические проблемы: Разработка недорогих легирующих элементов и упрощение процессов являются ключевыми факторами. Ожидается, что применение наноразмерной легирующей технологии еще больше повысит производительность.

2.2 Классификация по использованию

По своим функциям и сценариям применения в разных типах ламп молибденовую проволоку для освещения можно разделить на лампы накаливания, галогенные лампы, люминесцентные лампы и газоразрядные лампы, а также молибденовые проволоки для специальных ламп. Каждое применение предъявляет различные требования к производительности молибденовой проволоки, включая высокую термостойкость, коррозионную стойкость, электрические свойства и технологичность.

2.2.1 Молибденовая проволока для ламп накаливания

Молибденовая проволока для ламп накаливания в основном используется для поддержки нити накаливания и герметизации стекла-металла, а также является наиболее распространенным применением молибденовой проволоки в традиционном освещении.

Функция и функция: В лампах накаливания молибденовая проволока в основном используется в качестве опорной проволоки для фиксации вольфрамовой нити, чтобы предотвратить ее провисание или разрыв при высокой температуре (2500-3000 °C); В качестве уплотнительного электрода в колбу подается электрический ток и образуется герметичное соединение со стеклом, гарантирующее, что вакуум или инертные газы (такие как аргон, азот) в лампе не просачиваются.

Требования к производительности:

Высокая термостойкость: он должен выдерживать рабочую температуру более 2000 °C, а прочность на разрыв поддерживается на уровне более 200 МПа при высокой температуре.

Согласование теплового расширения: коэффициент теплового расширения должен быть сильно согласован с боросиликатным стеклом ($4,3-5,0 \times 10^{-6}/K$), а разница должна составлять $< 0,5 \times 10^{-6}/K$.

Проводимость: Удельное сопротивление должно быть низким (около $5,5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$) для обеспечения эффективности передачи тока.

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

Качество поверхности: Обычно используется очищенная молибденовая проволока, а шероховатость поверхности $Ra < 0,5$ мкм используется для снижения нестабильности дуги.

Характеристики применения: Лампы накаливания имеют низкую световую отдачу (10-15 лм/Вт) и срок службы около 1000 часов, в основном используются в домашнем освещении, декоративном освещении (например, ретро-лампах) и недорогих сценах. Молибденовая проволока должна работать в вакууме или среде инертного газа, чтобы предотвратить окисление.

Процесс приготовления:

Выбор сырья: для его приготовления методом восстановления водорода используется порошок молибдена высокой чистоты ($\geq 99,95\%$).

Формовка и волочение: Молибденовая проволока диаметром 0,1-0,5 мм изготавливается методом порошковой металлургии и многопроходного волочения. В процессе волочения требуется несколько отжигов (800-1200°C) для поддержания пластичности.

Обработка поверхности: Очищенная молибденовая проволока обычно изготавливается путем электролитической полировки или травления (смесь HNO_3 -HF) для обеспечения адгезии к стеклу и стабильности дуги.

Состояние рынка: Рынок ламп накаливания сократился из-за популярности светодиодного освещения, но на него по-прежнему приходится около 10% мирового рынка освещения, а количество молибденовой проволоки составляет около 20% ламповой молибденовой проволоки. Основные рынки сосредоточены в развивающихся странах, таких как Юго-Восточная Азия и Африка, а основным поставщиком является Китай.

Преимущества и ограничения:

Преимущества: отработанная технология, низкая стоимость (около 1 USD/кг), подходит для крупносерийного производства. Проволока из чистого молибдена обладает отличными герметизирующими характеристиками и высоким выходом продукции ($>95\%$).

Ограничения: Плохое сопротивление ползучести при высоких температурах, короткий срок службы, не подходит для ламп большой мощности или с длительным сроком службы.

Технические проблемы: Повышение высокотемпературных характеристик и срока службы молибденовой проволоки, а также разработка недорогих антиокислительных покрытий для продления срока службы ламп накаливания.

2.2.2 Молибденовая проволока для галогенных ламп

Молибденовая проволока для галогенных ламп является ключевым материалом в высокотехнологичных системах освещения, где она широко используется для электродов, опор и уплотнений, где она подвергается воздействию высоких температур и химического воздействия галогенных газов.

Функция и функция: В галогенных лампах молибденовая проволока используется в

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

качестве электрода для направления тока и запуска дуги, в качестве опорной проволоки для фиксации вольфрамовой нити накаливания и в качестве уплотнительного материала для обеспечения герметичности. Галогенный цикл включает в себя реакцию галогенных газов (например, йода, брома) с испарившимся вольфрамом с целью осаждения вольфрама обратно в нить, продлевая срок ее службы.

Требования к производительности:

Высокие температурные характеристики: рабочая температура может достигать 3000 °С, а прочность на разрыв > 300 МПа и отличное сопротивление ползучести необходимы.

Химическая стойкость: Он должен противостоять воздействию газообразного галогена, а поверхность должна быть устойчива к высокотемпературным химическим реакциям.

Стабильность дуги: высокая чистота поверхности ($Ra < 0,3$ мкм) и низкое удельное сопротивление обеспечивают равномерную дугу.

Согласование теплового расширения: сочетается с кварцевым стеклом (коэффициент теплового расширения $0,5-1,0 \times 10^{-6}/K$) или боросиликатным стеклом.

Характеристика применения: Галогенные лампы имеют световую отдачу 20-30 лм/Вт и срок службы 2000-4000 часов, которые широко используются в автомобильных фарах, сценическом освещении и бытовом освещении высокого класса. Молибденовая проволока подвержена сочетанию высоких температур, термоциклирования и химической коррозии.

Процесс приготовления:

Выбор сырья: легированный молибденовый порошок (например, легированный оксидом лантана, содержание 0,3%-1,0%) в основном используется для улучшения характеристик при высоких температурах.

Формовка и волочение: Молибденовая проволока диаметром 0,05-0,3 мм изготавливается методом порошковой металлургии, горячей штамповки и многопроходного волочения проволоки. Температура отжига (900-1300°C) должна точно контролироваться для оптимизации структуры зерна.

Обработка поверхности: очищенная молибденовая проволока изготавливается путем электролитической полировки или химической очистки, а некоторые высокотехнологичные применения требуют нанесения антикоррозионных покрытий (таких как MoSi₂).

Состояние рынка: Галогенные лампы составляют 15% мирового рынка освещения, а количество молибденовой проволоки составляет более 30% молибденовой проволоки, используемой в лампах. Основным драйвером является автомобильное освещение, стабильный спрос ожидается с 2025 по 2030 год. Основными рынками являются Китай, Европа и Япония.

Преимущества и ограничения:

Преимущества: Высокотемпературные характеристики и коррозионная стойкость молибденовой проволоки из лантана отвечают потребностям галогенных ламп, обеспечивая длительный срок службы и стабильную работу.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Ограничения: Окисление при высоких температурах все еще необходимо решать с помощью защиты от инертного газа, а процесс легирования увеличивает стоимость.

Техническая задача: Разработать галогеностойкие поверхностные покрытия и недорогие технологии легирования для увеличения срока службы молибденовой проволоки в экстремальных условиях.

2.2.3 Молибденовая проволока для люминесцентных ламп и газоразрядных ламп

Молибденовая проволока для люминесцентных ламп и газоразрядных ламп (например, газоразрядных ламп высокой интенсивности, HID) в основном используется в качестве электрода и уплотнительного материала и должна выдерживать высокие напряжения и температуру дуги.

Функция и функция: В люминесцентных лампах молибденовая проволока действует как электрод для инициирования и поддержания флуоресцентного разряда; В разрядных лампах высокой интенсивности (например, металлогалогенных лампах, натриевых лампах высокого давления) молибденовая проволока используется в качестве электрода, выдерживающего переходные высокие напряжения (>10 кВ) и температуру дуги (до 6000 °С), а также выступает в качестве уплотнительного материала для обеспечения герметичности.

Требования к производительности:

Электрические свойства: высокая проводимость (удельное сопротивление $< 6 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$) и стойкость к дуговой коррозии для обеспечения стабильности разряда.

Высокие температурные характеристики: Структура должна быть неповрежденной при высокой температуре дуги, а прочность на разрыв > 300 МПа.

Химическая стабильность: Он должен противостоять химическому воздействию газов высокого давления (таких как пары ртути, пары натрия) в лампе.

Согласование теплового расширения: сочетается с боросиликатным стеклом или кварцевым стеклом.

Характеристика применения: Световая отдача люминесцентных ламп составляет 50-100 лм/Вт, а ксеноновых ламп – 100-150 лм/Вт, которые широко используются в коммерческом освещении (офисы, торговые центры), дорожном освещении и промышленном освещении. Молибденовая проволока должна быть устойчива к высокочастотному разряду и химической коррозии.

Процесс приготовления:

Выбор сырья: в основном используется молибденовая лантановая проволока или молибденово-ренийевая проволока, а коэффициент легирования составляет 0,3%-2% для улучшения коррозионной стойкости дуги.

Формовка и волочение: Молибденовая проволока диаметром 0,03-0,2 мм изготавливается методом прецизионного волочения, которое необходимо отжечь при низкой температуре (700-1000°С) для сохранения ударной вязкости.

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

Обработка поверхности: электролитическая полировка или пассивационная обработка, а также некоторые молибденовые проволоки для ламп высокой интенсивности должны быть покрыты антикоррозийными покрытиями.

Состояние рынка: Рынок люминесцентных ламп сокращается из-за конкуренции светодиодов, ксеноновые лампы по-прежнему составляют 20% доли рынка наружного освещения, а количество молибденовой проволоки составляет 25% молибденовой проволоки, используемой в лампах. Основными пользователями являются GE Lighting в США и NVC Lighting в Китае.

Преимущества и ограничения:

Преимущества: Высокая производительность молибденовой лантановой проволоки и молибденово-ренийевой проволоки отвечает потребностям высокоэффективного освещения и обладает высокой дугостойкостью.

Ограничения: Срок службы в среде высокочастотного разряда нуждается в дальнейшем увеличении, а стоимость обработки поверхности высока.

Техническая задача: Разработка дугостойких покрытий и оптимизация конструкции электродов для повышения эффективности разряда и увеличения срока службы.

2.2.4 Молибденовая проволока для специальных ламп (ультрафиолетовые лампы, инфракрасные лампы и т.д.)

Молибденовая проволока для специальных ламп предназначена для работы в определенных спектральных или экстремальных условиях в медицинской, научной, аэрокосмической и промышленной сферах.

Функция и функция: В ультрафиолетовой лампе молибденовая проволока используется в качестве электрода для инициирования ультрафиолетового разряда; В инфракрасных лампах молибденовые проволоки подвергаются высокотемпературному излучению в качестве опоры или электрода; В медицинских лампах (например, хирургических лампах) или авиационных лампах молибденовые провода должны отвечать требованиям высокой надежности и сложной формы.

Требования к производительности:

Стойкость к дуговой коррозии: он должен быть устойчив к высокочастотному разряду и коррозии паров ртути.

Высокая термостойкость: рабочая температура может достигать более 2000°C, а прочность на разрыв > 300 МПа.

Пластичность: Электроды сложной формы (например, спиральные, изгибающиеся) нуждаются в поддержке.

Качество поверхности: Для обеспечения спектральной чистоты требуется высокая отделка.

Особенности применения: УФ-лампы используются для стерилизации и медицинского

лечения, инфракрасные лампы – для отопления и промышленной обработки, а авиационные лампы нуждаются в высокой надежности. Молибденовая проволока должна быть устойчива к сложным химическим средам и высокотемпературному излучению.

Процесс приготовления:

Выбор сырья: чаще всего используется молибденово-рениевая проволока или молибденово-иттриевая проволока, а коэффициент легирования составляет 0,5%-2%.

Формовка и волочение: Молибденовая проволока диаметром 0,02-0,1 мм изготавливается методом сверхточного волочения, что требует низкотемпературного отжига и высококлассного формования.

Обработка поверхности: CVD или PVD для антиокислительного покрытия (например, Al_2O_3 , $MoSi_2$).

Состояние рынка: Объем рынка специальных ламп невелик (составляет 5% мирового рынка освещения), но добавленная стоимость высока, а количество молибденовой проволоки составляет 10% от используемой в лампах молибденовой проволоки.

Преимущества и ограничения:

Преимущества: Высокая производительность отвечает профессиональным потребностям и длительный срок службы (до 5000 часов).

Ограничения: Высокая стоимость (около \$10/кг), требуется индивидуальное производство.

Техническая задача: Расширение сферы применения специальных ламп за счет разработки недорогих покрытий и технологий обработки сложных форм.

2.3 Классификация по спецификации

Технические характеристики молибденовой проволоки для освещения классифицируются в зависимости от диапазона диаметров, типа обработки поверхности и морфологии проволоки, что напрямую влияет на ее производительность и применение.

2.3.1 Диапазон диаметров и допуски

Диаметр и допуск молибденовой проволоки являются основными параметрами ее технических характеристик, определяющими ее электрические, механические и технологические свойства.

Диапазон диаметров:

Ультратонкая молибденовая проволока (0,01-0,05 мм): используется для высокоточных специальных ламп (например, УФ-ламп, медицинских ламп), требующих высокой пластичности и обработки поверхности. Высокое удельное сопротивление (прибл. $6 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$), подходит для высоковольтных электродов.

Тонкомолибденовая проволока (0,05-0,2 мм): электрод или опорная проволока для галогенных, ксеноновых и люминесцентных ламп, на долю которых приходится более 60% рынка.

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

Среднекрупная молибденовая проволока (0,2-0,5 мм): опорная проволока и уплотнительный материал для ламп накаливания с высокой механической прочностью.

Грубая молибденовая проволока (0,5-2,0 мм): Конструкционные элементы для мощных светильников (например, промышленных инфракрасных ламп).

Требования к допускам: Согласно GB/T 4191-2015 и ASTM B387, допуск ультратонкой молибденовой проволоки составляет $\pm 0,001$ мм, тонкой молибденовой проволоки составляет $\pm 0,002$ мм, а грубой молибденовой проволоки составляет $\pm 0,01$ мм. Контроль допусков достигается с помощью лазерной микрометрии и внутритрубной диагностики.

Влияющие факторы: чем меньше диаметр, тем выше удельное сопротивление, подходит для электрода; Чем больше диаметр, тем выше прочность и подходит для поддержки. Точность допусков влияет на надежность уплотнения и стабильность дуги.

Процесс подготовки: ультратонкая молибденовая проволока требует 20-30-кратного волочения, с использованием алмазной формы и низкотемпературного отжига (700-900 °C). Крупномолибденовая проволока требует высокопрочной формы и высокотемпературного отжига (1000-1200°C).

Состояние рынка: Наибольшим спросом пользуется тонкая молибденовая проволока (0,05-0,2 мм), а Китай добился высокоточного производства за счет внедрения немецкого оборудования.

Техническая задача: Увеличение выхода ультратонкой молибденовой проволоки (в настоящее время около 85%) и снижение затрат на контроль допусков.

2.3.2 Тип обработки поверхности (черная молибденовая проволока, очищенная молибденовая проволока, молибденовая проволока с покрытием)

Тип обработки поверхности оказывает существенное влияние на электрические свойства, коррозионную стойкость и сценарии применения молибденовой проволоки.

Черная молибденовая проволока:

Характеристика: Поверхность имеет черный оксидный слой (MoO_2 или MoO_3) и шероховатость Ra 0,5-2,0 мкм. Оксидный слой усиливает адгезию к стеклу.

Процесс подготовки: После волочения отжиг (800-1000°C) на воздухе или в низком вакууме для образования оксидного слоя.

Применение: Опорная нить накаливания и недорогое уплотнение для ламп накаливания, на долю которых приходится 20% рынка.

Преимущества и ограничения: низкая стоимость, но плохая дуговая стабильность, не подходит для высокопроизводительных светильников.

Очищенная молибденовая проволока:

Характеристики: Удаление оксидного слоя методом электролитической полировки или

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

травления, гладкая поверхность (Ra 0,1-0,5 мкм), отличная проводимость и коррозионная стойкость.

Процесс приготовления: травление в смешанном растворе HNO₃-HF или электролитическая полировка раствором NaOH, переработка жидких отходов охраны окружающей среды.

Применение: Электроды и уплотнения для галогенных, ксеноновых и специальных ламп, составляющие 70% рынка.

Преимущества и ограничения: Отличная производительность и длительный срок службы, но высокие затраты на обработку.

Молибденовая проволока с покрытием:

Свойства: Нанесение покрытий, устойчивых к окислению или коррозии (например, Al₂O₃, MoSi₂) толщиной 0,1-1,0 мкм.

Процесс подготовки: используется технология CVD или PVD, требуется вакуумная среда и высокоточное оборудование.

Применение: Используется в экстремальных условиях, таких как ультрафиолетовые лампы и инфракрасные лампы, на долю которых приходится 5% рынка.

Преимущества и ограничения: Срок службы продлевается в 2-3 раза, но стоимость высока (около 10 USD/кг).

Состояние рынка: Очищенная молибденовая проволока является основным продуктом, а молибденовая проволока с покрытием быстро растет на европейском и американском рынках.

Техническая задача: Разработка недорогой технологии нанесения покрытий и экологически чистых процессов обработки поверхности.

2.3.3 Форма проволоки (прямая проволока, намотанная проволока, обрезная проволока)

Форма проволоки влияет на способ обработки, транспортировки и нанесения молибденовой проволоки.

Прямой провод:

Характеристики: Фиксированная длина (10-100 см), подходит для автоматизированного монтажа.

Процесс подготовки: После вытягивания его разрезают на высокоточном режущем станке, причем разрез должен быть гладким и без заусенцев.

Применение: Используется для опорной нити накаливания и герметизации ламп накаливания и галогенных ламп, на долю которых приходится 30% рынка.

Преимущества и ограничения: Эффективность установки высокая, но транспортировка легко деформируется.

Навивка:

Характеристики: Наматывается на катушки, длина может достигать нескольких километров, подходит для непрерывной обработки.

Процесс подготовки: После волочения его наматывают с помощью намотчика, и необходимо контролировать натяжение.

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

Применение: Для крупномасштабного производства ламп, на долю которых приходится 50% рынка.

Преимущества и ограничения: Удобен в хранении и транспортировке, требует размотки оборудования.

Режущая проволока:

Характеристики: Короткая длина (1-10 мм) для точной сборки.

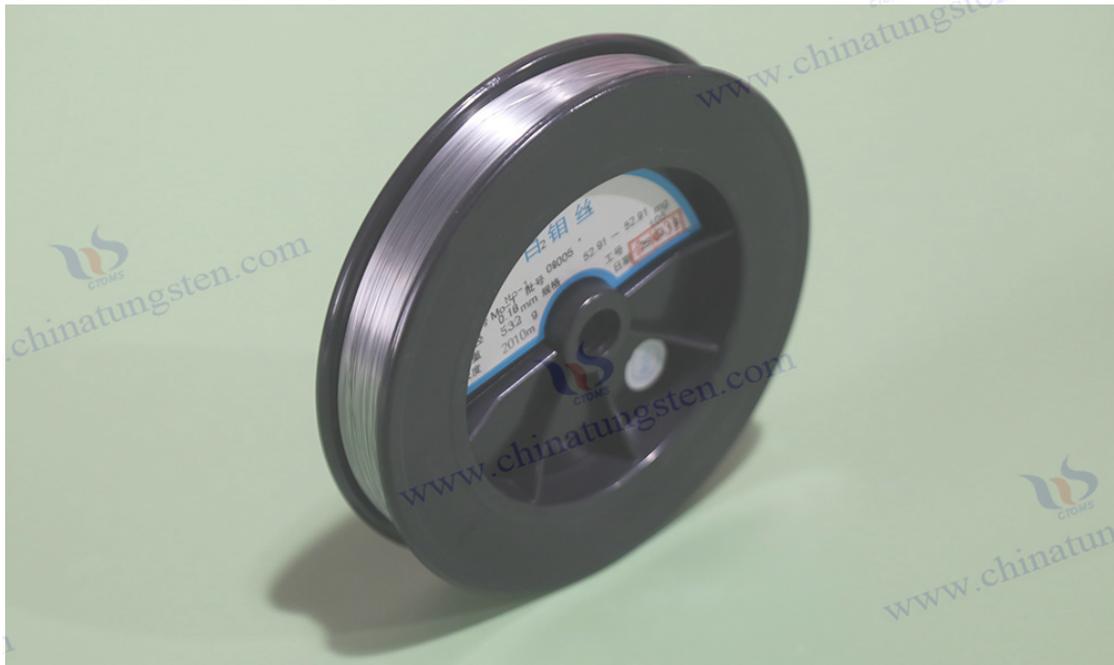
Процесс подготовки: высокоточная резка для обеспечения постоянства длины.

Применение: Сложные электроды для специальных ламп, на долю которых приходится 10% рынка.

Преимущества и ограничения: подходит для кастомизации, низкая эффективность производства.

Состояние рынка: спиральная проволока является основным направлением, а прямая проволока и резаная проволока в основном используются в высокотехнологичных приложениях.

Техническая задача: Повышение точности разрезаемой проволоки и снижение затрат на транспортировку прямой проволоки.



молибденовая проволока для освещения от CTIA

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire for Lighting Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire for Lighting

As one of the core materials in modern lighting technology, molybdenum wire is widely used in various light sources including incandescent lamps, halogen lamps, fluorescent lamps, and gas discharge lamps, due to its high melting point, high strength, excellent corrosion resistance, and superior electrical conductivity. It is an irreplaceable and critical component in the lighting industry.

2. Typical Applications of Molybdenum Wire for Lighting

Residential and Commercial Lighting: Used in incandescent and halogen lamps to provide warm light and long service life.

Automotive Lighting: Functions as electrodes in HID and xenon lamps, offering high brightness and vibration resistance.

Specialty Lighting: Utilized in projection lamps, ultraviolet (UV) lamps, and infrared (IR) lamps to meet high-temperature and high-precision requirements in medical, industrial, and scientific applications.

Emerging Fields: Serves as conductive leads for LED lamps and supports for phosphors in laser lighting, aligning with future lighting technology development.

3. Basic Data of Molybdenum Wire for Lighting (Reference)

Parameter	Pure Mo Wire	Mo-La Wire	Mo-Re Wire
Mo Content	≥99.95%	≥99.0%	52.5%–86.0%
Diameter Range	0.03–3.2 mm	0.03–1.5 mm	0.03–1.0 mm
Tolerance	±0.002 mm	±0.002 mm	±0.002 mm
Tensile Strength (Room Temp)	800–1200 MPa	900–1400 MPa	1000–1500 MPa
Tensile Strength (at 1500°C)	150–300 MPa	200–400 MPa	250–450 MPa
Elongation at Break	10%–25%	12%–20%	15%–25%
Electrical Resistivity (20°C)	$5.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$6.0 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$6.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$
Main Applications	Incandescent, Halogen	Halogen, Auto Headlights	HID, Projection Lamps

4. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Глава 3 Характеристика молибденовой проволоки для освещения

Характеристики молибденовой проволоки для освещения являются ключом к ее применению в области освещения, охватывая физическую, химическую, механическую, электрическую, оптическую и связанную с ней информацию в паспорте безопасности материалов (MSDS). В данной главе подробно исследуются эти характеристики, анализируется их влияние на эксплуатационные характеристики осветительных приборов, а также дается всестороннее техническое описание, основанное на мировых исследованиях и отраслевой практике.

3.1 Физические характеристики молибденовой проволоки для освещения

Физические свойства молибденовой проволоки для освещения определяют ее производительность при высоких температурах, высоком давлении и сложных средах, в основном включая плотность и температуру плавления, коэффициент теплового расширения и зависимость от температуры, теплопроводность и электропроводность. Эти свойства напрямую влияют на структурную стабильность, термостойкость и электрические характеристики молибденовой проволоки в светильниках.

3.1.1 Плотность и температура плавления молибденовой проволоки для освещения

Молибденовая проволока плотностью $10,2 \text{ г/см}^3$ является металлическим материалом высокой плотности, лишь немного уступающим вольфраму ($19,25 \text{ г/см}^3$). Такая плотность придает молибденовой проволоке высокую стабильность массы, позволяя ей выдерживать механические нагрузки и вибрацию в опорной конструкции или электродах светильника. Например, в автомобильных фарах молибденовая проволока должна противостоять вибрации автомобиля во время движения, а умеренно плотная молибденовая проволока может обеспечить достаточную прочность без увеличения сложности конструкции лампы из-за чрезмерного веса.

Молибденовая проволока имеет температуру плавления $2623 \text{ }^\circ\text{C}$ (2896 K), что является одним из ее основных преимуществ как тугоплавкого металла, уступая только вольфраму ($3422 \text{ }^\circ\text{C}$) и рению ($3186 \text{ }^\circ\text{C}$). Высокая температура плавления позволяет молибденовой нити стабильно работать в лампах накаливания (температура нити накаливания до 2500°C), галогенных лампах (температура нити накала до 3000°C) и газоразрядных лампах высокой интенсивности (HID, температура центра дуги до 6000°C) без плавления и значительной деформации. На практике молибденовая проволока обычно работает при температурах значительно ниже точки плавления ($1000\text{-}2000 \text{ }^\circ\text{C}$), чтобы избежать размягчения материала по мере приближения к точке плавления. Молибденовая проволока имеет немного более низкую температуру плавления, чем вольфрам, но ее затраты на обработку ниже, а сопротивление ползучести ниже $2000 \text{ }^\circ\text{C}$ делает ее идеальной для поддержки нитей и герметизирующих материалов.

Плотность и температура плавления молибденовой проволоки также тесно связаны с ее кристаллической структурой. Объемноцентрированная кубическая кристаллическая структура молибдена остается стабильной при высоких температурах, а небольшие

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

изменения постоянной решетки, которая немного расширяется с повышением температуры, обеспечивают его структурную целостность во время термоциклирования. В процессе производства плотность молибденовой проволоки контролируется процессом спекания порошка молибдена высокой чистоты (чистота $\geq 99,95\%$), а температура плавления дополнительно оптимизируется путем легирования микроэлементов, таких как оксид лантана, для повышения температуры рекристаллизации (примерно с $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ до более чем $1800\text{ }^{\circ}\text{C}$).

3.1.2 Коэффициент теплового расширения и температурная зависимость молибденовой проволоки для освещения

Коэффициент теплового расширения молибденовой проволоки составляет $4,8 \times 10^{-6}/\text{K}$ (в диапазоне $20-1000\text{ }^{\circ}\text{C}$), что обладает высокой совместимостью с боросиликатным стеклом (около $4,5-5,0 \times 10^{-6}/\text{K}$). Это свойство делает молибденовую проволоку предпочтительным материалом для герметизации стекла в металл ламп, гарантируя, что молибденовая проволока и стекло не вызовут трещин под напряжением из-за разницы в тепловом расширении при работе при высоких температурах (например, температура уплотнительной части в галогенных лампах может достигать $600-800\text{ }^{\circ}\text{C}$). Напротив, вольфрам имеет несколько меньший коэффициент теплового расширения ($4,5 \times 10^{-6}/\text{K}$) и может потребовать дополнительного переходного материала, в то время как медь ($16,5 \times 10^{-6}/\text{K}$) не соответствует тепловому расширению стекла и не может быть использована для герметизации.

Коэффициент теплового расширения молибденовой проволоки незначительно увеличивается с повышением температуры, например, до $5,2 \times 10^{-6}$ при $1500\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{K}$. Эта зависимость от температуры является особым фактором при проектировании светильников, особенно в галогенных или ксеноновых лампах с частыми тепловыми циклами. Чтобы уменьшить эффект теплового расширения, молибденовую проволоку часто легируют оксидом лантана или рением для оптимизации кристаллической структуры и уменьшения расширения решетки при высоких температурах. Кроме того, коэффициент теплового расширения молибденовой проволоки тесно связан с обработкой поверхности, а очищенная молибденовая проволока (электролитически полированная) при высоких температурах расширяется более равномерно, чем черная молибденовая проволока (с оксидным слоем на поверхности), поскольку имеет меньше поверхностных дефектов.

В практическом применении согласование коэффициента теплового расширения напрямую влияет на герметичность и срок службы светильника. Например, в натриевых лампах высокого давления уплотнитель молибденовой проволоки подвергается циклическому изменению температуры на $500-700\text{ }^{\circ}\text{C}$, и несовпадение коэффициента теплового расширения может привести к трещинам стекла или утечке газа. Поэтому для обеспечения надежности уплотнения в производстве требуются прецизионные испытания на тепловое расширение (например, измерения с помощью дилатометра) и оптимизация состава стекла.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

3.1.3 Анализ теплопроводности и проводимости молибденовой проволоки для освещения

Теплопроводность молибденовой проволоки составляет 138 Вт/м·К (20°C), что умеренно высоко среди металлов, ниже, чем у меди (401 Вт/м·К), но выше, чем у вольфрама (173 Вт/м·К). Высокая теплопроводность позволяет молибденовой проволоке быстро переносить тепло, выделяемое во время работы светильника, из горячих зон (например, вблизи дуг или нитей накаливания) в зоны с низкой температурой (например, места герметизации), тем самым снижая риск локального перегрева и защищая конструкцию светильника. Например, в галогенных лампах молибденовую проволоку необходимо использовать в качестве опорной проволоки для эффективного рассеивания тепла нити накаливания во избежание перегрева стеклянного уплотнителя (> 800 °C может привести к размягчению стекла).

