

Полное руководство по молибденовой распылительной проволоке

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 Spray Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Spray Wire

Molybdenum spray wire is a high-purity molybdenum metal wire that is melted and deposited onto a substrate surface through thermal spray techniques such as flame spraying, plasma spraying, arc spraying, or HVOF (High Velocity Oxy-Fuel). The resulting coating offers excellent resistance to wear, corrosion, and high temperatures. Due to its high melting point and superior performance, molybdenum wire is widely used across various industrial sectors.

2. Characteristics of Molybdenum Spray Wire

High Melting Point: Approximately 2623°C, suitable for high-temperature environments.

Excellent Corrosion Resistance: Resists attack from acids, alkalis, and chemical media.

High Hardness & Wear Resistance: Tough coating that withstands mechanical wear.

Low Friction Coefficient: Reduces component wear and improves efficiency.

Chemical Stability: Maintains performance in harsh environments.

High Thermal Conductivity: Effectively dissipates heat and extends component lifespan.

3. Typical Uses of Molybdenum Spray Wire

Aerospace: Turbine blades, engine parts, thermal barrier coatings.

Automotive Industry: Wear-resistant coatings for piston rings, engine blocks, and brake discs.

Chemical & Energy Sectors: Corrosion-resistant pipelines, heat exchangers, wind power equipment.

Electronics & Semiconductors: Vacuum deposition heating wires, semiconductor leads.

Medical Field: Corrosion-resistant coatings for implants and surgical instruments.

Others: Marine anti-corrosion, wear-resistant construction machinery, high-temperature furnaces.

4. Basic Data of Molybdenum Spray Wire from CTIA GROUP LTD

Purity	≥99.95%
Density	10.2 g/cm ³
Diameter Range	1.0-3.0 mm, customizable
Tensile Strength	Moderate to ensure stable wire feeding
Packaging	Customized Packaging

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Каталог

Глава 1: Введение

- 1.1 Определение и концепция молибденовой распылительной проволоки
- 1.2 Историческая эволюция молибденовой распылительной проволоки
- 1.3 Промышленное значение и перспективы применения молибденовой распылительной проволоки
- 1.4 Научно-техническое состояние молибденовой распылительной проволоки в стране и за рубежом

Глава 2: Характеристики молибденовой распылительной проволоки

- 2.1 Физические свойства молибденовой распылительной проволоки
 - 2.1.1 Температура плавления и теплопроводность
 - 2.1.2 Плотность и твердость
 - 2.1.3 Коэффициент теплового расширения и термическая стабильность
 - 2.1.4 Проводимость и удельное сопротивление
- 2.2 Химические свойства молибденовой распылительной проволоки
 - 2.2.1 Коррозионная стойкость
 - 2.2.2 Стойкость к окислению
 - 2.2.3 Химическая инертность и реакционная способность
- 2.3 Механические свойства молибденовой распылительной проволоки
 - 2.3.1 Прочность на разрыв и предел текучести
 - 2.3.2 Пластичность и вязкость разрушения
 - 2.3.3 Износостойкость и усталостные свойства
- 2.4 Эффективность нанесения покрытий распылением
 - 2.4.1 Адгезия покрытия и прочность сцепления
 - 2.4.2 Пористость и однородность покрытия
 - 2.4.3 Стойкость покрытия к высоким температурам и тепловому удару
 - 2.4.4 Шероховатость поверхности и микроструктура покрытий
- 2.5 Молибденовая распылительная проволока MSDS от CTIA GROUP LTD

Глава 3: Подготовка и процесс производства молибденовой распылительной проволоки

- 3.1 Подготовка сырья
 - 3.1.1 Технология обогащения и очистки молибденовых руд
 - 3.1.2 Процесс производства молибденового порошка высокой чистоты
 - 3.1.3 Контроль качества и испытания молибденового порошка
- 3.2 Процесс формовки молибденовой проволоки
 - 3.2.1 Технология литья в порошковой металлургии
 - 3.2.2 Процесс волочения молибденовой проволоки
 - 3.2.2.1 Волочение проволоки с одной матрицей
 - 3.2.2.2 Многорежимное непрерывное волочение проволоки
 - 3.2.2.3 Отжиг молибденовой проволоки и снятие напряжений

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

- 3.2.4 Очистка и полировка поверхности
- 3.3 Специальная обработка молибденовой распылительной проволоки
 - 3.3.1 Активационная обработка поверхности
 - 3.3.2 Настройка спецификаций
 - 3.3.3 Технология модификации поверхности
- 3.4 Процесс распыления
 - 3.4.1 Предварительная обработка поверхности оснований
 - 3.4.1.1 Механическая пескоструйная обработка
 - 3.4.1.2 Химическая очистка
 - 3.4.1.3 Ультразвуковая очистка
 - 3.4.2 Технология термического напыления
 - 3.4.2.1 Процесс газопламенного напыления
 - 3.4.2.2 Процесс плазменного напыления
 - 3.4.2.3 Процесс дугового напыления
 - 3.4.2.4 Высокоскоростное кислородное распыление (HVOF)
 - 3.4.3 Обработка после распыления
 - 3.4.3.1 Термическая обработка и отжиг
 - 3.4.3.2 Покрытие, полировка и отделка
 - 3.4.3.3 Герметизация покрытия
- 3.5 Оптимизация производственного процесса
 - 3.5.1 Оптимизация и контроль параметров технологического процесса
 - 3.5.2 Система обеспечения качества
 - 3.5.3 Зеленое производство и энергосберегающие технологии
- 3.6 Ключевые технические моменты
 - 3.6.1 Технология подготовки молибденовой проволоки высокой чистоты
 - 3.6.2 Контроль качества напыляемых покрытий
 - 3.6.3 Эффективность и стабильность распыления
- 3.7 Применение передовых технологий
 - 3.7.1 Технология нанометрового распыления
 - 3.7.2 Технология лазерного распыления
 - 3.7.3 Технология холодного напыления
 - 3.7.4 Интеллектуальная и автоматизированная система распыления
- 3.8 Технические проблемы и решения
 - 3.8.1 Отслаивание и растрескивание покрытия
 - 3.8.2 Высокотемпературное окисление и ухудшение эксплуатационных характеристик
 - 3.8.3 Баланс между себестоимостью производства и эффективностью
 - 3.8.4 Приспособленность к напылению сложных оснований

Глава 4: Классификация молибденовой распылительной проволоки

- 4.1 Классификация по чистоте
 - 4.1.1 Молибденовая проволока высокой чистоты
 - 4.1.2 Легированная молибденовая проволока

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

- 4.2 Классификация по использованию
 - 4.2.1 Для промышленного распыления
 - 4.2.2 Для функционального покрытия
- 4.3 Классификация в зависимости от процесса распыления
 - 4.3.1 Для газопламенного напыления
 - 4.3.2 Для дугового напыления
 - 4.3.3 Для плазменного напыления
 - 4.3.4 Для высокоскоростного кислородно-топливного распыления (HVOF)
 - 4.3.5 Для холодного напыления

Глава 5: Использование молибденовой распылительной проволоки

- 5.1 Аэрокосмическая промышленность
 - 5.1.1 Лопатки турбины и компоненты двигателя
 - 5.1.2 Высокотемпературные конструкционные детали и термобарьерные покрытия
 - 5.1.3 Износостойкое и антикоррозионное покрытие для космических аппаратов
- 5.2 Автомобильная промышленность
 - 5.2.1 Покрытие поршня двигателя и блока
 - 5.2.2 Термостойкое покрытие для выхлопной системы
 - 5.2.3 Износостойкое покрытие тормозной системы
- 5.3 Химическая и энергетическая промышленность
 - 5.3.1 Коррозионностойкие трубы и клапаны
 - 5.3.2 Покрытия реакторов и теплообменников
 - 5.3.3 Покрытия для оборудования для солнечной и ветровой энергетики
- 5.4 Электронная и полупроводниковая промышленность
 - 5.4.1 Нагревательная проволока для вакуумного нанесения покрытий
 - 5.4.2 Полупроводниковые выводы и электроды
 - 5.4.3 Тонкопленочное покрытие для осаждения
- 5.5 Медицина и биоинженерия
 - 5.5.1 Нагревательные элементы для медицинских изделий
 - 5.5.2 Коррозионностойкие покрытия для медицинских изделий
- 5.6 Другие области применения
 - 5.6.1 Антикоррозионные покрытия для судов и шельфовой техники
 - 5.6.2 Износостойкие покрытия для строительной техники
 - 5.6.3 Высокотемпературные печи и оборудование для термообработки

Глава 6: Производственное оборудование для напыляемой проволоки из молибдена

- 6.1 Оборудование для переработки сырья
 - 6.1.1 Оборудование для приготовления и восстановления молибденового порошка
 - 6.1.2 Печи для спекания и кузнечное оборудование
- 6.2 Оборудование для производства молибденовой проволоки
 - 6.2.1 Волоочильные машины и штампы
 - 6.2.2 Печи для отжига и оборудование для термообработки

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

- 6.2.3 Оборудование для очистки и полировки поверхностей
- 6.3 Оборудование для распыления
 - 6.3.1 Системы газопламенного напыления
 - 6.3.2 Оборудование для плазменного напыления
 - 6.3.3 Устройство дугового распыления
 - 6.3.4 Оборудование для высокоскоростного кислородного напыления (HVOF)
- 6.4 Вспомогательное оборудование и оборудование для последующей обработки
 - 6.4.1 Оборудование для предварительной обработки основания
 - 6.4.2 Оборудование для последующей обработки покрытий
 - 6.4.3 Оборудование для онлайн-обнаружения и мониторинга
- 6.5 Автоматизация и интеллектуальное оборудование
 - 6.5.1 Автоматическая производственная линия для распыления
 - 6.5.2 Интеллектуальные системы управления и сбора данных
 - 6.5.3 Роботизированные системы распыления

Глава 7: Отечественные и зарубежные стандарты на молибденовую распылительную проволоку

- 7.1 Национальные стандарты
 - 7.1.1 GB/T 4181-2017 "Молибденовая проволока" и соответствующие требования
 - 7.1.2 GB/T 3462-2017
 - 7.1.3 GB/T 4197-2011
 - 7.1.4 Другие соответствующие национальные стандарты
- 7.2 Международные стандарты
 - 7.2.1 ASTM B387-18
 - 7.2.2 Спецификация ISO 20407 на материалы для термического напыления
 - 7.2.3 ISO 14919 Проволока для термического напыления
 - 7.2.4 Другие международные стандарты
- 7.3 Отраслевые стандарты и спецификации предприятия
 - 7.3.1 Стандарты цветной металлургии
 - 7.3.2 Отраслевые стандарты термического напыления
 - 7.3.3 Требования к внутреннему контролю качества
- 7.4 Сравнение стандартов и анализ применимости
 - 7.4.1 Различия в отечественных и зарубежных стандартах
 - 7.4.2 Стандартные сценарии применения и выбор

Глава 8: Испытание и контроль качества молибденовой распылительной проволоки

- 8.1 Тестирование сырья
 - 8.1.1 Анализ химического состава
 - 8.1.2 Определение размера и морфологии частиц
 - 8.1.3 Определение содержания примесей
- 8.2 Контроль качества молибденовой проволоки
 - 8.2.1 Точность размеров и допуски

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

- 8.2.2 Обнаружение поверхностных дефектов и шероховатостей
- 8.2.3 Испытание механических свойств
- 8.3 Проверка покрытия распылением
 - 8.3.1 Толщина и однородность покрытия
 - 8.3.2 Испытание на адгезию покрытия
 - 8.3.3 Анализ микроструктуры и пористости
 - 8.3.4 Коррозионная стойкость и устойчивость к высоким температурам
 - 8.3.5 Характеристики теплового удара
- 8.4 Испытательные технологии и оборудование
 - 8.4.1 Рентгенофлуоресцентная (РФА)
 - 8.4.2 Анализ SEM и EDS
 - 8.4.3 Определение твердости (Виккерс, Роквелл)
 - 8.4.4 Ультразвуковой и лазерный контроль толщины
 - 8.4.5 Другие передовые технологии обнаружения
- 8.5 Система менеджмента качества
 - 8.5.1 Сертификация по стандарту ISO 9001
 - 8.5.2 Протоколы испытаний и прослеживаемость
 - 8.5.3 Анализ и улучшение дефектов

Глава 9: Тенденции развития и перспективы на будущее

- 9.1 Тенденции технического развития
 - 9.1.1 Новые материалы и процессы напыления
 - 9.1.2 Интеллектуальное и цифровое производство
 - 9.1.3 Технология нанесения композитных покрытий
- 9.2 Рыночный спрос и расширение сферы применения
 - 9.2.1 Потенциал в развивающихся отраслях
 - 9.2.2 Анализ тенденций мирового рынка
- 9.3 Охрана окружающей среды и устойчивое развитие
 - 9.3.1 Технология зеленого напыления
 - 9.3.2 Рекуперация и переработка отходов
- 9.4 Международный технический обмен и сотрудничество
 - 9.4.1 Гармонизация международных стандартов
 - 9.4.2 Трансграничные НИОКР и сотрудничество

Приложение

- A. Глоссарий терминов
- B. Ссылки

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Глава 1 Введение

1.1 Определение и понятие молибденовой напыляемой проволоки

1.1.1 Основное определение молибденовой распылительной проволоки

Молибденовая напыляемая проволока представляет собой металлическую проволоку, специально используемую в процессе термического напыления, обычно изготовленную из молибдена высокой чистоты (молибден, химический символ Mo, атомный номер 42). Молибден является переходным металлом с такими свойствами, как высокая температура плавления (около 2623°C), высокая прочность, коррозионная стойкость и отличная теплопроводность, что делает его одним из важных материалов в области термического напыления. Термическое напыление — это метод инженерии поверхности, при котором создается слой покрытия с определенной функцией путем распыления расплавленного или полурасплавленного материала на поверхность основания с высокой скоростью. В качестве сырья для термического напыления молибденовая напыляемая проволока обычно используется в виде дугового напыления или газопламенного напыления, а основным ее назначением является образование на поверхности подложки слоя износостойкого, высокотемпературного или коррозионностойкого молибденового покрытия.

Типичной формой молибденовой распылительной проволоки является тонкая металлическая проволока, обычно диаметром от 1,0 мм до 3,2 мм, в зависимости от оборудования для распыления и технологических требований. Молибденовая проволока нагревается до расплавленного или полурасплавленного состояния с помощью пистолета-распылителя в процессе распыления, а затем ускоряется сжатым газом (таким как азот или воздух) на целевую подложку для образования равномерного покрытия. Такие покрытия обычно имеют высокую твердость, низкий коэффициент трения и хорошую прочность сцепления, что позволяет значительно улучшить поверхностные свойства подложки.

1.1.2 Физико-химические свойства молибдена

Уникальные физико-химические свойства молибдена являются основой для его использования в качестве материала для покрытия. Молибден имеет плотность 10,28 г/см³, что ниже, чем у вольфрама (19,25 г/см³), но выше, чем у многих распространенных металлов, что позволяет молибденовым покрытиям достигать хорошего баланса между весом и эксплуатационными характеристиками. Молибден имеет высокую температуру плавления в 2623°C, уступая только вольфраму и рению, что позволяет ему сохранять структурную стабильность и механическую прочность при высоких температурах. Кроме того, молибден более устойчив к кислотам, щелочам и некоторым агрессивным газам, чем многие другие металлы, особенно в неокисляющих средах.

Молибден имеет низкий коэффициент теплового расширения (около $4,8 \times 10^{-6}/K$), что означает, что в средах с резкими изменениями температуры между молибденовым покрытием и подложкой возникает меньшее термическое напряжение, что снижает риск растрескивания или отслаивания покрытия. Молибден также обладает хорошей электро- и

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

теплопроводностью (теплопроводность около 138 Вт/м·К), что делает покрытие, образованное молибденовой распылительной проволокой, предпочтительным в тех случаях, когда требуется тепло- или электропроводность. Кроме того, молибден является самосмазывающимся при определенных условиях, особенно при высоких температурах или в вакууме, что еще больше расширяет сценарии его применения.

1.1.3 Процесс подготовки молибденовой распылительной проволоки

Подготовка молибденовой распылительной проволоки требует нескольких процессов для обеспечения ее высокой чистоты и стабильных физических свойств. Молибденовая проволока обычно изготавливается по технологии порошковой металлургии, и конкретные этапы включают в себя:

Экстракция молибденового концентрата: Молибденовый концентрат извлекается из молибденовой руды (например, молибденита) для удаления примесей путем флотации и химической очистки.

Производство молибденового порошка: концентрат молибдена обжигают с получением оксида молибдена (MoO_3), а затем получают порошок молибдена высокой чистоты путем восстановления водорода.

Формование молибденовой заготовки: Молибденовый порошок прессуется в стержневую или пластинчатую заготовку и спекается при высоких температурах для увеличения плотности.

Волочение проволоки: С помощью процессов горячей штамповки, прокатки и многократного волочения проволока молибденовая заготовка перерабатывается в нити для достижения диаметра и чистоты поверхности, необходимых для напыления.

Обработка поверхности: Молибденовая проволока очищается, отжигается или легируется для оптимизации ее механических свойств и эффекта распыления.

Чистота молибденовой проволоки обычно должна достигать более 99,95% для обеспечения качества напыляемого покрытия. Некоторые молибденовые распылительные провода могут быть легированы небольшим количеством элементов (таких как лантан, церий или калий) для повышения их устойчивости к высокотемпературному окислению или пластичности.

1.1.4 Роль молибденовой распылительной проволоки в термическом напылении

В процессе термического напыления молибденовая проволока подается в пистолет для распыления с помощью оборудования для дугового напыления или газопламенного напыления, и при нагревании она образует капли расплава или полурасплавленные частицы. Эти частицы ударяются о поверхность подложки под действием высокоскоростных потоков воздуха, быстро охлаждаются и затвердевают, образуя плотное покрытие. К основным функциям молибденового покрытия можно отнести:

Защита от износа: Высокая твердость молибденового покрытия (около 5,5 по шкале Мооса) делает его эффективным против механического износа.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Защита от высоких температур: высокая температура плавления молибдена делает его пригодным для использования в компонентах в высокотемпературных средах, таких как лопатки турбин авиационных двигателей.

Защита от коррозии: коррозионная стойкость молибдена к определенным химическим веществам делает его пригодным для использования в химическом оборудовании или морской среде.

Самосмазывающиеся свойства: Молибденовые покрытия могут образовывать оксид молибдена (MoO_3) при высоких температурах или в вакуумных средах и имеют низкий коэффициент трения, что делает их пригодными для использования в деталях скольжения.

1.1.5 Сравнение молибденовой распылительной проволоки с другими напыляемыми материалами

По сравнению с обычными материалами для напыления, такими как сплавы на основе никеля, вольфрам или керамика, молибденовая распылительная проволока имеет следующие преимущества:

Экономичность: Молибден стоит дешевле, чем вольфрам и некоторые драгоценные металлы, но имеет схожие характеристики и подходит для крупномасштабного промышленного применения.

Универсальность: молибденовые покрытия устойчивы к истиранию, высоким температурам и коррозии и подходят для широкого спектра применений.

Простота обработки: пластичность молибденовой проволоки позволяет легко тянуть ее в соответствии с различными спецификациями и адаптировать к различному оборудованию для распыления.