Проводимость молибденовой проволоки составляет около $1,8 \times 10^7$ См/м (удельное сопротивление $5,5 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$), который хорошо работает с высокотемпературными металлами, немного ниже меди ($5,9 \times 10^7$ См/м), но близок к вольфраму ($1,9 \times 10^7$ См/м). Его электропроводность гарантирует, что молибденовая проволока может эффективно передавать ток в электроде или проводящем компоненте, снижая потери энергии. В газоразрядных лампах электроды из молибденовой проволоки подвергаются воздействию высоких напряжений (от сотен до тысяч вольт) и мгновенных высоких токов (несколько ампер), а высокая проводимость может снизить джоулев нагрев и продлить срок службы электродов.

Температурная зависимость теплопроводности и электропроводности является ключевым фактором при проектировании. С повышением температуры теплопроводность молибденовой проволоки немного уменьшается (около 120 Вт/м·К при 1000°C) и увеличивается удельное сопротивление (около $2,0 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$ при 1000°C). Легированные молибденовые проволоки, такие как молибденовые лантановые проволоки, могут замедлять снижение проводимости при высоких температурах за счет оптимизации кристаллической структуры. Например, молибденовая проволока, легированная 1% оксидом лантана, имеет удельное сопротивление примерно на 10% ниже, чем чистая молибденовая проволока при 1500°C. В процессе производства теплопроводность и электропроводность оптимизируются за счет контроля чистоты, размера зерна и качества поверхности молибденовой проволоки.

3.2 Химические характеристики молибденовой проволоки для освещения

Химические свойства молибденовой проволоки для освещения определяют ее стабильность и долговечность в сложной химической среде ламп (такой как газообразный галоген, высокотемпературный вакуум), в основном включая стойкость к окислению, коррозионную стойкость и взаимодействие с инертным газом и вакуумной средой.

3.2.1 Стойкость к окислению и высокая термостойкость молибденовой проволоки для освещения

Молибденовая проволока обладает хорошей стойкостью к окислению при комнатной температуре, а для предотвращения дальнейшего окисления на ее поверхности может

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

образовываться тонкий оксидный защитный слой (MoO_2). Однако при воздействии воздуха при высоких температурах ($>600^\circ\text{C}$) молибденовые нити быстро образуют триоксид молибдена (MoO_3), который является летучим, что приводит к потерям материала и ухудшению эксплуатационных характеристик. В осветительных приборах светильники часто работают в вакууме или в среде инертного газа (например, аргона, азота), чтобы избежать окисления. Например, лампы накаливания заполнены газообразным аргоном и небольшим количеством галогенного газа для защиты молибденовой проволоки от окисления.

Для улучшения антиокислительных характеристик широко используется легированная молибденовая проволока (например, молибденовая проволока из лантана, молибденовая ренийевая проволока). Добавление оксида лантана замедляет диффузию атомов молибдена при высокой температуре за счет закрепления границ зерен и задерживает возникновение реакции окисления. Благодаря упрочняющему раствору рения, молибденово-ренийевая проволока может образовывать более стабильный поверхностный оксидный слой при температуре выше 1000°C и замедлять испарение MoO_3 . Исследования показали, что скорость окисления молибденовой проволоки, легированной 1% оксидом лантана, на воздухе при температуре 1200°C примерно на 30% ниже, чем у чистой молибденовой проволоки. Кроме того, технологии поверхностных покрытий, такие как покрытия из оксида алюминия или силицида молибдена, еще больше повышают стойкость к окислению и подходят для специальных светильников.

С точки зрения стабильности при высоких температурах, ключевым показателем является температура рекристаллизации молибденовой проволоки (около 1400°C для чистого молибдена). Рекристаллизация приводит к росту зерен и охрупчиванию материала, снижая механическую прочность. Легированная молибденовая проволока значительно продлевает срок службы при высоких температурах за счет повышения температуры рекристаллизации (до 1800°C для молибденово-лантановой проволоки и около 1700°C для молибденово-ренийевой проволоки). В галогенных лампах молибденовая проволока должна работать при температуре $1500\text{-}2000^\circ\text{C}$ в течение длительного времени, а отличная устойчивость к высоким температурам легированной молибденовой проволоки обеспечивает ее структурную целостность.

3.2.2 Коррозионная стойкость молибденовой проволоки для освещения

Коррозионная стойкость молибденовой проволоки в лампах в основном отражается на ее устойчивости к газообразным галогенам (таким как йод, бром), парам ртути и другим химическим веществам. В галогенных лампах молибденовая проволока находится в непосредственном контакте с газообразным галогеном и должна противостоять химическому воздействию при высоких температурах ($1000\text{-}1500^\circ\text{C}$). Химическая стабильность молибдена позволяет ему хорошо работать в йодных или бромных средах без образования летучих соединений или значительной коррозии. Напротив, вольфрам склонен к образованию летучих галогенидов (например, WBr_6) в галогенных средах, что приводит к потере нитей накала.

В газоразрядных лампах, таких как ртутные лампы высокого давления или металлогалогенные лампы, электрод молибденовой проволоки должен быть устойчив к парам ртути и галогенидам металлов (например, йодиду натрия). Результаты показывают, что молибденовая проволока может сохранять поверхностную целостность в парах ртути (500-800°C) со скоростью коррозии менее 0,01 мг/см²·ч. Легированная молибденовая проволока, такая как молибденовая лантановая проволока, еще больше повышает коррозионную стойкость, формируя стабильную структуру поверхности. Например, молибденовая проволока, легированная оксидом лантана, может снизить коррозионные потери примерно на 20% в среде йодида натрия.

Коррозионная стойкость также связана с обработкой поверхности молибденовой проволоки. Очищенная молибденовая проволока (электролитически полированная) имеет мало поверхностных дефектов и меньшую скорость коррозии, чем черная молибденовая проволока (с оксидным слоем на поверхности). В производстве молибденовая проволока часто используется для удаления поверхностных оксидов методом травления (смесь HNO₃-HF) или электролитической полировки (раствор NaOH) для повышения коррозионной стойкости. Кроме того, молибденовые проволоки с покрытием, такие как покрытия из силицида молибдена, хорошо работают в чрезвычайно агрессивных средах, таких как пары ртути в УФ-лампах, но имеют более высокую стоимость.

3.2.3 Взаимодействие молибденовой проволоки для освещения с инертным газом и вакуумной средой

Молибденовая проволока для освещения обычно работает в вакууме или инертном газе (например, аргоне, азоте, криптоне), чтобы избежать окисления и продлить срок службы. В вакуумной среде (например, внутри лампы накаливания давление составляет 10^{-3} Па) химическая стабильность молибденовой проволоки чрезвычайно высока, почти не происходит реакции с газами, а поверхность остается стабильной. Вакуумная среда также снижает потери на конвекцию тепла, так что тепло молибденовой проволоки в основном рассеивается за счет теплопроводности и излучения, что способствует повышению энергоэффективности лампы.

В среде инертного газа (например, в галогенной лампе, заполненной аргоном и небольшим количеством галогена, давление 0,1-1 МПа) молибденовая проволока не имеет явной химической реакции с аргоном или азотом, но может иметь слабую поверхностную адсорбцию или химическую связь с газообразным галогеном при высоких температурах. Исследования показали, что нить молибдена может образовывать тонкий слой йодида молибдена (MoI₃) на поверхности йодсодержащего газообразного аргона (1200°C), но соединение быстро разлагается при высоких температурах, не влияя на производительность ламп. Легированные молибденовые проволоки, такие как молибденовые лантановые проволоки, могут уменьшить этот адсорбционный эффект за счет оптимизации структуры поверхности.

В газоразрядных лампах электрод молибденовой проволоки взаимодействует со сложными

газовыми смесями (парами ртути, галогенидами металлов, инертными газами). Высокая химическая стабильность молибденовой проволоки гарантирует, что она не подвергается значительному химическому разложению в этих средах, но дуговое образование может вызвать поверхностные микроструктурные изменения, такие как коррозия на границе зерен. По этой причине стабильность молибденовой проволоки часто повышается за счет пассивации поверхности или технологии легирования в производстве.

3.3 Механические характеристики молибденовой проволоки для освещения

Механические свойства молибденовой проволоки для освещения напрямую влияют на ее структурную стабильность и долговечность в лампах, включая прочность на разрыв и ползучести, пластичность и ударную вязкость, усталостную прочность и сопротивление разрушению при высоких температурах. Эти свойства особенно важны в условиях высоких температур, термических циклов и механической вибрации.

3.3.1 Высокотемпературная прочность на разрыв и ползучесть молибденовой проволоки для освещения

Прочность молибденовой проволоки на разрыв составляет 800-1000 МПа при комнатной температуре, но при высокой температуре (>1000°C) она значительно снизится. Например, прочность на разрыв проволоки из чистого молибдена при температуре 1500°C составляет около 200 МПа. Легированная молибденовая проволока значительно повышает высокотемпературную прочность за счет упрочнения границ зерен, причем молибденово-лантановая проволока может достигать 300-500 МПа при 1500°C, а молибден-ренийевая проволока - около 250-400 МПа. Эта высокая прочность позволяет молибденовой проволоке выступать в качестве поддерживающего материала для нити, выдерживающей высокотемпературные нагрузки в лампах накаливания или галогенных лампах.

Ползучесть является ключевым показателем молибденовой проволоки при длительной эксплуатации при высоких температурах. Ползучесть относится к процессу, при котором материал медленно деформируется под действием длительного напряжения, что может привести к разрушению нитей-опоры или деформации электрода. Проволока из чистого молибдена склонна к ползучести выше 1200°C со скоростью ползучести около 10^{-5} c^{-1} (при напряжении 100 МПа). Легированная молибденовая проволока значительно снижает скорость ползучести за счет закрепления дислокаций на границе зерен, например, молибденовая проволока, легированная 1% оксидом лантана, имеет скорость ползучести более чем на 50% ниже, чем у чистой молибденовой проволоки при 1500°C. Благодаря упрочняющему эффекту рения в твердом растворе, характеристики ползучести молибденово-ренийевой проволоки также лучше, чем у чистой молибденовой проволоки.

В галогенных лампах опора из молибденовой проволоки подвергается термическому циклированию (быстрому нарастанию от комнатной температуры до 1500 °C), а прочность на разрыв и сопротивление ползучести при высоких температурах напрямую определяют срок службы лампы. Сопротивление ползучести молибденовой проволоки улучшается в процессе производства за счет оптимизации размера зерна (обычно 10-50 мкм) и процесса

легирования.

3.3.2 Пластичность и ударная вязкость молибденовой проволоки для освещения

Пластичность молибденовой проволоки относится к ее способности пластически деформироваться при растяжении, а удлинение при разрыве чистой молибденовой проволоки составляет 10%-15% при комнатной температуре. Легированная молибденовая проволока (например, молибденово-ренийевая проволока) значительно улучшает пластичность за счет упрочнения раствора, а удлинение при разрыве может достигать 20%-25%. Благодаря высокой пластичности молибденовую проволоку нелегко сломать в процессе волочения и формовки, а также она подходит для изготовления электродов или опорных конструкций сложной формы.

Ударная вязкость отражает способность молибденовой проволоки поглощать энергию удара и предотвращать хрупкое разрушение. В светильниках молибденовые провода подвергаются вибрации (например, автомобильные лампы) или тепловому удару (например, частое переключение галогенных ламп). При высокой температуре (>1000°C) чистая молибденовая проволока становится хрупкой из-за рекристаллизации, а ударная вязкость снижается. Молибденовая проволока из лантана упрочнена за счет дисперсии частиц оксида лантана, что сохраняет высокотемпературную вязкость, а вязкость разрушения (K_{IC}) составляет около $10 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ при 1500°C, что выше, чем у чистой молибденовой проволоки $7 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$. Молибденово-ренийевая проволока обладает лучшей прочностью и подходит для работы в условиях высокой вибрации.

В производстве оптимизация пластичности и ударной вязкости зависит от температуры отжига (800-1200°C) и равномерного распределения легирующих элементов в процессе волочения. Ультратонкая молибденовая проволока (диаметр <0,05 мм) требует более высокой пластичности и требует низкотемпературного отжига и прецизионного формования.

3.3.3 Усталостная прочность и сопротивление разрушению молибденовой проволоки для освещения

Усталостная прочность отражает долговечность молибденовой проволоки при циклических нагрузках. В автомобильных фарах или сценических светильниках молибденовые провода подвергаются частым термическим циклам и механическим вибрациям, что может привести к образованию усталостных трещин. Усталостная долговечность чистой молибденовой проволоки короче при высоких температурах (около 10^4 циклов, напряжение 100 МПа), в то время как усталостная долговечность легированной молибденовой проволоки (например, молибденовой лантановой проволоки) может быть увеличена до более чем 10^5 циклов за счет упрочнения границ зерен.

Сопротивление разрушению тесно связано с размером зерна и поверхностными дефектами молибденовой проволоки. Мелкие зерна (10-20 мкм) диспергируют концентрации напряжений и повышают стойкость к разрушению. Благодаря высокому качеству поверхности ($Ra < 0,5 \text{ мкм}$) и небольшому количеству точек зарождения трещин, очищенная молибденовая проволока обладает лучшей стойкостью к разрушению, чем черная

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

молибденовая проволока (Ra 0,5-2,0 мкм). В производстве полировка поверхности и дефектоскопия (например, ультразвуковая дефектоскопия) являются ключом к повышению стойкости к разрушению.

В лампах высокой интенсивности электроды из молибденовой проволоки должны выдерживать концентрацию напряжений, вызванных ударом дуги, а легированная молибденовая проволока (например, молибденовая ренийевая проволока) может эффективно снизить риск разрушения благодаря своей высокой прочности и усталостной прочности.

3.4 Электрические характеристики молибденовой проволоки для освещения

Электрические свойства молибденовой проволоки для освещения определяют ее характеристики в качестве электрода или проводящего компонента, включая удельное сопротивление и температурный коэффициент, пропускную способность по току и стабильность дуги.

3.4.1 Удельное сопротивление и температурный коэффициент молибденовой проволоки для освещения

Удельное сопротивление молибденовой проволоки составляет $5,5 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$ при 20°C м, чуть выше меди ($1,68 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$), но близко к вольфраму ($5,6 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$). Удельное сопротивление увеличивается с температурой и составляет около $2,0 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{м}$ при 1000°C м, до $4,0 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{м}$ при 2000°C м. Температурный коэффициент (TCR) удельного сопротивления составляет $0,0045 \text{ K}^{-1}$ ($20\text{-}1000^\circ\text{C}$), что указывает на то, что его проводимость быстро снижается с повышением температуры.

Легированная молибденовая проволока может снизить удельное сопротивление при высоких температурах за счет оптимизации кристаллической структуры. Например, молибденовая проволока, легированная 1% оксидом лантана, имеет удельное сопротивление примерно на 10% ниже, чем чистая молибденовая проволока при 1500°C , поскольку частицы оксида лантана уменьшают рассеяние на границе зерен. Из-за эффекта твердого раствора рения удельное сопротивление молибденово-ренийевой проволоки немного выше (около $6,0 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$ при 20°C), но ее температурный коэффициент более стабилен, подходит для сред высокочастотного разряда.

В светильниках удельное сопротивление оказывает непосредственное влияние на потери энергии и выделение тепла. Молибденовая проволока с низким удельным сопротивлением снижает джоулев нагрев и повышает эффективность светильника. В ксеноновых лампах необходимо точно контролировать удельное сопротивление электродов молибденовой проволоки, чтобы обеспечить стабильность зажигания дуги.

3.4.2 Допустимая по току молибденовая проволока для освещения

Пропускная способность молибденовой проволоки по току зависит от ее диаметра, чистоты материала и рабочей температуры. Проволока из чистого молибдена диаметром 0,1 мм может пропускать ток около 10 А при 20°C и падать до примерно 5 А при 1000°C . Легированная

молибденовая проволока (например, молибденовая лантановая проволока) имеет немного лучшую пропускную способность по току из-за более высокой прочности при высоких температурах и может выдерживать 4-6 А (диаметр 0,1 мм) при 1500°C.

В газоразрядных лампах электроды молибденовой проволоки подвергаются мгновенному воздействию высоких токов (10-100 А в течение нескольких миллисекунд), требующих высокой проводимости и устойчивости к тепловому удару. Благодаря своей превосходной пластичности и прочности, молибденово-ренийевая проволока может выдерживать многократные удары тока без обрыва. В производстве оптимизация текущей несущей способности должна быть достигнута за счет увеличения размера зерна и уменьшения поверхностных дефектов.

3.4.3 Дугостойкость молибденовой проволоки к освещению

Стабильность дуги является ключевым свойством молибденовой проволоки в качестве электродного материала, особенно в ксеноновых лампах и люминесцентных лампах. Высокая температура плавления и стойкость молибденовой проволоки к дуговой коррозии позволяют ей сохранять структурную целостность при высоких температурах дуги (>4000°C). Благодаря высокому качеству поверхности ($Ra < 0,5$ мкм) очищенная молибденовая проволока может уменьшить локальный перегрев и разбрызгивание во время дугового разряда и повысить стабильность.

Легированная молибденовая проволока (например, молибденовая лантановая проволока, молибденово-ренийевая проволока) снижает коррозию границ зерен, вызванную дуговым разрядом, за счет оптимизации микроструктуры поверхности. Например, молибденовая проволока, легированная оксидом лантана, имеет стабильность дуги примерно на 20% выше, чем чистая молибденовая проволока в высокочастотном разряде (10-100 кГц). В процессе производства устойчивость дуги часто проверяется путем моделирования условий работы светильника, таких как высоковольтные импульсные испытания, чтобы обеспечить долгосрочную надежность электродов.

3.5 Оптические свойства молибденовой проволоки для освещения

Оптические свойства молибденовой проволоки для освещения влияют на ее эффективность излучения и светоотдачу в лампах, в основном включая отделку поверхности и отражательную способность, характеристики высокотемпературного излучения и влияние окисления поверхности на оптические свойства.

3.5.1 Отделка поверхности и отражательная способность молибденовой проволоки для освещения

Шероховатость поверхности молибденовой проволоки напрямую влияет на ее отражательную способность и равномерность дугового разряда. При электролитической полировке или химической очистке шероховатость поверхности очищенной молибденовой проволоки может достигать Ra 0,1-0,5 мкм, а коэффициент отражения (диапазон видимого света) составляет около 60%-70%. Благодаря поверхностному оксидному слою (MoO_2)

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

шероховатость черной молибденовой проволоки высокая (Ra 0,5-2,0 мкм), а отражательная способность составляет всего 30%-40%.

Высококачественная молибденовая проволока улучшает равномерность светотдачи в галогенных и ксеноновых лампах и снижает локальный перегрев, вызванный поверхностными дефектами. В проекционных лампах отражательная способность молибденовой проволоки влияет на фокусирующий эффект света, а высокая отражательная способность очищенной молибденовой проволоки может улучшить использование света. В процессе производства контроль качества поверхности должен обеспечиваться с помощью прецизионного полировального оборудования и онлайн-контроля.

3.5.2 Характеристики высокотемпературного излучения и спектральный анализ молибденовой проволоки для освещения

Радиационные свойства молибденовой проволоки при высоких температурах тесно связаны с ее характеристиками в качестве электрода или поддерживающего материала. При 1500-2000°C спектр излучения молибденовой проволоки в основном сосредоточен в инфракрасной и ближней инфракрасной областях (длина волны 0,7-2,5 мкм), а видимый свет (0,4-0,7 мкм) относительно низок. Это дает ему преимущество в инфракрасных лампах, но в основном в качестве вспомогательного материала при освещении белым светом.

Легированные молибденовые проволоки, такие как молибденово-лантановые проволоки, могут немного повысить эффективность излучения в видимой области за счет оптимизации кристаллической структуры. Например, молибденовая проволока, легированная 1% оксидом лантана, имеет мощность излучения примерно на 10% выше при 2000°C, чем чистая молибденовая проволока. Спектральный анализ показывает, что пик излучения молибденовой проволоки с повышением температуры переходит на короткие волны, что соответствует закону излучения абсолютно черного тела Планка. На практике характеристики излучения молибденовой нити должны быть оптимизированы совместно с нитью накала (обычно вольфрамовой) для достижения желаемой светотдачи.

3.5.3 Влияние поверхностного окисления молибденовой проволоки для освещения на оптические свойства

Поверхностное окисление оказывает существенное влияние на оптические свойства молибденовой проволоки. Оксидный слой (MoO_2 или MoO_3) черной молибденовой проволоки поглощает часть видимого и инфракрасного света, снижая отражательную способность и эффективность излучения. В галогенных лампах испарение оксидного слоя может привести к отложению внутренней стенки колбы, снижая эффективность светотдачи. Удаляя оксидный слой, очищенная молибденовая проволока значительно улучшает оптические характеристики, а отражательная способность и эффективность излучения лучше, чем у черной молибденовой проволоки.

При высокой температуре (>1000°C) на поверхности молибденовой проволоки может произойти небольшое окисление, что влияет на спектральные характеристики. Легированная

молибденовая проволока (например, молибденовая лантановая проволока) замедляет процесс окисления и поддерживает стабильность оптических свойств за счет формирования стабильной поверхностной структуры. Молибденовая проволока с покрытием, например, с покрытием из оксида алюминия, обеспечивает дополнительную защиту от окисления поверхности и подходит для высокопроизводительных специальных ламп.

3.6 Молибденовая проволока для освещения MSDS от CTIA GROUP LTD

Паспорта безопасности материалов (MSDS) содержат рекомендации по безопасному использованию, хранению и транспортировке молибденовой проволоки для освещения. Ниже приведены основные составы MSDS из молибденовой проволоки для освещения от CTIA:

Часть I: Химические названия

Химическое название: молибденовая проволока

Номер CAS: 7439-98-7

Молекулярная формула: Mo

Молекулярный вес: 99.95

Часть II: Композиция/информация о композиции

Содержание молибдена 99,3% ~ 99,95%

Часть III: Обзор опасностей

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

Взрывоопасность: Этот продукт негорюч и не вызывает раздражения.

Часть IV: Меры первой помощи

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

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

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

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

Часть V: Меры противопожарной защиты

Вредные продукты сгорания: Естественные продукты разложения неизвестны.

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

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

песок.

Часть VI. Аварийное обращение с разливами

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

Часть VII: Обработка, обработка и хранение

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

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

Часть VIII: Контроль воздействия/Индивидуальная защита

ПДК в Китае (мг/м³): 6

ПДК СССР (мг/м³): 6

TLVTLN: ACGIH 1 мг/м³

Краткая стоимость: ACGIH 3 мг/м³

Метод мониторинга: метод спектролюминесценции тиоцианида калия-хлорида титана

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

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

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Защита глаз: Носите очки химической защиты.

Защита тела: Носите комбинезон с защитой от отравления.

Защита рук: Надевайте резиновые перчатки.

Часть IX: Физико-химические свойства

Основной ингредиент: Чистый

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

Температура плавления (°C): 2620

Температура кипения (°C): 5560

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

Плотность пара (воздух = 1): Нет данных

Давление насыщенного пара (кПа): нет данных

Теплота сгорания (кДж/моль): нет данных

Критическая температура (°C): Данные отсутствуют

Критическое давление (МПа): Данные отсутствуют

Логарифм коэффициента разбавления воды: нет данных

Температура вспышки (°C): Данные отсутствуют

Температура воспламенения (°C): Нет данных

Предел взрываемости % (В/В): Нет данных

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

Растворимость: растворим в азотной кислоте, фтористоводородной кислоте

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

Часть X: Стабильность и реакционная способность

Запрещенные вещества: сильная кислота и щелочь.

Часть 11:

Острая токсичность: данные отсутствуют

LC50: Нет данных

Часть XII: Экологические данные

Нет данных по данному разделу

Часть XIII: Утилизация

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

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Часть XIV: Информация о доставке

Номер опасного груза: нет информации

Категория упаковки: Z01

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

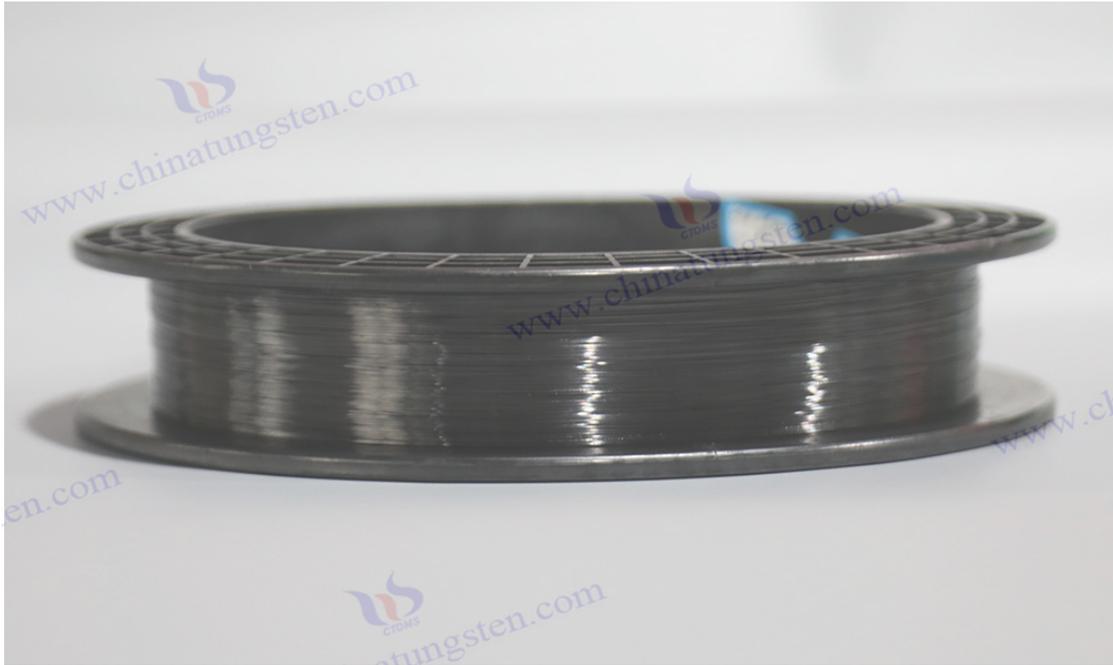
Часть XV: Нормативная информация

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

Часть XVI: Информация о поставщиках

Поставщик: CTIA GROUP LTD

Тел.: 0592-5129696/5129595



молибденовая проволока для освещения от СТИА

Глава 4 Подготовка и технология производства молибденовой проволоки для освещения

Подготовка молибденовой проволоки к освещению является сложным и точным процессом, включающим в себя множество технологических звеньев от выбора сырья до конечного продукта, а технология ее производства и оптимизация процесса напрямую определяют качество и производительность молибденовой проволоки. В этой главе будет подробно рассмотрен процесс подготовки и производства молибденовой проволоки для освещения, включая выбор сырья и предварительную обработку, плавку и формование, процесс волочения проволоки, технологию обработки поверхности, процесс легирования, контроль качества и оптимизацию процесса.

4.1 Выбор сырья и предварительная обработка молибденовой проволоки для освещения

Производительность молибденовой проволоки для освещения в значительной степени зависит от качества сырья и процесса предварительной обработки. Выбор сырья и предварительная обработка являются первым этапом производства, который напрямую влияет на успешность последующей плавки, формовки и волочения проволоки, а также на производительность конечного продукта. Ниже приведен подробный анализ с трех аспектов: контроль чистоты молибденового порошка и размера частиц, выбор легирующего материала и его пропорция, а также процесс предварительной обработки.

4.1.1 Требования к чистоте порошка молибдена ($\geq 99,95\%$) и контроль размера частиц

Подготовка молибденовой проволоки обычно изготавливается из молибденового порошка высокой чистоты, а чистота должна достигать более 99,95% для обеспечения химической

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

стабильности и электрических свойств молибденовой проволоки в высокотемпературной среде. Содержание примесей (например, железа, никеля, кремния, углерода и т. д.) должно поддерживаться на очень низком уровне (0,05% от общего количества примесей) потому что даже следовые примеси могут вызвать коррозию границ зерен или нестабильность дуги при высоких температурах. Например, примеси железа выше 0,01% могут привести к тому, что молибденовые нити будут вступать в реакцию с галогенными газами в галогенных лампах, образуя летучие соединения и сокращая срок службы лампы.

Приготовление молибденового порошка обычно получают путем рафинирования молибденита (MoS_2). Процесс состоит из обжига молибденита с получением триоксида молибдена (MoO_3) с последующим восстановлением водорода (два восстановления в трубчатой печи при 600-1000°C) для получения молибденового порошка высокой чистоты. В процессе восстановления следует контролировать чистоту водорода ($\geq 99,999\%$) и температуру восстановления, чтобы избежать остатков кислорода. Порошок восстановленного молибдена должен быть подвергнут химическому анализу (например, ICP-OES) для подтверждения его чистоты и соответствия стандартам ASTM B386 или GB/T 3462.

Контроль размера частиц является ключевой частью предварительной обработки сырья. Молибденовая проволока для освещения требует молибденового порошка с размером частиц 1-5 мкм и равномерным распределением частиц по размерам (D_{50} составляет около 2-3 мкм). Мелкий и однородный размер частиц помогает увеличить плотность спеченной заготовки и уменьшить пористость и включения. Если размер частиц будет слишком большим (> 10 мкм), это приведет к неравномерному спеканию и повлияет на механическую прочность молибденовой проволоки. Если размер частиц слишком мал (< 1 мкм), это может увеличить усадку при спекании и привести к растрескиванию заготовки. Контроль размера частиц достигается за счет классификации воздушного потока или вибрационного грохочения, а общее оборудование включает классификаторы воздушного потока и ультразвуковые сита. Кроме того, морфология молибденового порошка имеет решающее значение для последующего уплотнения и спекания, а сферический порошок может быть получен по технологии плазменной сфероидизации.

4.1.2 Выбор и соотношение легирующих материалов (лантан, рений и др.).

Выбор и соотношение легированных материалов является основным звеном при подготовке высокоэффективной молибденовой проволоки (такой как молибденовая лантановая проволока и молибденово-рениевая проволока), целью которой является улучшение сопротивления ползучести, пластичности и стойкости к окислению при высокой температуре. К обычно легированным материалам относятся оксид лантана (La_2O_3), рений (Re), оксид иттрия (Y_2O_3) и оксид церия (CeO_2).

Оксид лантана (La_2O_3): наиболее часто используемый легированный материал, обычно 0,3%-1,0% по массе. Оксид лантана диспергирован в молибденовой матрице в виде наноразмерных частиц (размер частиц 50-200 нм), что значительно повышает температуру рекристаллизации (от 1400 °C до 1800 °C) и сопротивление ползучести. Оксид лантана должен быть высокой

чистоты ($\geq 99,99\%$), чтобы избежать влияния примесей (таких как сера и фосфор) на производительность.

Рений (Re): легирован рением (1%-5%) с образованием твердого раствора молибдена-рения, который улучшает пластичность и стойкость к окислению. Порошок рения должен быть приготовлен путем восстановления водорода, а его чистота составляет $\geq 99,98\%$. Высокая стоимость рения (примерно в 50-100 раз выше, чем у молибдена) делает его в основном используемым в высококачественных специальных лампах.

Оксид иттрия (Y_2O_3) и оксид церия (CeO_2): используются в специальных молибденовых проволоках с содержанием 0,5%-2% и 0,3%-1%. Оксид иттрия повышает стойкость дуговой коррозии и подходит для ультрафиолетовых ламп; Оксид церия усиливает устойчивость к высоким температурам и подходит для инфракрасных ламп. Оба требуют высокой чистоты ($\geq 99,95\%$) и мелкодисперсных частиц (<100 нм).

Контроль соотношения: Коэффициент легирования должен точно контролироваться, слишком высокий уровень может привести к размягчению материала или более высоким затратам, слишком низкий уровень не приведет к значительному улучшению характеристик. Например, при содержании оксида лантана 0,8% предел прочности молибденовой проволоки при $1500^\circ C$ может достигать 400 МПа, что на 50% выше, чем у чистой молибденовой проволоки. Соотношение проверяется электронными весами и химическим анализом, а погрешность контролируется на уровне $\pm 0,01\%$.

При выборе легирующего материала также необходимо учитывать химическую совместимость с молибденовой матрицей. Например, оксид лантана при высоких температурах образует стабильную дисперсную фазу с молибденом, в то время как рений улучшает кристаллическую структуру за счет упрочнения раствора. В производстве ключевым фактором является однородное распределение легированных материалов, которое достигается за счет последующих процессов смешивания.

4.1.3 Предварительная обработка сырья (очистка, просеивание, смешивание)

Предварительная обработка сырья включает в себя промывку, просеивание и смешивание для обеспечения стабильного качества молибденового порошка и легированных материалов.

Очистка: Порошок молибдена может адсорбировать влагу, жир или оксиды в процессе производства и должен быть удален путем химической очистки. Обычно используемым чистящим средством является разбавленная азотная кислота (HNO_3 , концентрация 5%-10%) или гидроксид натрия ($NaOH$, концентрация 2%-5%), а температура очистки контролируется на уровне $40-60^\circ C$ в течение 5-10 минут. После очистки его следует промыть деионизированной водой и высушить (вакуумная сушка при $100-150^\circ C$), чтобы избежать остаточных загрязнений.

Просеивание: Удалите частицы слишком большого или меньшего размера с помощью

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

вибрационного сита или воздушного классификатора, чтобы обеспечить распределение частиц по размерам 1-5 мкм. Просеивающее оборудование должно быть изготовлено из нержавеющей стали или керамики, чтобы избежать загрязнения металлом. В процессе грохочения следует контролировать кривую распределения частиц по размерам, а соотношение D90/D10 следует контролировать на уровне 2-3 для обеспечения однородности.

Смешивание: Легированная молибденовая проволока требует равномерного смешивания молибденового порошка с легированными материалами (например, оксидом лантана). Обычно используется влажное смешивание (например, этанол или деионизированная вода в качестве среды) или сухое смешивание (например, V-образный смеситель). Влажное смешивание улучшает однородность за счет ультразвукового диспергирования, обычно в течение 2-4 часов. После смешивания композитный порошок подготавливается методом распылительной сушки (температура на входе 200-250°C) для обеспечения равномерного распределения легированных частиц.

Процесс предварительной обработки должен проводиться в чистой среде (класс чистоты ISO 7) во избежание загрязнения пылью. Современное оборудование для предварительной обработки повышает эффективность и стабильность.

4.2 Выплавка и формовка молибденовой проволоки для освещения

Плавка и формовка являются стержневым звеном подготовки молибденовой проволоки, которая превращает молибденовый порошок в заготовки высокой плотности с помощью порошковой металлургии, спекания, горячего прессования,ковки и прокатки, обеспечивая основу для последующего волочения проволоки.

4.2.1 Процесс порошковой металлургии

Порошковая металлургия является основным методом подготовки молибденовой проволоки к розжигу, а процесс включает в себя прессование порошка, спекание, термическую обработку и формовку. Его преимущество заключается в точном контроле состава материала и микроструктуры, что делает его пригодным для производства высокоэффективной молибденовой проволоки.

Прессование порошка: Предварительно обработанный молибденовый порошок или легированный порошок загружается в форму и прессуется в стержень или пластинчатую заготовку под гидравлическим прессом. Давление прессования составляет 100-200 МПа, а материалом формы является высокопрочная сталь или твердый сплав во избежание загрязнения. В процессе прессования необходимо контролировать плотность наполнения порошка (около 50%-60% теоретической плотности), чтобы обеспечить однородность заготовки.

Предварительное спекание: прессованная заготовка предварительно спекается в водородной атмосферной печи (температура 800-1000°C, выдерживание в течение 2-4 часов) для удаления влаги и летучих примесей и повышения прочности заготовки. Для

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

предварительного спекания требуется контролируемый расход водорода (1-2 м³/ч) и точка росы (<-40°C) во избежание окисления.

Характеристики процесса: Порошковая металлургия может производить легированную молибденовую проволоку (например, молибденовую лантановую проволоку) со сложным составом, а также оптимизировать микроструктуру заготовки за счет точного контроля параметров прессования и спекания. Ведущая мировая компания использует автоматизированное прессовое оборудование для повышения эффективности производства.

4.2.2 Технология вакуумного спекания и высокотемпературного спекания

Спекание является важным этапом преобразования прессованной заготовки в высокоплотную молибденовую заготовку и обычно выполняется в вакууме или атмосфере водорода во избежание окисления.

Вакуумное спекание: В вакуумной печи для спекания (степень вакуума < 10⁻³ Па) температура повышается до 1800-2200 °С и поддерживается в тепле в течение 4-8 часов. Вакуумная среда эффективно удаляет остаточный кислород и снижает пористость. После спекания плотность заготовки может достигать 95%-98% теоретической плотности, а размер зерна контролируется на уровне 10-50 мкм.

Высокотемпературное спекание: Для легированной молибденовой проволоки (например, молибденовой лантановой проволоки) требуется высокотемпературное спекание (2300-2500°C, выдержка в течение 2-4 часов) в атмосфере водорода. Водородная защита предотвращает испарение оксида лантана или рения и обеспечивает стабильность легированных элементов. Печь для спекания должна быть оснащена вольфрамовым или молибденовым нагревательным элементом, чтобы выдерживать высокие температуры.

Ключевые параметры: температура спекания, время выдержки и скорость нагрева должны точно контролироваться. Чрезмерная температура (>2600°C) может привести к чрезмерному росту зерна и снижению механической прочности; Слишком низкие температуры (<1800°C) не позволят достичь желаемой плотности. Современная печь для спекания достигает точности регулирования температуры ±5°C.

Применение проволоки: Высокоплотная спеченная заготовка обеспечивает хорошую основу для механических свойств для последующего волочения проволоки и подходит для производства ультратонкой молибденовой проволоки (диаметр <0,05 мм).

4.2.3 Процессы горячего прессования,ковки и прокатки

Спеченная заготовка далее обрабатывается горячим прессованием, ковкой и прокаткой для формирования бруска или пластины, пригодной для волочения проволоки.

Горячее прессование: В горячем прессе (давление 50-100 МПа, температура 1500-1800°C) спеченная заготовка дополнительно уплотняется для устранения микрошлаковости. Горячее

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

прессование обычно осуществляется в вакууме или водородной атмосфере, а плотность заготовки может достигать более 99%.

Ковка: Заготовки горячего прессования обрабатываются в цилиндрические или квадратные прутки на многонаправленной ковочной машине (температура ковки 1200-1600°C). Ковка измельчает зерна (от 50 мкм до 20-30 мкм) и повышает ударную вязкость материала. Скорость деформации (0,1-0,5 с⁻¹) необходимо контролировать в процессе ковки, чтобы избежать растрескивания.

Прокатка: Кованые прутки раскатываются в прутки или плиты диаметром 5-10 мм на стане горячей прокатки (температура 1000-1400°C). Прокатка требует использования многократных проходов малой деформации (10%-15% на деформацию) для снижения концентрации напряжений. Поверхность прокатанного прутка нуждается в полировке для удаления окислительной окалины.

Характеристики процесса: Процесс горячей обработки улучшает механические свойства и технологичность заготовки, а также обеспечивает высококачественную подложку для последующего волочения проволоки. Китайские предприятия значительно повысили точность размеров прутков, внедрив немецкое оборудование для горячей прокатки.

4.3 Процесс волочения молибденовой проволоки для освещения

Процесс волочения проволоки – это процесс растягивания молибденового стержня в нить, которая является основной технологией подготовки молибденовой проволоки к освещению, которая непосредственно определяет точность размеров, качество поверхности и механические свойства проволоки.

4.3.1 Технология грубого волочения, тонкого волочения и сверхтонкого волочения

Процесс волочения проволоки делится на три этапа: грубое волочение, тонкое волочение и сверхтонкое волочение, при этом размер проволоки постепенно уменьшается в соответствии с целевым диаметром и требованиями применения.

Черновой чертеж: Прокатанные прутки (диаметр 5-10 мм) растягиваются до диаметра 0,5-2 мм. Многопроходная волочильная машина (уменьшение диаметра на 10%-20% за раз) используется для чернового волочения, а материалом формы является твердый сплав или природный алмаз. Скорость волочения составляет 1-5 м/мин, а для улучшения пластичности требуется горячее волочение при температуре 600-800°C.

Тонкая проволока: Вытягивание грубой проволоки до диаметра 0,05-0,5 мм, подходит для ламп накаливания, галогенных и ксеноновых ламп. Тонкая волочение требует использования высокоточных штампов (допуски ± 0,001 мм), а скорость волочения снижается до 0,5-2 м/мин. Многократный отжиг (800-1000°C) требуется в процессе тонкого волочения для устранения деформационного упрочнения.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Сверхтонкое волочение: Растяжение проволоки до диаметра 0,01-0,05 мм, подходит для специальных ламп (например, УФ-ламп). Сверхтонкое волочение проволоки предъявляет чрезвычайно высокие требования к штампу и смазке, требуя поликристаллической алмазной матрицы (точность диаметра отверстия $\pm 0,0005$ мм) и скорости волочения $< 0,5$ м/мин. Прочность на разрыв ультратонкой молибденовой проволоки может достигать более 1500 МПа, но ее легко сломать, а параметры процесса нужно строго контролировать.

Технические проблемы: Выход сверхтонкого волочения низок (около 70%-80%), а из-за поверхностных дефектов или внутренних напряжений в проволоке может произойти разрушение. Современная волочильная машина повышает производительность за счет контроля натяжения в линии и обнаружения дефектов.

4.3.2 Выбор смазочного материала и оптимизация конструкции пресс-формы

Смазочные материалы и конструкция матрицы играют ключевую роль в процессе волочения, что напрямую влияет на качество поверхности проволоки и эффективность волочения.

Выбор смазочного материала: Графитовая эмульсия или смазочные материалы на основе дисульфида молибдена (MoS_2) обычно используются для грубого и тонкого волочения, с высокой температурной стабильностью и низким коэффициентом трения (0,1-0,2). Сверхтонкое волочение требует использования смазочных материалов на масляной основе (например, смазочных материалов на основе полиэтиленгликоля) для уменьшения царапин на поверхности. Смазку необходимо регулярно менять, чтобы предотвратить загрязнение загрязнениями.

Конструкция пресс-формы: Волочильный штамп должен быть изготовлен из материалов высокой твердости (таких как цементированный карбид WC или поликристаллический алмаз PCD). Диаметр отверстия матрицы должен быть точно обработан (допуск $\pm 0,001$ мм), а угол входа ($8-12^\circ$) и длина зоны редуктора должны быть оптимизированы для снижения напряжения при волочении. Поверхность пресс-формы должна быть отполирована ($Ra < 0,05$ мкм) для уменьшения трения и поверхностных дефектов.

Меры по оптимизации: Advanced Tool Design использует анализ методом конечных элементов (FEA) для моделирования распределения напряжений во время волочения проволоки и оптимизации геометрии пресс-формы. Система смазки обеспечивает равномерное покрытие смазки благодаря автоматическому распылительному устройству и повышает стабильность волочения.

4.3.3 Процессы промежуточного и окончательного отжига

Процесс отжига используется для устранения деформационного упрочнения в процессе волочения и восстановления пластичности и ударной вязкости молибденовой проволоки.

Промежуточный отжиг: проводится после каждых 2-3 проходов чернового волочения и тонкого волочения, при температуре $800-1000$ °C, выдерживание в течение 10-30 секунд,

обычно в водородной атмосферной печи. Промежуточный отжиг снижает внутреннее напряжение проволоки на 50%-70% и поддерживает размер зерна на уровне 10-20 мкм.

Окончательный отжиг: Проводится после волочения при температуре 900-1200°C и выдерживается в течение 5-15 секунд, с целью оптимизации механических свойств и качества поверхности проволоки. При окончательном отжиге необходимо контролировать скорость охлаждения (10-50°C/с), чтобы избежать чрезмерного роста зерна.

Технологические характеристики: Печь для отжига должна быть оснащена точной системой контроля температуры (точность $\pm 5^\circ\text{C}$), а расход газообразного водорода контролируется на уровне 0,5-1 м³/ч. Температура отжига легированной молибденовой проволоки (например, молибденовой лантановой проволоки) немного выше (1000-1300°C) для обеспечения стабильности легированных элементов.

Процесс отжига имеет решающее значение для производительности молибденовой проволоки. Слишком высокие температуры отжига могут привести к рекристаллизации, снижению прочности; Слишком низкие температуры не снимут стресс в достаточной мере. Передовое оборудование для отжига может осуществлять отжиг в режиме реального времени и повышать эффективность производства.

4.4 Технология обработки поверхности молибденовой проволоки для освещения

Технология обработки поверхности является ключом к улучшению качества поверхности, коррозионной стойкости и оптических свойств молибденовой проволоки, включая химическую очистку и электролитическую полировку, технологические различия между черной и очищенной молибденовой проволокой, а также технологию нанесения поверхностных покрытий.

4.4.1 Химическая очистка и электрополировка

Химическая очистка и электрополировка используются для удаления оксидов, смазок и остатков волочения с поверхности молибденовой проволоки, улучшения качества поверхности и электрических свойств.

Химическая очистка: Промыть травильным раствором (например, смесью HNO₃-HF, соотношение 3:1, концентрация 5%-10%) при температуре 40-60°C в течение 1-3 минут для удаления поверхностного оксидного слоя (MoO₂ или MoO₃). После стирки промойте деионизированной водой и высушите (100-150°C), чтобы избежать остатков кислоты. Химическая очистка подходит для преобразования черной молибденовой проволоки в очищенную молибденовую проволоку.

Электролитическая полировка: в качестве анода в электролите используется молибденовая проволока (например, раствор NaOH, концентрация 5%-10%), плотность тока составляет 0,5-2 А/см², а время полировки 10-30 секунд. Электролитическая полировка снижает шероховатость поверхности до Ra 0,1-0,5 мкм, улучшает отражательную способность (60%-

70%) и стойкость к дуговой коррозии.

Характеристики процесса: низкая стоимость химической очистки, подходит для крупносерийного производства; Электролитическая полировка имеет более высокую точность и подходит для ламп высокого класса (таких как галогенные лампы, ксеноновые лампы). Очистка сточных вод должна соответствовать экологическим стандартам (таким как директива RoHS), а для обработки кислотных и щелочных отходов используется технология нейтрализации и осаждения.

4.4.2 Технологические различия между черной молибденовой проволокой и очищенной молибденовой проволокой

Существуют значительные различия между черной молибденовой проволокой и очищенной молибденовой проволокой с точки зрения процесса обработки поверхности и сценариев применения.

Черная молибденовая проволока: задерживает слой оксида (MoO_2 или MoO_3) на поверхности с шероховатостью Ra 0,5-2,0 мкм. После волочения отжиг (600-800 °C) на воздухе или в низком вакууме (10-100 Па) непосредственно с образованием оксидного слоя. Черная молибденовая проволока подходит для опорных нитей накаливания или уплотнительных материалов для недорогих ламп накаливания, потому что оксидный слой усиливает адгезию к стеклу, но устойчивость дуги оставляет желать лучшего.

Очищенная молибденовая проволока: оксидный слой удаляется химической очисткой или электролитической полировкой, а поверхность становится блестящей с шероховатостью Ra 0,1-0,5 мкм. Проводимость и стойкость к дуговой коррозии очищенной молибденовой проволоки лучше, чем у черной молибденовой проволоки, и она подходит для электродов галогенных ламп и ксеноновых ламп. На производстве требуются дополнительные этапы очистки и полировки, что увеличивает стоимость примерно на 20%-30%.

Технологические отличия: при производстве черной молибденовой проволоки отсутствует этап обработки поверхности, а процесс прост; Очищаемая молибденовая проволока нуждается в жестком контроле параметров очистки и полировки, чтобы убедиться в отсутствии остаточных дефектов на поверхности. Производство очищенной молибденовой проволоки требует высокоточного полировального оборудования.

4.4.3 Технологии нанесения покрытий на поверхность (например, антиокислительные покрытия)

Технология поверхностного покрытия улучшает характеристики молибденовой проволоки в суровых условиях окружающей среды за счет нанесения на поверхность покрытий, устойчивых к окислению или коррозии (например, оксида алюминия Al_2O_3 , силицида молибдена MoSi_2).

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire for Lighting Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire for Lighting

As one of the core materials in modern lighting technology, molybdenum wire is widely used in various light sources including incandescent lamps, halogen lamps, fluorescent lamps, and gas discharge lamps, due to its high melting point, high strength, excellent corrosion resistance, and superior electrical conductivity. It is an irreplaceable and critical component in the lighting industry.

2. Typical Applications of Molybdenum Wire for Lighting

Residential and Commercial Lighting: Used in incandescent and halogen lamps to provide warm light and long service life.

Automotive Lighting: Functions as electrodes in HID and xenon lamps, offering high brightness and vibration resistance.

Specialty Lighting: Utilized in projection lamps, ultraviolet (UV) lamps, and infrared (IR) lamps to meet high-temperature and high-precision requirements in medical, industrial, and scientific applications.

Emerging Fields: Serves as conductive leads for LED lamps and supports for phosphors in laser lighting, aligning with future lighting technology development.

3. Basic Data of Molybdenum Wire for Lighting (Reference)

Parameter	Pure Mo Wire	Mo-La Wire	Mo-Re Wire
Mo Content	≥99.95%	≥99.0%	52.5%–86.0%
Diameter Range	0.03–3.2 mm	0.03–1.5 mm	0.03–1.0 mm
Tolerance	±0.002 mm	±0.002 mm	±0.002 mm
Tensile Strength (Room Temp)	800–1200 MPa	900–1400 MPa	1000–1500 MPa
Tensile Strength (at 1500°C)	150–300 MPa	200–400 MPa	250–450 MPa
Elongation at Break	10%–25%	12%–20%	15%–25%
Electrical Resistivity (20°C)	$5.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$6.0 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$6.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$
Main Applications	Incandescent, Halogen	Halogen, Auto Headlights	HID, Projection Lamps

4. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Тип покрытия: Покрытие из оксида алюминия (толщина 0,1-1 мкм) может улучшить стойкость к окислению, подходит для инфракрасных ламп; Покрытие из силицида молибдена (толщина 0,5-2 мкм) повышает стойкость к дуговой коррозии и подходит для УФ-ламп. Твердосплавные покрытия, такие как Mo_2C , используются в условиях экстремально высоких температур.

Процесс подготовки: Химическое осаждение из газовой фазы (CVD, температура 800-1200 °C) или физическое осаждение из газовой фазы (PVD, температура 500-800 °C) для нанесения покрытия. CVD подходит для сложных форм молибденовой проволоки, в то время как PVD обеспечивает более высокую однородность покрытия. Покрытие должно быть прочно приклеено к молибденовой матрице, чтобы избежать отслаивания.

Характеристики процесса: Процесс нанесения покрытия должен осуществляться в вакууме или инертной атмосфере, а стоимость оборудования высока (например, цена печи CVD примерно в 2-3 раза выше, чем у обычной печи для спекания). Толщина покрытия измеряется с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), а адгезия проверяется с помощью испытаний на растяжение.

Влияние применения: Молибденовая проволока с покрытием может увеличить температуру окисления до более чем 1500 °C и продлить срок службы ламп на 20%-30%, но стоимость высока, а рыночное применение ограничено высококачественными специальными лампами.

4.5 Процесс легирования молибденовой проволоки для освещения

Процесс легирования является ключевой технологией для улучшения высокотемпературных характеристик и долговечности молибденовой проволоки, которая включает в себя метод легирования, контроль однородности и механизм повышения характеристик лантана, рения и других элементов.

4.5.1 Методы легирования лантаном, рением и другими элементами

Методы легирования в основном включают влажное легирование, сухое легирование и химическое соосаждение.

Влажное легирование: порошок молибдена смешивается с легированным материалом (например, оксидом лантана) в жидкой среде (например, этаноле или деионизированной воде), а однородность обеспечивается ультразвуковым диспергированием (частота 20-40 кГц в течение 1-2 часов). После смешивания порошок готовится методом распылительной сушки (температура на входе 200-250 °C). Мокрое легирование подходит для оксида лантана и оксида иттрия и обладает высокой однородностью, но процесс сушки необходимо контролировать, чтобы избежать агломерации частиц.

Сухое легирование: порошок молибдена сухим образом смешивается с легированными материалами с помощью V-образного или двухконусного смесителя, время смешивания составляет 4-8 часов. Сухое легирование подходит для порошка рения, потому что рений

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

легко окисляется в жидкости. Скорость работы смесителя (20-50 об/мин) необходимо контролировать, чтобы избежать расслоения порошка.

Химическое соосаждение: легированный порошок получают методом химической реакции (например, совместное осаждение нитрата лантана и молибдата аммония), который подходит для многоэлементного легирования (например, лантан + иттрий). Значение pH (6-8) и температура реакции (50-80°C) необходимо контролировать для совместного осаждения, чтобы обеспечить равномерное распределение легированных элементов.

Технологические характеристики: однородность мокрого легирования наилучшая, подходит для крупносерийного производства; Оборудование для сухого легирования простое и подходит для легирования рением; Химическое соосаждение имеет высокую точность, но высокую стоимость, и подходит для специальной молибденовой проволоки.

4.5.2 Контроль однородности легирования

Однородность легирования напрямую влияет на стабильность работы молибденовой проволоки. Контроль однородности включает в себя следующие мероприятия:

Смешивание порошков: С помощью высокоточного смесительного оборудования распределение легированных элементов проверяется с помощью онлайн-отбора проб и рентгенофлуоресцентного анализа (РФА), а отклонение контролируется на уровне $\pm 0,01\%$.

Процесс спекания: температура спекания (1800-2500°C) и время выдержки (2-8 часов) должны быть оптимизированы, чтобы избежать испарения или расслоения легирующих элементов. Например, оксид лантана может частично разлагаться при > 2300 °C, и необходимо контролировать атмосферу спекания (точка росы водорода < -40 °C).

Технология обнаружения: Для обнаружения распределения легированных частиц использовалась сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) в сочетании с энергетической спектроскопией (ЭДС), а расстояние между частицами контролировалось на уровне 0,5-2 мкм. Прочность на разрыв молибденовой проволоки с высокой однородностью может быть увеличена на 20%-30% при высокой температуре.

4.5.3 Механизм легирования для улучшения высокотемпературных характеристик

Легирование улучшает высокотемпературные характеристики молибденовой проволоки за счет следующих механизмов:

Упрочнение границ зерен: оксид лантана, оксид иттрия и т.д. диспергируются в виде наночастиц на границе зерна молибдена, прикреплены к дислокации и препятствуют росту и ползучести зерна. Например, молибденовая проволока, легированная 0,8% оксидом лантана, имеет скорость ползучести на 50% ниже при 1500°C, чем чистая молибденовая проволока.

Упрочнение раствора: рений растворяется в молибденовой решетке с образованием твердого

раствора, что снижает плотность кристаллических дефектов и улучшает пластичность и стойкость к окислению. Удлинение при разрыве молибденовой проволоки, легированной 3% рения, увеличивается до 20% при 1200°C.

Поверхностная стабильность: легированные элементы могут образовывать стабильную поверхностную структуру и препятствовать испарению оксидов. Например, частицы оксида лантана при высоких температурах образуют защитный оксидный слой, снижая скорость образования MoO_3 .

4.6 Контроль качества и оптимизация технологического процесса молибденовой проволоки для освещения

Контроль качества и оптимизация процессов являются ключом к обеспечению стабильной производительности и производительности молибденовой проволоки, включая мониторинг технологических параметров, контроль дефектов и оптимизацию затрат.

4.6.1 Оперативный контроль параметров технологического процесса

Онлайн-мониторинг обеспечивает стабильность производственного процесса за счет обнаружения параметров процесса в режиме реального времени.

Параметры контроля: в том числе температура спекания ($\pm 5^\circ\text{C}$), скорость волочения ($\pm 0,1$ м/мин), температура отжига ($\pm 10^\circ\text{C}$), расход смазочного материала ($\pm 0,1$ л/мин). Запись данных в режиме реального времени с помощью датчиков (например, термопар, лазерных скоростемеров) и систем сбора данных.

Оборудование для мониторинга: Усовершенствованная система мониторинга может осуществлять автоматическое управление всем процессом и оптимизировать параметры с помощью анализа больших данных. Например, колебания напряжения в процессе волочения контролируются при $\pm 0,5$ Н.

Влияние на применение: Онлайн-мониторинг может снизить частоту отказов до менее чем 1%, повысить точность размеров и стабильность производительности молибденовой проволоки, а также удовлетворить потребности высококачественных ламп.

4.6.2 Контроль дефектов (трещины, пористость, включения)

Контроль дефектов является ключом к улучшению качества молибденовой проволоки, и к распространенным дефектам относятся трещины, пористость и включения.

Трещины: вызванные напряжением волочения или неправильным отжигом. Меры контроля включают оптимизацию волочильной матрицы (угол входа $8-12^\circ$), снижение скорости волочения ($< 0,5$ м/мин для ультрафиламента) и промежуточный отжиг ($800-1000^\circ\text{C}$). Обнаружение трещин осуществляется с помощью ультразвуковой дефектоскопии или микроскопического контроля.

Пористость: вызвана недостаточным спеканием или примесями сырья. Меры контроля включают повышение температуры спекания (2200-2500°C), увеличение времени выдержки (4-8 часов) и использование водорода высокой чистоты (точка росы <-40°C). Пористость была обнаружена с помощью рентгеновской компьютерной томографии, а пористость контролировалась на уровне <0,5%.

Включения: вызванные загрязнением или неравномерным легированием сырья. Меры контроля включают строгую очистку сырья (HNO₃ очистка) и использование влажного допинга. Детекцию включений проводили методом энергетической спектроскопии (ЭЦП), а содержание примесей контролировали на уровне <0,01%.