Однако молибден склонен к образованию летучих оксидов (MoO_3) в окислительных средах, что ограничивает его применение в некоторых высокотемпературных окислительных средах. Напротив, керамические покрытия могут быть лучше с точки зрения стойкости к окислению, но они более хрупкие и не имеют такой высокой прочности связывания, как молибденовые покрытия.

1.1.6 Технические характеристики и классификация молибденовой напыляемой проволоки

Молибденовая распылительная проволока может быть разделена на различные спецификации в соответствии с требованиями к использованию и технологическому процессу, а общая классификация включает в себя:

Проволока из чистого молибдена: \geq чистотой 99,95%, используется в стандартных процессах напыления.

Легированная молибденовая проволока: легирована такими элементами, как лантан (La), церий (Ce) или калий (K) для повышения стойкости к окислению или пластичности.

Классификация диаметра: Обычные диаметры включают 1,0 мм, 1,6 мм, 2,0 мм, 3,2 мм и т.

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

д., которые подходят для различного оборудования для распыления.

Классификация обработки поверхности: например, черная молибденовая проволока (неочищенная, с оксидным слоем на поверхности) и белая молибденовая проволока (светлая поверхность после очистки).

Такая классификация позволяет использовать молибденовую распылительную проволоку для удовлетворения потребностей различных отраслей промышленности, таких как аэрокосмическая промышленность, автомобилестроение и энергетическое оборудование.

1.2 Историческая эволюция молибденовой распылительной проволоки

1.2.1 Открытие и раннее применение молибдена

Открытие молибдена относится к 18 веку. В 1778 году шведский химик Карл Вильгельм Шееле впервые выделил оксид молибдена из молибденита и назвал его «молибден» (производное от греческого слова «молибдос», означающего свинецкое вещество). В 1781 году шведский химик Петер Якоб Хьельм впервые получил металлический молибден методом восстановления углерода, положив начало промышленному применению молибдена.

В конце 19 века молибден стал использоваться в качестве легирующего элемента в сталелитейной промышленности для повышения прочности и коррозионной стойкости стали. Однако из-за ограничений технологии очистки и переработки молибдена сфера его применения относительно узка, в основном ограничена металлургической областью. До начала 20 века, с развитием порошковой металлургии и технологии волочения проволоки, получение молибденовой проволоки стало возможным, обеспечив условия для ее применения в области напыления.

1.2.2 Происхождение технологии термического напыления

Технология термического напыления зародилась в начале 20 века. В 1910 году швейцарский инженер Макс Ульрих Шооп изобрел технологию газопламенного напыления, которая расплавляла и распыляла металлический порошок или проволоку на поверхность подложки путем сжигания горючего газа. Появление данной технологии обеспечивает возможность нанесения молибденовой распылительной проволоки. В 1920-х годах была внедрена технология дугового напыления, в которой использовалась электрическая дуга для нагрева проволоки для генерации расплавленных капель, что еще больше повысило эффективность распыления и качество покрытия.

В раннем термическом напылении в основном использовались плавкие металлы, такие как цинк и алюминий, для антикоррозионных покрытий. Поскольку молибден является металлом с высокой температурой плавления, применение молибдена в термическом напылении началось поздно, и только в середине 20-го века, с развитием суперсплавов и аэрокосмической промышленности, применение молибденовой проволоки постепенно привлекло к себе внимание.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

1.2.3 Ранняя разработка молибденовой распылительной проволоки

В 50-х годах 20 века молибденовая распылительная проволока начала появляться в промышленной сфере. Аэрокосмическая промышленность США стала первопроходцем в применении молибденовых покрытий на лопатках турбин и компонентах камеры сгорания для борьбы с высокими температурами и износом. Высокая температура плавления и износостойкость молибдена делают его идеальным материалом для покрытия, особенно в газовых турбинах и реактивных двигателях. В то же время промышленность Европы и Японии начала изучать возможности применения напыления молибденовой проволоки в машиностроении, например, в качестве износостойких покрытий для поршневых колец и подшипников.

В этот период технология подготовки молибденовой напыляемой проволоки была еще относительно грубой, а чистота и качество поверхности молибденовой проволоки были нестабильными, что приводило к большим колебаниям свойств покрытия. В 1960-х годах, с развитием технологий вакуумного плавления и восстановления водорода, чистота молибденовой проволоки была значительно улучшена, а прочность сцепления и долговечность распыляемых покрытий были улучшены.

1.2.4 Развитие современной технологии напыляемой проволоки из молибдена

После 70-х годов 20 века технология термического напыления вступила в стадию бурного развития. Появление плазменного напыления и высокоскоростного газопламенного напыления (HVOF) значительно улучшило качество напыляемых покрытий, что позволило использовать молибденовые покрытия в более сложных условиях. Например, высокоскоростное газопламенное напыление может создать более плотное молибденовое покрытие, уменьшить пористость и повысить прочность сцепления покрытия с подложкой.

В этот же период был совершен прорыв в технологии легирования молибденовой проволокой. Молибденовая проволока, легированная лантаном или церием, демонстрирует лучшую стойкость к окислению и пластичность в высокотемпературных средах, расширяя область применения молибденовой распылительной проволоки. В 1980-х годах молибденовая напыляемая проволока стала широко использоваться в автомобилестроении для изготовления износостойких поршневых колец и колец синхронизатора, значительно продлевая срок службы деталей.

1.2.5 Развитие молибденовой распылительной проволоки в Китае

Молибденовая промышленность Китая началась поздно, но развивается быстрыми темпами. В 60-х годах 20 века в Китае начали извлекать молибден из молибденита и постепенно наладили мощности по производству молибденовой проволоки. В 1980-х годах, с продвижением реформ и открытости, а также промышленной модернизацией, китайские предприятия по производству молибдена начали внедрять иностранное передовое оборудование для волочения и напыления проволоки, а производство и применение молибденовой напыляемой проволоки вступило в период быстрого развития.

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

В 1990-х годах Китай стал крупнейшим в мире производителем молибдена, и технология производства молибденовой проволоки постепенно совершенствовалась. Благодаря технологическим инновациям основные предприятия Китая по производству молибдена разработали молибденовую проволоку высокой чистоты и легированную молибденовую проволоку для удовлетворения потребностей внутреннего и внешнего рынков напыления. После 2000 года китайская молибденовая распылительная проволока начала экспортироваться в Европу, Америку и на рынки Юго-Восточной Азии, став важной частью глобальной цепочки поставок молибденовой продукции.

1.2.6 Основные этапы нанесения покрытий молибденовой проволокой

1910: Была изобретена технология термического напыления, положившая начало применению молибденовой распылительной проволоки.

1950-е годы: Напыление молибденовой проволоки впервые используется в аэрокосмическом секторе.

1970-е годы: Технологии плазменного напыления и высокоскоростного газопламенного напыления позволяют улучшить характеристики молибденового покрытия.

1980-е годы: Разработка легированной молибденовой проволоки для повышения стойкости покрытий к окислению.

После 2000 года Китай стал важной базой для мирового производства молибденовой проволоки и технологии напыления.

1.3 Промышленное значение и перспективы применения молибденовой напыляемой проволоки

1.3.1 Промышленное значение молибденовой напыляемой проволоки

Промышленная ценность молибденовой распылительной проволоки как основного материала в технологии термического напыления отражается в ее уникальных физических и химических свойствах, широком спектре сценариев применения и ее вкладе в эффективность и устойчивость современной промышленности. Высокая температура плавления, высокая твердость, коррозионная стойкость и самосмазывающиеся свойства молибдена делают его незаменимым в области инженерии поверхности. Ниже приведен подробный анализ его промышленной ценности с нескольких аспектов.

1.3.1.1 Повышение прочности и срока службы компонентов

Покрытие, образованное молибденовой напыляемой проволокой, значительно продлевает срок службы механических компонентов благодаря своей высокой твердости (около 5,5-6,0 по шкале Мооса) и износостойкости. Например, в автомобильной промышленности поршневые кольца и кольца синхронизации являются критически важными компонентами двигателей и трансмиссий, которые подвергаются высокочастотному трению и высокотемпературным средам в течение длительных периодов времени. В то время как обычные поршневые кольца без покрытия могут изнашиваться в течение тысяч часов при высоких нагрузках, поршневые кольца с молибденовым покрытием могут продлить их срок службы в 2-3 раза, причем в некоторых случаях срок службы составляет более 100 000 км.

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

Такая повышенная долговечность напрямую снижает затраты на техническое обслуживание и время простоя оборудования.

Кроме того, стабильность молибденовых покрытий в высокотемпературных средах делает их очень ценными в аэрокосмической промышленности. Например, лопатки газовых турбин работают в условиях сгорания, превышающих 1000 °С, а молибденовые покрытия эффективно противостоят термической усталости и износу, продлевая срок службы лопастей. По отраслевым данным, интервал технического обслуживания лопаток турбин с молибденовым покрытием может быть увеличен на 20-30%, что значительно снижает стоимость полного жизненного цикла авиационных двигателей.

1.3.1.2 Повышение эффективности эксплуатации оборудования

Низкий коэффициент трения (до 0,1-0,2 при определенных условиях) молибденовых покрытий делает их самосмазывающимися, что позволяет значительно снизить потери на трение в механических компонентах и тем самым повысить эффективность работы оборудования. В автомобильной промышленности применение поршневых колец с молибденовым покрытием может снизить потребление энергии трения внутри двигателя и повысить топливную эффективность примерно на 1-2%. Исходя из мирового годового объема производства в 80 миллионов автомобилей, если 10% двигателя будет использовать поршневые кольца с молибденовым покрытием, можно сэкономить миллионы тонн топлива каждый год, а экономические и экологические выгоды будут значительными.

В аэрокосмической отрасли молибденовые покрытия используются в камерах сгорания и соплах реактивных двигателей для снижения потерь материала при высоких температурах и обеспечения стабильной тяги. Исследования показали, что тепловой КПД камер сгорания с молибденовым покрытием может быть улучшен примерно на 0,5%, что важно в аэрокосмическом секторе, так как даже небольшой выигрыш в эффективности может значительно снизить расход топлива и эксплуатационные расходы.

1.3.1.3 Снижение затрат на производство и техническое обслуживание

По сравнению с металлическими или керамическими покрытиями с высокой температурой плавления, такими как вольфрам и рений, молибден имеет более высокие экономические характеристики. Мировые запасы молибдена относительно обильны (около 25 млн т, из которых более 50% приходится на Китай), а затраты на очистку и переработку ниже, чем у вольфрама (около 1/2-1/3). Стоимость молибденовой напыляемой проволоки составляет около \$50-\$100 за килограмм, в то время как стоимость вольфрамовой проволоки может достигать более \$200. Это делает молибденовые покрытия более экономически выгодными для крупномасштабного промышленного применения.

Кроме того, восстановительные свойства молибденовых покрытий являются одной из его важных ценностей. Изношенные молибденовые покрытия можно отремонтировать путем повторного напыления без замены всей детали. Например, при ремонте подшипников

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

тяжелого машиностроения нанесение молибденового покрытия может снизить затраты на ремонт более чем на 50% при одновременном сокращении времени простоя. Этот восстановительный характер особенно важен в горнодобывающей, сталелитейной и энергетической отраслях, где замена крупного оборудования является дорогостоящей и трудоемкой.

1.3.1.4 Соответствовать требованиям охраны окружающей среды и устойчивого развития

Молибден является нетоксичным и экологически чистым металлическим материалом, который соответствует требованиям директивы ЕС RoHS и регламентов REACH. По сравнению с традиционными покрытиями на основе свинца или кадмия, молибденовые покрытия не выделяют вредных веществ при производстве и использовании, а также безвредны для окружающей среды и здоровья человека. Кроме того, долговечность молибденового покрытия снижает частоту замены деталей, тем самым снижая потребление ресурсов и образование отходов, в соответствии с концепцией «зеленого» производства.

С точки зрения энергоэффективности, самосмазывающиеся свойства молибденовых покрытий снижают использование смазочных масел. Например, в автомобильных двигателях поршневые кольца с молибденовым покрытием могут снизить расход смазочного материала примерно на 10 процентов, снижая затраты на утилизацию отработанного масла. Это имеет большое значение для глобального продвижения низкоуглеродной экономики и экономики замкнутого цикла.

1.3.1.5 Содействие промышленному интеллекту и эффективности

С развитием Индустрии 4.0 растет спрос на высокоэффективные материалы для интеллектуального производства. Точная обработка и однородность покрытия молибденовой распылительной проволоки позволяет ей соответствовать требованиям прецизионного производства. Например, в роботизированных соединениях и высокоскоростных режущих инструментах молибденовые покрытия могут снижать трение и накопление тепла, повышая точность движения и стойкость инструмента. Исследования показали, что срок службы режущего инструмента с молибденовым покрытием может быть продлен на 30%-50%, что имеет существенные преимущества в автоматизированных производственных линиях.

Кроме того, проводимость молибденового покрытия (удельное сопротивление около $5,5 \times 10^{-8}$ $\Omega \cdot \text{м}$) и теплопроводность (около 138 Вт/м·К) делают его уникальным в электронных и энергетических устройствах. Например, в оборудовании для производства полупроводников молибденовые покрытия могут использоваться для электродов и теплопроводящих компонентов для повышения стабильности и эффективности рассеивания тепла оборудования.

1.3.2 Основные области применения

Покрытие из молибденовой напыляемой проволоки широко используется во многих

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

промышленных сферах благодаря своей универсальности, и ниже приведен подробный анализ основных сценариев его применения:

1.3.2.1 Аэрокосмическая промышленность

Аэрокосмическая промышленность является одной из наиболее важных областей применения молибденовой распылительной проволоки. Молибденовые покрытия в основном используются для высокотемпературных компонентов, таких как лопатки турбин, камеры сгорания, сопла и направляющие аппараты. Например, в турбовентиляторных двигателях Boeing 737 и Airbus A320 молибденовые покрытия используются для защиты лопаток турбины от износа и поддержания стабильной производительности при температуре выше 1200 °С. Коэффициент теплового расширения молибденового покрытия (около $4,8 \times 10^{-6}/\text{K}$) близок к таковому у жаропрочных сплавов на основе никеля, что снижает выкрашивание покрытия, вызванное термическими нагрузками.

Кроме того, молибденовые покрытия используются и в системах теплозащиты космических аппаратов. Например, некоторые части Starship от SpaceX покрыты молибденом, чтобы выдерживать экстремальную нагреву во время входа в атмосферу. Исследования показали, что самосмазывающиеся свойства молибденовых покрытий в вакуумной среде делают их особенно пригодными для скользящих частей космических аппаратов, таких как механизмы привода спутниковых антенн.

1.3.2.2 Автомобильная промышленность

Автомобильная промышленность является одним из крупнейших рынков молибденовой распылительной проволоки, при этом около 30% мировой молибденовой проволоки используется в производстве автомобильных деталей. Молибденовые покрытия в основном используются в таких компонентах, как поршневые кольца, кольца синхронизаторов, коленчатые валы и клапаны. Например, концерн Volkswagen широко использует поршневые кольца с молибденовым покрытием в своих двигателях TSI для повышения топливной экономичности и долговечности. Данные показывают, что поршневые кольца с молибденовым покрытием могут снизить потери на трение примерно на 15%, значительно улучшая производительность двигателя.

Кроме того, молибденовое покрытие также имеет потенциал в области транспортных средств на новых источниках энергии. Например, подшипники двигателей и трансмиссионные механизмы электромобилей могут быть покрыты молибденом для повышения износостойкости и теплопроводности, а также увеличения срока службы. По оценкам, к 2030 году мировое производство автомобилей на новых источниках энергии превысит 30 миллионов, а рыночный спрос на молибденовое покрытие будет расти и дальше.

1.3.2.3 Энергетическое оборудование

В энергетике молибденовые покрытия широко используются в котлах, теплообменниках, газовых турбинах, атомном энергетическом оборудовании. Например, в котельных трубах

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

угольных электростанций молибденовые покрытия способны противостоять высокотемпературной коррозии и истиранию, продлевая срок службы труб примерно в 2 раза. В атомной энергетике молибденовые покрытия используются в радиационно-защитных компонентах реакторов и эффективны в поглощении нейтронного излучения благодаря высокой плотности (10,28 г/см³) и нетоксичности.

Оборудование для возобновляемых источников энергии также является важной областью применения молибденовых покрытий. Например, молибденовое покрытие на поверхности редуктора ветряной турбины снижает износ и смазку, а также снижает затраты на техническое обслуживание. Поскольку к 2024 году глобальная установленная мощность ветроэнергетики превысит 1000 ГВт, спрос на молибденовые покрытия в ветроэнергетическом оборудовании продолжает расти.

1.3.2.4 Машиностроение

В машиностроении молибденовые покрытия используются для защиты поверхности подшипников, зубчатых колес, пресс-форм и режущего инструмента. Например, в горнодобывающем оборудовании буровые коронки с молибденовым покрытием позволяют продлить срок службы более чем на 50% и снизить частоту замены оборудования. В пресс-формах для литья под давлением молибденовое покрытие может снизить адгезию форм к пластмассам, повысить эффективность выпуска пресс-форм и качество поверхности продукта.

1.3.2.5 Химическая и морская инженерия

Коррозионная стойкость молибденовых покрытий делает их широко используемыми в химическом оборудовании и шельфовой технике. Например, в нефтехимических реакторах молибденовые покрытия устойчивы к кислотным газам и высокотемпературной коррозии, продлевая срок службы оборудования. Молибденовые покрытия на морских платформах и морском оборудовании защищают стальные конструкции от коррозии морской водой и особенно подходят для использования в трубах и клапанах на глубоководных буровых платформах.

1.3.2.6 Медицинская и электронная промышленность

В медицинской сфере молибденовые покрытия используются в радиационно-защитных компонентах рентгеновского оборудования и компьютерных томографов благодаря своей нетоксичности и высокой плотности. Например, в компьютерных томографах Siemens Healthineers молибденовые покрытия используются для защиты от радиации и обеспечения качества изображения и безопасности пациента. В электронной промышленности молибденовые покрытия используются в тепловых и электропроводящих деталях оборудования для производства полупроводников, таких как электроды машин плазменного травления, а их теплопроводность может повысить эффективность рассеивания тепла оборудования примерно на 20%.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

1.3.3 Перспективы применения и тенденции рынка

1.3.3.1 Потенциал в области новой энергетики

С глобальным энергетическим переходом спрос на высокоэффективные покрытия для нового энергетического оборудования быстро растет. Молибденовые покрытия имеют многообещающее будущее в ветроэнергетике, атомной энергетике и солнечном оборудовании. Например, молибденовое покрытие на поверхности редукторов ветряных турбин снижает износ и повышает эффективность трансмиссии. В области атомной энергетики молибденовые покрытия могут использоваться в оболочках топливных стержней ядерных реакторов четвертого поколения для защиты от высоких температур и радиационного повреждения. По оценкам, к 2030 году мировой рынок оборудования для новой энергетики превысит 1,5 триллиона долларов США, а спрос на молибденовое покрытие будет расти в среднем на 6% в год.

1.3.3.2 Умное производство и Индустрия 4.0

Индустрия 4.0 делает акцент на интеллекте, автоматизации и высокой эффективности, а перспектива применения молибденового покрытия в прецизионном производстве значительна. Например, в роботизированных соединениях молибденовые покрытия снижают трение и накопление тепла, повышая точность движения и долговечность. В оборудовании для 3D-печати сопла с молибденовым покрытием способны противостоять износу высокотемпературных расплавленных материалов и продлевать срок их службы. Ожидается, что к 2028 году мировой рынок умного производства достигнет 500 миллиардов долларов, и молибденовые покрытия выигрывают в качестве ключевого материала.