4.6.3 Производительность и оптимизация затрат

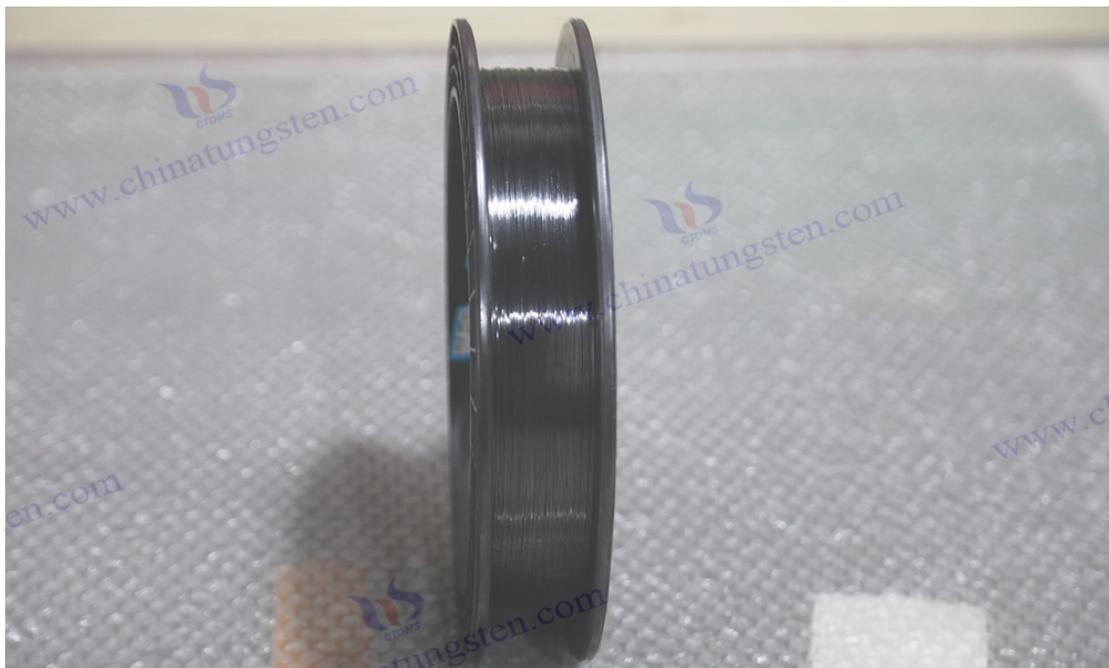
Эффективность производства и оптимизация затрат являются ключом к конкурентоспособности индустрии молибденовой проволоки.

Повышение эффективности: Машина непрерывного волочения проволоки (например, немецкое оборудование Нихоффа) используется для увеличения скорости волочения проволоки до 5-10 м/мин, а коэффициент выхода продукции увеличивается до более чем 90%. Автоматизированное оборудование для спекания и отжига позволяет сократить время производственного цикла до 20%.

Оптимизация затрат: снижение затрат на сырье за счет переработки отходов (например, оборванных проводов) в процессе волочения с коэффициентом утилизации лома до 30%. Оптимизированное использование смазочных материалов (снижение на 10–20 %) и энергопотребление (снижение энергопотребления агломерационной печи на 15 %) еще больше снижает затраты.

Меры по охране окружающей среды: Системы очистки сточных вод (например, оборудование для нейтрализации и осаждения) обеспечивают соответствие нормам RoHS и REACH и снижают затраты на охрану окружающей среды. Экологически чистые производственные технологии, такие как энергосберегающие печи для спекания, могут снизить потребление энергии на 10-15%.

Китайские предприятия имеют преимущества в оптимизации затрат, но им все еще необходимо учиться у европейских и американских компаний в области постоянства процесса производства высококачественной легированной молибденовой проволоки.



молибденовая проволока для освещения от СТИА

Глава 5 Использование молибденовой проволоки для освещения

Молибденовая проволока для освещения играет ключевую роль в различных осветительных приборах благодаря своим превосходным высокотемпературным характеристикам, химической стабильности и механической прочности. В этой главе будут подробно рассмотрены конкретные области применения молибденовой проволоки в лампах накаливания, галогенных лампах, газоразрядных лампах, специальном освещении и других смежных областях, а также проанализированы ее функции, требования к производительности и состояние рынка.

5.1 Лампы накаливания

Лампы накаливания были первыми широко используемыми осветительными приборами, и хотя их рынок постепенно сократился из-за роста светодиодных ламп, они по-прежнему широко используются в декоративном освещении, ретро-лампах и недорогих сценах. Молибденовая нить в основном используется в качестве основы для нити накаливания и проводящего компонента в лампах накаливания, и стала незаменимым материалом благодаря своей высокой температурной стабильности и совместимости с тепловым расширением со стеклом.

5.1.1 Поддержка нити накала и проводящая функция

В лампах накаливания основная функция молибденовой нити накаливания заключается в поддержке вольфрамовой нити накаливания и выполнении функций проводящего электрода, обеспечивая стабильную передачу тока и сохраняя геометрию нити накаливания. Лампы накаливания работают за счет нагревания вольфрамовых нитей электрическим током для получения видимого света, а молибденовые нити должны сохранять структурную

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

стабильность и электрические свойства в этой высокотемпературной среде.

Поддержка нити: Вольфрамовая нить склонна к размягчению или провисанию при высоких температурах, что приводит к неравномерному световому потоку или разрыву нити. Молибденовая нить используется в качестве поддерживающего материала для удержания нити в определенном положении на внутренней стороне колбы, обычно в спиральной или U-образной структуре, намотанной вольфрамовой нитью. Высокая прочность на разрыв молибденовой проволоки гарантирует, что она может выдерживать вес и термическое напряжение нити. Проволока из чистого молибдена диаметром 0,1-0,5 мм является распространенным выбором благодаря своей невысокой стоимости и хорошей технологичности.

Проводящая функция: молибденовая проволока действует как электрод для подачи тока от внешнего источника питания внутрь лампы и соединения с вольфрамовой нитью. Его низкое удельное сопротивление снижает потери тепла в Джоуле и повышает энергоэффективность. Молибденовая проволока также должна быть герметизирована стеклом, чтобы сформировать герметичную конструкцию для предотвращения утечки вакуума или инертного газа. Его коэффициент теплового расширения соответствует коэффициенту боросиликатного стекла, что гарантирует, что площадь уплотнения не треснет во время термоциклирования.

Характеристики процесса: Молибденовая проволока для ламп накаливания в основном представляет собой чистую молибденовую проволоку, а поверхность обычно представляет собой черную молибденовую проволоку, потому что оксидный слой может улучшить адгезию со стеклом. В производстве молибденовая проволока требуется благодаря точному процессу волочения и резки, чтобы обеспечить постоянные допуски по диаметру и длине. Автоматическое сборочное оборудование может точно сочетать молибденовую проволоку с вольфрамовой нитью для повышения эффективности производства.

Сценарий применения: Диапазон мощности ламп накаливания составляет 15-1000 Вт, а молибденовая проволока в основном используется в бытовых лампочках, декоративных светильниках и промышленном освещении. Лампы малой мощности требуют меньшей производительности от молибденовых проводов, в то время как лампы высокой мощности требуют более толстых молибденовых проводов для передачи более высоких токов.

Технология применения молибденовой проволоки в лампах накаливания является зрелой, и на мировом рынке доминируют Китай, Индия и Юго-Восточная Азия, чтобы удовлетворить спрос на недорогое освещение.

5.1.2 Стабильность и долговечность в условиях высоких температур

Лампа накаливания работает в вакууме или инертном газе низкого давления с внутренней температурой более 2500°C, а молибденовая проволока должна сохранять механическую и химическую стабильность при высоких температурах, чтобы продлить срок службы лампы.

Механическая стабильность: Прочность на разрыв и сопротивление ползучести молибденовой проволоки при высоких температурах являются ключевыми факторами. Прочность на разрыв проволоки из чистого молибдена при 1500 °С достаточна для поддержки вольфрамовой нити, но ее скорость ползучести может вызвать деформацию несущей конструкции после длительной эксплуатации. С целью повышения стабильности легированная молибденовая проволока может быть использована для ламп накаливания большой мощности, что снижает скорость ползучести более чем на 50% и подходит для промышленных светильников мощностью более 1000 Вт.

Химическая стабильность: Лампа накаливания находится в вакууме или среде с аргоном/азотом, и молибденовая проволока не должна сталкиваться с проблемами окисления, но она может вступать в реакцию с остаточным кислородом или водяным паром в следовых количествах при высоких температурах с образованием летучего MoO₃. Процесс вакуумирования по лампам или чистота газа должны строго контролироваться на производстве, чтобы защитить молибденовую проволоку. Оксидный слой черной молибденовой проволоки стабилен в вакуумной среде и не оказывает существенного влияния на производительность.

Влияние на срок службы: Стабильность молибденовой проволоки напрямую влияет на срок службы ламп накаливания. Деформация или поломка опорного провода может привести к смещению вольфрамовой нити, что приведет к короткому замыканию или затуханию света. Выход из строя герметично закрытого электрода может привести к попаданию воздуха, что приведет к быстрому окислению нити накала и нить молибдена. Исследования показали, что оптимизация качества поверхности молибденовой проволоки и процесса герметизации может продлить срок службы светильника на 10-20%.

Оптимизация процесса: Промежуточный отжиг в производстве улучшает пластичность молибденовой проволоки и снижает риск охрупчивания при высоких температурах. Очистка поверхности удаляет следовые загрязнения и еще больше повышает химическую стабильность. Китайские компании обеспечивают надежность молибденовой проволоки и срок службы ламп и фонарей за счет автоматического запайки оборудования и технологии онлайн-тестирования.

Хотя рынок молибденовой проволоки для ламп накаливания постепенно сокращается, спрос на нее для декоративного освещения стабилен, и ожидается, что с 2025 по 2030 год он по-прежнему будет составлять 15-20% рынка ламповой молибденовой проволоки.

5.2 Галогенные лампы

Галогенные лампы широко используются в автомобильном освещении, домашнем освещении и профессиональном освещении для повышения световой эффективности и долговечности за счет галогенного цикла. Молибденовая проволока используется в качестве электрода, опорной проволоки и уплотнительного материала в галогенных лампах и подвержена воздействию более высоких температур и химических сред.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire for Lighting Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire for Lighting

As one of the core materials in modern lighting technology, molybdenum wire is widely used in various light sources including incandescent lamps, halogen lamps, fluorescent lamps, and gas discharge lamps, due to its high melting point, high strength, excellent corrosion resistance, and superior electrical conductivity. It is an irreplaceable and critical component in the lighting industry.

2. Typical Applications of Molybdenum Wire for Lighting

Residential and Commercial Lighting: Used in incandescent and halogen lamps to provide warm light and long service life.

Automotive Lighting: Functions as electrodes in HID and xenon lamps, offering high brightness and vibration resistance.

Specialty Lighting: Utilized in projection lamps, ultraviolet (UV) lamps, and infrared (IR) lamps to meet high-temperature and high-precision requirements in medical, industrial, and scientific applications.

Emerging Fields: Serves as conductive leads for LED lamps and supports for phosphors in laser lighting, aligning with future lighting technology development.

3. Basic Data of Molybdenum Wire for Lighting (Reference)

Parameter	Pure Mo Wire	Mo-La Wire	Mo-Re Wire
Mo Content	≥99.95%	≥99.0%	52.5%–86.0%
Diameter Range	0.03–3.2 mm	0.03–1.5 mm	0.03–1.0 mm
Tolerance	±0.002 mm	±0.002 mm	±0.002 mm
Tensile Strength (Room Temp)	800–1200 MPa	900–1400 MPa	1000–1500 MPa
Tensile Strength (at 1500°C)	150–300 MPa	200–400 MPa	250–450 MPa
Elongation at Break	10%–25%	12%–20%	15%–25%
Electrical Resistivity (20°C)	$5.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$6.0 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$6.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$
Main Applications	Incandescent, Halogen	Halogen, Auto Headlights	HID, Projection Lamps

4. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

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

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

5.2.1 Ключевая роль молибденовой проволоки в галогенном цикле

Принцип работы галогенной лампы заключается в добавлении небольшого количества галогенного газа в колбу, который вступает в реакцию с испарившимися атомами вольфрама с образованием летучего галогенида вольфрама, который предотвращает осаждение вольфрама на внутренней стенке лампы и заставляет вольфрам обратно осаждаться на нити накала для продления срока службы нити накаливания. Молибденовая проволока играет ключевую роль в этом цикле.

Функция электрода: Молибденовая проволока действует как электрод для подачи тока в вольфрамовую нить, которая должна выдерживать высокое напряжение и мгновенный высокий ток. Его низкое удельное сопротивление и высокая проводимость обеспечивают эффективную передачу тока и снижают потери энергии. Электрод молибденовой проволоки также должен быть герметизирован к стеклу для поддержания высоковольтной среды внутри колбы.

Функция поддержки: Молибденовая проволока поддерживает вольфрамовую нить, предотвращая ее вибрацию или провисание при высоких температурах и галогенных циклах. Молибденовая лантановая проволока диаметром 0,05-0,3 мм является предпочтительной, поскольку ее прочность на разрыв и сопротивление ползучести при высоких температурах превосходят чистую молибденовую проволоку.

Поддержка галогенного цикла: Молибденовая проволока находится в непосредственном контакте с газообразным галогеном и должна быть устойчива к химической коррозии. Галогенный цикл создает горячую область возле внутренней стенки колбы, а поверхность молибденовой проволоки должна быть стабильной и не образовывать летучих соединений с йодом или бромом. Исследования показали, что молибденовая проволока имеет гораздо лучшую скорость коррозии, чем вольфрамовая в йодной среде.

Характеристики процесса: Молибденовая проволока для галогенных ламп в основном состоит из очищенной молибденовой проволоки, а шероховатость поверхности и коррозионная стойкость улучшаются за счет электролитической полировки. Процесс герметизации должен точно контролироваться на производстве, чтобы обеспечить герметичность и стабильность галогенного газа.

Сценарии применения: галогенные лампы широко используются в автомобильных фарах, бытовых прожекторов и сценическом освещении. Автомобильные галогенные лампы составляют более 50% рынка галогенных ламп, а требования к надежности молибденовой проволоки чрезвычайно высоки.

Стабильность и коррозионная стойкость молибденовой проволоки в галогенном цикле делают ее основным материалом галогенных ламп, а на мировом рынке доминируют Европа и Китай.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

5.2.2 Устойчивость к высоким температурам и химической коррозии

Рабочая температура галогенных ламп намного выше, чем у ламп накаливания, температура нити накаливания может достигать 3000 °С, температура уплотнительной части составляет 600-800 °С, а молибденовая проволока должна обладать отличной термостойкостью и химической коррозионной стойкостью.

Высокая термостойкость: молибденовая проволока должна сохранять механическую прочность и структурную стабильность при температуре 1500-2000 °С. Из-за легирования оксида лантана температура рекристаллизации молибденовой лантановой проволоки увеличивается до 1800 °С, а прочность на разрыв может достигать 400 МПа при 1500 °С, а скорость ползучести ниже, чем у чистой молибденовой проволоки. Напротив, проволока из чистого молибдена подвержена деформации при температуре 1500°С. Превосходные эксплуатационные характеристики молибденовой проволоки из лантана обеспечивают надежность нитевидной опоры и электрода при длительной работе при высоких температурах.

Химическая стойкость: газообразный галоген обладает высокой коррозионной активностью при высоких температурах, а молибденовая проволока должна противостоять его эрозии. Химическая стабильность молибдена позволяет ему образовывать стабильную поверхностную структуру в галогенной среде без образования летучих галогенидов. Очищенная молибденовая проволока имеет меньше поверхностных дефектов, а скорость коррозии примерно на 30% ниже, чем у черной молибденовой проволоки. Легированная молибденовая проволока еще больше повышает коррозионную стойкость за счет образования коррозионностойкого поверхностного слоя.

Оптимизация процесса: коррозионная стойкость повышается за счет пассивации поверхности в процессе производства. Электрополировка снижает шероховатость поверхности до Ra 0,2 мкм, снижая точку зарождения коррозии. В процессе герметизации необходимо контролировать состав стекла, чтобы гарантировать, что он соответствует тепловому расширению молибденовой проволоки.

Эффект жизни: Высокая термостойкость и коррозионная стойкость молибденовой проволоки напрямую определяют срок службы галогенной лампы. Исследования показали, что срок службы галогенных ламп с использованием молибденовой лантановой проволоки может достигать 4000 часов, что на 50% выше, чем у ламп накаливания с чистой молибденовой нитью. Оптимизация качества поверхности и герметичности сварных швов может еще больше продлить срок службы на 10%-20%.

Молибденовая проволока для галогенных ламп составляет более 30% рынка ламповой молибденовой проволоки, и ожидается, что она сохранит стабильный рост за счет спроса на автомобильное освещение с 2025 по 2030 год.

5.3 Газоразрядные лампы

Газоразрядные лампы излучают свет за счет газового разряда, которые обладают высокой световой отдачей и длительным сроком службы, а также широко используются в коммерческом, промышленном и наружном освещении. Молибденовая проволока в основном используется в качестве электрода и уплотнительного материала в газоразрядных лампах, которые должны выдерживать высокое напряжение, высокую температуру дуги и сложную химическую среду.

5.3.1 Молибденовая проволока для газоразрядных ламп высокой интенсивности (КСН).

К газоразрядным лампам высокой интенсивности относятся металлогалогенные лампы, натриевые лампы высокого давления и ксеноновые лампы со световой отдачей 100-150 лм/Вт и они широко используются в дорожном освещении, стадионах и промышленных предприятиях. Молибденовая проволока используется в качестве электрода и уплотнительного материала в ксеноновых лампах и должна соответствовать чрезвычайно высоким требованиям к производительности.

Функция электрода: ксеноновая лампа генерирует свет за счет дугового разряда, и электрод должен выдерживать высокое напряжение и мгновенный высокий ток. Высокая температура плавления и проводимость молибденовой проволоки гарантируют, что она не плавится и не несет значительных потерь при высоких температурах дуги. Молибденово-лантановая проволока или молибденово-ренийевая проволока диаметром 0,03-0,2 мм предпочтительна из-за ее отличной дуговой коррозионной стойкости и высокой термостойкости.

Функция герметизации: Молибденовая проволока герметизирована керамикой или стеклом для поддержания высокого давления внутри колбы. Его коэффициент теплового расширения аналогичен коэффициенту глиноземной керамики и обеспечивает надежную герметизацию через переходные материалы. Уплотнительная часть должна выдерживать циклическое изменение температуры 500-700°C, а герметичность молибденовой проволоки напрямую влияет на срок службы лампы.

Требования к эксплуатационным характеристикам: Электроды ксеноновых ламп должны быть устойчивы к поверхностной коррозии и распылению, вызванному дуговым разрядом. Из-за легирования оксида лантана молибденовая проволока из лантана имеет коэффициент коррозионной стойкости дуги на 20% ниже, чем у чистой молибденовой проволоки. Пластичность молибденово-ренийевой проволоки делает ее пригодной для электродов сложной формы и повышает стабильность дуги.

Характеристики процесса: Молибденовая проволока, используемая для ксеноновых ламп, в основном представляет собой очищенную молибденовую проволоку, которая улучшает качество поверхности и стабильность дуги за счет электролитической полировки. Прецизионное волочение проволоки и высокотемпературный отжиг используются в производстве для обеспечения консистенции проволоки. Процесс герметизации осуществляется в инертной атмосфере, а температурный градиент контролируется, чтобы

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

избежать растрескивания под напряжением.

Сценарии применения: металлогалогенные лампы используются для коммерческого освещения, натриевые лампы высокого давления — для освещения дорог, а ксеноновые лампы — для автомобильных фар и проекционного оборудования. На ксеноновые лампы приходится 70% рынка газоразрядных ламп, а количество молибденовой проволоки, используемой в лампах, составляет 25%.

5.3.2 Материалы электродов люминесцентных ламп

Люминесцентные лампы возбуждают люминофоры для производства света за счет разряда паров ртути со световой отдачей 50-100 лм/Вт и широко используются в офисном, школьном и домашнем освещении. Молибденовая проволока в основном используется в качестве электродного материала в люминесцентных лампах и отвечает за инициирование и поддержание разряда.

Функция электрода: Электроды люминесцентных ламп подвергаются воздействию низковольтного разряда, который иницируется тепловым электронным излучением. В качестве подложки для электродов молибденовая проволока обычно покрывается излучающим материалом для снижения рабочей функции и повышения эффективности выбросов. Проволока из чистого молибдена или проволока из молибденового лантана диаметром 0,05-0,2 мм является распространенным выбором.

Требования к эксплуатационным характеристикам: Молибденовая проволока должна быть устойчива к химической коррозии паров ртути и тепловому удару дуги. Скорость коррозии чистой молибденовой проволоки в парах ртути удовлетворяет потребности люминесцентных ламп. Молибденовая проволока из лантана подходит для мощных люминесцентных ламп благодаря своей более высокой устойчивости к дуговой коррозии.

Характеристики процесса: Молибденовая проволока, используемая в люминесцентных лампах, в основном представляет собой очищенную молибденовую проволоку, а поверхностный оксид удаляется путем химической очистки для обеспечения адгезии эмиссионного покрытия. Формовка электродов требует точной штамповки или намотки для контроля расстояния между электродами и обеспечения стабильности разряда. Процесс запайки должен быть согласован с боросиликатным стеклом, а температура запайки контролируется на уровне 600-700°C.

Сценарии применения: Люминесцентные лампы включают в себя люминесцентные лампы с прямой трубкой, компактные люминесцентные лампы и кольцевые люминесцентные лампы. Компактные люминесцентные лампы составляют 50% рынка люминесцентных ламп и широко используются в домашнем освещении. Хотя светодиодные лампы постепенно вытесняют люминесцентные, люминесцентные лампы по-прежнему пользуются спросом в развивающихся странах, а молибденовая проволока составляет 10% ламповой молибденовой проволоки.

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

Состояние рынка: Рынок люминесцентных ламп сократился из-за экологических норм, но их преимущество в низкой стоимости позволило ему остаться в Азии и Африке. Китай является крупным производителем молибденовой проволоки для люминесцентных ламп, которая экспортируется в Индию и Юго-Восточную Азию.

Молибденовая проволока для люминесцентных ламп имеет низкий технический порог, но качество покрытия электродов и герметизации необходимо строго контролировать, чтобы обеспечить пуско-производительность и долговечность.

5.4 Специальное освещение

Специальное освещение предназначено для определенного спектра, окружающей среды или использования, включая автомобильные фары, проекционные светильники, сценическое освещение, ультрафиолетовые лампы, инфракрасные лампы и медицинское освещение. Молибденовая проволока должна отвечать требованиям высокой надежности, сложной формы и экстремальных условий при специальном освещении.

5.4.1 Фары головного и противотуманного света

Автомобильные фары головного света и противотуманные фары требуют высокой яркости, длительного срока службы и виброустойчивости, а молибденовые провода в основном используются для электродов, опорных проводов и уплотнительных материалов для галогенных ламп и ксеноновых ламп.

Функция: В галогенных фарах молибденовая проволока выполняет роль электрода и опорного провода, выдерживает напряжение 12-24 В и ток 5-10 А, поддерживая вольфрамовую нить. В ксеноновых лампах молибденовая проволока выполняет роль электрода и подвергается воздействию пускового напряжения 20-30 кВ и высокой температуры дуги. Молибденовая проволока также должна быть герметизирована стеклом или керамикой для поддержания высокого давления.

Требования к эксплуатационным характеристикам: Автомобильные лампы должны быть устойчивы к вибрации и тепловому циклированию. Молибденовая проволока из лантана и проволока из молибдена рения подходят для автомобильных ламп благодаря своей отличной прочности и пластичности при высоких температурах. Коррозионная стойкость дуги и чистота поверхности имеют решающее значение для стабильности дуги.

Характеристики процесса: Молибденовая проволока, используемая для автомобильных фонарей, в основном представляет собой очищенную молибденовую проволоку, которая улучшает коррозионную стойкость за счет электролитической полировки. Электроды должны быть точно отлиты с допуском $\pm 0,005$ мм. Процесс герметизации требует использования автоматизированного оборудования для обеспечения герметичности и консистенции.

Сценарий применения: галогенные фары составляют 60% рынка автомобильного освещения,

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

а ксеноновые лампы — 20%, в основном используются в моделях высокого класса. В противотуманных фарах чаще используются галогенные лампы, потому что им необходимо проникать сквозь туман. Мировое автомобильное производство стимулирует спрос на молибденовую проволоку, на которую приходится 20% молибденовой проволоки, используемой в лампах.

Состояние рынка: Европа и Китай являются основными рынками, а китайские компании занимают рынок нижнего ценового сегмента за счет ценовых преимуществ.

5.4.2 Проекционные лампы, сценическое освещение и фотоосвещение

Проекционные лампы, сценическое освещение и фотографические лампы требуют высокой яркости, точного луча и длительного срока службы, а молибденовая проволока в основном используется в качестве электродов и вспомогательных материалов для ксеноновых ламп и галогенных ламп.

Назначение: В проекционных лампах молибденовая проволока выступает в роли электрода ксеноновой лампы, подверженной пусковому напряжению 10-20 кВ и высокой температуре дуги. В сценическом освещении и фотографическом освещении в основном используются галогенные лампы или ксеноновые лампы, а молибденовые проволоки используются в качестве опорных проводов и электродов для поддержки вольфрамовых нитей накаливания или направляющих дуг. Распространенным выбором является молибденово-лантановая проволока или молибден-ренийевая проволока диаметром 0,05-0,2 мм.

Требования к эксплуатационным характеристикам: требуется высокая устойчивость к дуге и термоударам. Молибденово-ренийевая проволока подходит для электродов сложной формы благодаря своей превосходной пластичности. Шероховатость поверхности уменьшает разбрызгивание дуги и повышает эффективность светоотдачи.

Характеристики процесса: Молибденовая проволока для проекционных ламп требует ультратонкого волочения проволоки и пассивации поверхности для повышения коррозионной стойкости. Молибденовую проволоку для сценического освещения необходимо отжигать при высокой температуре, чтобы улучшить сопротивление ползучести. Процесс герметизации должен быть согласован с керамикой из оксида алюминия высокой чистоты, а температура должна контролироваться на уровне 800-1000°C.

Сценарии применения: проекционные лампы используются для образовательных и коммерческих показов, сценическое освещение – для театров и концертов, а фотосветильники – для кино- и телесъемок. Объем мирового рынка профессионального освещения стимулирует спрос на молибденовую проволоку, на которую приходится 10% молибденовой проволоки, используемой в лампах.

Состояние рынка: основными поставщиками являются иностранные компании, а китайские компании конкурентоспособны на рынке низкого ценового сегмента.

5.4.3 Ультрафиолетовые лампы, инфракрасные лампы и медицинское освещение

Ультрафиолетовое, инфракрасное и медицинское освещение специфично для конкретного спектра или применения, а молибденовые нити должны соответствовать высокой химической стабильности и сложным экологическим требованиям.

Ультрафиолетовая лампа: используется для стерилизации, отверждения и очистки воды, молибденовая проволока используется в качестве электрода, чтобы противостоять выбросу паров ртути. Молибденово-иттриевая проволока или молибденово-цериевая проволока предпочтительна из-за ее высокой устойчивости к ртутной коррозии. Поверхностное покрытие может еще больше увеличить срок службы.

Инфракрасная лампа: используется для нагрева и промышленной сушки, молибденовая проволока в качестве опорной проволоки или электрода, выдерживает высокую температуру 2000-2500°C. Молибденовая проволока из лантана подходит для инфракрасных ламп благодаря отличному сопротивлению ползучести. Отделка поверхности повышает эффективность облучения.

Медицинское освещение: например, хирургические и стоматологические лампы, использующие галогенные лампы или ксеноновые лампы, молибденовую проволоку в качестве электродов и опорных проводов, требует высокой надежности и точной светоотдачи. Пластичность молибденово-ренийевой проволоки делает ее пригодной для сложных конструкций электродов.

Технологические характеристики: молибденовая проволока для ультрафиолетовой лампы нуждается в прецизионном волочении проволоки и пассивации поверхности, молибденовая проволока для инфракрасной лампы нуждается в высокотемпературном отжиге, а молибденовая проволока для медицинской лампы нуждается в строгом обнаружении дефектов. Процесс запайки должен быть согласован со специальным стеклом, а температура контролируется на уровне 900-1100°C.

Сценарии применения: УФ-лампы используются в больницах и водоочистных сооружениях, инфракрасные лампы используются для промышленного отопления, а медицинское освещение используется в операционных. Рынок специального освещения имеет высокую добавленную стоимость, а количество молибденовой проволоки составляет 10% от используемой в светильниках молибденовой проволоки.

Состояние рынка: основными поставщиками являются иностранные компании, а китайские компании постепенно поднимаются в области молибденовой проволоки для ультрафиолетовых ламп.

5.5 Другие области применения

Помимо освещения, молибденовая проволока также находит важное применение в вакуумной электронике, электроэрозионной обработке и высокотемпературных печах,

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

демонстрируя свою универсальность.

5.5.1 Вакуумная электроника (трубки, рентгеновские трубки)

Вакуумная электроника использует движение электронов в вакууме для усиления сигнала или получения изображений, а молибденовая проволока используется в качестве электрода, затвора или поддерживающего материала.

Функция: В электронных лампах молибденовая проволока действует как катод или затвор, выдерживая высокие температуры и электронную бомбардировку. В рентгеновской трубке молибденовая проволока выступает в качестве целевой опоры или электрода и подвергается воздействию высоких напряжений и дуг. Распространенным выбором является молибденово-лантановая проволока или молибден-рениевая проволока диаметром 0,05-0,2 мм.

Требования к эксплуатационным характеристикам: требуется высокая проводимость, стойкость к дуговой коррозии и высокая термостойкость. Молибденово-рениевая проволока подходит для сложных конструкций ворот благодаря своей отличной пластичности. Шероховатость поверхности снижает неравномерность эмиссии электронов.

Технологические характеристики: требуется сверхтонкое волокно проволоки и электролитическая полировка, а процесс герметизации подбирается специальным стеклом. Степень вакуума на производстве должна строго контролироваться, чтобы избежать загрязнения примесями.

Сценарии применения: Трубки используются в Hi-Fi и радарх, а рентгеновские трубки используются в медицинской визуализации и промышленном контроле. Объем рынка вакуумных электронных устройств невелик, а количество молибденовой проволоки составляет 5% от общего объема рынка.

5.5.2 Молибденовая проволока для электроэрозионной обработки (электроэрозионной обработки).

Электроэрозионная обработка удаляет материалы через электроэрозионную обработку, а молибденовая проволока используется в качестве электродной проволоки, которая широко используется при изготовлении пресс-форм и прецизионной механической обработке.

Назначение: Молибденовая проволока выполняет роль разрядного электрода в электроэрозионной обработке, диаметром 0,1-0,3 мм, и подвергается воздействию высокочастотного импульсного тока. Высокая температура плавления и прочность на разрыв гарантируют, что электрод не расплавится и не сломается.

Требования к эксплуатационным характеристикам: требуется высокая проводимость и стойкость к дуговой коррозии. Проволока из чистого молибдена является основным выбором из-за своей невысокой стоимости. Шероховатость поверхности улучшает стабильность разгрузки.

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

Характеристики процесса: для обеспечения консистенции проволоки требуется прецизионное волочение проволоки и отжиг. Машина непрерывного волочения проволоки используется в производстве для повышения эффективности.

Сценарий применения: электроэрозионная обработка используется в аэрокосмической промышленности, производстве автомобильных пресс-форм и медицинского оборудования. Молибденовая проволока составляет 30% рынка электродной проволоки для электроэрозионной обработки, а основным производителем является Китай.

5.5.3 Нагревательные элементы и термопары для высокотемпературных печей

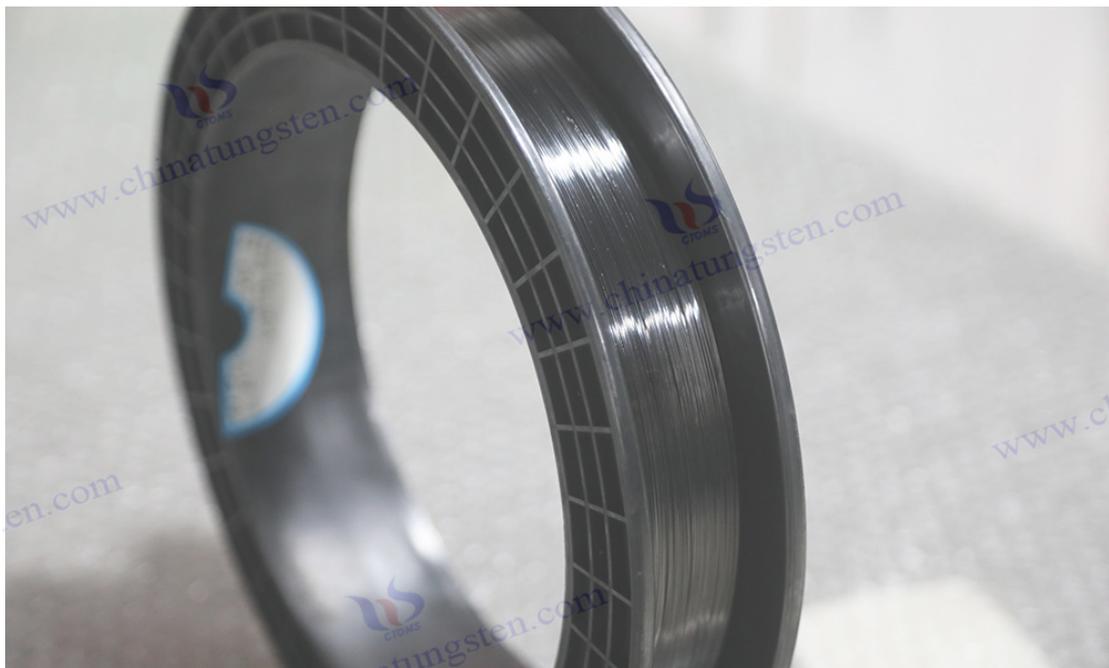
Молибденовая проволока используется в высокотемпературных печах в качестве нагревательных элементов или оболочек термопар, чтобы выдерживать экстремально высокие температуры.

Функция: В качестве нагревательного элемента молибденовая проволока генерирует высокие температуры за счет джоулевого нагрева, что требует высокого удельного сопротивления и высокой термостойкости. В качестве защитной оболочки термопары молибденовая проволока защищает термопару от коррозии. Часто выбирают чистую молибденовую проволоку или молибденовую лантановую проволоку диаметром 0,5-2,0 мм.

Требования к характеристикам: требуется стойкость к окислению и сопротивление ползучести. Скорость ползучести молибденовой лантановой проволоки при 1800°C ниже, чем у чистой молибденовой проволоки, которая подходит для длительной эксплуатации.

Технологические характеристики: требуется грубое волочение проволоки и высокотемпературный отжиг, а поверхность может быть покрыта антиокислительным слоем. Размер зерна необходимо контролировать во время производства.

Сценарии применения: Высокотемпературные печи используются для спекания и термообработки материалов, а термопары – для измерения температуры. Молибденовая проволока используется в этой сфере, составляя 5% от общего объема рынка.



молибденовая проволока для освещения от СТИА

Глава 6 Оборудование для производства молибденовой проволоки для освещения

Производство молибденовой проволоки для освещения – это высокоточный, высокотехнологичный процесс, включающий в себя множество звеньев от обработки сырья до тестирования готовой продукции, с опорой на передовое специальное оборудование. В этой главе будут подробно рассмотрены различные типы оборудования, необходимого для производства молибденовой проволоки для освещения, включая оборудование для обработки сырья, оборудование для плавки и формования, оборудование для волочения проволоки, оборудование для обработки поверхности, а также оборудование для контроля и контроля качества. В каждом разделе будет представлен глубокий анализ функций оборудования, технических параметров, технологических характеристик и роли в производстве молибденовой проволоки для освещения, а также всестороннее техническое объяснение в сочетании с ведущими мировыми поставщиками оборудования и промышленными практиками для удовлетворения спроса светотехнической отрасли на высокопроизводительное оборудование для производства молибденовой проволоки.

6.1 Оборудование для обработки сырья молибденовой проволоки для ламп

Переработка сырья является первым этапом производства молибденовой проволоки для освещения, который включает в себя измельчение молибденового порошка, просеивание, смешивание легированных материалов и очистку сырья, что напрямую влияет на успешность последующего процесса и качество молибденовой проволоки. Ниже приведен подробный анализ с трех аспектов: измельчение и просеивание, легирование, смешивание и очистка оборудования.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire for Lighting Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire for Lighting

As one of the core materials in modern lighting technology, molybdenum wire is widely used in various light sources including incandescent lamps, halogen lamps, fluorescent lamps, and gas discharge lamps, due to its high melting point, high strength, excellent corrosion resistance, and superior electrical conductivity. It is an irreplaceable and critical component in the lighting industry.

2. Typical Applications of Molybdenum Wire for Lighting

Residential and Commercial Lighting: Used in incandescent and halogen lamps to provide warm light and long service life.

Automotive Lighting: Functions as electrodes in HID and xenon lamps, offering high brightness and vibration resistance.

Specialty Lighting: Utilized in projection lamps, ultraviolet (UV) lamps, and infrared (IR) lamps to meet high-temperature and high-precision requirements in medical, industrial, and scientific applications.

Emerging Fields: Serves as conductive leads for LED lamps and supports for phosphors in laser lighting, aligning with future lighting technology development.

3. Basic Data of Molybdenum Wire for Lighting (Reference)

Parameter	Pure Mo Wire	Mo-La Wire	Mo-Re Wire
Mo Content	≥99.95%	≥99.0%	52.5%–86.0%
Diameter Range	0.03–3.2 mm	0.03–1.5 mm	0.03–1.0 mm
Tolerance	±0.002 mm	±0.002 mm	±0.002 mm
Tensile Strength (Room Temp)	800–1200 MPa	900–1400 MPa	1000–1500 MPa
Tensile Strength (at 1500°C)	150–300 MPa	200–400 MPa	250–450 MPa
Elongation at Break	10%–25%	12%–20%	15%–25%
Electrical Resistivity (20°C)	$5.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$6.0 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$6.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$
Main Applications	Incandescent, Halogen	Halogen, Auto Headlights	HID, Projection Lamps

4. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

6.1.1 Оборудование для измельчения и просеивания молибденового порошка

Размер частиц и морфология молибденового порошка имеют решающее значение для плотности спеченной заготовки и производительности молибденовой проволоки, а измельчающее и просеивающее оборудование используется для получения молибденового порошка высокой чистоты с однородным размером частиц (размер частиц 1-5 мкм, чистота $\geq 99,95\%$).

Измельчительное оборудование: Обычно используемое оборудование включает планетарные шаровые мельницы и струйные мельницы. Планетарные шаровые мельницы (например, немецкая серия Fritsch Pulverisette) измельчают крупный молибденовый порошок (размер частиц 10-50 мкм) до 1-5 мкм с временем измельчения 2-6 часов и скоростью 200-400 об/мин с помощью высокоскоростного вращающегося мелющего шара (изготовленного из диоксида циркония или твердого сплава). Струйные мельницы (такие как NETZSCH Jet Mill в Германии) используют высокоскоростной поток воздуха (давление 0,5-1 МПа) для столкновения и дробления, что подходит для производства сферического или почти сферического молибденового порошка для улучшения производительности спекания. Процесс измельчения осуществляется в инертной атмосфере (например, аргоне) или в вакууме, чтобы избежать окисления.

Просеивающее оборудование: вибрационная просеивающая машина и воздушный классификатор используются для контроля гранулометрического состава молибденового порошка. Вибрационные просеивающие машины (например, Retsch AS 200 в Германии) отделяют порошки разного размера частиц через многослойные сита (размер пор 1-10 мкм), а эффективность просеивания может достигать более 95%. Воздушный классификатор (например, Hosokawa Alpine, Германия) может точно контролировать D50 при длине волны 2-3 мкм и соотношении D90/D10 при длине волны 2-3 для обеспечения однородности частиц по размеру за счет разделения воздуха. Оборудование должно быть облицовано нержавеющей сталью или керамикой, чтобы избежать загрязнения металла.

Характеристики процесса: Измельчительное оборудование должно быть оснащено системой охлаждения (водяное охлаждение или замораживание жидким азотом) для контроля температуры помола (<50 °C) для предотвращения окисления или агломерации молибденового порошка. Просеивающее оборудование должно быть оснащено онлайн-анализатором размера частиц (например, лазерным анализатором размера частиц) для мониторинга распределения частиц по размерам в режиме реального времени. Передовое оборудование для измельчения и грохочения может увеличить выход порошка до более чем 98%.

Влияние на применение: Однородный размер частиц молибденового порошка и сферическая морфология могут увеличить плотность спеченной заготовки (95%-98%), уменьшить пористость и включения, а также обеспечить высококачественное сырье для последующего волочения проволоки.

6.1.2 Оборудование для смешивания и гомогенизации допана

Равномерное распределение легированных материалов (например, оксида лантана, рения) является ключом к получению высокоэффективных молибденовых проволок (например, молибденовых, молибден-рениевых проволок), а для обеспечения однородности легированных элементов используется оборудование для смешивания и гомогенизации.

Смесительное оборудование: ультразвуковой диспергатор и планетарный смеситель обычно используются для влажного смешивания. Ультразвуковой диспергатор (такой как Hielscher UP400St в США) диспергирует порошок молибдена и легированные материалы (такие как оксид лантана, размер частиц 50-200 нм) в жидкой среде (например, этаноле) за счет высокочастотной вибрации (20-40 кГц), причем время смешивания составляет 1-2 часа, а отклонение однородности составляет <0,01%. Планетарные смесители (например, EIRICH RV02 из Германии) обеспечивают влажное или сухое смешивание путем многонаправленного смешивания (50-100 об/мин) и подходят для крупносерийного производства. Для сухого смешивания используется V-образный смеситель или двухконусный смеситель (например, продукт Китайского завода по производству смесительного оборудования Nanthong), а время смешивания составляет 4-8 часов, что подходит для легирования порошка рения.

Оборудование для гомогенизации: Распылительная сушилка (например, немецкая Büchi B-290) используется для сушки порошка после влажного смешивания, с температурой на входе 200-250 °C и температурой на выходе 80-100 °C, для приготовления однородного композитного порошка. Распылительная сушилка позволяет избежать агломерации легированных частиц, а расстояние между частицами контролируется с точностью до 0,5-2 мкм.

Технологические характеристики: Смесительное оборудование должно эксплуатироваться в чистой среде (класс ISO 7) для предотвращения загрязнения пылью. Ультразвуковой диспергатор подходит для небольших партий высокоточного легирования, а распылительная сушилка подходит для крупносерийного производства. Оборудование для гомогенизации должно быть оснащено встроенной системой отбора проб для проверки однородности легирования с помощью рентгенофлуоресцентного анализа (РФА).

Применение: Равномерное распределение легирования может повысить прочность на разрыв и сопротивление ползучести молибденовой проволоки при высокой температуре (20%-30% при 1500°C).

6.1.3 Оборудование для очистки сырья

Оборудование для очистки сырья используется для удаления примесей (таких как железо, кремний, кислород) в порошке молибдена для обеспечения того, чтобы чистота достигала более 99,95%.

Печь восстановления водорода: Трубчатые печи восстановления водорода (такие как оборудование завода по производству твердого сплава в Чжучжоу в Китае) используются для

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

восстановления триоксида молибдена (MoO_3) до порошка молибдена высокой чистоты. Температура восстановления составляет 600-1000 °C, чистота водорода $\geq 99,999\%$, точка росы < -40 °C, а время восстановления 4-8 часов. Оборудование должно быть оснащено многоступенчатой зоной нагрева для контроля градиента температуры ($\pm 5^\circ\text{C}$) и предотвращения остатков кислорода.

Оборудование для химической очистки: травильный бак (изготовлен из коррозионностойкого ПТФЭ) используется для удаления оксидов и жира с поверхности молибденового порошка, обычно используется чистящее средство разбавленная азотная кислота (HNO_3 , концентрация 5%-10%) или гидроксид натрия (NaOH , концентрация 2%-5%), температура очистки 40-60 °C, время 5-10 минут. После стирки промойте деионизированной водой и высушите в вакууме (100-150°C).

Технологические характеристики: Печь восстановления водорода должна быть оснащена системой очистки выхлопных газов (например, абсорбционной башней) для обработки непрореагировавшего водорода и оксидного газа, что соответствует требованиям охраны окружающей среды. Оборудование для химической очистки должно быть оснащено системой утилизации отходов (нейтрализация осадка) для обеспечения соответствия Директиве RoHS. Очистное оборудование может снизить содержание примесей до менее чем 0,01%.

Применение: Молибденовый порошок высокой чистоты может уменьшить количество включений в спеченных заготовках и улучшить химическую стабильность и электрические свойства молибденовой проволоки.

6.2 Оборудование для плавки и формовки молибденовой проволоки для ламп

Плавно-формовочное оборудование используется для преобразования молибденового порошка в заготовку высокой плотности, которая служит основой для последующего волочения проволоки, включающей процессы вакуумного спекания, горячего прессования,ковки и прокатки.

6.2.1 Вакуумная печь для спекания и печь для защиты атмосферы

Печь для спекания является стержневым оборудованием для подготовки молибденовых заготовок высокой плотности, которое делится на вакуумную печь для спекания и печь для защиты атмосферы.

Вакуумная печь для спекания: как и серия VIGA компании ALD Vacuum Technologies в Германии, рабочая степень вакуума составляет $< 10^{-3}$ Па, температура 1800-2200 °C, а время выдержки 4-8 часов. В печи используются молибденовые или вольфрамовые нагревательные элементы, которые устойчивы к высоким температурам и не загрязняют заготовки. После спекания плотность заготовки может достигать 95%-98%, а размер зерна – 10-50 мкм. Оборудование должно быть оснащено высокоточной системой контроля температуры ($\pm 5^\circ\text{C}$) и вакуумным насосом (механический насос + диффузионный насос) для обеспечения

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

бескислородной среды.

Печь для защиты атмосферы: например, печь для спекания водорода электрической печи Chenhua в Шанхае, Китай, с рабочей температурой 2300-2500 °С, расходом газообразного водорода 1-2 м³/ч и точкой росы <-40 °С, подходит для спекания легированной молибденовой проволоки (например, молибденовой лантановой проволоки). Для снижения потерь теплового излучения в печи используется молибденовая защита. Атмосферная защита предотвращает испарение легирующих элементов и обеспечивает стабильную работу.

Характеристики процесса: вакуумное спекание подходит для заготовок из чистого молибдена, а печь для защиты от атмосферы подходит для легированной молибденовой проволоки. Оба должны быть оснащены системой очистки выхлопных газов для очистки водорода или летучих оксидов. Усовершенствованная печь для спекания осуществляет автоматическую работу с помощью ПЛК для уменьшения количества ручных ошибок.

Применение заготовок: Заготовки высокой плотности снижают риск образования трещин и обрыва проволоки в процессе волочения проволоки и повышают выход продукции.

6.2.2 Оборудование для горячего прессования и многонаправленнойковки

Оборудование для горячего прессования иковки используется для дальнейшего уплотнения спеченной заготовки, устранения пористости и улучшения механических свойств.

Тепловой пресс: такой как тепловой пресс Sodick в Японии, рабочее давление составляет 50-100 МПа, температура 1500-1800 °С, а степень вакуума составляет <10⁻² Па. В оборудовании используется гидравлическая система, а точность регулирования давления составляет ± 0,1 МПа, что подходит для производства заготовок высокой плотности (>99%). Горячий пресс должен быть оснащен молибденовыми или графитовыми формами, которые устойчивы к высоким температурам и не загрязняют заготовку.

Многонаправленное ковочное оборудование: например, многонаправленная ковочная машина немецкой SMS Group, температураковки составляет 1200-1600°C, а скорость деформации - 0,1-0,5 с⁻¹. Машина измельчает зерна (от 50 мкм до 20-30 мкм) и повышает ударную вязкость заготовки за счет многоосевой совместнойковки. Послековки поверхность заготовки нужно отполировать, чтобы удалить оксидную окалину.

Технологические характеристики: Горячий пресс подходит для малогабаритных заготовок (диаметр < 50 мм), а разнонаправленнаяковка подходит для крупногабаритных прутков (диаметр 50-100 мм). Оборудование должно быть оснащено системой охлаждения (водяным или воздушным) для контроля градиента температуры заготовки (±10°C). Система автоматического управления позволяет повысить эффективность производства на 10-15%.

Влияние на применение: Горячее прессование иковка могут значительно повысить прочность заготовки на разрыв (увеличение на 20% при комнатной температуре) и

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

технологичность, обеспечивая основу для сверхтонкого волочения проволоки.

6.2.3 Прецизионные прокатные станы

Прецизионные прокатные станы используются для переработки кованных заготовок в прутки или плиты диаметром 5-10 мм, пригодные для последующего волочения проволоки.

Тип оборудования: такой как прецизионный прокатный стан Kocks в Германии, рабочая температура составляет 1000-1400°C, а скорость прокатки 1-5 м/с. Станок является многопроходным прокатным (деформация 10%-15% за раз) и оснащен твердосплавными валками (твердость HRC 80-90) для обеспечения точности размеров (допуск \pm 0,01 мм).

Технологические характеристики: Прокатный стан должен быть оснащен системой нагрева (индукционный нагрев или резистивный нагрев) для поддержания высокотемпературной пластичности заготовки. Устройства для полировки поверхностей (например, ленточные полировальные машины) используются для удаления оксидной окалины, а шероховатость контролируется на уровне Ra 1-2 мкм. Автоматизированная линия прокатки позволяет обеспечить непрерывное производство и повысить эффективность на 20%.

Применение: Прецизионная прокатка улучшает стабильность размеров и качество поверхности прутка и снижает износ волочильной матрицы.

6.3 Волоочильное оборудование для молибденовой проволоки для освещения

Оборудование для волочения проволоки является основным оборудованием для растяжения молибденового стержня в нить, которое включает в себя многопроходное волочение проволоки, конструкцию штампа, систему смазки и процесс отжига, который напрямую определяет точность размеров и механические свойства молибденовой проволоки.

6.3.1 Многопроходная волочильная машина и оборудование для непрерывного волочения проволоки

Волоочильная машина используется для растяжения прутка в молибденовую проволоку диаметром 0,01-2 мм, которая делится на многопроходную волочильную машину и машину непрерывного волочения проволоки.

Многопроходный волочильный станок: такой как немецкая серия Niehoff ММН, подходит для чернового волочения (диаметр 0,5-2 мм) и тонкого волочения (0,05-0,5 мм). Оборудование оснащено несколькими комплектами волочильных матриц (5-20 проходов), каждый раз диаметр уменьшается на 10%-20%, а скорость волочения составляет 1-5 м/мин. Волоочильная машина использует серводвигатель для контроля натяжения (\pm 0,5 Н) для обеспечения однородности проволоки.

Оборудование для непрерывного волочения: например, линия непрерывного волочения от Frigerio в Италии, подходящая для ультратонкого волочения (диаметр 0,01-0,05 мм). Станок объединяет многопроходное волочение, отжиг и намотку со скоростью 0,1-0,5 м/мин и

допусками $\pm 0,001$ мм. Непрерывное волочение может повысить эффективность производства до 30%.

Характеристики процесса: Волочильная машина должна быть оснащена системой онлайн-обнаружения натяжения и сигнализации оборванной проволоки для предотвращения обрыва проволоки. Сверхтонкое волочение проволоки необходимо проводить при постоянной температуре окружающей среды (20-25°C) для уменьшения эффекта теплового расширения. Оборудование имеет высокую степень автоматизации, что позволяет сократить ручное вмешательство.

Влияние на применение: Оборудование для непрерывного волочения проволоки подходит для крупносерийного производства с выходом более 90% и подходит для молибденовой проволоки для галогенных ламп и ксеноновых ламп.

6.3.2 Высокоточные пресс-формы и системы смазки

Матрица и система смазки лежат в основе процесса волочения, что напрямую влияет на качество поверхности и точность размеров молибденовой проволоки.

Высокоточная пресс-форма: используется материал из карбида вольфрама (WC) или поликристаллического алмаза (PCD), такой как пресс-форма PCD от Sumitomo в Японии. Допуск отверстия инструмента $\pm 0,001$ мм, угол входа 8-12°, а длина зоны редуктора оптимизирована для снижения напряжения при вытягивании. Точность апертуры матрицы для сверхтонкого волочения составляет $\pm 0,0005$ мм, а шероховатость поверхности — $Ra < 0,05$ мкм.

Система смазки: автоматическое распылительное устройство (например, немецкая система Шумага) используется для распыления графитовой эмульсии или смазки из дисульфида молибдена (MoS_2), с коэффициентом трения 0,1-0,2. Для волочения ультратонкой проволоки используются смазочные материалы на масляной основе (например, полиэтиленгликоль), а расход регулируется на уровне 0,1-0,5 л/мин. Система смазки должна быть оснащена фильтрующим устройством для предотвращения загрязнения примесями.

Характеристики процесса: Форма нуждается в регулярной полировке и замене (после рисования каждые 100-200 км) для обеспечения чистоты поверхности. Система смазки обеспечивает равномерное покрытие с помощью замкнутого контура управления и уменьшает количество царапин на поверхности. Анализ методом конечных элементов (FEA) используется для оптимизации конструкции штампа и повышения стабильности волочения.

Влияние на применение: Высокоточные инструменты и системы смазки могут снизить частоту поверхностных дефектов молибденовой проволоки до менее чем 0,5%, что подходит для высокопроизводительных ламп, таких как автомобильные фары.

6.3.3 Печь отжига и система контроля температуры

Печь для отжига используется для устранения деформационного упрочнения в процессе волочения и восстановления пластичности и ударной вязкости молибденовой проволоки.

Печь для отжига: например, печь непрерывного отжига Коуо в Японии, рабочая температура составляет 800-1300 °С, расход водорода составляет 0,5-1 м³/ч, а точка росы составляет < 40 °С. В печи используются молибденовые или вольфрамовые нагревательные элементы, точность регулирования температуры составляет ± 5°С. Промежуточный отжиг (800-1000°С, выдержка в течение 10-30 секунд) используется для чернового и тонкого волочения, а окончательный отжиг (900-1200°С, выдержка в течение 5-15 секунд) используется для оптимизации производительности.

Система контроля температуры: ПИД-регулятор и термопара (например, термопара типа К, точность ± 1°С) используются для контроля температуры в печи в режиме реального времени. Система охлаждения (водяное или воздушное) контролирует скорость охлаждения (10-50°С/с), чтобы избежать чрезмерного роста зерен.

Характеристики процесса: Печь для отжига должна быть оснащена системой онлайн-мониторинга атмосферы для обеспечения чистоты водорода. Печь непрерывного отжига может осуществлять непрерывное прохождение проволоки, увеличивая эффективность на 20%. Легированная молибденовая проволока (например, молибденовая лантановая проволока) требует более высокой температуры отжига (1000-1300°С) для обеспечения стабильности легированных элементов.

Влияние применения: Точный процесс отжига может увеличить удлинение при разрыве молибденовой проволоки до 15%-20%, снизить риск обрыва проволоки и подходит для производства ультратонкой молибденовой проволоки.

6.4 Оборудование для обработки поверхности молибденовой проволоки для освещения

Оборудование для обработки поверхности используется для улучшения качества поверхности, коррозионной стойкости и оптических свойств молибденовой проволоки, включая электролитическую полировку, химическую очистку и нанесение поверхностных покрытий.

6.4.1 Оборудование для электролитической полировки и химической очистки

Оборудование для электролитической полировки и химической очистки используется для удаления оксидов, жиров и остатков волочения с поверхности молибденовой проволоки для подготовки очищенной молибденовой проволоки.

Оборудование для электролитической полировки: например, немецкая электролитическая полировальная машина KAMMERER, использующая электролит NaOH (концентрация 5%-10%), плотность тока 0,5-2 А/см², время полировки 10-30 секунд. Оборудование оснащено электродами из нержавеющей стали и циркуляционной системой фильтрации для

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

обеспечения чистоты электролита. После полировки шероховатость поверхности молибденовой проволоки достигает Ra 0,1-0,5 мкм, а отражательная способность увеличивается до 60%-70%.

Оборудование для химической очистки: Например, в травильном баке завода по производству оборудования для очистки Наньтун в Китае используется смесь $\text{HNO}_3\text{-HF}$ (соотношение 3:1, концентрация 5%-10%), температура очистки 40-60 °С, время 1-3 минуты. Оборудование оснащено футеровкой из фторопласта и системой очистки отработанных жидкостей (нейтрализация и осаждение), которая отвечает требованиям охраны окружающей среды.

Характеристики процесса: электролитическая полировка подходит для высококачественной молибденовой проволоки (например, лампы ННД), а химическая очистка подходит для крупносерийного производства. Оба оборудования должны быть оснащены системой промывки деионизированной водой и вакуумной сушки (100-150°С) для предотвращения остаточного загрязнения. Система утилизации отходов обеспечивает соответствие директиве RoHS.

Влияние на применение: Оборудование для обработки поверхности может улучшить стойкость дуговой коррозии и проводимость молибденовой проволоки, а также продлить срок службы лампы на 10%-20%.

6.4.2 Оборудование для нанесения поверхностных покрытий

Оборудование для нанесения покрытий на поверхность используется для нанесения антиокислительных или коррозионностойких покрытий (например, оксида алюминия Al_2O_3 , силицида молибдена MoSi_2) для улучшения характеристик молибденовой проволоки в суровых условиях.

Оборудование CVD: например, CVD-печь для прикладных материалов в США, с рабочей температурой 800-1200°С и вакуумом $<10^{-2}$ Па. Применяется для нанесения покрытий из оксида алюминия (толщиной 0,1-1 мкм) или силицида молибдена (0,5-2 мкм) со скоростью осаждения 0,1-0,5 мкм/мин. Оборудование оснащено системой газоконтроля (точный контроль расхода CH_4 , SiH_4 и т.д.).

Оборудование с PVD-покрытием: например, оборудование для магнетронного распыления от Leybold в Германии, с рабочей температурой 500-800°С, подходящее для нанесения покрытий с высокой однородностью. Мишенью для распыления является молибден или алюминий высокой чистоты, а скорость напыления составляет 0,05-0,2 мкм/мин. Оборудование PVD подходит для молибденовых проводов сложной формы.

Технологические характеристики: CVD подходит для толстых покрытий, PVD подходит для тонких покрытий и высокой однородности. Оборудование должно быть оснащено системой контроля толщины в режиме реального времени (например, кварцевым кристаллическим генератором) для обеспечения постоянной толщины покрытия. Адгезия покрытия

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

подтверждена испытанием на растяжение (напряжение откола > 50 МПа).

Влияние на применение: Оборудование для нанесения покрытия может увеличить температуру окисления молибденовой проволоки до более чем 1500 °С, что подходит для инфракрасных ламп и ультрафиолетовых ламп, и продлевает срок службы на 20%-30%.

6.4.3 Оборудование для проверки качества поверхности

Оборудование для контроля качества поверхности используется для оценки шероховатости, дефектов и качества покрытия молибденовой проволоки.