1.3.3.3 Морская техника и экологически чистые суда

Спрос на коррозионностойкие покрытия в шельфовой технике растет. Молибденовые покрытия широко используются на глубоководных буровых платформах, в морском ветроэнергетическом оборудовании и на экологически чистых судах. Например, молибденовые покрытия могут использоваться для защиты поверхности гребных винтов судов, снижения коррозии морской воды и биологической адгезии, а также повышения эффективности силовых установок. Ожидается, что к 2030 году мировой рынок шельфовых перевозок достигнет 200 миллиардов долларов, и молибденовые покрытия станут важным решением.

1.3.3.4 Медицина и биотехнология

Нетоксичность и биосовместимость молибденовых покрытий дают им потенциал для использования в медицинских устройствах. Например, в ортопедических имплантатах молибденовые покрытия могут улучшить износостойкость и коррозионную стойкость имплантатов и продлить срок их службы. Кроме того, постепенно увеличивается использование молибденовых покрытий в стоматологических инструментах и хирургических инструментах. Ожидается, что к 2027 году мировой рынок медицинского оборудования достигнет 600 миллиардов долларов, и спрос на молибденовые покрытия продолжит расти.

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

1.3.3.5 Объем рынка и экономические выгоды

Согласно отраслевым данным, объем мирового рынка молибдена в 2024 году составит около 5 миллиардов долларов, из которых на долю молибденовой распылительной проволоки приходится около 10%. Ожидается, что к 2030 году рынок молибденовой распылительной проволоки будет расти в среднем на 5,5% в год и достигнет 800 миллионов долларов. Являясь крупнейшим в мире производителем молибдена, на долю Китая приходится более 50% мирового производства, и многие китайские компании стали важными поставщиками мирового рынка молибденовой распылительной проволоки благодаря технологическим инновациям и крупномасштабному производству.

1.3.4 Практический пример

1.3.4.1 Аэрокосмическая промышленность: GE Aviation

General Electric (GE) Aviation широко использует молибденовые покрытия в своих двигателях GE9x для защиты от износа лопаток турбины. Двигатели GE9x используются в самолетах Boeing 787 Dreamliner, а молибденовое покрытие обеспечивает стабильность лопаток турбины в условиях высоких температур и высокого давления, увеличивая интервалы технического обслуживания на 25 процентов. Это приложение экономит GE Aviation сотни миллионов долларов на техническом обслуживании каждый год.

1.3.4.2 Случай для автомобильной промышленности: Volkswagen

Volkswagen использует поршневые кольца с молибденовым покрытием в своем двигателе 1,4 л TSI, что значительно повышает топливную экономичность и долговечность. Испытания показали, что поршневые кольца с молибденовым покрытием снижают потери на трение на 15% и продлевают срок службы двигателя до более чем 150 000 км. Эта технология была внедрена в нескольких моделях Volkswagen Group, годовой объем производства которых составляет более 5 миллионов единиц по всему миру.

1.3.4.3 Пример энергетического оборудования: ветроэнергетика Siemens

Компания Siemens Gamesa использует молибденовое покрытие в своих редукторах для морских ветровых электростанций для снижения износа зубчатых колес и использования смазочных материалов. Испытания показали увеличение срока службы зубчатых колес с молибденовым покрытием на 40% и снижение затрат на техническое обслуживание на 30%. Эта технология была применена в нескольких морских ветровых проектах по всему миру.

1.4 Исследование и техническое состояние молибденовой напыляемой проволоки в стране и за рубежом

1.4.1 Современное состояние отечественных научных исследований

Являясь крупнейшим в мире производителем молибдена (около 150 000 тонн в 2024 году, что составляет 50% от общемирового объема), Китай имеет значительные преимущества в исследованиях, разработках и применении молибденовой распылительной проволоки. Отечественные научно-исследовательские институты и предприятия добились значительных успехов в подготовке молибденовой проволоки, оптимизации процесса напыления и

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

улучшении характеристик покрытий. Ниже приводится подробный анализ текущего состояния научных исследований в Китае:

1.4.1.1 Крупные научно-исследовательские учреждения

Институт исследований металлов Китайской академии наук: Команда инженеров по обработке поверхностей института специализируется на исследованиях покрытий на основе молибдена и разработала технологию подготовки молибденовой проволоки, легированной лантаном (La) и церием (Ce). Результаты показывают, что стойкость к окислению молибденовой проволоки, легированной 1% лантаном, увеличивается на 30%, а срок службы покрытия увеличивается на 50% в окислительной атмосфере при 1000 °С. Кроме того, в институте изучалась микроструктура молибденовых покрытий и улучшалась твердость и прочность сцепления покрытий за счет контроля размера зерен (10-50 нм).

Пекинский университет науки и технологий: Школа материаловедения и инженерии того же университета изучила влияние технологии плазменного напыления и высокоскоростного газопламенного напыления (HVOF) на характеристики молибденовых покрытий. Результаты экспериментов показывают, что пористость молибденового покрытия, образованного процессом HVOF, снижается до менее чем 1%, а прочность связывания достигает 80 МПа, что значительно лучше, чем при традиционном дуговом напылении (пористость составляет около 5%, а прочность связывающего около 50 МПа).

Университет Цинхуа: Факультет материалов Университета Цинхуа разработал технологию холодного напыления для приготовления молибденовых покрытий, которые образуют покрытия высокой плотности за счет сверхскоростного воздействия частиц, снижая термическое напряжение и образование оксидов. Молибденовые покрытия холодным напылением доступны с твердостью до HV800 для высокоточного нанесения деталей.

1.4.1.2 Крупные предприятия

CTIA GROUP LTD.: Являясь ведущей компанией по производству молибденовой продукции в Китае, Chinatungsten Online специализируется на производстве молибденовой проволоки высокой чистоты (чистота $\geq 99,95\%$), обеспечивая молибденовую напыляемую проволоку диаметром 1,0-3,2 мм.

1.4.1.3 Направленность научных исследований

Технология легирования: легирование редкоземельными элементами или щелочными металлами (такими как калий) для повышения стойкости к окислению при высоких температурах и механических свойств молибденовой проволоки. Например, молибденовая проволока, легированная 0,8% церия, снижает скорость окисления на 40% при 1200°C.

Оптимизация процесса напыления: Плазменное напыление и оптимизация параметров процесса HVOF, таких как расстояние распыления (100-150 мм), расход газа (50-80 л/мин) и интенсивность тока (400-600 А), исследуются для снижения пористости покрытия и

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

повышения прочности сцепления.

Экологичное производство: Разработка оборудования для распыления с низким энергопотреблением и экологически чистого процесса нанесения молибденового покрытия для снижения выбросов выхлопных газов и потребления энергии в процессе распыления. Например, использование азота вместо аргона в качестве распыляемого газа может снизить затраты примерно на 15%.

1.4.1.4 Случаи применения

Высокоскоростная рельсовая тормозная система: тормозной диск CRRC EMU имеет молибденовое покрытие, которое повышает износостойкость и устойчивость к высоким температурам на 50% и продлевает срок службы тормозного диска до 10 лет.

Нефтехимическое оборудование: Компания Sinoprec нанесла молибденовое покрытие на трубопровод установки каталитического крекинга для защиты от кислотной газовой коррозии, при этом срок службы трубопровода был увеличен в 3 раза.

1.4.2 Современное состояние зарубежных научных исследований

Исследования и применение молибденовой распылительной проволоки в зарубежных странах начались раньше, особенно в США, Германии и Японии, и связанная с этим технология занимает лидирующие позиции в мире. Ниже приводится подробный анализ современного состояния научных исследований за рубежом:

1.4.2.1 Крупные научно-исследовательские институты и предприятия

Praxair, США: Компания Praxair, мировой лидер в области технологий термического напыления, разработала систему плазменного напыления, способную производить молибденовые покрытия с пористостью менее 0,5% и прочностью сцепления до 100 МПа. Компания исследовала композитные покрытия на основе молибдена для повышения твердости и износостойкости покрытия за счет добавления керамических частиц, таких как Al_2O_3 .

Höganäs, Германия: Höganäs фокусируется на разработке композитных покрытий на основе молибдена, исследуя процесс гибридного напыления сплавов на основе молибдена и никеля для получения покрытий, которые являются одновременно износостойкими и устойчивыми к коррозии. Ее продукция широко используется на рынках автомобильного и энергетического оборудования в Европе.

Toshiba из Японии: Компания Toshiba изучила стойкость молибденовых покрытий к высокотемпературному окислению в аэрокосмической области и разработала молибденовую проволоку, легированную иттрием (Y), которая повышает стойкость к окислению на 40% при температуре 1300°C. Молибденовое покрытие Toshiba используется в камере сгорания газовых турбин, продлевая срок службы компонентов примерно на 30%.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Массачусетский технологический институт (MIT): Лаборатория материаловедения Массачусетского технологического института исследовала приготовление наноразмерных молибденовых покрытий для повышения твердости (HV900) и износостойкости путем контроля размера зерна покрытия (5-20 нм). Наномолибденовые покрытия широко используются в полупроводниковом оборудовании.

1.4.2.2 Направленность научных исследований

Композитные покрытия: Исследования композитных покрытий из молибдена с керамикой (например, ZrO_2 , Al_2O_3) или металлами (например, Ni, Cr) для повышения универсальности покрытий. Например, композитные покрытия молибден- Al_2O_3 позволяют достичь твердости HV1000 и повышения износостойкости на 50%.

Нанопокрытие: Наноразмерное молибденовое покрытие готовится методом холодного напыления и технологии лазерного напыления для уменьшения пористости и шероховатости поверхности ($Ra \leq 0,1$ мкм) и улучшения характеристик покрытия.

Интеллектуальное распыление: Разработка автоматизированного оборудования для распыления, сочетающего в себе искусственный интеллект и сенсорные технологии для мониторинга параметров распыления (например, температуры, скорости воздушного потока) в режиме реального времени для улучшения однородности покрытия и эффективности производства.

1.4.2.3 Случаи применения

Boeing: В турбовентиляторном двигателе Boeing 787 используются лопасти турбины с молибденовым покрытием, что улучшает высокотемпературные характеристики на 20% и увеличивает интервалы технического обслуживания на 25%.

Mitsubishi Heavy Industries: Mitsubishi Heavy Industries нанесла молибденовое покрытие в камере сгорания газовой турбины, чтобы противостоять высокотемпературной коррозии при температуре $1400^\circ C$ и продлить срок службы компонентов на 40%.

1.4.3 Техническое состояние и проблемы

1.4.3.1 Современный уровень техники

В настоящее время технология напыления молибденовой проволоки относительно зрелая, и к основным техническим характеристикам можно отнести:

Молибденовая проволока высокой чистоты: Чистота основной в мире молибденовой распылительной проволоки достигла более 99,95%, а стойкость к окислению некоторых легированных молибденовых проволок была значительно улучшена.

Усовершенствованные процессы напыления: Плазменное напыление и процессы HVOF могут образовывать молибденовые покрытия с пористостью менее 1% и прочностью связывания 80-100 МПа.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Автоматизированное производство: интеллектуальное оборудование для распыления контролирует параметры распыления с помощью датчика, а равномерность толщины покрытия контролируется с точностью до ± 5 мкм.

1.4.3.2 Технические проблемы

Недостаточная стойкость к окислению: Молибден склонен к образованию летучих оксидов (MoO_3) в высокотемпературных окислительных средах, что ограничивает его применение в некоторых высокотемпературных средах.

Пористость покрытия: Молибденовые покрытия с традиционным дуговым напылением имеют высокую пористость (3%-5%), что влияет на долговечность и коррозионную стойкость. Контроль затрат: Стоимость производства молибденовой проволоки высокой чистоты высока (около 50-100 долларов США/кг), и процесс очистки и волочения необходимо дополнительно оптимизировать.

Адаптивность сложных оснований: Однородность молибденового покрытия трудно контролировать на неплоских или сложных основаниях, поэтому необходимо разработать новое оборудование для распыления.

1.4.4 Будущие направления исследований

1.4.4.1 Новые технологии легирования

Разработка более эффективных легирующих элементов (например, иттрия, церия, циркония) и процессов легирования для повышения стойкости к окислению и пластичности молибденовой проволоки. Например, скорость окисления молибденовой проволоки, легированной 0,5% циркония, может быть снижена на 50% при 1400°C.

1.4.4.2 Передовая технология распыления

Продвигайте технологию холодного напыления и лазерного напыления для снижения термического напряжения и образования оксидов в покрытиях. Молибденовые покрытия холодного напыления могут использоваться с пористостью до 0,2% и прочностью связывания до 120 МПа, что делает их пригодными для высокоточных применений.

1.4.4.3 Интеллектуальное и экологичное производство

Разработайте интеллектуальную систему распыления, которая использует машинное обучение для оптимизации параметров распыления и улучшения однородности покрытия. Исследования в области экологически чистых процессов распыления для снижения энергопотребления и выбросов выхлопных газов. Например, оборудование для распыления, работающее на возобновляемых источниках энергии, может сократить выбросы углерода на 20%.

1.4.4.4 Композитные и нанопокрyтия

Исследование композитных покрытий и нанопокрyтий на основе молибдена в сочетании с керамикой, металлами или другими высокоэффективными материалами для формирования многофункциональных покрытий. Например, композитные покрытия молибден- ZrO_2 могут

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

повысить износостойкость до 60 процентов и подходят для аэрокосмической и энергетической промышленности.

1.4.4.5 Междисциплинарные приложения

Узнайте о применении молибденовых покрытий в биомедицине, новой энергетике и электронике. Например, в гибких электронных устройствах молибденовые покрытия могут использоваться при приготовлении проводящих пленок; В биологических имплантатах молибденовые покрытия улучшают коррозионную стойкость и биосовместимость.



Молибденовая распылительная проволока CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Spray Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Spray Wire

Molybdenum spray wire is a high-purity molybdenum metal wire that is melted and deposited onto a substrate surface through thermal spray techniques such as flame spraying, plasma spraying, arc spraying, or HVOF (High Velocity Oxy-Fuel). The resulting coating offers excellent resistance to wear, corrosion, and high temperatures. Due to its high melting point and superior performance, molybdenum wire is widely used across various industrial sectors.

2. Characteristics of Molybdenum Spray Wire

High Melting Point: Approximately 2623°C, suitable for high-temperature environments.

Excellent Corrosion Resistance: Resists attack from acids, alkalis, and chemical media.

High Hardness & Wear Resistance: Tough coating that withstands mechanical wear.

Low Friction Coefficient: Reduces component wear and improves efficiency.

Chemical Stability: Maintains performance in harsh environments.

High Thermal Conductivity: Effectively dissipates heat and extends component lifespan.

3. Typical Uses of Molybdenum Spray Wire

Aerospace: Turbine blades, engine parts, thermal barrier coatings.

Automotive Industry: Wear-resistant coatings for piston rings, engine blocks, and brake discs.

Chemical & Energy Sectors: Corrosion-resistant pipelines, heat exchangers, wind power equipment.

Electronics & Semiconductors: Vacuum deposition heating wires, semiconductor leads.

Medical Field: Corrosion-resistant coatings for implants and surgical instruments.

Others: Marine anti-corrosion, wear-resistant construction machinery, high-temperature furnaces.

4. Basic Data of Molybdenum Spray Wire from CTIA GROUP LTD

Purity	≥99.95%
Density	10.2 g/cm ³
Diameter Range	1.0-3.0 mm, customizable
Tensile Strength	Moderate to ensure stable wire feeding
Packaging	Customized Packaging

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Глава 2 Характеристики молибденовой распылительной проволоки

2.1 Физические свойства молибденовой распылительной проволоки

Физические свойства молибденовой распылительной проволоки лежат в основе материала для ее термического напыления, что определяет ее применимость при высокой температуре, высоком давлении и сложных условиях работы. Являясь переходным металлом с высокой температурой плавления, молибден обладает отличной теплопроводностью, низким коэффициентом теплового расширения и высокой плотностью, что делает его широко используемым в аэрокосмической, автомобильной промышленности и энергетическом оборудовании. Ниже приведен подробный анализ по четырем аспектам: температура плавления и теплопроводность, плотность и твердость, коэффициент теплового расширения и термическая стабильность, проводимость и удельное сопротивление.

2.1.1 Температура плавления и теплопроводность молибденовой напыляемой проволоки

Температура плавления молибдена составляет 2623 °C (4753 °F), что уступает только вольфраму (3422 °C) и рению (3186 °C) среди распространенных металлов, и намного выше железа (1538 °C) и никеля (1455 °C). Высокая температура плавления позволяет молибденовой распылительной проволоке сохранять структурную стабильность в условиях экстремально высоких температур, что делает ее особенно подходящей для поверхностного покрытия высокотемпературных компонентов, таких как лопатки турбин авиационных двигателей, камеры сгорания газовых турбин и нефтехимические реакторы. Например, покрытие, образованное молибденовой распылительной проволокой, может выдерживать переходные высокие температуры до 1400°C в газовых турбинах без плавления или значительного размягчения.

В процессе термического напыления молибденовая проволока нагревается до расплавленного или полурасплавленного состояния с помощью электрической дуги или пламени. Высокая температура плавления означает, что оборудование для напыления требует больших затрат энергии (например, плазменное напыление может достигать температуры до 15 000 °C), но при этом гарантирует, что частицы расплавленного молибдена сохраняют высокую вязкость в процессе напыления, что приводит к плотному покрытию. Результаты показывают, что свойства молибденовых покрытий по температуре плавления позволяют им сохранять определенную степень стабильности в высокотемпературных окислительных средах, хотя стойкость к окислению нуждается в дальнейшем улучшении с помощью легирующих или композитных покрытий.

Теплопроводность: Теплопроводность молибдена составляет 138 Вт/м·К (при 20°C), что выше, чем у стали (около 50 Вт/м·К), но ниже, чем у меди (около 400 Вт/м·К). Это свойство дает молибденовым покрытиям преимущество в сценариях, где требуется быстрое рассеивание тепла. Например, в машинах плазменного травления для оборудования для производства полупроводников электроды с молибденовым покрытием могут эффективно проводить тепло, предотвращать перегрев оборудования и повышать стабильность работы.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Теплопроводность также влияет на скорость охлаждения капель во время распыления, а более высокая теплопроводность помогает каплям быстро затвердевать на поверхности подложки, снижая термическое напряжение и пористость в покрытии.

На практике теплопроводность молибденового покрытия незначительно снижается при высоких температурах. Например, при 1000°C теплопроводность молибдена падает примерно до 110 Вт/м·К, но все еще достаточна для большинства промышленных нужд. Напротив, керамические покрытия (например, диоксид циркония, с теплопроводностью около 2 Вт/м·К) имеют плохую теплопроводность и склонны к накоплению тепла, в то время как молибденовые покрытия имеют больше преимуществ в соотношении теплопроводности и механической прочности.

2.1.2 Плотность и твердость молибденовой распылительной проволоки

Плотность молибдена составляет 10,28 г/см³, что ниже, чем у вольфрама (19,25 г/см³), но выше, чем у никеля (8,91 г/см³) и железа (7,87 г/см³). Эта средняя плотность обеспечивает хороший баланс между весом и производительностью, что делает его особенно подходящим для компонентов в аэрокосмической и автомобильной промышленности, где требуется малый вес. Например, в автомобильных поршневых кольцах молибденовые покрытия обеспечивают отличную износостойкость без значительного увеличения веса.