Измеритель шероховатости поверхности: такой как Mitutoyo SJ-410 в Японии, диапазон измерения составляет Ra 0,01-10 мкм, а точность составляет ± 0,001 мкм. Он используется для проверки качества поверхности очищенной молибденовой проволоки (Ra 0,1-0,5 мкм) и черной молибденовой проволоки (Ra 0,5-2,0 мкм).

Лазерный микроскоп: такой как немецкий Zeiss LSM 800, увеличение 100-1000x, для обнаружения царапин на поверхности, трещин и остатков оксидов. Аппарат оснащен функцией 3D-визуализации для анализа рельефа поверхности.

Характеристики процесса: Испытательное оборудование должно быть интегрировано с системой онлайн-мониторинга производственной линии, чтобы получать данные о качестве поверхности в режиме реального времени. Автоматизированный контроль может повысить эффективность контроля до 50%.

Влияние на применение: Контроль качества поверхности может снизить частоту отказов до менее чем 0,5%, обеспечивая стабильность дуги и оптические характеристики молибденовой проволоки в светильниках.

6.5 Оборудование для испытаний и контроля качества молибденовой проволоки для освещения

Оборудование для инспекции и контроля качества используется для оценки микроструктуры, механических свойств, химического состава и адаптируемости молибденовой проволоки к окружающей среде, чтобы убедиться, что продукт соответствует стандартам светотехнической промышленности.

6.5.1 Микроскопы (оптические, электронные) и анализаторы поверхности

Микроскопы и поверхностные анализаторы используются для анализа микроструктуры и поверхностных свойств молибденовых проволок.

Оптический микроскоп: такой как японский Olympus BX53M, увеличение 50-1000x, для наблюдения за размером зерен (10-50 мкм) и поверхностными дефектами (такими как трещины, пористость). Оборудование оснащено программным обеспечением для анализа изображений для автоматического подсчета распределения зерна.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ): например, FEI Quanta 650 в США, оснащенный энергетической спектроскопией (EDS), для анализа распределения легированных элементов (например, расстояние между частицами оксида лантана 0,5-2 мкм) и топографии поверхностной коррозии. Обладая разрешением до 1 нм, он подходит для контроля ультратонкой молибденовой проволоки.

Анализаторы поверхности: такие как XPS (рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия) от Bruker, Германия, для анализа состава поверхностных оксидов (например, MoO₂, MoO₃) и химического состава покрытий. Глубина обнаружения составляет 1-10 нм, а точность – ± 0,1 эВ.

Технологические характеристики: Микроскоп должен быть оснащен оборудованием для подготовки образцов (например, машиной для ионной полировки) для обеспечения гладкой поверхности. SEM и XPS работают в сверхвысоком вакууме (<10⁻⁶ Па) с временем обнаружения 10-30 минут.

Практическое применение: Микроскопический анализ позволяет оптимизировать структуру зерна и равномерность легирования молибденовой проволоки, улучшить высокотемпературные характеристики и коррозионную стойкость.

6.5.2 Машины для испытания на растяжение и твердомеры

Машины для испытания на растяжение и твердомеры используются для оценки механических свойств молибденовой проволоки.

Машина для испытаний на растяжение: такая как американская Instron 5982, диапазон испытаний составляет 0-100 кН, а точность составляет ±0,5%. Используется для измерения прочности на разрыв (800-1000 МПа при комнатной температуре, 200-400 МПа при 1500°C) и удлинения при разрыве (10%-25%) молибденовой проволоки. Устройство может моделировать высокотемпературные среды (до 2000°C).

Твердомер: например, немецкий твердомер Zwick Vickers, диапазон испытаний составляет HV 0,1-1000, а точность составляет ± 0,5 HV. Он используется для оценки поверхностной твердости молибденовой проволоки (прибл. HV 200-250 для чистой молибденовой проволоки и HV 250-300 для легированной молибденовой проволоки).

Технологические характеристики: испытание на растяжение должно быть оснащено высокотемпературными приспособлениями и устройствами защиты атмосферы (водород или аргон), а испытание на твердость должно контролировать глубину вдавливания (<0,01 мм). Автоматизированные системы тестирования могут повысить эффективность до 20%.

Применение: Испытание на механические свойства обеспечивает механическую стабильность и усталостную стойкость молибденовой проволоки в светильнике и соответствует требованиям галогенных и ксеноновых ламп.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire for Lighting Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire for Lighting

As one of the core materials in modern lighting technology, molybdenum wire is widely used in various light sources including incandescent lamps, halogen lamps, fluorescent lamps, and gas discharge lamps, due to its high melting point, high strength, excellent corrosion resistance, and superior electrical conductivity. It is an irreplaceable and critical component in the lighting industry.

2. Typical Applications of Molybdenum Wire for Lighting

Residential and Commercial Lighting: Used in incandescent and halogen lamps to provide warm light and long service life.

Automotive Lighting: Functions as electrodes in HID and xenon lamps, offering high brightness and vibration resistance.

Specialty Lighting: Utilized in projection lamps, ultraviolet (UV) lamps, and infrared (IR) lamps to meet high-temperature and high-precision requirements in medical, industrial, and scientific applications.

Emerging Fields: Serves as conductive leads for LED lamps and supports for phosphors in laser lighting, aligning with future lighting technology development.

3. Basic Data of Molybdenum Wire for Lighting (Reference)

Parameter	Pure Mo Wire	Mo-La Wire	Mo-Re Wire
Mo Content	≥99.95%	≥99.0%	52.5%–86.0%
Diameter Range	0.03–3.2 mm	0.03–1.5 mm	0.03–1.0 mm
Tolerance	±0.002 mm	±0.002 mm	±0.002 mm
Tensile Strength (Room Temp)	800–1200 MPa	900–1400 MPa	1000–1500 MPa
Tensile Strength (at 1500°C)	150–300 MPa	200–400 MPa	250–450 MPa
Elongation at Break	10%–25%	12%–20%	15%–25%
Electrical Resistivity (20°C)	$5.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$6.0 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$6.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$
Main Applications	Incandescent, Halogen	Halogen, Auto Headlights	HID, Projection Lamps

4. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

6.5.3 Анализаторы состава (ICP, XRF)

Анализаторы состава используются для определения химического состава и содержания примесей в молибденовой проволоке.

ICP-OES: такие как PerkinElmer Optima 8300 в США, с пределом обнаружения 0,01 ppm, для анализа примесей (например, Fe, Si, C) в молибденовом порошке и молибденовой проволоке. Время обнаружения составляет 5-10 минут, а точность $\pm 0,1\%$.

XRF: например, немецкий Bruker S8 Tiger, дальность обнаружения 0,01%-100%, используемый для анализа содержания и распределения легирующих элементов (например, La, Re). Оборудование оснащено функцией неразрушающего контроля и подходит для онлайн-мониторинга.

Характеристики процесса: ИСП должен быть растворен в образце (раствор $\text{HNO}_3\text{-HF}$), РФА – это неразрушающее детектирование, подходящее для анализа готового продукта. Оба требуют регулярной калибровки для обеспечения точности обнаружения.

Влияние применения: Анализ состава позволяет контролировать содержание примесей ниже 0,01% для обеспечения химической стабильности и электрических характеристик молибденовой проволоки.

6.5.4 Испытательное оборудование для моделирования условий окружающей среды

Испытательное оборудование для моделирования условий окружающей среды используется для оценки характеристик молибденовой проволоки в высокотемпературных, коррозионных и дуговых средах.

Высокотемпературная испытательная печь: например, высокотемпературная печь Nabertherm в Германии, диапазон температур составляет 500-2000 °C, а точность составляет ± 5 °C, что используется для моделирования рабочей среды ламп и фонарей (например, галогенных ламп 1500 °C). В печь можно вводить аргон или галоген для проверки стойкости к окислению и коррозионной стойкости.

Оборудование для испытания дуги: такое как симулятор дуги Шанхайского электрооптического научно-исследовательского института в Китае, с напряжением 1-30 кВ и током 0,1-100 А, который используется для проверки стабильности дуги молибденовой проволоки. Устройство оснащено высокоскоростной камерой, которая фиксирует сдвиги дуги ($<0,1$ мм).

Характеристики процесса: Оборудование для моделирования окружающей среды должно быть оснащено системой сбора данных для регистрации температуры, тока и скорости коррозии. Цикл испытаний составляет 1-100 часов, имитируя срок службы лампы (1000-20 000 часов).

Воздействие на применение: Испытания на воздействие окружающей среды проверяют надежность и долговечность молибденовой проволоки в реальных условиях, гарантируя соблюдение требований к ксеноновым и ультрафиолетовым лампам.



молибденовая проволока для освещения от СТИА

Глава 7D Оместика и зарубежные стандарты на молибденовую проволоку для освещения

Являясь важным материалом в светотехнической промышленности, молибденовая проволока для освещения оказывает непосредственное влияние на надежность и срок службы ламп и фонарей. Для обеспечения стабильности продукции и конкурентоспособности на рынке в стране и за рубежом был сформулирован ряд стандартов, охватывающих химический состав, точность размеров, механические свойства и требования к защите окружающей среды молибденовой проволоки. В этой главе будут подробно рассмотрены национальные стандарты, международные стандарты, сравнение и преобразование стандартов, экологических норм и отраслевых и корпоративных спецификаций молибденовой проволоки для освещения, а также представлен всесторонний технический анализ для удовлетворения потребностей светотехнической промышленности в стандартизированном производстве в сочетании с конкретным стандартным содержанием и сценариями применения.

7.1 Отечественные стандарты на молибденовую проволоку для освещения

Являясь крупнейшим в мире производителем молибденовой проволоки, Китай сформулировал ряд национальных стандартов (GB/T) для регулирования производства и применения молибденовой проволоки. Эти стандарты подробно определяют сырье, обработку, свойства и методы испытаний молибденовой проволоки для освещения и подходят для таких применений, как лампы накаливания, галогенные лампы и газоразрядные лампы.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

7.1.1 GB/T 3462-2017

GB/T 3462-2017 – это национальный стандарт Китая на молибденовые прутки и молибденовые плиты, который подходит для производства молибденовой проволоки для освещения и служит основой для последующего процесса волочения проволоки.

Сфера применения: В стандарте оговаривается химический состав, размеры, качество поверхности и механические свойства молибденовых прутков и молибденовых плит, которые пригодны для спекания,ковки и прокатки заготовок, а также косвенно используются в производстве молибденовой проволоки для освещения.

Технические требования:

Химический состав: содержание молибдена $\geq 99,95\%$, общих примесей (таких как Fe, Ni, Si) $< 0,05\%$. Легированный молибден (например, молибден-лантан) требует содержания явного легирующего элемента (например, La_2O_3 0,3%-1,0%).

Точность размеров: диаметр молибденового прутка 5-100 мм, допуск $\pm 0,05$ мм; Толщина плиты составляет 2-50 мм, а допуск $\pm 0,1$ мм.

Качество поверхности: без трещин, оксидной окалины, шероховатость $Ra \leq 3,2$ мкм.

Механические свойства: прочность на разрыв (комнатная температура) ≥ 600 МПа, относительное удлинение при разрыве $\geq 10\%$.

Метод обнаружения: химический состав анализируется с помощью ICP-OES (спектроскопия индуктивно связанной плазмы), размеры определяются микрометром или лазерным дальномером, а качество поверхности проверяется визуальным и микроскопическим контролем.

Применение воздействия: заготовки из молибденовой проволоки для ламп отличаются высокой плотностью (теоретическая плотность $\geq 95\%$) и однородной микроструктурой, GB/T 3462-2017 обеспечивает качество заготовки и снижает риск обрыва в процессе волочения проволоки.

7.1.2 GB/T 4191-2015

GB/T 4191-2015 напрямую относится к характеристикам и техническим характеристикам молибденовой проволоки и подходит для производства и приемки молибденовой проволоки для освещения.

Сфера применения: Стандарт распространяется на чистую молибденовую проволоку и легированную молибденовую проволоку (такую как молибденовая лантановая проволока, молибденово-ренийевая проволока) для ламп накаливания, галогенных ламп, газоразрядных ламп и т.д.

Технические требования:

Химический состав: Содержание молибдена в чистой молибденовой проволоке $\geq 99,95\%$, и легированная молибденовая проволока должна быть помечена соотношением легированных

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

элементов (например, Re 1%-5%).

Размерный ряд: диаметр 0,01-2 мм, допуски $\pm 0,002$ мм (ультратонкий) до $\pm 0,01$ мм (крупный).
Качество поверхности: Шероховатость $Ra \leq 0,5$ мкм очищенной молибденовой проволоки, $Ra \leq 2,0$ мкм черной молибденовой проволоки, без трещин, царапин и остатков оксидов.

Механические свойства: прочность на разрыв при комнатной температуре 800-1200 МПа, прочность на разрыв при высоких температурах (1500°C) ≥ 200 МПа, относительное удлинение при разрыве 10%-20%.

Метод испытаний: точность размеров измеряется лазерным штангенциркулем, механические свойства измеряются машиной для испытаний на разрыв, а качество поверхности определяется оптическим микроскопом и измерителем шероховатости.

Влияние на применение: Стандарт обеспечивает механическую стабильность и электрические свойства молибденовой проволоки в высокотемпературных средах и подходит для высоких требований галогенных и ксеноновых ламп.

7.1.3 GB/T 4182-2000

GB/T 4182-2000 предусматривает метод анализа химического состава молибдена и молибденовых сплавов для обеспечения чистоты сырья и готовых изделий молибденовой проволоки для освещения.

Область применения: Стандарт применим для определения химического состава молибденового порошка, молибденового прутка и молибденовой проволоки, включая основные элементы (Mo) и примеси (Fe, Ni, Si, C, O и т.д.).

Аналитические методы:

ICP-OES: Обнаружение примесных элементов, чувствительность 0,01 ppm, подходит для анализа Fe, Ni, Si и других микроэлементов.

Газоанализатор: определяет содержание O, N, H, точность $\pm 0,001\%$, чтобы гарантировать, что содержание кислорода $< 0,005\%$.

Гравиметрический метод и метод титрования: определение содержания молибдена с погрешностью $\pm 0,01\%$.

Технологические характеристики: Анализ проводился в чистой среде (класс ISO 7), а пробоподготовка была кислоторастворимой (смесь $\text{HNO}_3\text{-HF}$). Стандарт требует регулярной калибровки прибора для обеспечения последовательного тестирования.

Применение: Высокоточный химический анализ обеспечивает химическую стабильность молибденовой проволоки и предотвращает коррозию границ зерен, вызванную примесями при высоких температурах. Стандарт широко используется китайскими испытательными институтами цветных металлов.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

7.1.4 Другие соответствующие национальные стандарты

Помимо вышеуказанных стандартов, в Китае сформулированы и другие стандарты, связанные с молибденовой проволокой для освещения:

GB/T 3461-2017 «Порошок молибдена»: определяет размер частиц (1-5 мкм), чистоту ($\geq 99,95\%$) и морфологию (сферическая или почти сферическая) порошка молибдена, который подходит для сырья для молибденовой проволоки для ламп.

GB/T 17792-1999 "Методы контроля молибдена и изделий из молибденовых сплавов": методы контроля, охватывающие размер, качество поверхности и механические свойства, такие как ультразвуковая дефектоскопия и рентгеновский контроль.

YS/T 357-2006 "Полоска легированного молибдена": Для заготовок из легированного молибдена (например, молибдена, лантана, молибдена-рений) указано содержание и равномерность распределения легированных элементов.

Влияние на применение: Эти стандарты дополняют требования GB/T 3462 и GB/T 4191 для формирования полной системы стандартизации для обеспечения контроля качества молибденовой проволоки от сырья до готовой продукции. Китайские компании могут повысить конкурентоспособность своей продукции, следуя сочетанию нескольких стандартов.

7.2 Международные стандарты на молибденовую проволоку для освещения

Международные стандарты обеспечивают единую спецификацию для глобальной торговли и применения молибденовой проволоки для освещения, охватывающую Соединенные Штаты (ASTM), Международную организацию по стандартизации (ISO) и Японию (JIS) и другие стандартные системы.

7.2.1 Стандартные технические условия ASTM B387 на прутки, стержни и проволоку из молибдена и молибденовых сплавов

ASTM B387 – это стандарт для молибдена и молибденовых сплавов, разработанный Американским обществом по испытаниям и материалам, который широко используется на международном рынке.

Сфера применения: Стандарт охватывает стержни, полосы и провода из молибдена и молибденовых сплавов (чистый молибден, молибден-лантан, молибден-рений) для освещения, электроники и высокотемпературных применений.

Технические требования:

Химический состав: содержание молибдена $\geq 99,95\%$, примеси (такие как $Fe < 0,01\%$, $Si < 0,005\%$) строго контролируются. Для легирующего молибдена следует указывать коэффициент легирования (например, La_2O_3 0,3%-1,0%).

Точность размеров: диаметр проволоки 0,01-3 мм, допуск $\pm 0,002$ мм (ультратонкая проволока) до $\pm 0,015$ мм (толстая проволока).

Механические свойства: прочность на разрыв при комнатной температуре 700-1100 МПа,

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

прочность на разрыв при высоких температурах (1500°C) \geq 150 МПа, относительное удлинение при разрыве 10%-25%.

Качество поверхности: Ra \leq 0,4 мкм для очищенной молибденовой проволоки, Ra \leq 2,5 мкм для черной молибденовой проволоки, без трещин и оксидов.

Метод обнаружения: Химический состав принимает ICP-MS, размер проверяется лазерным штангенциркулем, механические свойства проверяются машиной для испытаний на растяжение, а качество поверхности проверяется SEM.

Применение стандарта ASTM B387 широко используется европейскими и американскими производителями светильников для обеспечения надежности молибденовой проволоки в галогенных и ксеноновых лампах. Высокие требования стандартов способствовали технологическому перевооружению китайских предприятий.

7.2.2 ISO 22447 Изделия из молибдена и молибденовых сплавов

ISO 22447 – это стандарт для молибденовой продукции, разработанный Международной организацией по стандартизации и применимый к мировому рынку.

Сфера применения: Стандарт распространяется на молибденовую проволоку, круг, пластины и другие изделия, и подходит для светотехнической, аэрокосмической и электронной промышленности.

Технические требования:

Химический состав: содержание молибдена \geq 99,95%, общее содержание примесей $<$ 0,05%. Легированный молибден (например, молибден-рений) требует четких элементарных пропорций и однородности.

Размерный ряд: диаметр проволоки 0,02-2 мм, допуск \pm 0,003 мм.

Механические свойства: прочность на разрыв при комнатной температуре 750-1200 МПа, прочность на разрыв при высоких температурах (1500°C) \geq 200 МПа.

Качество поверхности: отсутствие трещин и пористости на поверхности, шероховатость Ra \leq 0,5 мкм (очищенная молибденовая проволока).

Метод обнаружения: химический состав представляет собой XRF или ICP-OES, размер определяется лазерным штангенциркулем, а качество поверхности определяется оптическим микроскопом.

Практическое применение: ISO 22447 применим на международном уровне и подходит для компаний, ориентированных на экспорт, гарантируя, что продукция соответствует требованиям мирового рынка светильников.

7.2.3 JIS H 4461

JIS H 4461 — это японский промышленный стандарт по эксплуатационным характеристикам и производственным требованиям молибденовой проволоки и молибденового стержня.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Сфера применения: Стандарт распространяется на чистую молибденовую проволоку и легированную молибденовую проволоку для освещения и электронных приборов.

Технические требования:

Химический состав: содержание молибдена $\geq 99,95\%$, примесей (таких как Fe, Ni) $< 0,01\%$.

Точность размеров: диаметр проволоки 0,01-2 мм, допуск $\pm 0,002$ мм (ультратонкий).

Механические свойства: прочность на разрыв при комнатной температуре 800-1100 МПа, относительное удлинение при разрыве 10%-20%.

Качество поверхности: Ra $\leq 0,4$ мкм для очищенной молибденовой проволоки и 2,0 мкм для \leq черного молибдена.

Метод обнаружения: Химический состав принимает ICP-OES, размер проходит через лазерный штангенциркуль, а механические свойства проходят через машину для испытаний на растяжение.

Применение: JIS H 4461 широко используется японскими компаниями по производству осветительных приборов, особенно для молибденовой проволоки для проекционных ламп и автомобильных фар. Японский рынок предъявляет строгие требования к точности размеров и качеству поверхности, что привело к развитию технологии высокоточного волочения проволоки.

7.2.4 Другие стандарты ISO

В других международных стандартах также есть руководство по производству и применению молибденовой проволоки для освещения:

DIN EN 10204 (Германия): Определяет требования к сертификации качества и инспекционной документации молибденовой проволоки, которые распространяются на продукцию, экспортируемую на европейский рынок.

IEC 60357: Стандарт Международной электротехнической комиссии по эксплуатационным требованиям к молибденовой проволоке для галогенных и газоразрядных ламп, таким как стойкость к дуговой коррозии и надежность уплотнения.

ASTM E3171: Методы химического анализа молибдена и молибденовых сплавов, дополняющие требования стандарта ASTM B387.

Влияние на применение: Эти стандарты обеспечивают техническую основу для международной торговли молибденовой проволокой и способствуют стандартизации глобальной цепочки поставок. Европейские и японские компании обеспечивают конкурентоспособность своей продукции на рынках высокого класса, таких как автомобильное освещение, следуя сочетанию нескольких стандартов.

7.3 Сравнение и преобразование между различными стандартами молибденовой проволоки для освещения

Разница между отечественными и зарубежными стандартами может повлиять на

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

международную торговлю и применение молибденовой проволоки для освещения, а взаимное признание должно быть достигнуто путем сравнения и преобразования технических параметров.

7.3.1 Сравнение технических параметров отечественных и зарубежных стандартов (чистота, размерность, эксплуатационные характеристики)

Ниже приведено сравнение параметров по основным критериям:

Чистота:

GB/T 4191-2015: Содержание молибдена $\geq 99,95\%$, примесей $< 0,05\%$.

ASTM B387: Содержание молибдена $\geq 99,95\%$, Fe $< 0,01\%$, Si $< 0,005\%$.

ISO 22447: Содержание молибдена $\geq 99,95\%$, примесей $< 0,05\%$.

JIS H 4461: Содержание молибдена $\geq 99,95\%$, Fe, Ni $< 0,01\%$.

Анализ: Требования к чистоте отечественных и зарубежных стандартов согласуются, а ASTM B387 более строг в отношении конкретных примесей (таких как Fe, Si), что подходит для ламп высокого класса (таких как ксеноновые лампы).

Точность размеров:

GB/T 4191-2015: диаметр 0,01-2 мм, допуск $\pm 0,002$ мм (ультратонкий).

ASTM B387: диаметр 0,01-3 мм, допуски $\pm 0,002$ мм (сверхтонкие) до $\pm 0,015$ мм (крупные).

ISO 22447: диаметр 0,02-2 мм, допуск $\pm 0,003$ мм.

JIS H 4461: диаметр 0,01-2 мм, допуск $\pm 0,002$ мм.

Анализ: JIS H 4461 и GB/T 4191 имеют более высокие требования к допускам для ультратонких нитей накаливания и подходят для проекционных ламп и УФ-ламп. ASTM B387 охватывает более широкий диапазон диаметров для широкого спектра применений.

Механические свойства:

GB/T 4191-2015: Прочность на разрыв при комнатной температуре 800-1200 МПа, высокой температуре (1500°C) ≥ 200 МПа.

ASTM B387: 700-1100 МПа при комнатной температуре, ≥ 150 МПа при высокой температуре.

ISO 22447: 750-1200 МПа при комнатной температуре, ≥ 200 МПа при высокой температуре.

JIS H 4461: 800-1100 МПа при комнатной температуре.

Анализ: GB/T 4191 и ISO 22447 требуют более высоких температурных характеристик и подходят для галогенных и ксеноновых ламп. ASTM B387 имеет более широкий диапазон производительности и подходит для различных сценариев применения.

7.3.2 Стандартные методы преобразования (например, допуски, единицы механических свойств)

Преобразование допусков: отечественные и зарубежные стандарты указываются в миллиметрах (мм), а допуски напрямую сравниваются. Допуск на крупную проволоку ASTM B387 ($\pm 0,015$ мм) может соответствовать требованиям GB/T 4191 к $\pm 0,01$ мм при использовании высокоточного волочильного оборудования.

Преобразование механических свойств в единицы: прочность на разрыв выражается в МПа,

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

а относительное удлинение при разрыве выражается в процентах (%), что соответствует отечественным и зарубежным стандартам. Высокая температура испытания (1500 °C) должна быть откалибрована равномерно, чтобы обеспечить согласованность условий испытания.

Преобразование химического состава: Содержание примесей выражается в процентах по массе (%) или ppm, 1% = 10 000 ppm. GB/T 4182 и ASTM E3171 совместимы друг с другом, и результаты ICP-OES можно напрямую сравнивать.

Характеристики процесса: При преобразовании необходимо учитывать точность испытательного оборудования (например, точность лазерного штангенциркуля $\pm 0,001$ мм) и калибровочные стандарты. Небольшие различия между стандартами могут быть компенсированы оптимизацией процесса, например, регулировкой температуры отжига.

7.3.3 Анализ взаимного признания международных стандартов и национальных стандартов

Взаимное признание: GB/T 4191-2015 хорошо совместим с ASTM B387 и ISO 22447 с точки зрения чистоты, размера и механических свойств, а взаимное признание составляет более 90%. JIS H 4461 требует дополнительных процессов полировки из-за более строгих требований к качеству поверхности.

Отличия: ASTM B387 предъявляет более строгие требования к конкретным примесям (например, Fe) и требует сырья высокой чистоты. GB/T 4191 предъявляет более высокие требования к сверхтонким допускам проволоки и требует прецизионного волочильного оборудования. Универсальность ISO 22447 делает его более приемлемым для мирового рынка.

Влияние на применение: Китайские компании могут расширить экспортные рынки (например, в Европу, США), соблюдая стандарты GB/T и ASTM/ISO. Анализ взаимного признания помогает оптимизировать производственные процессы и снизить затраты на сертификацию. Компании Plansee в Австрии и H.C. Starck в США прошли мультистандартную сертификацию, чтобы гарантировать универсальное применение своей продукции.

7.4 Охрана окружающей среды и нормы RoHS в отношении молибденовой проволоки для освещения

Экологические нормы выдвинули строгие требования к производству и применению молибденовой проволоки для освещения, предполагающие контроль тяжелых металлов, выбросы выхлопных газов и «зеленое» производство.

7.4.1 Требования Директивы RoHS (ЕС 2011/65/ЕС) к материалам молибденовой проволоки

Директива RoHS (Ограничение опасных веществ) ограничивает использование опасных веществ в электрических и электронных изделиях и распространяется на молибденовую проволоку для освещения, ламп и фонарей.

Требования: Молибденовую проволоку нужно ограничить 6 вредными веществами, такими как свинец (Pb), ртуть (Hg), кадмий (Cd) и т.д., с содержанием < 0,1% (1000 ppm) и кадмия <

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

0,01% (100 ppm). Примеси молибденовой проволоки (такие как Fe, Ni) должны быть испытаны ICP-OES на соответствие требованиям RoHS.

Воздействие на процесс: во избежание загрязнения сырья в производстве необходимо использовать молибденовый порошок высокой чистоты ($\geq 99,95\%$). Химическая очистка ($\text{HNO}_3\text{-HF}$) и электрополировка (NaOH) требуют системы утилизации отходов для предотвращения выбросов тяжелых металлов.

Влияние на применение: Молибденовая проволока, соответствующая RoHS, может выйти на рынок ЕС и широко используется в галогенных лампах и лампах высокой интенсивности. Европейские производители светильников, такие как Philips, требуют от поставщиков предоставления сертификата соответствия RoHS.

7.4.2 Китайские RoHS (Меры по контролю загрязнения от электронных информационных продуктов)

China RoHS (GB/T 26572-2011) — это китайский стандарт по ограничению использования опасных веществ в электронных продуктах, аналогичный RoHS EC.

Требования: Ограничение 6 видов опасных веществ, а требования к содержанию соответствуют RoHS EC. Молибденовая проволока должна предоставить отчет об испытаниях на опасное вещество с указанием срока использования в охране окружающей среды (обычно 10-50 лет).

Влияние на процесс: производителям необходимо создать систему управления опасными веществами и использовать XRF или ICP-MS для обнаружения сырья и готовой продукции. Отходящие газы и отработанные жидкости должны быть обработаны абсорбционной башней, нейтрализацией и осадками в соответствии с GB 25466-2010 (стандарт выбросов).

Влияние на применение: Китайский RoHS способствовал «зеленой» трансформации отечественного рынка освещения, и поставщики молибденовой проволоки должны предоставлять сертификаты соответствия для удовлетворения потребностей бытового и коммерческого освещения.

7.4.3 Соблюдение экологических норм при производстве молибденовой проволоки (тяжелые металлы, выбросы выхлопных газов)

Контроль тяжелых металлов: Чистящий раствор ($\text{HNO}_3\text{-HF}$) и электролит (NaOH) при производстве молибденовой проволоки могут содержать следовые количества тяжелых металлов (таких как Cr и Ni), которые необходимо осаждать и фильтровать, а концентрация в расходе составляет $< 0,1$ мг/л, в соответствии с GB 8978-1996 (стандарт сброса сточных вод).