Плотность молибденового покрытия напрямую влияет на качество его напыления. Более низкая плотность помогает каплям поддерживать хорошую текучесть во время процесса распыления, снижая потери от разбрызгивания в процессе распыления. Полученные результаты показывают, что плотность покрытия, образованного дуговой молибденовой напыляемой проволокой, может достигать 9,8-10,0 г/см³, что близко к теоретическому значению, свидетельствующему о высокой компактности покрытия.

Твердость молибдена составляет 5,5-6,0 по шкале Мооса (около 200-250 по шкале Виккерса), а твердость молибденового покрытия, образующегося при напылении, обычно колеблется в пределах HV300-500, в зависимости от процесса напыления и последующей обработки. Например, при высокоскоростном газопламенном напылении (HVOF) могут образовываться молибденовые покрытия с твердостью до HV450, в то время как покрытия плазменного напыления обычно имеют твердость около HV350. Высокая твердость молибденового покрытия делает его устойчивым к механическому износу и особенно подходит для деталей с высоким коэффициентом трения, таких как поршневые кольца, подшипники и режущие инструменты.

Твердость также тесно связана с микроструктурой покрытия. Размер зерна молибденовых покрытий обычно составляет 10-50 мкм, а меньший размер зерна помогает улучшить твердость и износостойкость. Путем легирования редкоземельными элементами, такими как лантан или церий, зерно может быть дополнительно очищено, а твердость может быть увеличена до HV550. Например, исследования Института исследований металлов Китайской

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

академии наук показали, что молибденовые покрытия, легированные 1% лантаном, увеличивают свою твердость на 15% и износостойкость на 20%.

2.1.3 Коэффициент теплового расширения и термическая стабильность молибденовой напыляемой проволоки

Коэффициент теплового расширения молибдена составляет $4,8 \times 10^{-6}/\text{K}$ (20-1000°C), что значительно ниже, чем у стали (около $12 \times 10^{-6}/\text{K}$) и алюминия (около $23 \times 10^{-6}/\text{K}$), и близко к такому у жаропрочных сплавов на основе никеля (около $5,0 \times 10^{-6}/\text{K}$). Низкий коэффициент теплового расширения позволяет молибденовым покрытиям снижать термическое напряжение в средах с резкими изменениями температуры, снижая риск растрескивания или отслаивания покрытия. Например, в авиационных двигателях молибденовое покрытие хорошо согласуется с тепловым расширением подложки из сплава на основе никеля, обеспечивая стабильность покрытия во время горячих и холодных циклов.

При термическом напылении коэффициент теплового расширения влияет на качество сцепления покрытия с подложкой. Если разница в коэффициенте теплового расширения между подложкой и покрытием слишком велика, то при охлаждении покрытия после распыления при высоких температурах будет создаваться большое остаточное напряжение, что приведет к отслаиванию покрытия. Низкий коэффициент теплового расширения молибденовых покрытий делает их пригодными для широкого спектра металлических подложек, таких как нержавеющие стали, титановые сплавы и суперсплавы.

Термическая стабильность молибденовых покрытий обусловлена их высокой температурой плавления и низкой летучестью. В неокисляющих атмосферах, таких как азот или вакуум, молибденовые покрытия стабильны при температуре выше 1600 °C и подходят для использования в вакуумных печах, электродах и компонентах космических аппаратов. Однако в окислительной атмосфере молибден образует летучие оксиды (MoO_3) при температуре выше 500 °C, что приводит к снижению качества покрытия. Чтобы решить эту проблему, исследователи разработали легированные молибденовые проволоки (такие как легированный калий или церий) и композитные покрытия (такие как молибден- Al_2O_3) для улучшения термической стабильности. Например, молибденовое покрытие, легированное 0,8% церия, может продлить свой срок службы на 30% в окислительной атмосфере при 1000 °C.

2.1.4 Проводимость и удельное сопротивление молибденовой распылительной проволоки

Проводимость: Проводимость молибдена составляет около $1,8 \times 10^7$ См/м (20°C), что ниже, чем у меди ($5,9 \times 10^7$ См/м), но выше, чем у нержавеющей стали (около $1,4 \times 10^6$ См/м). Это свойство дает молибденовым покрытиям преимущество в тех областях, где требуется электропроводность, таких как электроды в оборудовании для производства полупроводников и проводящие слои для электронных компонентов. Высокая проводимость молибденового покрытия также снижает сопротивление дуге во время напыления, помогая

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

стабилизировать процесс дугового напыления.

Удельное сопротивление Удельное сопротивление молибдена составляет $5,5 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$ (20°C) при незначительном повышении температуры (около $2,0 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{м}$) при 1000°C м). Низкое удельное сопротивление позволяет молибденовому покрытию сохранять хорошую проводимость в высокотемпературных средах, что делает его пригодным для высокотемпературных электродов и резистивных нагревательных элементов. Например, в электродах стекловаренной печи молибденовое покрытие способно стабильно проводить электричество при температуре 1400°C , продлевая срок службы электродов примерно на 40%.

В процессе термического напыления удельное сопротивление молибденовой проволоки влияет на энергоэффективность дугового напыления. Более низкое удельное сопротивление означает меньшие потери мощности, что делает его пригодным для крупномасштабного промышленного производства. Исследования показали, что оптимизация параметров дугового напыления (например, тока 400-600 А) может увеличить использование энергии до 15%.

2.2 Химические свойства молибденовой распылительной проволоки

Химические свойства молибденовой напыляющей проволоки определяют ее производительность в коррозионных средах и условиях высокотемпературного окисления. Химическая инертность, коррозионная стойкость и стойкость к окислению (при определенных условиях) делают молибден широко используемым в химическом, морском и энергетическом оборудовании. Ниже анализируются три аспекта: коррозионная стойкость, стойкость к окислению, химическая инертность и реакционная способность.

2.2.1 Коррозионная стойкость молибденовой напыляемой проволоки

Молибден обладает отличной коррозионной стойкостью к неокисляющим кислотам (например, соляной кислоте, серной кислоте) и щелочным растворам. Например, в соляной кислоте в концентрации 10% молибден имеет скорость коррозии всего 0,01 мм/год, что значительно ниже, чем у нержавеющей стали (около 0,1 мм/год). Это свойство делает молибденовые покрытия важными для применения в нефтехимических реакторах, химических трубопроводах и морском оборудовании. В морской воде молибденовые покрытия более устойчивы к коррозии, чем цинковые, устойчивы к ионам хлора и подходят для защиты стальных конструкций на морских платформах.

Однако молибден менее устойчив к коррозии в окисляющих кислотах, таких как азотная кислота, и склонен к быстрому растворению. Чтобы решить эту проблему, исследователи разработали композитные покрытия на основе молибдена, которые улучшают коррозионную стойкость за счет добавления никеля или хрома. Например, композитные покрытия из молибдена-никеля снижают скорость коррозии на 50% в азотнокислотных средах.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Spray Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Spray Wire

Molybdenum spray wire is a high-purity molybdenum metal wire that is melted and deposited onto a substrate surface through thermal spray techniques such as flame spraying, plasma spraying, arc spraying, or HVOF (High Velocity Oxy-Fuel). The resulting coating offers excellent resistance to wear, corrosion, and high temperatures. Due to its high melting point and superior performance, molybdenum wire is widely used across various industrial sectors.

2. Characteristics of Molybdenum Spray Wire

High Melting Point: Approximately 2623°C, suitable for high-temperature environments.

Excellent Corrosion Resistance: Resists attack from acids, alkalis, and chemical media.

High Hardness & Wear Resistance: Tough coating that withstands mechanical wear.

Low Friction Coefficient: Reduces component wear and improves efficiency.

Chemical Stability: Maintains performance in harsh environments.

High Thermal Conductivity: Effectively dissipates heat and extends component lifespan.

3. Typical Uses of Molybdenum Spray Wire

Aerospace: Turbine blades, engine parts, thermal barrier coatings.

Automotive Industry: Wear-resistant coatings for piston rings, engine blocks, and brake discs.

Chemical & Energy Sectors: Corrosion-resistant pipelines, heat exchangers, wind power equipment.

Electronics & Semiconductors: Vacuum deposition heating wires, semiconductor leads.

Medical Field: Corrosion-resistant coatings for implants and surgical instruments.

Others: Marine anti-corrosion, wear-resistant construction machinery, high-temperature furnaces.

4. Basic Data of Molybdenum Spray Wire from CTIA GROUP LTD

Purity	≥99.95%
Density	10.2 g/cm ³
Diameter Range	1.0-3.0 mm, customizable
Tensile Strength	Moderate to ensure stable wire feeding
Packaging	Customized Packaging

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

2.2.2 Стойкость к окислению молибденовой напыляемой проволоки

Молибден обладает хорошей стойкостью к окислению при низких температурах (<500°C), но летучие оксиды (MoO_3) легко образуются в высокотемпературной окислительной атмосфере (>500°C), что приводит к ухудшению качества покрытия. Например, на воздухе при температуре 800°C чистые молибденовые покрытия могут окисляться со скоростью до 0,1 мм/ч, что ограничивает их применение в высокотемпературных окислительных средах.

Для улучшения антиоксидантной активности исследователи использовали:

Технология легирования: легирование редкоземельными элементами (например, лантаном, церием) или щелочными металлами (например, калием) может образовывать стабильный оксидный защитный слой. Например, молибденовое покрытие, легированное 1% лантаном, снижает скорость окисления на 40% при 1000 °C.

Композитное покрытие: создает антиоксидантный барьер путем добавления керамических материалов (например, Al_2O_3 , ZrO_2). Например, композитные покрытия молибден- Al_2O_3 имеют 50% повышенную стойкость к окислению при 1200°C.

Защитная атмосфера: Молибденовые покрытия значительно более устойчивы к окислению при защите азотом или аргоном, что делает их пригодными для использования в вакуумных печах и компонентах космических аппаратов.

2.2.3 Химическая инертность и реакционная способность молибденовой напыляемой проволоки

Молибден химически инертен при комнатной температуре и не реагирует с большинством неметаллических элементов (например, кислородом, азотом) и не реагирует существенно с водой или паром. Это свойство дает молибденовым покрытиям преимущество в сценариях, где химическая стабильность имеет решающее значение, например, на электродах в стекловаренных печах и футеровке в химических реакторах.

Однако при высоких температурах молибден обладает определенной реакционной способностью с кислородом, хлором и фтором. Например, при температуре выше 600 °C молибден вступает в реакцию с кислородом с образованием MoO_3 , что приводит к потере покрытия. Чтобы снизить реакционную способность, исследователи разработали методы модификации поверхности, такие как силиконизация для формирования защитного слоя MoSi_2 , который значительно улучшает химическую стабильность.

2.3 Механические свойства молибденовой распылительной проволоки

Механические свойства молибденовой напыляемой проволоки определяют ее производительность в условиях высоких нагрузок, трения и сложных напряжений. Высокая прочность, пластичность и износостойкость молибдена позволяют использовать его покрытия в аэрокосмической, автомобильной и машиностроительной отраслях. Следующие показатели анализируются с трех аспектов: прочность на разрыв и предел текучести, пластичность и вязкость разрушения, износостойкость и усталостные характеристики.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

2.3.1 Прочность на разрыв и предел текучести молибденовой распылительной проволоки

Прочность на разрыв Прочность на разрыв молибденовой проволоки составляет около 800-1000 МПа при 20°C, что намного выше, чем у алюминия (около 200 МПа), но ниже, чем у вольфрама (около 1500 МПа). Прочность на разрыв молибденового покрытия, образованного при напылении, обычно составляет 500-700 МПа из-за изменений микроструктуры, таких как измельченность зерен и пористость. Процесс высокоскоростного газопламенного напыления (HVOF) увеличивает прочность покрытия на разрыв примерно до 800 МПа, так как он образует более плотное покрытие.

Предел текучести молибдена составляет около 600-800 МПа, а предел текучести распыляемых покрытий обычно составляет 400-600 МПа. Предел текучести напрямую влияет на стойкость покрытия к деформации. Например, в автомобильных поршневых кольцах высокий предел текучести молибденовых покрытий способен противостоять высокочастотным вибрациям и термическим нагрузкам, предотвращая растрескивание покрытия.

2.3.2 Пластичность и вязкость разрушения молибденовой напыляемой проволоки

Ковкая молибденовая проволока обладает хорошей пластичностью, а удлинение при разрыве составляет около 10%-15%. Легирование редкоземельными элементами, такими как лантан, может еще больше улучшить пластичность, например, молибденовая проволока, легированная 1% лантаном, может достигать удлинения при разрыве до 20%. Пластичность напыляемого покрытия немного ниже, чем у корпуса молибденовой проволоки, которая составляет около 5%-10%, но достаточна для большинства промышленных применений. Например, в лопатках турбин авиационных двигателей пластичность молибденовых покрытий способна компенсировать тепловое расширение и механические колебания, уменьшая отслаивание покрытия.

Вязкость разрушения Вязкость разрушения (K_{IC}) молибденовых покрытий обычно составляет от 10 до 15 МПа·м^{1/2}, что ниже, чем у керамических покрытий (например, диоксида циркония, около 5 МПа·м^{1/2}), но выше, чем у покрытий на основе никеля (около 8 МПа·м^{1/2}). Высокая вязкость разрушения позволяет молибденовому покрытию противостоять распространению трещин и подходит для использования в компонентах с высокими ударными нагрузками, таких как карьерные долота и штампы дляковки.

2.3.3 Износостойкость и усталостные свойства молибденовой напыляемой проволоки

Стойкость к истиранию Износостойкость молибденовых покрытий обусловлена их высокой твердостью и низким коэффициентом трения (около 0,1-0,2). В условиях трения скольжения скорость износа молибденового покрытия составляет всего 0,01-0,05 мм³/Н·м, что значительно ниже, чем у стали (около 0,1 мм³/Н·м). Например, в автомобильных синхронизаторах износостойкость молибденового покрытия продлевает срок службы компонентов в 3 раза.

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

Усталостные свойства Усталостная долговечность молибденовых покрытий хорошо показала себя в испытании на циклическую усталость (HCF). Например, усталостная прочность молибденовых покрытий составляет около 400 МПа при напряжении 10^7 циклов, что делает их пригодными для вращающихся частей авиационных двигателей. Исследования показали, что оптимизация процесса напыления, такая как уменьшение пористости, может увеличить усталостную долговечность до 20%.

2.4 Эффективность нанесения покрытий распылением

Свойства покрытия, формируемые молибденовой распылительной проволокой, напрямую влияют на ее эффективность в промышленном применении. Адгезия, пористость, устойчивость к высоким температурам и поверхностные свойства покрытий являются ключевыми показателями для оценки их качества. Нижеследующее анализируется с четырех аспектов.

2.4.1 Адгезия покрытия и прочность сцепления

Адгезия молибденовых покрытий обычно измеряется с помощью испытания на растяжение (ASTM C633) с прочностью сцепления от 50 до 100 МПа. При высокоскоростном газопламенном напылении (HVOF) можно получать покрытия с прочностью сцепления до 100 МПа, в то время как дуговое напыление обычно имеет прочность сцепления 50-70 МПа. Прочность связующего зависит от параметров покрытия (например, расстояние распыления 100-150 мм, расход газа 50-80 л/мин) и обработки поверхности основания (например, шероховатость струйной обработки).

2.4.2 Пористость и однородность покрытия

Пористость молибденовых покрытий обычно составляет от 0,5% до 5% в зависимости от процесса напыления. Пористость процесса HVOF может составлять всего 0,5%, в то время как пористость дугового напыления составляет около 3%-5%. Низкая пористость способствует повышению коррозионной стойкости и стойкости покрытия к истиранию. Равномерность толщины покрытия контролируется в пределах ± 5 мкм, что подходит для высокоточных применений.

2.4.3 Стойкость покрытия к высоким температурам и тепловому удару

Молибденовые покрытия могут выдерживать более 1600 °C в неокисляющих средах, но имеют ограниченную стойкость к высоким температурам (около 500 °C) в окислительных средах. Легированные или композитные покрытия могут повысить термостойкость, такие как молибденовые покрытия, легированные церием, которые стабильно работают при температуре 1000 °C. Стойкость к тепловому удару оценивалась с помощью испытаний в горячем и холодном цикле, а молибденовое покрытие было стабильным при температуре от 1000 °C до комнатной температуры до 500 циклов.

2.4.4 Шероховатость поверхности и микроструктура покрытий

Шероховатость поверхности (R_a) молибденовых покрытий обычно составляет от 0,2 до 2,0

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

мкм, а с помощью процесса HVOF можно достичь зеркального эффекта $Ra \leq 0,2$ мкм. Микроструктура показывает, что молибденовое покрытие состоит из слоистых уложенных плоских частиц с размером зерна 10-50 мкм. Мелкий размер зерна способствует повышению твердости и износостойкости.

2.5 Молибденовая распылительная проволока CTIA GROUP LTD MSDS

Паспорт безопасности материалов (MSDS), в настоящее время широко известный как Паспорт безопасности (SDS), представляет собой всеобъемлющий технический документ, отвечающий требованиям Международной организации по стандартизации (ISO 11014) и Согласованной на глобальном уровне системы классификации и маркировки химических веществ (GHS) для предоставления информации о физических и химических свойствах, потенциальных опасностях, безопасном использовании, хранении, транспортировке, обработка в чрезвычайных ситуациях и связанные с этим правила использования химического вещества или материала. Будучи металлическим материалом высокой чистоты, молибденовая распылительная проволока широко используется в процессах термического напыления, а ее MSDS предназначена для предоставления комплексных рекомендаций по безопасности для производителей, пользователей, транспортного персонала и аварийно-спасательных служб для обеспечения соблюдения стандартов охраны труда и техники безопасности на рабочем месте и во время транспортировки.

Часть 1: Идентификация химических веществ и предприятий

Химическое название: молибденовая проволока

Номер CAS: 7439-98-7

Рекомендации по применению: Он используется в процессах термического напыления (таких как дуговое напыление, газопламенное напыление) для формирования износостойких и устойчивых к высоким температурам покрытий, подходящих для аэрокосмической, автомобильной промышленности, энергетического оборудования и т. Д.

Ограничения по применению: Не рекомендуется использовать в высокотемпературных окисляющих средах ($>500^{\circ}\text{C}$), если не приняты меры по защите антиоксидантов.

Часть 2: Обзор опасностей

Классификация GHS: Молибденовая распылительная проволока является неопасным химическим веществом и не подпадает под классификацию опасности GHS.

Категория опасности: Конкретной классификации опасности не существует, но во время обработки или распыления может образовываться молибденовая пыль или пары, что представляет потенциальную опасность при вдыхании.

Опасность для здоровья: Длительное вдыхание молибденовой пыли может вызвать раздражение дыхательных путей, а кратковременное воздействие не представляет существенной опасности для здоровья.

Физическая опасность: Твердая молибденовая проволока не является легковоспламеняющейся или взрывоопасной, но она может вызвать риск возгорания при плавлении при высоких температурах в процессе распыления.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Вредность для окружающей среды: Существенного вреда окружающей среде нет, молибден является нетоксичным металлом, а отходы можно перерабатывать.

Предупреждение: Осторожность

Заявление об опасностях:

H335: Может вызвать раздражение дыхательных путей (пыль от обработки или распыления).

H315: При длительном контакте с кожей может возникнуть незначительное раздражение.

Меры предосторожности:

P261: Избегайте вдыхания пыли или паров.

P280: Во время работы надевайте защитные перчатки/защитные очки/средства защиты органов дыхания.

P305+P351+P338: При попадании в глаза промойте водой в течение нескольких минут, если контактные линзы легко снимаются, снимите и продолжайте промывание.

Часть 3: Композиция/информация о композиции

Химический состав: Молибден (Mo), чистота $\geq 99,95\%$

Примеси: могут содержать следовые количества железа ($Fe < 0,01\%$), никеля ($Ni < 0,005\%$), углерода ($C < 0,01\%$) и т.д.

Легирующие элементы (опционально): Некоторые молибденовые распылительные провода могут быть легированы лантаном ($La < 1\%$), церием ($Ce < 1\%$) или калием ($K < 0,1\%$) для повышения стойкости к окислению или пластичности.

Форма: Сплошная металлическая проволока, диаметр 1,0-3,2 мм, гладкая поверхность или со слоем оксида следов (черная молибденовая проволока).

Часть 4: Меры первой помощи

Контакт с кожей: При попадании на кожу молибденовой нити или пыли промойте их мыльным раствором и водой без специальной обработки. При возникновении раздражения немедленно обратитесь за медицинской помощью.

Попадание в глаза: Если молибденовая пыль попала в глаз, поднимите веко и промойте проточной водой или физиологическим раствором в течение не менее 15 минут. Если дискомфорт не проходит, немедленно обратитесь за медицинской помощью.

Ингаляция: При вдыхании молибденовой пыли или аэрозольных паров немедленно перенесите их на свежий воздух, чтобы дыхательные пути оставались открытыми. Если у вас возникли проблемы с дыханием, дайте кислород и обратитесь за медицинской помощью.

Случайное проглатывание: Молибденовая проволока является твердым металлом, и вероятность случайного проглатывания крайне мала. Если это произошло, немедленно обратитесь за медицинской помощью и не вызывайте рвоту.

Защита персонала первой помощи: Персонал первой помощи должен носить защитные перчатки и маски, чтобы избежать вдыхания пыли.

Часть 5: Противопожарные меры

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Метод тушения пожара: Молибденовая проволока сама по себе негорючая, но высокотемпературное плавление в процессе распыления может привести к возгоранию. Для тушения пожаров следует использовать порошковые, пенные или углекислотные огнетушители, а также запрещается использовать воду (что может привести к взрыву металлической пыли).

Особые опасности: Пары оксида молибдена (MoO_3) могут образовываться при высоких температурах, которые вызывают раздражение, поэтому требуются средства защиты органов дыхания.

Меры предосторожности при пожаре: Пожарные должны носить защитную одежду для всего тела и респираторы с положительным давлением в дыхательных путях, чтобы предотвратить вдыхание токсичных паров.

Часть 6: Неотложная помощь при разливах

Аварийные меры: Молибденовая проволока является прочным материалом, без риска утечки жидкости. Если молибденовая пыль образуется в результате обработки или распыления, немедленно изолируйте загрязненный участок, чтобы предотвратить распространение пыли.

Способ сбора: Используйте взрывозащищенный пылесос или влажную щетку для сбора пыли и избегания пыли. Собранную пыль следует запечатать в контейнер и сдать в профессиональную организацию для утилизации.

Защита окружающей среды: Молибденовая пыль оказывает меньшее воздействие на окружающую среду, но ее следует избегать попадания в водоемы или почву.

Личная защита: Дрессировщики должны носить защитные очки, маски и перчатки, чтобы избежать вдыхания или воздействия пыли.

Часть 7: Обработка, обращение и хранение

Профилактика:

Эксплуатация в хорошо проветриваемом помещении во избежание накопления пыли.

Используйте специализированное оборудование для распыления, такое как пистолеты для дугового распыления, чтобы убедиться, что оборудование заземлено и предотвращает образование статических искр.

Избегайте прямого использования в высокотемпературных окислительных средах ($>500^\circ\text{C}$), если не принимаются меры по защите антиоксидантов.

Оснащен системой улавливания пыли для предотвращения распыления пыли в процессе распыления.

Меры предосторожности при хранении:

Хранить в сухом, проветриваемом складе вдали от влаги (для предотвращения окисления поверхностей).

Температура хранения контролируется на уровне $5-30^\circ\text{C}$, а влажность ниже 60%.

Хранить вдали от сильных окислителей (например, азотной кислоты, хлора) и кислотных веществ.

Упаковка запаивается в полиэтиленовый пакет или металлическую тару для предотвращения

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

механических повреждений.

Часть 8: Контроль воздействия/индивидуальная защита

Инженерные средства контроля: Используйте локальные вытяжные системы или оборудование для сбора пыли для поддержания концентрации молибденовой пыли в воздухе рабочего места ниже OSHA PEL (15 мг/м³, общее количество пыли).

Средства индивидуальной защиты:

Защита органов дыхания: Носите пылезащитную маску N95 или P100, сертифицированную NIOSH, при высокой концентрации пыли.

Защита глаз: Носите очки химической защиты, чтобы предотвратить попадание пыли в глаза.

Защита кожи: Надевайте защитные перчатки и комбинезоны, чтобы избежать длительного контакта.

Другая защита: Операторы распыления должны носить высокотемпературную защитную одежду для предотвращения высокотемпературных капельных ожогов.

Пределы профессионального воздействия:

Китай GBZ 2.1-2019: Молибденовая пыль TLV-TWA составляет 10 мг/м³ (общая запыленность).

OSHA PEL: 15 мг/м³ (общая пыль), 5 мг/м³ (вдыхаемая пыль).

ACGIH TLV: 10 мг/м³ (дышащая пыль), 3 мг/м³ (дышащая пыль).

Часть 9: Физико-химические свойства

Внешний вид и свойства: серебристо-белая металлическая проволока, гладкая поверхность или со слоем оксидов следов (черная молибденовая проволока).

Температура плавления: 2623 °C

Температура кипения: 4639 °C

Плотность: 10,28 г/см³ (20°C)

Теплопроводность: 138 Вт/м·К (20°C)

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

Удельное сопротивление: $5,5 \times 10^{-8}$ Ω·м (20°C)

Твердость: твердость по шкале Мооса 5,5-6,0, твердость по Виккерсу HV200-250

Растворимость: нерастворим в воде, кислоте или щелочи, растворим в горячей концентрированной азотной кислоте или царской водке.

Летучесть: Нелетучий, но летучий МоО₃ может образовываться в высокотемпературной окислительной атмосфере.

Часть 10: Стабильность и реакционная способность

Стабильность: Стабильный при комнатной температуре, МоО₃ может образовываться в высокотемпературной окислительной атмосфере (>500°C).

Реакционная способность: реагирует с сильными окислителями (например, азотной кислотой, хлором) с образованием оксидов или галогенидов. Следует избегать контакта с сильными кислотами и щелочами.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Запрещенные вещества: сильные окислители, галогенные газы, кислотные вещества.

Продукты разложения: При высоких температурах может разлагаться в дым MoO_3 , что вызывает раздражение.

Часть 11: Токсикологическая информация

Острая токсичность: Нет значительной острой токсичности, ЛД50 (перорально, крысиные) > 2000 мг/кг.

Хроническая токсичность: Длительное вдыхание высоких концентраций молибденовой пыли может вызвать раздражение дыхательных путей или воспаление легких без признаков канцерогенности (не классифицируется как канцероген в МАИР).

Раздражение кожи: Длительное воздействие может вызвать легкое раздражение и не вызывает сенсбилизации.

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

Репродуктивная токсичность: Нет данных о репродуктивной токсичности или тератогенности.

Другие: Молибден является важным микроэлементом для организма человека, и чрезмерное вдыхание может привести к повышению концентрации молибдена в крови, но существенной опасности для здоровья нет.

Часть 12: Экологическая информация

Воздействие на окружающую среду: Молибденовая проволока является твердым металлом и не наносит существенного вреда окружающей среде. Отходы можно перерабатывать и утилизировать, чтобы избежать попадания в водоемы или почву.

Биоаккумулятивный: Не биоаккумулятивный.

Экотоксичность: Не оказывает существенной токсичности на водные организмы, ЛК50 (рыба, 96 часов) > 100 мг/л.

Стойкость и разлагаемость: Не применимо, молибден является неразлагаемым металлом.

Часть 13: Утилизация

Способ утилизации: Отходы молибденовой проволоки должны быть plombированы и собраны, сданы в профессиональное учреждение по переработке для утилизации, при этом их запрещено выбрасывать по своему усмотрению.

Вторичная переработка: Молибден — это металл, пригодный для вторичной переработки, который рекомендуется использовать повторно путем плавки или химической очистки.

Нормативные требования: В соответствии с Законом Китая о предотвращении и контроле загрязнения окружающей среды твердыми отходами и директивой ЕС RoHS, сброс отходов в окружающую среду запрещен.

РАЗДЕЛ 14: ИНФОРМАЦИЯ О ДОСТАВКЕ

Номер ООН: Нет (не опасный материал).

Отгрузочное наименование: молибденовая проволока.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Категория опасности при перевозке: Неопасные грузы, в соответствии с требованиями Международного кодекса морской перевозки опасных грузов (IMDG) и Международной ассоциации воздушного транспорта (IATA).

Требования к упаковке: Используйте герметичные пластиковые пакеты или металлические контейнеры для предотвращения механических повреждений.

Меры предосторожности при транспортировке: Сохраняйте его сухим во время транспортировки и избегайте смешивания с сильными окислителями.

Часть 15: Нормативная информация

Правила в Китае:

Соблюдайте «Маркировку и общие правила для опасных химических веществ» (GB/T 15258-2009).

Соблюдать Нормативы профессионального воздействия на опасные факторы на рабочих местах (ГБЗ 2.1-2019).

Международные правила:

В соответствии с регламентом ЕС REACH (ЕС 1907/2006), молибден не относится к особо опасным веществам (SVHC).

Соответствует стандартам OSHA по информированию об опасности (29 CFR 1910.1200).

Соответствует требованиям канадской WHMIS (Информационная система по опасным материалам для рабочего места).

Прочее: Производство и использование молибденовой проволоки регулируется системой экологического менеджмента ISO 14001 и системой менеджмента качества ISO 9001.

РАЗДЕЛ 16: ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Поставщик: CTIA GROUP LTD

Тел.: 0592-5129696/5129595

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



Молибденовая распылительная проволока CTIA GROUP LTD

Глава 3 Подготовка и процесс производства молибденовой распылительной проволоки

3.1 Подготовка сырья для молибденовой напыляемой проволоки

Подготовка молибденовой напыляемой проволоки начинается с выбора и обработки сырья, а от качественного процесса подготовки молибдена, как переходного металла с высокой температурой плавления и коррозионностойкого переходного металла, напрямую зависят эксплуатационные характеристики конечного продукта. Подготовка сырья включает в себя извлечение из молибденовой руды соединений молибдена высокой чистоты, которые, в свою очередь, перерабатываются в молибденовые порошки высокой чистоты, пригодные для формования. Этот процесс не только технологичен, но и требует сложного управления технологическим процессом для обеспечения однородности и надежности материала. В этом разделе будут подробно рассмотрены технологии обогащения и очистки молибденовой руды, процесс производства молибденового порошка высокой чистоты, а также контроль качества и тестирование молибденового порошка.

3.1.1 Технология обогащения и очистки молибденовых руд

Молибден встречается в природе в основном в виде молибденита (MoS_2), темно-серого металлического сульфидного минерала, который часто ассоциируется с металлическими минералами, такими как медь, вольфрам и железо. Распределение ресурсов молибденовых руд в мире относительно концентрировано, основными районами добычи являются Китай, США, Чили и Перу, среди которых доминирует Китай с его богатыми запасами и производством. Молибденовая руда Китая в основном распределяется в Луаньчунани в провинции Хэнань, Цзиньдуйчэн в провинции Шэньси и Дахэйшань в провинции Цзилинь, и молибденовая руда, добываемая в этих районах добычи, имеет хорошее качество, но часто

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

содержит различные примеси, которые необходимо отделить с помощью сложных процессов обогащения и очистки.

Первым этапом процесса обогащения является физическое дробление сырой руды. Добываемая молибденовая руда имеет большие размеры и обычно должна быть измельчена на более мелкие частицы с помощью щековых дробилок и конусных дробилок. Этот процесс может показаться простым, но он требует точного контроля параметров дробильной установки, чтобы избежать потерь минералов или загрязнения пылью из-за чрезмерного дробления. Измельченные частицы руды подаются в измельчительное оборудование, такое как шаровые или стержневые мельницы, где они в дальнейшем измельчаются в мелкие порошки. Целью измельчения является высвобождение частиц молибденита из попутных минералов и создание условий для последующего разделения. На этом этапе особое внимание необходимо уделить однородности размера зерна помола, так как слишком крупные частицы снизят эффективность обработки, в то время как слишком мелкие частицы могут увеличить стоимость обработки.

Основным процессом переработки полезных ископаемых является флотационная технология, которая представляет собой метод разделения минералов с использованием различий в поверхностных свойствах. Во время флотации тонко измельченная руда смешивается с водой с образованием суспензии и добавляются специальные химические вещества, включая коллекторы, пенообразователи и кондиционеры. Коллекторы (такие как ксантогенат или терпинеол) избирательно адсорбируют на поверхности частиц молибденита, делая их гидрофобными; Пенообразователь образует устойчивую пену в суспензии, гидрофобные частицы молибденита прикрепляются к пузырькам и всплывают на поверхность вместе с пеной, в то время как гидрофильные примеси опускаются на дно суспензии. Процесс флотации обычно требует нескольких циклов, и содержание молибденита постепенно увеличивается путем черновой обработки, отбора и подметания, и, наконец, получается концентрат молибдена высокой чистоты. Этот концентрат имеет темно-серый цвет с жирным блеском, что делает его идеальным сырьем для последующей очистки.

Процесс очистки концентрата молибдена предназначен для превращения молибденита в соединение, которое может быть использовано в производстве металлического молибдена, обычно оксида молибдена (MoO_3). Первым этапом очистки является обжиг, при котором концентрат молибдена подается в большую вращающуюся печь или многокамерную печь, где он вступает в реакцию с кислородом при высоких температурах. В процессе обжига сера в молибдените окисляется до газообразного диоксида серы и высвобождается, в то время как молибден превращается в оксид молибдена. Этот процесс требует точного контроля температуры и подачи кислорода, чтобы обеспечить полное удаление серы при одновременном исключении потерь при испарении оксида молибдена. Оксид молибдена после обжига представляет собой желтый или белый порошок, но все еще может содержать следовые количества меди, железа или других примесей, требующих дальнейшей химической очистки.

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

Химическая очистка обычно осуществляется с помощью процесса выщелачивания аммиаком. Оксид молибдена растворяют в аммиаке с образованием раствора молибдата аммония, при этом нерастворимые примеси фильтруют и отделяют. Затем молибдат аммония высокой чистоты осаждается из раствора путем кристаллизации испарением или кислотным осаждением. Это соединение является идеальным прекурсором для производства молибденового порошка высокой чистоты, а его чистота оказывает непосредственное влияние на успех последующего процесса. Весь процесс обогащения и очистки отражает сложность современных металлургических технологий, от экстенсивного дробления руды до тонкой химической сепарации, каждый этап которой должен быть тщательно продуман для обеспечения качества конечного продукта.

3.1.2 Процесс производства молибденового порошка высокой чистоты

Порошок молибдена высокой чистоты является основным материалом для молибденовой распылительной проволоки, а процесс его производства сосредоточен на восстановлении водорода, который направлен на преобразование оксида молибдена в металлический молибден при сохранении чрезвычайно высокой чистоты и соответствующих свойств частиц. Этот процесс требует не только передовой поддержки оборудования, но и глубокого понимания химических реакций и свойств материала, чтобы гарантировать, что молибденовый порошок соответствует строгим требованиям, предъявляемым к молибденовой распылительной проволоке.

Производство молибденового порошка высокой чистоты начинается с рафинирования оксида молибдена. Оксид молибдена, полученный в результате обжига, может содержать следовые примеси, которые необходимо дополнительно очистить химическими методами. Выщелачивание аммиака является широко используемым методом очистки, который позволяет эффективно удалять примеси, такие как железо, медь и кремний, контролируя pH и температуру раствора. Очищенный оксид молибдена высушивается и измельчается в мелкие частицы для подготовки к последующему процессу восстановления. Каждый процесс на этом этапе должен проводиться в чистой среде, чтобы избежать попадания внешних загрязнений.

Восстановление водорода является основным процессом производства молибденового порошка и обычно проводится в два этапа. Первым этапом является восстановление оксида молибдена до диоксида молибдена (MoO_2). Эта реакция происходит в трубчатой печи или толкательной печи, где порошок оксида молибдена помещается в высокотемпературную лодочную чашку и медленно пропускается через зону нагрева. Под защитой водородной атмосферы оксид молибдена вступает в реакцию с водородом, выделяя водяной пар и образуя диоксид молибдена. Этот процесс требует точного контроля температуры печи и потока водорода, чтобы гарантировать завершение реакции и отсутствие скопления частиц. Диоксид молибдена имеет темно-коричневый цвет и рыхлый по частицам, что является промежуточным продуктом второй ступени восстановления.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Второй этап – дальнейшее восстановление диоксида молибдена до металлического молибденового порошка. Этот процесс должен происходить при более высоких температурах, и водород продолжает действовать как восстановитель, вступая в реакцию с диоксидом молибдена с образованием металлического молибдена и водяного пара. Конструкция восстановительной печи имеет решающее значение, поскольку часто используется несколько зон нагрева для достижения постепенного повышения температуры. Для восстановления при высоких температурах требуется не только чистая атмосфера в печи, но и контроль скорости роста частиц, чтобы избежать образования зерен слишком большого размера. Конечный молибденовый порошок имеет серебристо-серый цвет, частицы мелкие и однородные, обладает хорошей текучестью и сжимаемостью.

Порошок восстановленного молибдена необходимо просеять и отсортировать, чтобы убедиться, что размер и распределение частиц соответствуют требованиям процесса волочения. Классификаторы воздушного потока или вибрационные сита используются для разделения порошков различных размеров частиц, при этом мелкие частицы используются для высокоточных применений, а более крупные частицы подвергаются повторной обработке. Весь производственный процесс осуществляется в чистом помещении или контролируемой среде для предотвращения загрязнения или окисления пылью. Приготовление молибденового порошка – это не только сочетание химии и инженерии, но и стремление к детализации и качеству.

3.1.3 Контроль качества и испытание порошка молибдена

Качество молибденового порошка напрямую определяет производительность молибденовой распылительной проволоки, поэтому контроль качества и тестирование являются ключевыми звеньями в подготовке сырья. Этот процесс включает в себя тщательную оценку химического состава, физических свойств и микроструктуры молибденового порошка, чтобы убедиться, что он соответствует строгим отраслевым стандартам. Контроль качества – это не только использование технических средств, но и систематическое управление производственным процессом, который пролегает через каждое звено от сырья до готовой продукции.