Выбросы выхлопных газов: В процессе восстановления водорода и спекания образуется небольшое количество оксидного газа (например, MoO_3), который должен быть обработан абсорбционной башней хвостовых газов (абсорбция щелочи), а концентрация выбросов составляет $< 0,05$ мг/м³, что соответствует GB 16297-1996 (стандарт выбросов загрязняющих веществ в атмосферу).

Технологические особенности: предприятия должны быть оснащены природоохранным оборудованием (таким как система обезвреживания отработанных жидкостей, башня очистки

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

хвостовых газов), что увеличивает себестоимость продукции примерно на 5-10%. Автоматизированные системы мониторинга обнаруживают параметры выбросов в режиме реального времени для обеспечения соответствия.

Воздействие на применение: Соблюдение экологических норм является необходимым условием для выхода на европейский и американский рынки, и китайские компании (такие как Jinduicheng Molybdenum) повысили свою международную конкурентоспособность за счет экологической сертификации.

7.4.4 Требования к экологически чистому производству и устойчивому развитию

Экологичное производство: Внедрение оборудования с низким энергопотреблением (например, энергосберегающих печей для спекания, которые снижают потребление энергии на 15%) и технологии переработки отходов (уровень переработки до 30%) для снижения потребления ресурсов. Распылительная сушка и оборудование для непрерывного волочения проволоки могут повысить эффективность производства на 10%-20%.

Устойчивое развитие: Содействие преобразованию производства молибденовой проволоки в экономику замкнутого цикла, например, переработка волочильной проволоки и отходов спекания, а также снижение затрат на сырье. Сертификаты «зеленого» производства, такие как ISO 14001, становятся конкурентным преимуществом.

Влияние на применение: Экологичное производство отвечает требованиям устойчивого развития клиентов по всему миру и стимулирует рост доли китайских компаний на рынках высокого класса, таких как автомобильное освещение.

7.5 Отраслевые стандарты и технические условия предприятия на молибденовую проволоку для освещения

В дополнение к национальным стандартам и международным стандартам, отраслевые ассоциации и внутренние спецификации предприятий дополнительно уточняют требования к молибденовой проволоке для освещения.

7.5.1 Стандарты Китайской ассоциации производителей цветных металлов

Китайская ассоциация промышленности цветных металлов (стандарт YS/T) сформулировала ряд стандартов на молибден и молибденовые сплавы, дополняющие национальные стандарты.

YS/T 357-2006 "Полоска легированного молибдена": определяет химический состав, размер и свойства легированного молибдена (например, молибдена, лантана, молибдена-рения), а также отклонение однородности легированных элементов <0,01%.

YS/T 659-2007 "Метод испытания молибденовой проволоки": определяет анализ XRF и метод высокотемпературных механических испытаний легированной молибденовой проволоки, который подходит для ламповой молибденовой проволоки.

Влияние на применение: Стандарт YS/T уделяет больше внимания характеристикам легированных молибденовых проводов и подходит для галогенных ламп и ксеноновых ламп. Китайские компании (например, Xiamen Honglu) оптимизируют процесс допинга с помощью стандарта YS/T для увеличения добавленной стоимости своей продукции.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire for Lighting Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire for Lighting

As one of the core materials in modern lighting technology, molybdenum wire is widely used in various light sources including incandescent lamps, halogen lamps, fluorescent lamps, and gas discharge lamps, due to its high melting point, high strength, excellent corrosion resistance, and superior electrical conductivity. It is an irreplaceable and critical component in the lighting industry.

2. Typical Applications of Molybdenum Wire for Lighting

Residential and Commercial Lighting: Used in incandescent and halogen lamps to provide warm light and long service life.

Automotive Lighting: Functions as electrodes in HID and xenon lamps, offering high brightness and vibration resistance.

Specialty Lighting: Utilized in projection lamps, ultraviolet (UV) lamps, and infrared (IR) lamps to meet high-temperature and high-precision requirements in medical, industrial, and scientific applications.

Emerging Fields: Serves as conductive leads for LED lamps and supports for phosphors in laser lighting, aligning with future lighting technology development.

3. Basic Data of Molybdenum Wire for Lighting (Reference)

Parameter	Pure Mo Wire	Mo-La Wire	Mo-Re Wire
Mo Content	≥99.95%	≥99.0%	52.5%–86.0%
Diameter Range	0.03–3.2 mm	0.03–1.5 mm	0.03–1.0 mm
Tolerance	±0.002 mm	±0.002 mm	±0.002 mm
Tensile Strength (Room Temp)	800–1200 MPa	900–1400 MPa	1000–1500 MPa
Tensile Strength (at 1500°C)	150–300 MPa	200–400 MPa	250–450 MPa
Elongation at Break	10%–25%	12%–20%	15%–25%
Electrical Resistivity (20°C)	$5.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$6.0 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$6.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$
Main Applications	Incandescent, Halogen	Halogen, Auto Headlights	HID, Projection Lamps

4. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

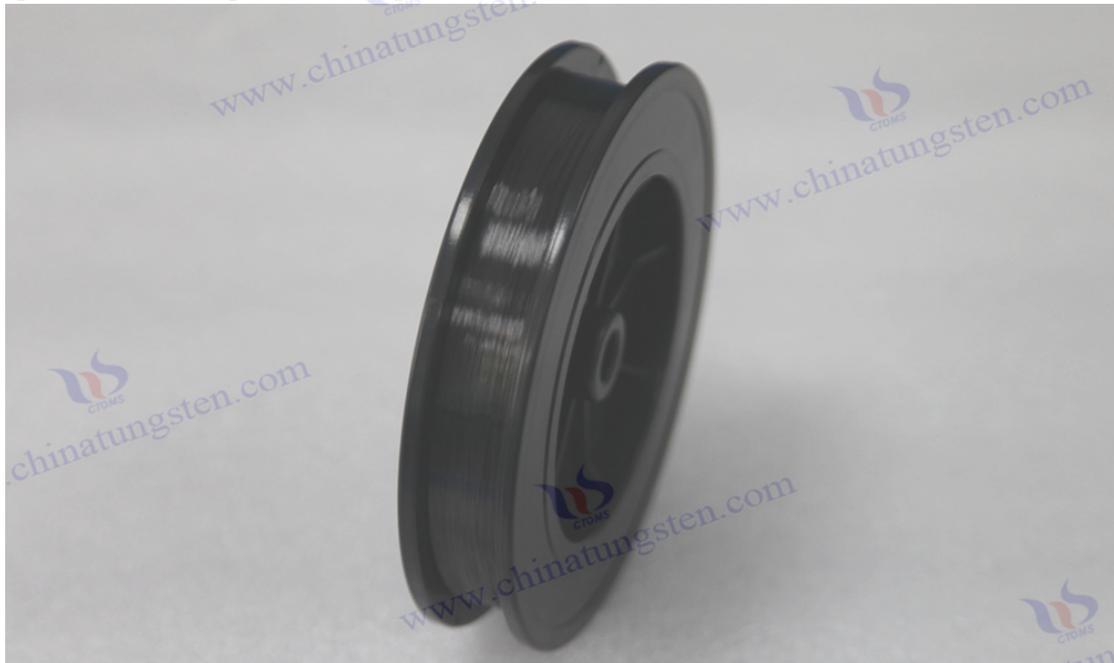
7.5.2 Внутренние спецификации для светотехнической промышленности

Внутренние спецификации для светотехнической промышленности разрабатываются производителями светильников и отраслевыми ассоциациями для конкретных применений молибденовой проволоки.

Спецификация Китайского общества светотехники: Требуется коррозионная стойкость (скорость коррозии $< 0,005$ мг/см²·ч) и устойчивость к дуге (смещение $< 0,1$ мм) молибденовой проволоки в галогенных лампах.

Спецификация Международного института освещения (СIE) определяет высокотемпературную прочность на разрыв ($1500^{\circ}\text{C} \geq 200$ МПа) и шероховатость поверхности ($Ra \leq 0,4$ мкм) для молибденовой проволоки для ламп высокой интенсивности.

Последствия применения: Отраслевые нормы привели к индивидуальному производству молибденовой проволоки в определенных светильниках, таких как молибденовая лантановая проволока для автомобильных фар, которые должны соответствовать более строгим требованиям к виброустойчивости.



молибденовая проволока для освещения от CTIA

1

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Глава 8 Технология обнаружения молибденовой проволоки для освещения

Характеристики молибденовой проволоки для освещения напрямую влияют на надежность, срок службы и эффективность осветительных приборов, а технология ее обнаружения охватывает множество аспектов, таких как химический состав, физические свойства, качество поверхности, высокие температурные характеристики, электрические свойства и неразрушающий контроль. В этой главе будут подробно рассмотрены различные технологии обнаружения молибденовой проволоки для освещения, проанализированы методы обнаружения, функции оборудования, точность и сценарии применения, а также предоставлено всестороннее техническое объяснение, основанное на передовых технологических практиках в стране и за рубежом.

8.1 Испытание химического состава молибденовой проволоки для освещения

Испытание химического состава используется для определения чистоты ($\geq 99,95\%$) и содержания примесей (таких как Fe, Ni, Si) в молибденовой проволоке, для обеспечения ее химической стабильности и электрических свойств, а также для удовлетворения требований высокотемпературной среды ламп.

8.1.1 Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА)

Рентгенофлуоресцентный анализ — это быстрый, неразрушающий метод обнаружения компонентов готовой молибденовой проволоки и сырья.

Принцип: рентгеновские лучи возбуждают атомы на поверхности образца для получения характерной флуоресценции, а содержание элементов определяется спектральным анализом.

Функция устройства: Дальность обнаружения устройства составляет 0,01%-100%, чувствительность - 0,01 ppm, а время анализа - 1-5 минут.

Технические параметры:

Обнаруженные элементы: молибден (Mo), железо (Fe), никель (Ni), кремний (Si) и др.
Отклонение содержания легированных элементов (таких как La, Re) составляет $< 0,01\%$.

Требования к образцу: Поверхность молибденовой проволоки должна быть чистой, без окислов, а диаметр образца должен составлять 0,01-2 мм.

Точность: $\pm 0,01\%$ (элементы высокой концентрации), $\pm 0,001\%$ (микроэлементы).

Характеристики процесса: РФА является неразрушающим контролем и подходит для контроля качества в режиме реального времени. Оборудование необходимо регулярно калибровать, а для обеспечения точности используются стандартные образцы. Испытательная среда должна быть чистой (класс ISO 7) во избежание помех от пыли.

Применение: РФА широко используется для определения однородности легирования молибденовой проволоки для галогенных ламп и ксеноновых ламп, обеспечивая коррозионную стойкость и высокую термостойкость, с эффективностью обнаружения 98%.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

8.1.2 Оптико-эмиссионная спектроскопия с индуктивно связанной плазмой (ICP-OES)

ICP-OES является высокочувствительным методом компонентного анализа, который подходит для обнаружения следовых примесей.

Принцип: После того, как образец растворен, он возбуждается плазмой, и для анализа содержания элемента излучается определенный спектр длин волн.

Функция оборудования: Предел обнаружения прибора составляет 0,001 ppm, а время анализа – 5-10 минут.

Технические параметры:

Элементы детектирования: Fe, Ni, Si, C, O и др., дальность обнаружения 0,001-1000 ppm.

Подготовка образца: Молибденовую проволоку следует растворить в смеси HNO₃-HF (соотношение 3:1) при температуре 60-80°C.

Точность: ±0,1% (основной элемент), ± 0,001% (микроэлемент).

Характеристики процесса: ICP-OES должен быть разрушен образцом, пригодным для лабораторного анализа. Оборудование оснащено газообразным аргонном высокой чистоты (≥99,999%) для предотвращения фоновых помех. Отработанная жидкость должна быть обезврежена и очищена в соответствии со стандартами сброса сточных вод.

Применение ICP-OES используется для определения содержания кислорода (<0,005%) в молибденовой проволоке, обеспечения химической стабильности ламп накаливания и галогенных ламп, а также контроля содержания примесей ниже 0,01%.

8.1.3 Атомно-абсорбционная спектроскопия (AAS)

AAS используется для обнаружения следовых количеств определенных элементов и подходит для примесей тяжелых металлов в молибденовой проволоке.

Принцип: После распыления образец поглощает определенную длину волны света, а интенсивность поглощения анализируется для определения содержания элемента.

Особенности устройства: Устройство имеет предел обнаружения 0,01 ppm и время анализа 3-5 минут на элемент.

Технические параметры:

Элементы детектирования: Fe, Ni, Cr, Pb и др., дальность обнаружения 0,01-100 ppm.

Подготовка образца: Молибденовая проволока, растворенная в смеси HNO₃-HCl (соотношение 1:3) при 50-70 °C.

Точность: ±0,05% (микроэлементы).

Характеристики процесса: AAS представляет собой одноэлементный анализ, подходящий для целенаправленного обнаружения (например, Pb<0,01% в соответствии с RoHS). Оборудование необходимо оснастить лампой с полым катодом и регулярно заменять. Утилизация отработанных жидкостей должна соответствовать требованиям охраны окружающей среды.

Применение в ААС: ААС используется для проверки соответствия молибденовой проволоки RoHS и соответствия требованиям рынка ЕС к молибденовой проволоке для автомобильных фар.

8.2 Испытание физических свойств молибденовой проволоки для освещения

При испытании физических свойств оцениваются размер, плотность и механические свойства молибденовой проволоки, чтобы убедиться, что она соответствует механическим и структурным требованиям светильника.

8.2.1 Измерение размеров и допусков (лазерная микрометрия, микроскопия)

Размер и допуск напрямую влияют на электрические свойства и надежность герметизации молибденовой проволоки.

Лазерный микрометр:

Функция прибора: диапазон измерения 0,005-2 мм, точность $\pm 0,0001$ мм.

Принцип: Лазерный луч сканирует молибденовую проволоку и вычисляет диаметр и округлость.

Технические параметры: контроль допуска $\pm 0,002$ мм (ультратонкая проволока), скорость измерения 1-10 м/мин, подходит для внутритрубной диагностики.

Технологические характеристики: Оборудование нуждается в постоянной температуре окружающей среды (20-25 °C), чтобы избежать ошибки теплового расширения. Встроенный микрометр может быть интегрирован с волочильной машиной для контроля постоянства диаметра в режиме реального времени.

Оптическая микроскопия:

Назначение прибора: увеличение 50-1000 раз, точность $\pm 0,001$ мм.

Принцип: диаметр молибденовой проволоки и топография поверхности измеряются с помощью визуализации с высоким разрешением.

Технические параметры: подходит для контроля в автономном режиме, диапазон измерения 0,01-2 мм, проверка допусков $\pm 0,002$ мм.

Технологические характеристики: резка и полировка образца, время обнаружения 5-10 минут. Программное обеспечение для анализа изображений автоматически рассчитывает распределение размеров.

Применение: Лазерный микрометр используется для контроля производства ультратонкой молибденовой проволоки (диаметр 0,01-0,05 мм), а микроскоп используется для исследований и разработок и анализа отказов, в соответствии со стандартами GB/T 4191-2015 и ASTM B387.

8.2.2 Измерение плотности и анализ качества

При тесте на плотность оценивается плотность молибденовой проволоки, которая косвенно отражает пористость и содержание включений.

Принцип работы оборудования: Исходя из принципа Архимеда, точность $\pm 0,001$ г/см³.

Технические параметры:

Теоретическая плотность молибдена составляет 10,22 г/см³, а измеренная плотность — $\geq 9,8$ г/см³ (плотность $\geq 96\%$).

Требования к образцу: длина молибденовой проволоки 10-50 мм, чистая поверхность.

Характеристики процесса: Для испытания требуется этанол высокой чистоты (плотность 0,789 г/см³) в качестве погружного раствора, а температура контролируется на уровне 20°C.

Оборудование нуждается в регулярной калибровке и использовании стандартных образцов.

Применение: Молибденовая проволока высокой плотности снижает устьичное испарение при высоких температурах, продлевает срок службы галогенных ламп и ксеноновых ламп.

8.2.3 Испытание на прочность, пластичность и твердость при растяжении

Испытание механических свойств оценивает механическую стабильность молибденовой проволоки при комнатной температуре и высокой температуре.

Испытание на растяжение:

Функция прибора: диапазон испытаний 0-100 кН, точность $\pm 0,5\%$.

Технические параметры: прочность на разрыв при комнатной температуре 800-1200 МПа, относительное удлинение при разрыве 10%-25%; Высокотемпературный (1500°C) предел прочности на разрыв 200-400 МПа.

Характеристики процесса: Высокотемпературное испытание должно быть оснащено печью для защиты от водорода (точка росы $<-40^\circ\text{C}$), а материалом приспособления является молибден или вольфрам. Скорость испытания 0,1-1 мм/мин.

Определение твердости:

Функция прибора: испытательный диапазон HV 0,1-1000, точность $\pm 0,5$ HV.

Технические параметры: проволока чисто молибденовая ХВ 200-250, легированная молибденовая проволока ХВ 250-300, глубина вдавливания $< 0,01$ мм.

Технологические характеристики: поверхность образца нуждается в полировке, испытательное усилие составляет 0,1-0,5 Н, а время выдержки – 10 секунд.

Воздействие на применение: Испытание на растяжение и твердость обеспечивает механическую надежность молибденовой нити в опорах и электродах, удовлетворяя требованиям автомобильных фар и проекционных ламп.

8.3 Контроль качества поверхности молибденовой проволоки для освещения

Качество поверхности влияет на стабильность дуги, коррозионную стойкость и оптические свойства молибденовой проволоки, которые необходимо оценивать с помощью микроскопии и методов обнаружения дефектов.

8.3.1 Оптический микроскоп и определение шероховатости поверхности

Оптические микроскопы и измерители шероховатости используются для оценки рельефа

поверхности и отделки молибденовых проводов.

Оптическая микроскопия:

Назначение прибора: увеличение 50-1000x, точность $\pm 0,001$ мкм.

Технические параметры: Обнаружение царапин, трещин и окислов с разрешением изображения 0,1 мкм.

Характеристики процесса: требуется полировка образца, оснащенная программным обеспечением для анализа изображений, а количество дефектов подсчитывается автоматически. Время обнаружения составляет 5-10 минут.

Измеритель шероховатости поверхности:

Назначение прибора: диапазон измерения Ra 0,01-10 мкм, точность $\pm 0,001$ мкм.

Технические параметры: очищенная молибденовая проволока Ra 0,1-0,5 мкм, черная молибденовая проволока Ra 0,5-2,0 мкм.

Технологические характеристики: измерение контактным щупом, радиус щупа 2 мкм, скорость перемещения 0,5 мм/с. Внутритрубная инспекция может быть интегрирована с полировальным оборудованием.

Применение: Высококачественная молибденовая проволока (Ra<0,4 мкм) улучшает стабильность дуги, подходит для ксеноновых ламп и УФ-ламп, а также контролирует частоту поверхностных дефектов < 0,5%.

8.3.2 Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) и энергетическая спектроскопия (ЭДС)

SEM и EDS используются для анализа топографии и состава поверхности с высоким разрешением.

БЕЗ:

Особенности устройства: разрешение 1 нм, увеличение 100-100 000x.

Технические параметры: обнаружение поверхностных трещин, пористости и коррозионного рельефа, подходит для ультратонкой молибденовой проволоки (диаметр 0,01-0,05 мм).

Характеристики процесса: Требуется вакуумная среда ($<10^{-6}$ Па), а на поверхности образца требуется проводящее покрытие (например, углеродная пленка). Возможности 3D-визуализации для анализа рельефа поверхности.

ЭЦП:

Технические параметры: обнаружение распределения легированных элементов (например, La, Re), точность $\pm 0,1\%$, глубина обнаружения 1-2 мкм.

Технологические характеристики: интегрированы с SEM для анализа однородности легирования (расстояние между частицами 0,5-2 мкм). Время обнаружения 10-20 минут.

Применение: SEM-EDS используется для анализа отказов (например, коррозии электродов галогенной лампы), для оптимизации процесса легирования и улучшения характеристик

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

молибденовой лантановой проволоки.

8.3.3 Технология обнаружения поверхностных дефектов

Технология обнаружения поверхностных дефектов используется для выявления микроскопических трещин и включений.

Лазерный сканирующий микроскоп:

Особенности прибора: разрешение 0,1 мкм, глубина 3D съемки 10-100 мкм.

Технические параметры: Обнаружение царапин, трещин и окислов, размер дефектов > 0,5 мкм.

Характеристики процесса: бесконтактное обнаружение, подходит для онлайн-контроля качества. Скорость обнаружения составляет 1-5 м/мин.

Автоматизированные системы машинного зрения:

Особенности устройства: Оснащен ПЗС-камерой высокого разрешения с разрешением 0,01 мкм.

Технические параметры: Процент обнаружения поверхностных дефектов составляет <0,5%, что подходит для крупносерийного производства.

Особенности процесса: интеграция с волочением проволоки, обратная связь о местоположении дефекта в режиме реального времени, повышение эффективности на 50%.

Влияние на применение: Технология обнаружения дефектов снижает частоту отказов, соответствует строгим требованиям проекционных ламп и автомобильных фар, а коэффициент выхода продукции достигает 98%.

8.4 Высокотемпературные испытания молибденовой проволоки для освещения

Высокотемпературные эксплуатационные испытания оценивают стабильность молибденовой проволоки в рабочей среде (1500-3000°C) светильника, включая стойкость к окислению, термоциклирование и механические свойства.

8.4.1 Испытание на стойкость к высокотемпературному окислению и термическую стабильность

Тест на антиоксиданты оценивает химическую стабильность молибденовой проволоки при высоких температурах.

Назначение оборудования: температурный диапазон 500-2000°C, точность $\pm 5^\circ\text{C}$.

Технические параметры:

Условия испытания: защита аргоном или водородом (точка росы $< -40^\circ\text{C}$), температура 1500-1800°C, сохранение тепла 1-100 часов.

Индекс: Окислительный прирост массы $< 0,01 \text{ мг/см}^2$, отсутствие испарения MoO_3 на поверхности.

Технологические характеристики: Он должен быть оснащен системой очистки выхлопных газов (абсорбция щелочи) для очистки летучих оксидов. Поверхность образца должна быть

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

отполирована ($Ra < 0,5$ мкм) для снижения точки начала окисления.

Воздействие на применение: Антиокислительные свойства обеспечивают химическую стабильность молибденовой проволоки в лампах накаливания и галогенных лампах, а также продлевают срок службы на 10%-20%.

8.4.2 Термоциклические испытания и испытания на сопротивление ползучести

Испытания на циклирование и сопротивление ползучести оценивают стабильность молибденовой проволоки при перепадах температуры и высоких температурах в течение длительных периодов времени.

Термоциклическое испытание:

Функция оборудования: диапазон температур от -40°C до 800°C , скорость цикла $10-20^{\circ}\text{C}/\text{мин}$.

Технические параметры: 100-1000 циклов, обнаружение трещин и провалов уплотнений.

Характеристики процесса: Моделирование процесса переключения ламп и фонарей, а также проверка согласования теплового расширения уплотнительной части (молибденовая проволока-стекло).

Испытание на сопротивление ползучести:

Принцип работы оборудования: температура $1500-1800^{\circ}\text{C}$, напряжение 50-200 МПа.

Технические параметры: скорость ползучести $< 10^{-6} \text{ c}^{-1}$ (молибденовая лантановая проволока), время испытания 100-1000 часов.

Технологические характеристики: требуется водородная защита, а материалом приспособления является молибден или вольфрам. Скорость ползучести измеряется датчиком перемещения с точностью до $\pm 0,001$ мм.

Влияние на применение: Термоциклическое испытание обеспечивает надежность молибденовой проволоки в автомобильных фарах, а испытание на сопротивление ползучести оптимизирует легированную молибденовую проволоку (например, молибденовую лантановую проволоку) для продления срока службы ксеноновых ламп.

8.4.3 Испытание на механические свойства при высоких температурах

Высокотемпературные механические испытания оценивают механические свойства молибденовой проволоки при рабочей температуре светильника.

Принцип работы оборудования: температурный диапазон $500-2000^{\circ}\text{C}$, точность $\pm 0,5\%$.

Технические параметры:

Условия испытания: 1500°C , водородная защита, скорость растяжения 0,1-1 мм/мин.

Индекс: прочность на разрыв 200-400 МПа, относительное удлинение при разрыве 5%-15%.

Технологические характеристики: Он должен быть оснащен высокотемпературными приспособлениями (молибден или вольфрамовый материал) и системой контроля атмосферы (аргон или водород, чистота $\geq 99,999\%$). Данные испытаний регистрируются

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

тензометрическим датчиком (точность $\pm 0,01\%$).

Применение: Высокотемпературные испытания на механические свойства обеспечивают механическую стабильность молибденовой проволоки в галогенных лампах и инфракрасных лампах и соответствуют требованиям ASTM B387 и GB/T 4191-2015.

8.5 Испытание на электрические характеристики молибденовой проволоки для освещения

В ходе испытания на электрические характеристики оценивается проводимость и стабильность дуги молибденовой проволоки, что влияет на световую отдачу и срок службы светильника.

8.5.1 Испытание удельного сопротивления и электропроводности

В ходе испытания на удельное сопротивление оценивается электропроводность молибденовой проволоки.

Назначение прибора: Четырехзондовый тестер, диапазон измерения 10^{-8} - 10^6 $\Omega \cdot \text{м}$, точность $\pm 0,01\%$.

Технические параметры:

Удельное сопротивление: Проволока из чистого молибдена $5,5 \times 10^{-8}$ $\Omega \cdot \text{м}$ (20°C), легированная молибденовая проволока чуть выше ($6-7 \times 10^{-8}$ $\Omega \cdot \text{м}$).

Условия испытания: длина образца 50-100 мм, ток 1-10 мА.

Характеристики процесса: требуется постоянная температура окружающей среды (20°C), а контактный щуп изготовлен из золота или вольфрама для предотвращения контактного сопротивления. Результаты испытаний рассчитываются по закону Ома.

Применение: Молибденовая проволока с низким удельным сопротивлением снижает джоулевые потери тепла и повышает энергоэффективность ламп накаливания и галогенных ламп.

8.5.2 Расчет температурного коэффициента и стабильности дуги

Температурный коэффициент и стабильность дуги влияют на характеристики молибденовой проволоки в условиях высокотемпературной дуги.

Испытание температурного коэффициента:

Функция оборудования: температурный диапазон $20-1500^\circ \text{C}$, точность $\pm 0,1\%$.

Технические параметры: температурный коэффициент сопротивления молибденовой проволоки $4,5 \times 10^{-3}/^\circ \text{C}$ ($20-1000^\circ \text{C}$).

Характеристики процесса: Испытание нуждается в водородной защите, а образец фиксируется в керамическом приспособлении. Сопротивление в зависимости от температуры измеряется методом четырех зондов.

Испытание на стабильность дуги:

Функция прибора: напряжение 1-30 кВ, ток 0,1-100 А.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Технические параметры: смещение дуги < 0,1 мм, скорость коррозии электродов < 0,01 мг/см²ч.

Технологические характеристики: Оснащен высокоскоростной камерой (1000 кадров в секунду) для записи траектории дуги. В ходе испытания моделируется рабочая среда ксеноновой лампы (центр дуги 6000°C).

Практическое применение: Испытание на стабильность дуги оптимизирует качество поверхности молибденовых проволок ($Ra < 0,4$ мкм) и улучшает световую отдачу ксеноновых ламп.

8.5.3 Высокотемпературные электрические испытания

Высокотемпературные электрические испытания оценивают проводимость молибденовой проволоки при рабочей температуре светильника.

Назначение оборудования: анализатор полупроводников, диапазон температур 500-1500°C, точность $\pm 0,01\%$.

Технические параметры:

Удельное сопротивление: ок. $2,5 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{м}$ при 1500°C м.

Условия испытания: Водородная защита, ток 0,1-1 А.

Технологические характеристики: требуется высокотемпературный прибор (молибден или вольфрамовый материал) и система контроля атмосферы. Данные испытаний анализируются путем регистрации изменения сопротивления в режиме реального времени.

Применение: Высокотемпературные электрические испытания обеспечивают стабильность проводимости молибденовой проволоки в галогенных и проекционных лампах в соответствии с требованиями JIS H 4461.

8.6 Неразрушающий контроль молибденовой проволоки для освещения

Неразрушающий контроль (НК) используется для оценки внутренних дефектов и структурной целостности молибденовых проволок без влияния на их эксплуатационные характеристики в процессе эксплуатации.

8.6.1 Технология ультразвуковой дефектоскопии

Ультразвуковая дефектоскопия обнаруживает пористость и включения внутри молибденовой проволоки.

Функция прибора: частота 5-20 МГц, точность $\pm 0,01$ мм.

Технические параметры:

Дальность обнаружения: диаметр 0,05-2 мм, размер дефекта > 0,01 мм.

Чувствительность: обнаруживает устья и включения, а интенсивность отраженного сигнала > 10%.

Технологические характеристики: требуется водяная контактная жидкость, диаметр щупа 2-5 мм. Скорость обнаружения составляет 1-5 м/мин, что подходит для внутритрубной

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

диагностики.

Влияние на применение: ультразвуковая дефектоскопия улучшает внутреннее качество молибденовой проволоки, снижает риск выхода из строя электрода ксеноновой лампы, а процент обнаружения дефектов достигает 95%.

8.6.2 Рентгеновская дефектоскопия и компьютерная томография

Рентгеновская дефектоскопия и компьютерная томография используются для обнаружения мельчайших дефектов внутри и на поверхности молибденовых проводов.