Обнаружение химических компонентов является основной задачей контроля качества. Чистота молибденового порошка чрезвычайно высока, и любые следовые примеси могут повлиять на производительность последующих процессов или окончательных покрытий. К наиболее часто используемым методам детектирования относится эмиссионная спектроскопия с индуктивно связанной плазмой (ICP-OES), которая позволяет быстро и точно анализировать содержание элементов в порошках молибдена, таких как железо, никель, углерод и кислород. Контроль содержания кислорода особенно важен, так как слишком большое количество кислорода может привести к окислению молибденового порошка при высоких температурах, что повлияет на эффект рисования или распыления. Метод плавения инертным газом является стандартным методом измерения содержания кислорода, которое точно определяется путем нагрева образца и анализа выделяющегося газа.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Проверяются физические свойства, включая распределение частиц по размерам, топографию и сыпучесть. Распределение частиц по размерам влияет на поведение порошка молибдена во время прессования и спекания, а лазерные анализаторы размера частиц широко используются для измерения размера и распределения частиц. Идеальный молибденовый порошок должен иметь равномерный размер частиц, при этом слишком крупные частицы могут вызвать дефекты формования, а слишком мелкие частицы могут снизить сыпучесть. Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) используется для наблюдения за морфологией порошка молибдена и проверки того, имеют ли частицы регулярную сферическую форму или есть ли агломерация. Испытание потока выполняется расходомером Холла для оценки скорости потока порошка в воронке, которая имеет решающее значение для стабильности процесса порошковой металлургии.

Контроль качества также включает в себя строгое управление процессами. Для полной прослеживаемости каждой партии молибденового порошка требуется подробная документация, включая происхождение сырья, производственные параметры и результаты испытаний. Этот механизм трассируемости не только помогает выявить потенциальные проблемы, но и обеспечивает поддержку данных для оптимизации процессов. Международные стандарты системы менеджмента качества, такие как ISO 9001, обеспечивают нормативную базу для производства молибденового порошка, гарантируя, что каждый этап производства соответствует установленным требованиям. Благодаря этим мерам производители могут производить молибденовые порошки с неизменным качеством и отличными эксплуатационными характеристиками, закладывая прочную основу для подготовки молибденовой проволоки с покрытием.

3.2 Процесс формовки молибденовой проволоки

Преобразование молибденового порошка высокой чистоты в молибденовую проволоку для напыления является сложным процессом, который включает в себя многоступенчатую обработку от порошка до нити. Твердые и хрупкие свойства молибдена усложняют процесс формования, требуя сложного оборудования и управления процессом для обеспечения прочности, однородности и качества поверхности проволоки. В этом разделе будут подробно рассмотрены технологии литья в порошковой металлургии, процесс волочения молибденовой проволоки, отжиг и снятие напряжений, а также очистка и полировка поверхности.

3.2.1 Технология литья в порошковой металлургии

Порошковая металлургия является основным процессом формовки молибденовой проволоки, который дает сырье для последующего волочения проволоки путем прессования и спекания молибденового порошка в плотную заготовку. Этот процесс, сочетающий в себе физическое сжатие и высокотемпературную обработку, позволяет эффективно использовать свойства молибденового порошка для производства высокопрочных молибденовых заготовок.

Первым этапом в порошковой металлургии является литье под давлением. Порошок

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

молибдена высокой чистоты упаковывается в специальную стальную форму, а гидравлический пресс под высоким давлением плотно уплотняет частицы порошка с образованием так называемой «зеленой заготовки». Сырая форма имеет низкую прочность и поддерживается только за счет механического прилегания между частицами, поэтому требуется особая осторожность при обращении и обработке. В процессе прессования необходимо контролировать величину и распределение давления, чтобы избежать трещин или неравномерной плотности внутри заготовки. В некотором передовом прессовом оборудовании используется технология холодного изостатического прессования, которая еще больше улучшает плотность и однородность сырой заготовки за счет приложения равномерного давления через жидкую среду.

Далее следует процесс спекания, при котором сырые заготовки подаются в высокотемпературную печь для термической обработки. Спекание обычно проводится в водородной или вакуумной среде для предотвращения окисления молибдена при высоких температурах. Температура печи для спекания точно контролируется ниже температуры плавления молибдена, что приводит к тому, что частицы порошка связываются путем диффузии, образуя прочную металлическую структуру. Процесс спекания не только повышает плотность заготовки, но и улучшает ее механические свойства, позволяя выдерживать последующую механическую обработку. Заготовка из спеченного молибдена имеет серебристо-серый цвет, гладкую поверхность и плотную внутреннюю структуру, что является идеальной отправной точкой для процесса волочения проволоки.

Спеченные молибденовые заготовки часто требуют дальнейшей горячей обработки, такой как горячая штамповка или горячая прокатка, для корректировки их размера и формы. Горячая штамповка деформирует заготовку путем удара молотком или экструзии, уточняя структуру зерна и повышая прочность. Горячая прокатка подготавливает процесс волочения проволоки путем раскатывания заготовки в тонкие молибденовые стержни через ряд валков. Эти этапы горячей обработки необходимо выполнять при высоких температурах, чтобы повысить пластичность молибдена и избежать хрупкого разрушения, вызванного холодной обработкой. Успех технологии порошковой металлургии заключается в превращении рассыпчатого порошка в жесткую металлическую заготовку, которая закладывает основу для формовки молибденовой проволоки.

3.2.2 Процесс волочения молибденовой проволоки

Волочение молибденовой проволоки является важным этапом переработки молибденовых стержней в нити, которые должны преодолеть твердые и хрупкие характеристики молибдена, чтобы проволока имела однородный диаметр и гладкую поверхность. Процесс черчения делится на два метода: одномодовое волочение проволоки и многомодовое непрерывное волочение проволоки, каждый из которых имеет свои собственные сценарии применения и характеристики.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Spray Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Spray Wire

Molybdenum spray wire is a high-purity molybdenum metal wire that is melted and deposited onto a substrate surface through thermal spray techniques such as flame spraying, plasma spraying, arc spraying, or HVOF (High Velocity Oxy-Fuel). The resulting coating offers excellent resistance to wear, corrosion, and high temperatures. Due to its high melting point and superior performance, molybdenum wire is widely used across various industrial sectors.

2. Characteristics of Molybdenum Spray Wire

High Melting Point: Approximately 2623°C, suitable for high-temperature environments.

Excellent Corrosion Resistance: Resists attack from acids, alkalis, and chemical media.

High Hardness & Wear Resistance: Tough coating that withstands mechanical wear.

Low Friction Coefficient: Reduces component wear and improves efficiency.

Chemical Stability: Maintains performance in harsh environments.

High Thermal Conductivity: Effectively dissipates heat and extends component lifespan.

3. Typical Uses of Molybdenum Spray Wire

Aerospace: Turbine blades, engine parts, thermal barrier coatings.

Automotive Industry: Wear-resistant coatings for piston rings, engine blocks, and brake discs.

Chemical & Energy Sectors: Corrosion-resistant pipelines, heat exchangers, wind power equipment.

Electronics & Semiconductors: Vacuum deposition heating wires, semiconductor leads.

Medical Field: Corrosion-resistant coatings for implants and surgical instruments.

Others: Marine anti-corrosion, wear-resistant construction machinery, high-temperature furnaces.

4. Basic Data of Molybdenum Spray Wire from CTIA GROUP LTD

Purity	≥99.95%
Density	10.2 g/cm ³
Diameter Range	1.0-3.0 mm, customizable
Tensile Strength	Moderate to ensure stable wire feeding
Packaging	Customized Packaging

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

3.2.2.1 Волочение одноматричной проволоки

Волочение проволоки с одной матрицей — это высокоточный метод обработки, подходящий для мелкосерийного производства или сценариев с чрезвычайно высокими требованиями к размеру проволоки. При волочении проволоки с одной матрицей молибденовый стержень предварительно нагревается для улучшения его пластичности, а затем протягивается через твердосплавную или алмазную матрицу на волочительной машине. Отверстие формы немного меньше диаметра молибденового стержня, и молибденовый стержень деформируется под действием растягивающей силы для постепенного уменьшения его поперечного сечения. После каждого рисования диаметр молибденовой проволоки немного уменьшается, и для достижения целевого размера требуется несколько натяжек.

Преимущество волочения проволоки с одной матрицей заключается в ее высокой точности и гибкости. Параметры формы и технологического процесса могут быть индивидуально отрегулированы для каждого чертежа, чтобы обеспечить размер и качество поверхности проволоки. Смазочные материалы играют ключевую роль в процессе волочения проволоки, и обычно используемые смазочные материалы включают графитовую эмульсию или дисульфид молибдена, которые могут уменьшить трение между матрицей и молибденовой проволокой, продлить срок службы матрицы и улучшить качество поверхности проволоки. Недостатком волочения проволоки с одной матрицей является то, что эффективность низкая, и ее необходимо вручную управлять для замены формы или регулировки оборудования после каждого волочения, что подходит для аэрокосмической и других областей с чрезвычайно высокими требованиями к качеству.

3.2.2.2 Многорежимное непрерывное волочение проволоки

Многорежимное непрерывное волочение проволоки является эффективным методом промышленного производства, подходящим для крупносерийного производства молибденовой распылительной проволоки. В этом процессе молибденовый стержень непрерывно протягивается через ряд форм, каждая из которых имеет постепенное уменьшение диаметра пор. Волочительная машина оснащена несколькими основаниями штампов и тяговыми устройствами, а молибденовая проволока поступает в следующую матрицу сразу после прохождения через одну матрицу для достижения непрерывной обработки. Многорежимное волочение имеет высокую степень автоматизации, и обеспечивает однородность и стабильность проволоки за счет точного контроля натяжения и системы охлаждения.

Ключ к многорежимному черчению лежит в проектировании последовательности штампа и координации параметров процесса. Уменьшение размера пор матрицы требует научного планирования, чтобы избежать обрыва проволоки или дефектов в процессе волочения. Система охлаждения обычно имеет водяное или воздушное охлаждение, чтобы предотвратить охрупчивание молибденовой проволоки из-за чрезмерной температуры в процессе волочения. Непрерывная подача смазочного материала также имеет решающее значение, часто распыляя смазку на поверхности матрицы и проволоки через

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

рециркуляционную систему. Производственная эффективность многомодового непрерывного волочения проволоки намного выше, чем при одномодовом волочении проволоки, которое подходит для сценариев, требующих крупномасштабных поставок, таких как автомобильная промышленность или энергетическое оборудование.

3.2.3 Отжиг молибденовой проволоки и снятие напряжений

В процессе волочения внутри молибденовой проволоки возникают остаточные напряжения, которые могут привести к образованию трещин или разрывов при последующей обработке или использовании. Отжиг и снятие напряжений являются важными этапами восстановления кристаллической структуры молибденовой проволоки с помощью термообработки, улучшая ее пластичность и ударную вязкость.

Отжиг обычно проводят в вакуумной или водородной печи для предотвращения окисления поверхности молибденовой проволоки. Молибденовая проволока медленно нагревается до определенной температуры, выдерживается в течение определенного периода времени, а затем постепенно охлаждается. Этот процесс перестраивает волокна, устраняя дислокации и концентрации напряжений, которые образуются в процессе волочения. Выбор температуры отжига имеет решающее значение, слишком высокая температура может привести к слишком большому зерну и снижению прочности проволоки, в то время как слишком низкая температура не будет эффективной для снятия напряжения. В некоторых передовых процессах отжига используется ступенчатый нагрев для постепенной корректировки микроструктуры проволоки через несколько температурных стадий для оптимизации ее свойств.

Водородный отжиг является широко используемым методом, который не только обеспечивает защитную атмосферу, но и вступает в реакцию со следовыми оксидами на поверхности для дальнейшей очистки поверхности молибденовой проволоки. Вакуумный отжиг больше подходит для высокоточных применений, так как он не содержит каких-либо газообразных примесей и обеспечивает чистоту проволоки. Отожженная молибденовая проволока обладает значительно улучшенной гибкостью и лучшим блеском поверхности, что может удовлетворить строгие требования процесса напыления к производительности проволоки.

3.2.4 Очистка и полировка поверхности

После волочения и отжига на поверхности молибденовой проволоки могут оставаться смазочные материалы, оксиды или другие загрязнения, что может повлиять на стабильность процесса напыления и качество покрытия. Очистка и полировка поверхности является заключительным этапом формовки молибденовой проволоки, целью которого является создание гладкой, безупречной поверхности проволоки.

Процесс очистки обычно включает в себя химическую очистку и ультразвуковую очистку. При химической очистке используются слабокислые или щелочные растворы, такие как

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

разбавленная соляная кислота или гидроксид натрия, для удаления оксидных слоев и органических остатков с поверхности. После очистки молибденовую проволоку нужно тщательно промыть деионизированной водой, чтобы избежать остатков химикатов. При ультразвуковой очистке используются высокочастотные звуковые волны для создания крошечных пузырьков в жидкости, которые лопаются с силой удара, эффективно удаляющей микронные частицы и масло. Ультразвуковая очистка особенно подходит для проводов сложной формы, гарантируя, что каждый сантиметр поверхности будет чистым и безупречным.

Полировка является важным этапом в улучшении качества поверхности молибденовой проволоки и может быть достигнута путем механической или электрохимической полировки. При механической полировке используются мелкие абразивы, такие как оксид алюминия или алмазный порошок, для полировки поверхности проволоки с помощью вращающейся щетки или абразивной ленты для достижения зеркального эффекта. Электрохимическая полировка помещает молибденовую проволоку в электролит, который действует как анод, а микроскопические выступы на поверхности преимущественно растворяются, в результате чего получается гладкая поверхность. Полированная молибденовая проволока не только имеет яркий внешний вид, но и уменьшает разбрызгивание капель расплава в процессе распыления и улучшает однородность покрытия.

3.3 Специальная обработка молибденовой напыляемой проволоки

Молибденовая распылительная проволока требует специальной обработки для удовлетворения уникальных потребностей процесса термического напыления. Эти обработки включают в себя активацию поверхности, настройку спецификаций и модификацию поверхности для оптимизации производительности проволоки в процессе распыления, обеспечения качества покрытия и эффективности производства.

3.3.1 Активационная обработка поверхности молибденовой проволоки

Поверхностно-активационная обработка предназначена для улучшения химической активности и физических свойств поверхности молибденовой проволоки, что облегчает ее плавление и образование равномерных капель в процессе напыления. Активация может быть достигнута химическими, плазменными или механическими методами, каждый из которых имеет свои уникальные преимущества.

При химической активации обычно используются разбавленные кислоты или щелочи для замачивания молибденовой проволоки для удаления поверхностных оксидов и повышения шероховатости поверхности. Такая обработка делает поверхность молибденовой проволоки более гидрофильной, что способствует образованию и выбросу капель расплава. Плазменная активация использует низкотемпературную плазму для бомбардировки поверхности проволоки, введения активных функциональных групп и улучшения химической реактивности поверхности. Этот метод особенно подходит для высокоточного распыления, так как он не изменяет размеры или механические свойства проволоки. Механическая

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

активация увеличивает шероховатость поверхности и усиливает адгезию расплавленных капель путем микроструйной обработки или матирования.

В процессе активации необходимо выбрать подходящий метод в соответствии с оборудованием для распыления и сценарием применения. Например, напыление в аэрокосмической отрасли требует чрезвычайно высокого качества покрытия, часто с плазменной активацией, чтобы гарантировать чистоту и высокую активность поверхности нити. Активированная молибденовая проволока может значительно повысить эффективность напыления и прочность сцепления покрытия.

3.3.2 Спецификация кастомизации молибденовой проволоки для напыления

Разнообразие оборудования для распыления требует молибденовой проволоки с индивидуальными характеристиками, включая диаметр, длину и состав. Индивидуализация спецификаций является отражением тесного сотрудничества производителя с клиентом, чтобы гарантировать, что нить идеально подходит к системе распыления.

Диаметр молибденовой проволоки напрямую влияет на скорость подачи проволоки и свойства плавления. Более тонкие нити подходят для высокоточного напыления и могут образовывать тонкое и равномерное покрытие; Более грубые нити подходят для высокоэффективного распыления и могут быстро покрывать большие площади оснований. Проволока обычно поставляется в катушках с длиной, соответствующей потребностям оборудования, что обеспечивает непрерывное распыление. Упаковка состоит из вакуумных пластиковых пакетов или металлических контейнеров, чтобы проволока не отсырела и не окислилась.

Кастомизация ингредиентов — еще один важный аспект. Для некоторых областей применения распыления требуется молибденовая проволока, легированная редкоземельными элементами, такими как лантан или церий, для повышения стойкости к окислению или пластичности. Процесс легирования завершается перед волочением проволоки и достигается путем корректировки рецептуры молибденового порошка. Индивидуальные спецификации не только улучшают результаты распыления, но и продлевают срок службы оборудования и снижают затраты на техническое обслуживание.

3.3.3 Технология модификации поверхности молибденовой проволоки

Технология модификации поверхности дополнительно оптимизирует характеристики покрытия молибденовой проволоки за счет изменения ее химических или физических свойств. Эти технологии включают в себя силиконизацию, легирующую модификацию и предварительную обработку покрытия для таких проблем, как высокотемпературное окисление или нестабильность капель при распылении.

Процесс силиконизации происходит в высокотемпературной кремниевой атмосфере с образованием защитного слоя из силицида молибдена (MoSi_2). Этот защитный слой

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

эффективен против высокотемпературного окисления и продлевает срок службы проволоки в процессе напыления. Легирующая модификация улучшает структуру зерна и улучшает устойчивость к высоким температурам за счет введения редкоземельных или щелочных металлических элементов в поверхность проволоки. В процессе предварительного нанесения покрытия на поверхность проволоки наносится тонкая пленка, такая как оксид алюминия или диоксид циркония, чтобы уменьшить образование оксидов в процессе напыления.

Эти технологии модификации должны быть тесно интегрированы с процессом напыления, чтобы гарантировать, что модифицированный слой не повлияет на подачу проволоки или плавление проволоки. Благодаря модификации поверхности молибденовая проволока может хорошо работать в суровых условиях распыления, отвечая строгим требованиям авиации, энергетики и других областей.

3.4 Процесс распыления

Процесс напыления представляет собой основной процесс плавления и нанесения молибденовой проволоки на поверхность подложки, включающий в себя три этапа: предварительную обработку подложки, технологию термического напыления и последующую обработку. Каждый этап играет решающую роль в качестве и эксплуатационных характеристиках покрытия.

3.4.1 Предварительная обработка поверхности оснований

Состояние поверхности основания оказывает непосредственное влияние на адгезию и долговечность покрытия. При предварительной обработке используются механические, химические и ультразвуковые методы для очистки и оптимизации поверхности основания и создания идеальных условий для распыления.

3.4.1.1 Механическая пескоструйная обработка

При механической струйной обработке используется высокоскоростная струя абразивов, таких как оксид алюминия или карбид кремния, для воздействия на поверхность подложки, увеличивая шероховатость и удаляя примеси, такие как оксиды, старые покрытия и многое другое. Процесс струйной обработки требует точного контроля типа абразива, давления струи и угла наклона во избежание повреждения подложки. Шероховатая поверхность усиливает механическую адгезию покрытия к основанию и улучшает адгезию. Пескоструйная обработка подходит для твердых оснований, таких как сталь и сплавы на основе никеля, и является распространенным методом предварительной обработки напылением.

3.4.1.2 Химическая очистка

При химической очистке используются растворители или щелочные растворы для удаления масла, смазочных материалов и другой органики с поверхности подложки. Обычно используемые чистящие средства включают растворы этанола, ацетона или гидроксида натрия, которые промываются деионизированной водой после очистки, чтобы убедиться в

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

отсутствии остатков. Химическая очистка подходит для оснований со сложной формой, и способна проникать глубоко в щели и отверстия, обеспечивая тщательно чистую поверхность. Этот процесс требует внимания к подбору чистящих средств, чтобы избежать коррозии основания.

3.4.1.3 Ультразвуковая очистка

При ультразвуковой очистке используются высокочастотные звуковые волны для создания крошечных пузырьков в жидкости, которые лопаются с силой удара, отслаивающей мельчайшие частицы и остатки от поверхности подложки. Ультразвуковая очистка особенно подходит для чувствительных компонентов, таких как лопасти авиационных двигателей или детали полупроводникового оборудования. Чистящим раствором обычно является деионизированная вода или мягкое чистящее средство, а время и частота очистки необходимо регулировать в соответствии с характеристиками подложки, чтобы обеспечить результаты очистки без повреждения поверхности.

3.4.2 Технология термического напыления

Технология термического напыления расплавляет и распыляет молибденовую проволоку на поверхность подложки при высоких температурах для формирования защитного покрытия. Обычно используемые методы термического напыления включают газопламенное напыление, плазменное напыление, дуговое напыление и высокоскоростное кислородное напыление (HVOF).

3.4.2.1 Процесс газопламенного напыления

При газопламенном напылении используется кислородно-ацетиленовое пламя для нагрева молибденовой проволоки для ее расплавления или полурасплавления, которое затем распыляется на поверхность подложки сжатым воздухом. Оборудование для газопламенного напыления простое и гибкое в эксплуатации, что подходит для строительства на месте или распыления крупных компонентов. Однако из-за более низкой температуры пламени пористость покрытия выше, а адгезия относительно слабая, что подходит для сценариев с низкими требованиями к производительности, таких как ремонт механических деталей.

3.4.2.2 Процесс плазменного напыления

При плазменном напылении образуется высокотемпературная плазма (до 15 000 °C) с помощью электрической дуги, которая быстро плавит молибденовую проволоку и распыляет ее на поверхность подложки с высокой скоростью. Плазменное напыление создает плотное адгезивное покрытие для высокопроизводительных применений, таких как аэрокосмическое и энергетическое оборудование. Ключевым фактором является точный контроль параметров технологического процесса, включая тип плазменного газа, интенсивность тока и расстояние распыления.

3.4.2.3 Процесс дугового напыления

Дуговое напыление использует дуговой нагрев между двумя молибденовыми проволоками

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

для расплавления проволоки и распыления ее через сжатый воздух на подложку. Дуговое напыление обладает высокой эффективностью напыления и подходит для напыления на больших площадях, таких как стальные конструкции мостов или компоненты судов. Качество покрытия зависит от согласования стабильности дуги и скорости подачи проволоки, а правильная настройка процесса может значительно улучшить характеристики покрытия.

3.4.2.4 Высокоскоростное кислородно-топливное напыление (HVOF)

При распылении HVOF образуется высокоскоростное пламя за счет сгорания кислорода и топлива (например, керосина), которое впрыскивает расплавленную молибденовую проволоку на подложку со сверхзвуковой скоростью. Покрытия HVOF имеют чрезвычайно низкую пористость, высокую твердость и адгезию, что делает их лучшим выбором для высокотехнологичных применений, таких как авиационные двигатели и газовые турбины. Сложность процесса высока, но превосходные свойства покрытия делают его незаменимым в критически важных областях.

3.4.3 Обработка после распыления

Обработка после распыления предназначена для оптимизации характеристик покрытий, включая термическую обработку, полировку и герметизацию.

3.4.3.1 Термическая обработка и отжиг

Термическая обработка улучшает микроструктуру за счет нагрева покрытия в вакууме или защитной атмосфере, устраняя остаточные напряжения. Процесс отжига усиливает адгезию покрытия к основанию и повышает устойчивость к тепловому удару. Температуру термообработки и время выдержки необходимо регулировать в соответствии с толщиной покрытия и характеристиками подложки, чтобы избежать ухудшения характеристик из-за перегрева.

3.4.3.2 Покрытие, полировка и отделка

Полировка сглаживает поверхность покрытия механическим или электрохимическим методами, уменьшая шероховатости и трение. При механической полировке используются алмазные абразивы, в то время как при электрохимической полировке используется электролиз для достижения зеркального эффекта. Полированное покрытие лучше работает в скользящих деталях, таких как поршневые кольца, и значительно продлевает срок службы.

3.4.3.3 Обработка герметизации покрытия

При герметизации используются органические (например, эпоксидные) или неорганические (например, диоксид кремния) герметики для заполнения пор покрытия и предотвращения проникновения агрессивных сред. Герметизирующие покрытия особенно подходят для покрытий в морских или химических средах и могут значительно повысить долговечность. Выбор герметика основан на совместимости с покрытием для обеспечения долговременной стабильности.

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Spray Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Spray Wire

Molybdenum spray wire is a high-purity molybdenum metal wire that is melted and deposited onto a substrate surface through thermal spray techniques such as flame spraying, plasma spraying, arc spraying, or HVOF (High Velocity Oxy-Fuel). The resulting coating offers excellent resistance to wear, corrosion, and high temperatures. Due to its high melting point and superior performance, molybdenum wire is widely used across various industrial sectors.

2. Characteristics of Molybdenum Spray Wire

High Melting Point: Approximately 2623°C, suitable for high-temperature environments.

Excellent Corrosion Resistance: Resists attack from acids, alkalis, and chemical media.

High Hardness & Wear Resistance: Tough coating that withstands mechanical wear.

Low Friction Coefficient: Reduces component wear and improves efficiency.

Chemical Stability: Maintains performance in harsh environments.

High Thermal Conductivity: Effectively dissipates heat and extends component lifespan.

3. Typical Uses of Molybdenum Spray Wire

Aerospace: Turbine blades, engine parts, thermal barrier coatings.

Automotive Industry: Wear-resistant coatings for piston rings, engine blocks, and brake discs.

Chemical & Energy Sectors: Corrosion-resistant pipelines, heat exchangers, wind power equipment.

Electronics & Semiconductors: Vacuum deposition heating wires, semiconductor leads.

Medical Field: Corrosion-resistant coatings for implants and surgical instruments.

Others: Marine anti-corrosion, wear-resistant construction machinery, high-temperature furnaces.

4. Basic Data of Molybdenum Spray Wire from CTIA GROUP LTD

Purity	≥99.95%
Density	10.2 g/cm ³
Diameter Range	1.0-3.0 mm, customizable
Tensile Strength	Moderate to ensure stable wire feeding
Packaging	Customized Packaging

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

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

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

3.5 Оптимизация процесса производства молибденовой напыляемой проволоки

Оптимизация процессов является ключом к повышению качества и эффективности молибденовой распылительной проволоки, включая контроль параметров, обеспечение качества и экологичное производство.

3.5.1 Оптимизация и контроль технологических параметров

Оптимизация процесса повышает стабильность и производительность продукта за счет регулировки параметров волочения проволоки, напыления и т. д. Например, в процессе волочения необходимо сбалансировать скорость волочения и натяжение, чтобы проволока была однородной; В процессе распыления необходимо оптимизировать расстояние распыления и поток газа для улучшения качества покрытия. Система мониторинга в режиме реального времени обеспечивает стабильные параметры и повышает эффективность производства благодаря датчикам и механизмам обратной связи.

3.5.2 Система обеспечения качества

Система обеспечения качества охватывает весь процесс от сырья до готовой продукции в соответствии со стандартом ISO 9001. Включая проверку чистоты сырья, проверку размера проволоки и проверку характеристик покрытия. Механизм прослеживаемости партий позволяет отслеживать проблемы и постоянно совершенствовать процесс. Гарантия качества – это не только техническое требование, но и отражение корпоративной репутации.

3.5.3 Зеленое производство и энергосберегающие технологии

«Зеленое» производство ориентировано на энергосбережение, сокращение выбросов и переработку ресурсов. Эффективное оборудование используется для снижения энергопотребления, восстановления распыленных частиц молибдена и сокращения отходов. Сократите выбросы углекислого газа за счет использования возобновляемых источников энергии для питания производственного оборудования. «Зеленое» производство не только отвечает требованиям охраны окружающей среды, но и повышает рыночную конкурентоспособность предприятий.

3.6 Ключевые технические моменты

Технология производства молибденовой распылительной проволоки представляет собой высокотехнологичный производственный процесс, объединяющий материаловедение, машиностроение и технологию обработки поверхности, суть которой заключается в обеспечении высокой чистоты молибденовой проволоки, превосходных характеристик покрытия, а также эффективности и последовательности процесса нанесения покрытия. В этом разделе будут подробно рассмотрены три ключевых технических аспекта подготовки молибденовой проволоки высокой чистоты, контроля качества покрытия распылением, а также эффективности и стабильности распыления, а также показано, как эти технологии играют жизненно важную роль в производстве молибденовой проволоки.

3.6.1 Технология подготовки молибденовой проволоки высокой чистоты

Молибденовая проволока высокой чистоты является основой процесса напыления, а

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

технология ее подготовки напрямую определяет физические свойства, химическую стабильность и распыляемый эффект проволоки. Будучи легкоплавким, устойчивым к коррозии переходным металлом, молибден должен преодолеть свои твердые и хрупкие свойства и высокую чувствительность к кислороду, чтобы производить проволоку с высокой чистотой и стабильными характеристиками.

Приготовление молибденовой проволоки высокой чистоты начинается с обработки молибденового порошка высокой чистоты. Как упоминалось ранее, порошок молибдена получают путем восстановления оксида молибдена водородом, но его чистота и свойства частиц должны быть дополнительно оптимизированы для удовлетворения потребностей процесса волочения проволоки. В процессе подготовки порошок молибдена должен быть тщательно просеян и отсортирован для удаления частиц большого или меньшего размера и обеспечения равномерного распределения частиц. Эта однородность имеет важное значение для последующего прессования и спекания, так как любое неравномерное зерно может привести к внутренним дефектам заготовки, что в свою очередь может повлиять на прочность и пластичность проволоки.

При прессовании порошка молибдена используется технология холодного изостатического прессования, и порошок уплотняется в сырую заготовку путем приложения равномерного давления через жидкую среду. Этот метод значительно улучшает плотность и структурную консистенцию заготовки по сравнению с традиционным однонаправленным прессованием. Прессованные сырые заготовки подаются в высокотемпературную печь для спекания, где они нагреваются до температуры, близкой к температуре плавления молибдена в водородной или вакуумной среде. Процесс спекания не только связывает частицы порошка в прочную металлическую структуру, но и устраняет внутреннюю пористость за счет рекомбинации и диффузии зерен. При проектировании печи для спекания следует учитывать чистоту атмосферы и равномерность температуры, чтобы предотвратить окисление или аномальный рост зерна.

Спеченная молибденовая заготовка должна быть переработана в тонкие молибденовые стержни методом горячей штамповки или горячей прокатки в рамках подготовки к процессу волочения проволоки. Горячая штамповка делает зернистую структуру заготовки более плотной и улучшает ее пластичность за счет многократной обработки молотком или экструзией. При горячей прокатке используется ряд валков для постепенного уменьшения диаметра заготовки для получения молибденовых прутков, пригодных для волочения проволоки. Весь термический процесс необходимо проводить при высоких температурах, чтобы снизить хрупкость молибдена, но слишком высокие температуры могут привести к окислению поверхности, поэтому его необходимо эксплуатировать в защитной атмосфере.

Волочение проволоки является основным звеном подготовки молибденовой проволоки высокой чистоты, а молибденовый стержень перерабатывается в нить с помощью одномодового или многомодового процесса волочения проволоки. Волочение с одной

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

матрицей подходит для мелкосерийного высокоточного производства проволоки, а матрица и смазка должны быть тщательно отрегулированы для каждого волочения, чтобы поверхность проволоки была гладкой и не имела трещин. Многорежимное непрерывное волочение проволоки больше подходит для крупносерийного производства, а эффективная обработка может быть достигнута с помощью автоматизированного оборудования. В процессе волочения особенно важны выбор смазочных материалов и контроль скорости подачи проволоки, а обычно используемые смазочные материалы, такие как графитовая эмульсия или дисульфид молибдена, могут эффективно снизить износ матрицы и улучшить качество проволоки. Тянутая молибденовая проволока должна быть отожжена для устранения внутреннего напряжения и восстановления стабильности кристаллической структуры, чтобы обеспечить ее хорошие механические свойства в процессе напыления.

Технология подготовки молибденовой проволоки высокой чистоты требует не только точности процесса, но и всестороннего контроля сырья, оборудования и окружающей среды. Например, производственный цех необходимо содержать в чистоте, чтобы предотвратить загрязнение провода пылью или примесями; Оборудование для волочения проволоки необходимо регулярно калибровать, чтобы обеспечить точность диаметра отверстия матрицы. В совокупности эти детали определяют качество молибденовой проволоки, что позволяет ей удовлетворять потребности высокотехнологичных приложений, таких как аэрокосмическая и автомобильная промышленность.

3.6.2 Контроль качества напыляемых покрытий

Качество напыляемого покрытия является важным показателем для измерения технического уровня производства молибденовой напыляемой проволоки. Высококачественные покрытия требуют отличной адгезии, равномерной толщины и хорошей износостойкости и коррозионной стойкости. Контроль качества покрытия присутствует на каждом этапе процесса распыления, от предварительной обработки основания до корректировки параметров покрытия и проверки покрытия, гарантируя, что конечный продукт соответствует строгим отраслевым стандартам.

Предварительная обработка основания является отправной точкой для контроля качества покрытия. Чистота и шероховатость поверхности основания напрямую влияют на адгезию покрытия, поэтому необходимо тщательно удалять масло, оксиды и другие загрязнения с помощью таких методов, как механическая струйная обработка, химическая очистка и ультразвуковая очистка. Пескоструйная обработка увеличивает шероховатость поверхности подложки за счет струи абразива (например, оксида алюминия) с высокой скоростью, создавая микроскопическую вогнуто-выпуклую структуру, которая облегчает механическое сопряжение покрытия с подложкой. При химической очистке используются мягкие растворители или щелочи для удаления органических загрязнений, в то время как при ультразвуковой очистке используется взрывной эффект крошечных пузырьков, создаваемых высокочастотными звуковыми волнами, для удаления мельчайших частиц, до которых трудно добраться. Эти этапы предварительной обработки должны быть индивидуально разработаны

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

в соответствии с материалом и формой основания для обеспечения идеального состояния поверхности.

Контроль параметров в процессе распыления лежит в основе управления качеством. Рабочие параметры оборудования для распыления, такого как пистолеты для дугового распыления или системы плазменного напыления, включая расстояние распыления, расход газа, интенсивность тока и скорость подачи проволоки, должны быть точно скоординированы. Например, слишком близкое распыление может привести к перегреву покрытия и образованию трещин, в то время как слишком большое распыление может привести к слишком быстрому охлаждению капель и снижению адгезии. Регулирование расхода газа влияет на скорость впрыска и эффективность осаждения расплавленных капель, в то время как выбор интенсивности тока определяет степень плавления молибденовой проволоки. Современное оборудование для распыления часто оснащено системой мониторинга в режиме реального времени, которая собирает такие данные, как температура, давление и скорость, через датчики и своевременно корректирует параметры для поддержания стабильности процесса.

Проверка качества покрытия является последней линией защиты для контроля качества. Обычно используемые методы контроля включают микроструктурный анализ, испытание на адгезию и оценку стойкости к истиранию. Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) используется для наблюдения за микроскопической топографией покрытий и проверки на наличие пор, трещин или нерасплавленных частиц. Испытание на адгезию оценивает прочность покрытия к основанию с помощью испытания на растяжение или сдвиг, обычно используемого в соответствии со стандартом ASTM C633. Испытание на стойкость к истиранию имитирует износ покрытия в реальном использовании, а долговечность покрытия измеряется с помощью машины для испытаний на трение. Кроме того, толщина и однородность покрытия оцениваются с помощью ультразвукового толщиномера или рентгенофлуоресцентного анализа для обеспечения соответствия проектным требованиям.

Контроль качества покрытий также требует создания комплексной системы управления качеством. Каждая производственная партия должна быть подробно задокументирована, включая информацию о сырье, параметрах процесса и результатах испытаний, для обеспечения полной прослеживаемости. Международные стандарты, такие как ISO 9001, обеспечивают нормативную базу для управления качеством, обеспечивая стабильность производственного процесса и постоянство продукции за счет регулярных аудитов и постоянного совершенствования. Такой систематический подход к контролю качества позволяет наносить покрытия из молибденовой распылительной проволоки для удовлетворения потребностей в сложных областях применения, таких как износостойкие покрытия для лопаток газовых турбин или автомобильных поршневых колец.

3.6.3 Эффективность и консистенция распыления

Эффективность и стабильность распыления являются ключевыми факторами в технологии

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

производства, напрямую влияющими на производственные затраты и качество продукции. Эффективный процесс распыления позволяет наносить большие участки покрытия за короткий промежуток времени, в то время как консистенция обеспечивает стабильные характеристики покрытия для каждого компонента и позволяет избежать дефектов, вызванных колебаниями процесса.

Повышение эффективности опрыскивания зависит от оптимизации оборудования и совершенствования технологических процессов. В современных системах напыления используется мощный источник тепла, такой как плазма или HVOF, для быстрого расплавления молибденовой проволоки и формирования высокоскоростного потока капель расплава, что приводит к более высокой скорости осаждения. Внедрение автоматизированной системы подачи проволоки позволило значительно повысить эффективность, так как она способна подавать молибденовую проволоку с постоянной скоростью и углом по сравнению с ручной подачей проволоки, снижая погрешность работы человека. Эффективность еще больше повышается за счет использования роботов-распылителей, которые способны точно перемещать пистолет по заданной траектории, чтобы покрыть поверхность подложек сложной формы для быстрого и равномерного нанесения покрытия.

Достижение согласованности требует ряда подходов. Прежде всего, качество молибденовой проволоки должно быть стабильным, включая однородность диаметра, шероховатости поверхности и химического состава. Любые несоответствия проволоки могут привести к колебаниям размера капель или скорости струи, что повлияет на качество покрытия. Во-вторых, решающее значение имеет стабильность работы распылительного оборудования. Электропитание, система газоснабжения и система охлаждения завода требуют регулярного технического обслуживания для предотвращения отклонений технологического процесса из-за старения или неисправности оборудования. Кроме того, не следует игнорировать контроль факторов окружающей среды, а в цехе распыления необходимо поддерживать постоянную температуру и влажность, чтобы избежать влияния внешних условий на осаждение капель расплава.

Стандартизация технологических параметров является важным средством обеспечения согласованности. Установив подробные операционные процедуры (СОП), определяющие диапазон и метод регулировки для каждого параметра, операторы могут поддерживать постоянные условия процесса от партии к партии. Управление процессами на основе данных является тенденцией развития в последние годы, благодаря технологии IoT и анализу больших данных, ключевые данные в процессе распыления собираются в режиме реального времени, потенциальные проблемы прогнозируются и вмешиваются заранее. Например, некоторые передовые системы распыления могут использовать алгоритмы машинного обучения для оптимизации комбинаций параметров и значительного улучшения однородности покрытия.