Рентгеновская дефектоскопия:

Функция прибора: напряжение 50-225 кВ, разрешение 1 мкм.

Технические параметры: Обнаружение трещин, пористость, размер дефектов > 0,005 мм.

Технологические характеристики: образец необходимо вращать, а время визуализации составляет 5-10 минут. Подходит для осмотра в автономном режиме.

КТ:

Принцип работы прибора: разрешение 0,5 мкм, точность 3D-реконструкции $\pm 0,001$ мм.

Технические параметры: Обнаружение внутренних включений и дефектов границ зерен, подходит для ультратонкой молибденовой проволоки.

Технологические характеристики: требуется среда с высоким вакуумом, время сканирования составляет 10-30 минут. 3D реконструкция для анализа распределения дефектов.

Практическое применение: Рентгеновское и компьютерное сканирование используются для высококачественных молибденовых проводов (например, для проекционных ламп) для обеспечения отсутствия внутренних дефектов и повышения надежности.

8.6.3 Магнитопорошковый контроль и вихретоковый контроль

Магнитопорошковый и вихретоковый контроль используется для быстрого скрининга поверхностных и приповерхностных дефектов.

Магнитопорошковый контроль:

Назначение прибора: напряженность магнитного поля 0,1-1 Тл, чувствительность 0,01 мм.

Технические параметры: Обнаружение поверхностных трещин и царапин, подходит для молибденовой проволоки диаметром >0,1 мм.

Технологические характеристики: требуется магнитная порошковая суспензия (флуоресцентная или нефлуоресцентная), время обнаружения составляет 1-3 минуты. Только для ферромагнитных включений.

Вихретоковый контроль:

Функция прибора: частота 10 кГц-10 МГц, чувствительность 0,01 мм.

Технические параметры: обнаружение поверхностных и приповерхностных трещин, подходит для внутритрубного контроля, скорость 1-10 м/мин.

Характеристики процесса: катушку необходимо откалибровать для обнаружения

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

непроводящего покрытия или интерференции оксидного слоя. Система автоматизации повышает эффективность на 50%.

Применение: Вихретоковый контроль используется для массового производства, магнитопорошковый контроль используется для анализа отказов, обеспечения качества поверхности молибденовой проволоки в автомобильных фарах.



молибденовая проволока для освещения от СТИА

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire for Lighting Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire for Lighting

As one of the core materials in modern lighting technology, molybdenum wire is widely used in various light sources including incandescent lamps, halogen lamps, fluorescent lamps, and gas discharge lamps, due to its high melting point, high strength, excellent corrosion resistance, and superior electrical conductivity. It is an irreplaceable and critical component in the lighting industry.

2. Typical Applications of Molybdenum Wire for Lighting

Residential and Commercial Lighting: Used in incandescent and halogen lamps to provide warm light and long service life.

Automotive Lighting: Functions as electrodes in HID and xenon lamps, offering high brightness and vibration resistance.

Specialty Lighting: Utilized in projection lamps, ultraviolet (UV) lamps, and infrared (IR) lamps to meet high-temperature and high-precision requirements in medical, industrial, and scientific applications.

Emerging Fields: Serves as conductive leads for LED lamps and supports for phosphors in laser lighting, aligning with future lighting technology development.

3. Basic Data of Molybdenum Wire for Lighting (Reference)

Parameter	Pure Mo Wire	Mo-La Wire	Mo-Re Wire
Mo Content	≥99.95%	≥99.0%	52.5%–86.0%
Diameter Range	0.03–3.2 mm	0.03–1.5 mm	0.03–1.0 mm
Tolerance	±0.002 mm	±0.002 mm	±0.002 mm
Tensile Strength (Room Temp)	800–1200 MPa	900–1400 MPa	1000–1500 MPa
Tensile Strength (at 1500°C)	150–300 MPa	200–400 MPa	250–450 MPa
Elongation at Break	10%–25%	12%–20%	15%–25%
Electrical Resistivity (20°C)	5.5×10 ⁻⁸ Ω·m	6.0×10 ⁻⁸ Ω·m	6.5×10 ⁻⁸ Ω·m
Main Applications	Incandescent, Halogen	Halogen, Auto Headlights	HID, Projection Lamps

4. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Глава 9 Будущие тенденции развития молибденовой проволоки для освещения

Будучи важным материалом в светотехнической промышленности, молибденовая проволока для освещения сталкивается с быстрыми изменениями в технологиях новых материалов, совершенствованием производственных процессов, конкуренцией альтернативных материалов и рыночным спросом. В этой главе будут обсуждаться будущие тенденции развития молибденовой проволоки для освещения в новых технологиях легирования, интеллектуальном и экологичном производственном процессе, исследованиях и разработках альтернативных материалов, а также расширении рынка и применения, а также представлен перспективный анализ, основанный на глобальном технологическом прогрессе и отраслевых тенденциях.

9.1 Новые материалы и легирующие технологии

Достижения в области новых материалов и легирующих технологий улучшают характеристики молибденовой проволоки для освещения, чтобы удовлетворить потребности более требовательных приложений освещения, такие как высокая термостойкость, коррозионная стойкость и электрические свойства.

9.1.1 Разведка новых легированных элементов (например, редкоземельных элементов, драгоценных металлов).

Технология легирования значительно повышает высокотемпературную прочность, сопротивление ползучести и коррозионную стойкость молибденовой проволоки за счет введения элементов редкоземельных элементов или драгоценных металлов.

Технологические тенденции: Исследования сосредоточены на новых легированных элементах, таких как церий (Ce), иттрий (Y), рений (Re) и платина (Pt). Редкоземельные элементы (например, CeO₂, легирующий 0,2%-1,0%) очищают зерна (размер зерна от 20 мкм до 10 мкм) и увеличивают прочность на разрыв (увеличение на 20% при 1500 °C). Драгоценные металлы (например, Re, легирование 1%-5%) повышают стойкость дуговой коррозии, снижают скорость коррозии на 30% и подходят для газоразрядных ламп высокой интенсивности (HID).

Технологические характеристики: мокрое легирование в сочетании с технологией распылительной сушки для обеспечения равномерного распределения легированных элементов (отклонение < 0,01%). Высокотемпературное спекание (2000-2300°C) требует точного контроля атмосферы (водород, точка росы <-40°C) во избежание испарения элементов.

Проблемы и перспективы: Стоимость новых легирующих элементов высока (например, Re в 10 раз больше, чем молибден), и количество легирования необходимо оптимизировать, чтобы сбалансировать производительность и стоимость. Ожидается, что в ближайшие 5-10 лет молибденовая проволока, легированная редкоземельными элементами, будет составлять 20% доли рынка высококачественных автомобильных фар и проекционных ламп.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Влияние на применение: Новая легированная молибденовая проволока продлит срок службы лампы (на 30%-50%) и удовлетворит потребности в освещении с высокой яркостью и длительным сроком службы.

9.1.2 НИОКР и применение наноразмерной молибденовой проволоки

Наноразмерная молибденовая проволока (диаметр $<0,01$ мм) оптимизирована с помощью наноструктуры для улучшения механических и электрических свойств.

Технологические тенденции: Получение молибденовых нитей диаметром 5-10 нм по технологии нановолочения и химического осаждения из газовой фазы (CVD). Наноструктура может улучшить прочность на разрыв (до 1500 МПа при комнатной температуре) и удлинение при разрыве (15%). Поверхностная нанобработка (например, нанесение покрытия Al_2O_3 толщиной 50-100 нм) повышает стойкость к окислению и окислительный прирост массы $< 0,005$ мг/см².

Технологические характеристики: требуется сверхвысокоточное волочильное оборудование (допуск $\pm 0,0005$ мм) и наноразмерные формы (точность апертуры $\pm 0,001$ мкм). Процесс отжига (900-1100°C, водородная защита) оптимизирует размер зерна (<100 нм).

Вызовы и перспективы: Стоимость оборудования для нановолочения проволоки высока, а коэффициент выхода продукции низок (около 70%). Ожидается, что в ближайшие 10 лет, с развитием технологий прецизионного производства, наноразмерная молибденовая проволока будет использоваться в миниатюрных лампах (например, в медицинском освещении), а ее доля на рынке составит 10%.

Последствия применения: Наноразмерная молибденовая проволока подходит для высокоточного освещения (например, лазерной проекции) для улучшения стабильности дуги и оптических характеристик.

9.1.3 Композиты и сплавы на основе молибдена

Композиты и сплавы с молибденовой матрицей расширяют спектр применения молибденовой проволоки за счет комбинации с другими высокотемпературными материалами.

Технологические тенденции: Разработка молибден-вольфрамовых (Mo-W), молибден-керамических (например, Mo-ZrO₂) и молибден-углеродных нанотрубок (CNT). Сплав Mo-W (содержание 10%-30% Вт) увеличивает температуру плавления (до 2800°C) и сопротивление ползучести (скорость ползучести $<10^{-7}$ с⁻¹). Композиты Mo-ZrO₂ повышают стойкость к окислению и подходят для инфракрасных ламп.

Технологические характеристики: порошковая металлургия в сочетании с плазменным спеканием (температура 2000-2200 °C, давление 50 МПа) для получения композитных заготовок. Композиты требуют точно контролируемого распределения фаз (отклонение $< 0,1$

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

мкм) для обеспечения однородности механических свойств.

Вызовы и перспективы: Композиты сложны в обработке, а их стоимость увеличивается на 20-30%. Ожидается, что в ближайшие 5-10 лет сплав Mo-W заменит часть чистой молибденовой проволоки, на долю которой будет приходиться 15% рынка ламповой молибденовой проволоки.

Практическое применение: композиты повышают надежность молибденовой проволоки в экстремальных условиях (например, в ультрафиолетовых лампах, высокотемпературных печах) и удовлетворяют потребности в специальном освещении.

9.2 Интеллектуальный и экологичный производственный процесс

Интеллектуальные и экологичные производственные процессы повысят эффективность производства, стабильность качества и экологическую устойчивость молибденовой проволоки для освещения.

9.2.1 Интеллектуальное производство и технологии Индустрии 4.0

Интеллектуальное производство оптимизирует производство молибденовой проволоки за счет автоматизации, анализа данных и Интернета вещей (IoT).

Технологические тенденции: внедрение технологий Индустрии 4.0, таких как системы онлайн-мониторинга, искусственный интеллект (ИИ) и аналитика больших данных. Онлайн-лазерный штангенциркуль (точность $\pm 0,001$ мм) отслеживает диаметр молибденовой проволоки в режиме реального времени, а алгоритм искусственного интеллекта прогнозирует риск обрыва проволоки (точность $> 95\%$). ПоТ объединяет волочильное, отжигающее и контрольное оборудование для автоматизации всего процесса.

Особенности процесса: Интеллектуальная волочильная машина контролирует натяжение ($\pm 0,5$ Н) через серводвигатель, что снижает скорость обрыва проволоки на 10%. Технология цифрового двойника моделирует процесс спекания и волочения проволоки, оптимизирует параметры процесса (температуру, скорость) и повышает коэффициент выхода продукции до 98%.

Вызовы и перспективы: Первоначальные инвестиции в умные устройства высоки (составляют около 30% от общей стоимости), но они позволяют снизить затраты на рабочую силу на 20%. Ожидается, что в ближайшие 5 лет интеллектуальное производство будет популяризировано на предприятиях по производству молибденовой проволоки в Китае, а эффективность производства будет увеличена на 15-20%.

Влияние на применение: Интеллектуальное производство обеспечивает постоянство размеров и стабильность производительности молибденовой проволоки, а также соответствует требованиям к высокой точности ламп высокого класса (таких как лампы высокой интенсивности).

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Wire for Lighting Introduction

1. Overview of Molybdenum Wire for Lighting

As one of the core materials in modern lighting technology, molybdenum wire is widely used in various light sources including incandescent lamps, halogen lamps, fluorescent lamps, and gas discharge lamps, due to its high melting point, high strength, excellent corrosion resistance, and superior electrical conductivity. It is an irreplaceable and critical component in the lighting industry.

2. Typical Applications of Molybdenum Wire for Lighting

Residential and Commercial Lighting: Used in incandescent and halogen lamps to provide warm light and long service life.

Automotive Lighting: Functions as electrodes in HID and xenon lamps, offering high brightness and vibration resistance.

Specialty Lighting: Utilized in projection lamps, ultraviolet (UV) lamps, and infrared (IR) lamps to meet high-temperature and high-precision requirements in medical, industrial, and scientific applications.

Emerging Fields: Serves as conductive leads for LED lamps and supports for phosphors in laser lighting, aligning with future lighting technology development.

3. Basic Data of Molybdenum Wire for Lighting (Reference)

Parameter	Pure Mo Wire	Mo-La Wire	Mo-Re Wire
Mo Content	≥99.95%	≥99.0%	52.5%–86.0%
Diameter Range	0.03–3.2 mm	0.03–1.5 mm	0.03–1.0 mm
Tolerance	±0.002 mm	±0.002 mm	±0.002 mm
Tensile Strength (Room Temp)	800–1200 MPa	900–1400 MPa	1000–1500 MPa
Tensile Strength (at 1500°C)	150–300 MPa	200–400 MPa	250–450 MPa
Elongation at Break	10%–25%	12%–20%	15%–25%
Electrical Resistivity (20°C)	$5.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$6.0 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	$6.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$
Main Applications	Incandescent, Halogen	Halogen, Auto Headlights	HID, Projection Lamps

4. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

9.2.2 Экологически чистые производственные процессы и переработка отходов

«Зеленое» производство снижает воздействие на окружающую среду за счет переработки отходов и экологически чистых процессов.

Технологические тренды: Разработка замкнутых систем вторичной переработки для утилизации щеточных оборванных проводов и спеченных отходов (30%-40%). Жидкость для отходов химической очистки нейтрализуется и осаждается, а сброс тяжелых металлов < 0,1 мг/л, что соответствует норме сброса сточных вод. Система очистки выхлопных газов (каустическая абсорбция) контролирует выбросы оксидов < 0,05 мг/м³.

Характеристики процесса: Использование низколетучих смазочных материалов (таких как смазочные материалы на водной основе) для снижения выбросов ЛОС в процессе волочения (50%). Отходы воспроизводятся из порошка молибдена путем восстановления водорода (температура 800-1000°C), снижая себестоимость на 10%.

Проблемы и перспективы: Оборудование для переработки требует больших первоначальных инвестиций, а эффективность переработки ограничена чистотой отходов. В ближайшие 10 лет «зеленое» производство станет отраслевым стандартом в соответствии с требованиями RoHS и ISO 14001.

Влияние на применение: Зеленые технологии улучшают экологический имидж предприятия и отвечают требованиям европейского и американского рынков (например, автомобильное освещение).

9.2.3 Оптимизация энергопотребления и низкоуглеродное производство

Низкоуглеродное производство снижает производственные затраты и выбросы углекислого газа за счет оптимизации энергопотребления.

Технологические тенденции: энергоэффективные печи для спекания (на 15% меньше энергопотребления) и высокоэффективные волочильные машины (КПД двигателя > 90%). Индукционный нагрев заменяет резистивный нагрев, а эффективность нагрева увеличивается на 20%. Оптимизация параметров процесса (например, снижение температуры отжига на 50°C) снижает потребление энергии на 10%.

Характеристики процесса: Система управления энергопотреблением (EMS) отслеживает потребление энергии в режиме реального времени и оптимизирует планирование производства. Система рекуперации отходящего тепла использует отходящее тепло печи для предварительного нагрева заготовки, экономя энергию на 5-10%.

Вызовы и перспективы: Модернизация энергосберегающего оборудования обходится дорого, а на окупаемость приходится 5-7 лет. В ближайшие 10 лет низкоуглеродное производство будет способствовать сокращению выбросов углекислого газа на 20% при производстве молибденовой проволоки в соответствии с глобальной целью углеродной нейтральности.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Влияние на применение: Низкоуглеродное производство снижает производственные затраты (около 5%), повышает конкурентоспособность на рынке и удовлетворяет спрос на рынке зеленого освещения.

9.3 Альтернативные материалы для молибденовой проволоки для освещения

С развитием светотехники альтернативные материалы могут частично заменить молибденовую проволоку, но ее уникальные свойства все же имеют преимущества.

9.3.1 Материалы на основе вольфрама и новые сплавы

Материалы на основе вольфрама рассматриваются как потенциальная альтернатива молибденовой проволоке из-за их высокой температуры плавления и прочности.

Технологический тренд: сплав вольфрама-рения (W-Re, 3%-10% Re) для повышения прочности на разрыв (500 МПа при 1500°C) и устойчивости к дуговой коррозии. Композиты с вольфрамовой матрицей (например, W-ZrO₂) повышают стойкость к окислению и увеличивают окислительную массу < 0,005 мг/см².

Технологические характеристики: Материалы на основе вольфрама требуют более высокой температуры спекания (2500-2800°C) и прецизионного оборудования для волочения проволоки (допуск ± 0,001 мм). Поверхностные покрытия (например, Si₃N₄) улучшают химическую стабильность.

Вызовы и перспективы: Стоимость материалов на основе вольфрама в 2-3 раза превышает стоимость молибдена, и он сложен в обработке. В ближайшие 5-10 лет сплав W-Re может составить 10% доли рынка высококачественных ксеноновых ламп, но молибденовая проволока по-прежнему остается основным продуктом из-за ценовых преимуществ.

Применение: Материалы на основе вольфрама подходят для применения при сверхвысоких температурах (например, в ксеноновых лампах), но молибденовая проволока более экономична в галогенных лампах и лампах накаливания.

9.3.2 Керамика и материалы на основе углерода

Керамика и материалы на основе углерода привлекают внимание своей устойчивостью к высоким температурам и легкими свойствами.

Технологические тенденции: Керамика из диоксида циркония (ZrO₂) и нитрида кремния (Si₃N₄) обладает отличной стойкостью к окислению (стабильна при 2000°C) и электрической изоляцией, что делает ее пригодной для опорных конструкций светильников. Углеродные нанотрубки (УНТ) и графен используются в электродах благодаря их высокой проводимости (10⁶ См/м) и прочности (>1 ГПа).

Технологические характеристики: керамика должна быть плазменно спечена (1800-2000 °C), материалы на основе углерода деотложены с помощью CVD (800-1200 °C). Для обработки

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

керамики требуются высокоточные пресс-формы, а материалы на основе углерода должны решить проблему несоответствия теплового расширения с герметизацией стекла.

Вызовы и перспективы: Керамика и материалы на основе углерода являются дорогостоящими (в 3-5 раз дороже молибдена) и имеют ограниченные масштабы производства. В ближайшие 10-15 лет на нее может приходиться 5% доли рынка специального освещения (например, ультрафиолетовых ламп).

Влияние на применение: Керамические и углеродные материалы подходят для высокоточных миниатюрных светильников, но доминирование молибденовой проволоки в традиционном освещении трудно заменить в краткосрочной перспективе.

9.3.3 Новые высокотемпературные проводящие материалы

Новые проводящие материалы открывают больше возможностей для молибденовой проволоки для освещения.

Технологические тенденции: Композиты с металлической матрицей (например, TiC-Ni) и высокотемпературные сверхпроводники (например, YBCO) обладают отличной электропроводностью (удельным сопротивлением $< 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$) и высокой термостойкостью ($> 2000^\circ\text{C}$). Двумерные материалы, такие как пленки MoS_2 , привлекают внимание благодаря своей высокой электропроводности и коррозионной стойкости.

Технологические характеристики: Новые материалы требуют передовых технологий осаждения (таких как PVD, ALD), а толщина контролируется на длине волны 10-100 нм. Производство должно быть ультрачистым (класс ISO 5), чтобы избежать загрязнения примесями.

Вызовы и перспективы: Новые технологии материалов еще не созрели, а их стоимость в 5-10 раз превышает стоимость молибдена. В ближайшие 15-20 лет могут быть достигнуты прорывы в области лазерного освещения и аэрокосмической отрасли, на долю которых приходится $< 5\%$ рынка.

Влияние на применение: Новые материалы подходят для передовых применений, но молибденовая проволока по-прежнему доминирует из-за зрелых технологических и финансовых преимуществ.

9.4 Расширение рынка и приложений

Область применения и рыночный спрос на молибденовую проволоку для освещения будут расширяться с изменениями в технологиях освещения и на мировом рынке.

9.4.1 Потенциальное применение в светодиодном и лазерном освещении

Хотя светодиодное и лазерное освещение снижает потребность в традиционной молибденовой проволоке, она все еще имеет потенциал в определенных областях.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Технологическое направление: Молибденовая проволока, как проводящая свинцовая и теплоотводящая подложка для светодиодных ламп, требует высокой электропроводности ($>10^7$ См/м) и теплопроводности (>130 Вт/м·К). При лазерном освещении молибденовая проволока используется для поддержки люминофоров или электродов и подвергается воздействию высоких энергетических плотностей ($>10^4$ Вт/см²).

Технологические характеристики: Для улучшения теплоотдачи и коррозионной стойкости требуется сверхтонкое волочение (диаметр $<0,02$ мм) и покрытие поверхности (Al_2O_3 , толщина 50 нм). Процесс герметизации должен быть согласован с сапфировой подложкой (коэффициент отклонения теплового расширения $<10^{-6}/^{\circ}C$).

Вызовы и перспективы: Рынок светодиодного и лазерного освещения быстро растет (10% ежегодного роста), но использование молибденовой проволоки составляет 5% от общего объема рынка. Ожидается, что в течение следующих 10 лет спрос на молибденовую проволоку в высококачественных светодиодах (например, автомобильном освещении) и лазерных проекциях вырастет на 15%.

Применение молибденовой проволоки в светодиодном и лазерном освещении продлевает срок его службы и компенсирует сокращение рынка традиционного освещения.

9.4.2 Расширение деятельности в аэрокосмической и высокотемпературной промышленности

Аэрокосмическая и высокотемпературная промышленность предлагает новые области применения молибденовой проволоки.

Технологические тенденции: Молибденовая проволока требуется в аэрокосмической промышленности в качестве высокотемпературного электрода ($>2000^{\circ}C$) и материала датчика, с пределом прочности на разрыв 1500 МПа (комнатная температура). В высокотемпературных отраслях промышленности (например, плазменное напыление, печи для термообработки) в качестве нагревательного элемента используется молибденовая проволока и требуется сопротивление ползучести (скорость ползучести $<10^{-7}$ с⁻¹).

Технологические характеристики: Необходимо разработать сплав молибден-рений (5% Re) и покрытие поверхности (например, $MoSi_2$, толщина 1-2 мкм). Производство требует спекания в высоком вакууме ($<10^{-3}$ Па) и прецизионного формования.

Вызовы и перспективы: Аэрокосмический рынок предъявляет чрезвычайно высокие требования к надежности, и молибденовые провода должны быть сертифицированы (например, AS9100). Ожидается, что в ближайшие 10 лет спрос в этой области составит 10% рынка молибденовой проволоки.

Влияние на применение: Аэрокосмическая и высокотемпературная промышленность расширяют применение молибденовой проволоки с высокой добавленной стоимостью,

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

чтобы компенсировать сокращение рынка освещения.

9.4.3 Глобальный рыночный спрос и анализ развивающихся рынков

Изменения в спросе на мировом рынке и появление новых рынков открывают возможности для роста молибденовой проволоки.

Технологические тенденции: Рынок традиционного освещения (например, галогенного, ксенонового) все еще растет со скоростью 5-7% в год в развивающихся странах (например, в Индии, Юго-Восточной Азии). Спрос на высококачественное освещение (например, автомобильные фары, проекционные лампы) привел к увеличению на 10% легированной молибденовой проволоки (молибден, лантан, молибден-рений). Ожидается, что мировой рынок молибденовой проволоки будет поддерживать среднегодовые темпы роста в 3% с 2025 по 2030 год.

Характеристики рынка: На долю Китая приходится 70% мирового производства молибденовой проволоки, которая экспортируется в Европу, Северную Америку и Азию. Ожидается, что на развивающиеся рынки (например, Африку, Латинскую Америку) будет приходиться 15% мирового рынка из-за повышенного спроса на строительство инфраструктуры.

Вызовы и перспективы: Европейский и американский рынки имеют строгие требования к защите окружающей среды (RoHS, REACH) и требуют экологически чистых производственных процессов. В ближайшие 10 лет спрос на недорогие осветительные приборы на развивающихся рынках приведет к увеличению продаж молибденовой проволоки на 20%.

Влияние на применение: Рост развивающихся рынков и расширение высокотехнологичных приложений обеспечат постоянную конкурентоспособность молибденовой проволоки на мировом рынке освещения.



молибденовая проволока для освещения от СТИА

Приложение

А. Глоссарий

Молибденовая проволока: тонкая металлическая проволока с молибденом в качестве основного компонента, которая широко используется в высокотемпературных осветительных приборах.

Проволока из чистого молибдена: молибденовая проволока чистотой $\geq 99,95\%$, без добавления легирующих элементов.

Молибденовая лантановая проволока: молибденовая проволока, легированная оксидом лантана для повышения прочности при высоких температурах и сопротивления ползучести.

Молибденово-рениевая проволока: молибденовая проволока, легированная рениевым элементом для повышения пластичности и стойкости к окислению.

Черная молибденовая проволока: молибденовая проволока с черным оксидным слоем на поверхности, неполированная.

Очищенная молибденовая проволока: Молибденовая проволока, которая была отполирована или очищена, с яркой поверхностью.

Порошковая металлургия: Технология подготовки металлических материалов с помощью порошкового прессования, спекания и других процессов.

Процесс волочения проволоки: метод обработки для растягивания металлической заготовки через штамп для формирования нити.

Высокотемпературная прочность: прочность на разрыв и сопротивление деформации материала при высоких температурах.

Стойкость к окислению: способность материала противостоять окислительной коррозии при высоких температурах.

Галогенный цикл: процесс продления срока службы нити накаливания за счет химической

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

реакции газообразного галогена с нитью накаливания в галогенной лампе.

Рентгенофлуоресцентная терапия (РФА): метод обнаружения, при котором рентгеновские лучи возбуждают образец для элементного анализа.

Индуктивно связанная плазменная оптическая эмиссионная спектроскопия (ICP-OES): метод количественного определения элементов с помощью возбуждения плазмы.

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ): микроскоп высокого разрешения, используемый для наблюдения за топографией поверхности материалов.

Удельное сопротивление: Мера способности материала противостоять электрическому току, измеряемая в омс-метрах.

Коэффициент теплового расширения: Степень, до которой материал расширяется в объеме по мере его увеличения с температурой.

RoHS: Ограничение использования опасных веществ.

Зеленое производство: Метод производства с целью энергосбережения, защиты окружающей среды и снижения выбросов углерода.

В. Ссылки

- [1] Справочник по молибдену и материалам из молибденовых сплавов, Пресс металлургической промышленности, 2018.
- [2] «Процесс подготовки и технология молибденовой проволоки», Китайский журнал цветных металлов, 2022.
- [3] ASTM B386-03, Стандартные технические условия на пластины, листы, полосы и фольгу из молибдена и молибденовых сплавов.
- [4] GB/T 3462-2017, Молибденовые прутки и пластины.
- [5] Достижения в технологии порошковой металлургии, материаловедении и инженерии, 2023.
- [6] «Оптимизация процесса волочения молибденовой проволоки», Металлообработка, 2021.
- [7] «Механизм улучшения характеристик легированной молибденовой проволоки», Международный обзор материалов, 2020 г.
- [8] «Применение технологии обработки поверхности в молибденовой проволоке», Инженерия поверхности, 2022.
- [9] Директива RoHS 2011/65/EC, Европейский Союз, 2011 г.
- [10] Отчет об анализе мирового рынка молибдена, Market Research Future, 2024.
- [11] Материалы и технологии осветительных приборов, Журнал светотехники, 2023.
- [12] «Технология галогенных ламп и газоразрядных ламп», Технический отчет Международного института освещения, 2022 г.
- [13] Исследования в области автомобильных осветительных материалов, Автомобильная инженерия, 2021.
- [14] «Достижения в области специальных светотехнических технологий», Оптика и оптоэлектронные технологии, 2023.
- [15] Материалы для вакуумных электронных приборов, Издательский дом электронной промышленности, 2020.
- [16] EDM Technology, Журнал машиностроения, 2022.
- [17] «Материалы и применение высокотемпературных печей», Материаловедение и

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

инженерия, 2021.

[18] Передовые материалы и производственные технологии, Science Press, 2023.

[19] Интеллектуальное производство и промышленность 4.0, Китайский машинный пресс, 2022.

[20] «Достижения в области технологий зеленого производства», Наука об окружающей среде и технологии, 2023.

[21] Материалы и технологии освещения, Журнал светотехники, 2024.

[22] ISO 22447, Молибден и изделия из молибденовых сплавов, Международная организация по стандартизации, 2019.

[23] Директива RoHS 2011/65/EC, Европейский Союз, 2011.

[24] Журнал технологий аэрокосмических материалов, Журнал авиационных материалов, 2023.

[25] Технология тестирования материалов, Science Press, 2022.

[26] GB/T 4182-2000 «Методы химического анализа молибдена и молибденовых сплавов», Управление по стандартизации Китайской Народной Республики, 2000.

[27] «Технология неразрушающего контроля», Китайское общество машиностроения, 2023.

[28] «Эксплуатационные испытания высокотемпературных материалов», Материаловедение и инженерия, 2021.

[29] «Технология тестирования электрических характеристик», Пресса электронной промышленности, 2020.