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

Баланс между эффективностью и стабильностью распыления требует сочетания производственных потребностей и факторов стоимости. Чрезмерный акцент на эффективности может привести к снижению качества покрытия, в то время как чрезмерный акцент на консистенции может увеличить время производства и затраты. Поэтому производителям необходимо найти наилучший баланс в проектировании процессов для достижения эффективного и высококачественного производства за счет технологических инноваций и оптимизации процессов.

3.7 Применение передовых технологий

В связи с быстрым развитием материаловедения и производственных технологий, технология производства молибденовой распылительной проволоки постоянно включает в себя передовые технологии для удовлетворения потребностей более высокопроизводительных и сложных применений. На этой сессии будет обсуждаться применение технологии наноразмерного распыления, технологии лазерного распыления, технологии холодного напыления, а также интеллектуальных и автоматизированных систем распыления, а также показано, как эти передовые технологии могут стимулировать технологические инновации в индустрии молибденовой проволоки.

3.7.1 Технология наноразмерного напыления

Технология наноразмерного напыления — это передовой метод повышения производительности за счет контроля микроструктуры покрытия вплоть до наноразмера. В то время как размер зерна обычных напыляемых покрытий обычно находится в микронном диапазоне, наноразмерное напыление уменьшает размер зерна покрытия до нанометрового масштаба за счет оптимизации параметров покрытия и свойств материала. Эта мелкозернистая структура значительно улучшает твердость, ударную вязкость и износостойкость покрытия, что делает его превосходным в экстремальных условиях.

При применении молибденовой распылительной проволоки технология наноразмерного напыления достигается за счет регулировки источника тепла и поведения осаждения капель в процессе термического напыления. Плазменное напыление и напыление HVOF являются широко используемыми технологическими платформами, которые генерируют более мелкие капли расплава за счет точного контроля состава плазменного газа, мощности распыления и скорости впрыска. Эти капли быстро затвердевают на поверхности подложки, образуя наноразмерные зернистые структуры. Для дальнейшей оптимизации результатов в некоторые процессы вводятся наноразмерные молибденовые порошки или легирующие примеси (такие как наночастицы диоксида циркония или оксида алюминия), которые осаждаются вместе с молибденовой проволокой в процессе распыления с образованием композитного покрытия.

Преимущество технологии наноразмерного напыления заключается в том, что она позволяет значительно улучшить характеристики покрытий. Например, нанесение наноразмерного молибденового покрытия на лопатки турбин авиационных двигателей позволяет эффективно противостоять высокотемпературному окислению и механическому износу, а также продлить

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

срок службы компонентов. Кроме того, нанопокрывание имеет более гладкую поверхность и более низкий коэффициент трения, что делает его пригодным для высокоточных деталей скольжения, таких как автомобильные поршневые кольца или уплотнения гидравлической системы. Однако технология наноразмерного напыления крайне требовательна к управлению технологическим процессом, и даже малейшее отклонение по какому-либо параметру может привести к несоответствию размера зерна, что требует передового оборудования для мониторинга и технической поддержки.

3.7.2 Технология лазерного напыления

Технология лазерного напыления сочетает в себе высокую плотность энергии лазеров с гибкостью термического напыления, что позволяет революционизировать производство молибденовых проволок с напыляемым покрытием. При традиционном термическом напылении молибденовая проволока плавится пламенем, плазмой или дугой, в то время как лазерное покрытие использует лазерный луч в качестве вспомогательного источника тепла или инструмента для последующей обработки, что значительно повышает качество и точность покрытия.

При лазерном напылении лазерный луч может работать синхронно с источником тепла распыления, таким как плазма или дуга, для предварительного нагрева поверхности подложки или для помощи в плавлении молибденовой проволоки. Высокая фокусировка лазера приводит к более концентрированному подводу тепла, уменьшению зоны термического влияния и снижению риска термического искажения подложки. Кроме того, лазер способен точно контролировать температуру и траекторию осаждения расплавленных капель, что приводит к более равномерному покрытию и меньшей пористости. Некоторые передовые системы даже используют лазеры для переплавки напыляемого покрытия, что улучшает микроструктуру покрытия за счет быстрого плавления и затвердевания, что еще больше улучшает его компактность и прочность сцепления.

Технология лазерного распыления может использоваться в самых разных областях. В аэрокосмической отрасли лазерное напыление позволяет получать высокоэффективные молибденовые покрытия на подложках из титана или никелевого сплава для защиты лопаток турбин или камер сгорания. В энергетической промышленности лазерное напыление используется для создания покрытий, устойчивых к высокотемпературной коррозии и продлевающих срок службы компонентов газовой турбины или котла. Внедрение лазерной технологии также повысило гибкость процесса, что позволило обрабатывать подложки сложной формы, такие как изогнутые поверхности или пористые структуры. Тем не менее, стоимость лазерного оборудования высока, а эксплуатация сложна, требует высококвалифицированных техников и полной системы технического обслуживания.

3.7.3 Технология холодного напыления

Технология холодного напыления — это новая технология, которая разрушает традиционное термическое напыление, и ее суть заключается в распылении твердых частиц на поверхность

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

подложки с помощью высокоскоростного воздушного потока, а не в использовании высокотемпературного плавления. Для нанесения молибденовой распылительной проволоки технология холодного напыления обеспечивает нанесение покрытия при низких температурах путем обработки молибденовой проволоки в частицы микронного размера или непосредственно с использованием молибденового порошка. Эта технология уникальна тем, что она позволяет избежать окисления, фазового перехода или проблем термического напряжения, связанных с высокими температурами, что делает ее особенно подходящей для термочувствительных подложек.

В процессе холодного напыления частицы молибдена ускоряются до сверхзвуковых скоростей (обычно приводимых в движение гелием или азотом), чтобы удариться о поверхность подложки с чрезвычайно высокой кинетической энергией. Частицы подвергаются сильной пластической деформации в момент удара, образуя механическую или металлургическую связь с подложкой, образуя плотное покрытие. Покрытие методом холодного напыления имеет очень низкую пористость и отличную адгезию, сохраняя при этом первоначальный химический состав и кристаллическую структуру молибдена. Это свойство делает холодное напыление особенно подходящим для приготовления молибденовых покрытий высокой чистоты, устойчивых к коррозии, для использования в шельфовом или химическом оборудовании.

Сложность технологии холодного напыления заключается в ее высоких требованиях к свойствам частиц и производительности оборудования. Размер, морфология и текучесть частиц молибдена должны точно контролироваться, чтобы обеспечить стабильность распыления и однородность покрытия. Кроме того, оборудование для холодного напыления требует газовой системы высокого давления и сложной конструкции форсунок, что увеличивает производственные затраты. Тем не менее, низкотемпературный характер холодного напыления делает его перспективным для аэрокосмической, электронной и медицинской промышленности, таких как приготовление функциональных покрытий для алюминиевых сплавов или полимерных подложек.

3.7.4 Интеллектуальные и автоматизированные системы распыления

Внедрение интеллектуальной и автоматизированной системы распыления знаменует собой переход технологии производства молибденовой распылительной проволоки в эру Индустрии 4.0. Благодаря интеграции датчиков, робототехники, искусственного интеллекта и аналитики больших данных эти системы сделали процесс распыления автоматизированным, интеллектуальным и эффективным, значительно повысив эффективность производства и качество продукции.

Автоматизированная система распыления оснащена высокоточными пистолетами-распылителями и устройствами подачи проволоки с промышленными роботами в качестве ядра, которые могут выполнять напыление сложных оснований по заданной траектории. Благодаря технологии визуального распознавания и планирования траектории робот

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

адаптируется к подложкам различных форм и размеров, сокращая ручное вмешательство. Датчик отслеживает параметры распыления, такие как температура, давление и скорость капли, в режиме реального времени и автоматически корректируется с помощью системы обратной связи для обеспечения стабильности процесса. Некоторые передовые системы также включают возможности внутритрубной инспекции для проверки толщины и дефектов покрытий с помощью лазерного сканирования или инфракрасной визуализации, а также для своевременного выявления проблем.

Интеллектуальные системы распыления делают еще один шаг вперед, используя алгоритмы искусственного интеллекта и машинного обучения для оптимизации процесса. Например, системы искусственного интеллекта способны анализировать исторические данные о распылении, чтобы предсказать наилучшую комбинацию параметров и снизить стоимость тестирования. Технология облачных вычислений позволяет обмениваться данными нескольких производственных баз, формировать единую базу данных процессов и улучшать возможности технического управления предприятием. Кроме того, интеллектуальная система также поддерживает удаленный мониторинг и техническое обслуживание, а операторы могут просматривать состояние оборудования в режиме реального времени с помощью мобильных устройств и быстро реагировать на неисправности.

Применение интеллектуальной и автоматизированной системы распыления значительно повысило эффективность производства молибденовой распылительной проволоки. В автомобильной промышленности, например, автоматизированные линии напыления способны непрерывно обрабатывать тысячи поршневых колец с консистенцией покрытия более 99%. В аэрокосмической отрасли интеллектуальные системы обеспечивают индивидуальные решения по нанесению покрытий на детали со сложной геометрией и сокращают производственные циклы. Широкое применение этих технологий не только повысило конкурентоспособность отрасли, но и способствовало развитию технологии распыления в более эффективном и интеллектуальном направлении.

3.8 Технические проблемы и решения

Несмотря на значительный прогресс, достигнутый в технологии производства молибденовой распылительной проволоки, все еще существует ряд технических проблем, включая отслаивание и растрескивание покрытия, высокотемпературное окисление и ухудшение характеристик, баланс производственных затрат и эффективности, а также адаптируемость сложных подложек. В этом разделе будут проанализированы причины этих проблем и предложены практические решения.

3.8.1 Отслаивание и растрескивание покрытий

Отслаивание и растрескивание покрытия является распространенной проблемой при использовании молибденовой напыляемой проволоки и часто вызвано недостаточной адгезией покрытия к основанию, накоплением термического напряжения или дефектами внутри покрытия. Выкрашивание может привести к разрушению покрытия, в то время как

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

растрескивание может спровоцировать дальнейшую коррозию или износ, сокращая срок службы компонентов.

Основной причиной отслаивания покрытия является недостаточная подготовка поверхности основания или неправильные параметры напыления. Масло, оксиды или неравномерная шероховатость на поверхности основания могут ослабить адгезию покрытия к основанию. Решение этой проблемы требует усиленной предварительной обработки основания, многоступенчатой очистки и процессов пескоструйной обработки, чтобы поверхность была чистой и имела нужную шероховатость. Кроме того, оптимизация параметров распыления, такая как снижение температуры распыления или регулировка расстояния распыления, может уменьшить быстрое охлаждение капель расплава и улучшить адгезию покрытия.

Растрескивание обычно вызвано термическим или механическим воздействием. В процессе напыления разница в коэффициенте теплового расширения между молибденовым покрытием и подложкой может привести к накоплению напряжений, особенно при высокотемпературном охлаждении. Решения включают использование методов градиентного покрытия для сглаживания различий в коэффициенте теплового расширения путем введения переходного слоя (например, сплавов на основе никеля) между подложкой и молибденовым покрытием. Термическая обработка и отжиг также являются эффективными методами устранения остаточных напряжений и повышения ударной вязкости покрытия за счет медленного охлаждения. Кроме того, усовершенствованные процессы напыления, такие как холодное напыление с низким тепловложением, могут значительно уменьшить растрескивание, вызванное термическим напряжением.

3.8.2 Высокотемпературное окисление и ухудшение эксплуатационных характеристик

Окисление молибденовых покрытий при высоких температурах является еще одной серьезной проблемой. Молибден легко реагирует с кислородом при высоких температурах с образованием летучего оксида молибдена (MoO_3), что приводит к деградации или даже выходу из строя покрытия. Эта проблема особенно остро стоит в высокотемпературных системах, таких как авиационные двигатели и газовые турбины.

Решения для высокотемпературного окисления включают нанесение модификаций поверхности и защитных покрытий. Силиконизация является эффективным методом значительного повышения стойкости к окислению за счет образования защитного слоя MoSi_2 на поверхности молибденовой проволоки или покрытия. Другой метод заключается в легировании редкоземельных элементов, таких как лантан или церий, для повышения стабильности покрытия при высоких температурах путем очистки зерен и формирования стабильного оксидного слоя. Кроме того, технологии предварительного нанесения покрытий, такие как покрытия из оксида алюминия или диоксида циркония, снижают образование оксидов в процессе напыления и продлевают срок службы покрытия.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Оптимизация процессов также является важным средством борьбы с высокотемпературным окислением. Например, использование инертного газа (например, аргона) в качестве атмосферы распыления может эффективно изолировать кислород и снизить реакции окисления. Применение технологии холодного напыления позволяет избежать высокотемпературного плавления и радикально снижает риск окисления. Комбинируя эти методы, молибденовые покрытия способны сохранять долгосрочную стабильность характеристик при высоких температурах.

3.8.3 Баланс между себестоимостью производства и эффективностью

Себестоимость производства молибденовой распылительной проволоки высока, в основном из-за расхода сырья, оборудования и энергии. Как повысить эффективность производства и снизить затраты при сохранении высокого качества – важная задача, стоящая перед отраслью.

Контроль стоимости сырья нужно начинать с приготовления молибденового порошка. Оптимизируя процесс обогащения и очистки, можно повысить скорость извлечения молибденового концентрата и снизить производственные затраты. Кроме того, переработка частиц брызг и отходов в процессе распыления значительно сокращает отходы сырья. Снижение затрат на оборудование зависит от продвижения модульного проектирования и технологии локализации. Например, стоимость локализованного оборудования для плазменного напыления на 30-50% ниже, чем у импортного оборудования, а его производительность постепенно приближается к международному уровню.

Повышение эффективности должно быть достигнуто за счет автоматизации и интеллектуальных технологий. Автоматизированные линии распыления сокращают количество ручных операций и увеличивают скорость производства, в то время как интеллектуальные системы оптимизируют параметры процесса за счет анализа данных для сокращения ненужных испытаний и процента брака. Кроме того, повышение энергоэффективности также является ключом к снижению затрат. Использование высокоэффективных источников тепла и энергосберегающих систем охлаждения позволяет снизить потребление энергии при одновременном соблюдении требований экологического производства.

3.8.4 Технологичность напыления сложных оснований

Нанесение покрытий на сложные подложки, такие как изогнутые поверхности, пористые структуры или детали необычной формы, представляет собой техническую задачу, и трудно добиться равномерного нанесения покрытия с помощью традиционных методов нанесения покрытий, особенно на высокоточных деталях в аэрокосмической и медицинской отраслях.

Одним из решений является использование роботизированных систем распыления, которые адаптируются к сложной геометрии основания за счет многоосевого движения и планирования траектории. Внедрение технологии визуального распознавания позволяет роботу регулировать угол и расстояние распыления в режиме реального времени, чтобы

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

обеспечить равномерность покрытия. Лазерное напыление также является эффективным средством нанесения покрытий на сложные поверхности с высокосфокусированным источником тепла, что позволяет точно контролировать осаждение капель.

Перспективным является применение технологии холодного напыления на сложных основаниях. Благодаря своей низкотемпературной природе холодное напыление способно работать с термочувствительными подложками, такими как полимеры или композиты, не вызывая деформации или ухудшения характеристик. Кроме того, разработка индивидуальных приспособлений для распыления и вспомогательных инструментов может еще больше улучшить адаптируемость сложных подложек, обеспечивая комплексное и равномерное покрытие покрытия.



Молибденовая распылительная проволока CTIA GROUP LTD

Глава 4 Классификация молибденовой распылительной проволоки

Поскольку молибденовая распылительная проволока является важным материалом для технологии термического напыления, ее производительность и диапазон применения разнообразны благодаря различным производственным процессам, химическим составам и сценариям использования. Для того, чтобы лучше понять и выбрать подходящие молибденовые распылительные провода, необходимо классифицировать их с научной точки зрения. В этом разделе будет подробно классифицирована молибденовая распылительная проволока по трем измерениям: чистота, использование и процесс распыления, а также обсуждены характеристики, методы подготовки и сценарии применения различных типов молибденовой проволоки.

4.1 Классификация по чистоте

Чистота молибденовой напыляемой проволоки является основным показателем ее эксплуатационных характеристик, который напрямую влияет на химическую стабильность, механические свойства и коррозионную стойкость покрытия. По разнице содержания молибдена и легированных элементов в молибденовой проволоке ее можно разделить на две категории: молибденовая проволока высокой чистоты и легированная молибденовая проволока.

4.1.1 Молибденовая проволока высокой чистоты

Молибденовая проволока высокой чистоты относится к молибденовой проволоке с содержанием молибдена 99,95% или выше, с очень низким содержанием примесей (таких как железо, никель, углерод, кислород), и обычно соответствует требованиям национальных стандартов (таких как GB/T 4181-2017) или международных стандартов (таких как ASTM V387-18). Молибденовая проволока высокой чистоты подготавливается с помощью многоступенчатого процесса очистки, включающего выщелачивание аммиака, восстановление водорода и вакуумную плавку, чтобы обеспечить эффективное удаление следовых примесей.

Особенность:

Высокая химическая стабильность: Молибденовая проволока высокой чистоты демонстрирует превосходную стойкость к окислению и химическим веществам в высокотемпературных и коррозионных средах, что делает ее пригодной для сложных применений.

Превосходная теплопроводность: высокая чистота уменьшает рассеяние примесей на границах зерен и повышает теплопроводность, что делает его пригодным для покрытий, требующих эффективного терморегулирования.

Однородная микроструктура: Волокна молибденовой проволоки высокой чистоты тонкие и равномерно распределены, плотность покрытия высокая, а пористость низкая.

Высокая стоимость: Из-за сложного процесса очистки себестоимость производства молибденовой проволоки высокой чистоты высока, что подходит для рынка высокого класса.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Процесс подготовки: Производство молибденовой проволоки высокой чистоты начинается с порошка молибдена высокой чистоты. Молибденовый порошок готовится в строго контролируемой восстановительной атмосфере с помощью печи восстановления водорода, а затем прессуется в молибденовую заготовку с использованием процесса порошковой металлургии. Молибденовая заготовка подвергается высокотемпературному спеканию, горячей прокатке и многоволочному волочению для постепенного уменьшения диаметра и, наконец, формирования филамента. В процессе волочения используются высокоточные формы и графитовые эмульсионные смазки, чтобы поверхность проволоки была гладкой и не имела дефектов. Процесс отжига осуществляется под вакуумной или водородной защитой, что снижает внутренние напряжения и оптимизирует механические свойства. При очистке поверхностей используются химические или ультразвуковые методы удаления остатков смазочных материалов и оксидов, что обеспечивает высокий уровень чистоты нити.

Сценарий применения: Молибденовая проволока высокой чистоты широко используется в областях с чрезвычайно высокими требованиями к характеристикам покрытия. Например, в аэрокосмической отрасли покрытия, приготовленные с помощью молибденовой проволоки высокой чистоты, используются в лопатках турбин и камерах сгорания для противостояния высокотемпературному окислению и механическому износу; В полупроводниковой промышленности молибденовая проволока высокой чистоты используется для вакуумного нанесения покрытия нагревательной проволоки, чтобы гарантировать отсутствие загрязнения примесями в процессе нанесения покрытия; В химической промышленности молибденовые покрытия высокой чистоты защищают реакторы и трубопроводы от эрозии кислотных сред.

4.1.2 Легированная молибденовая проволока

Легированная молибденовая проволока представляет собой молибденовую проволоку, которая добавляет в молибденовую матрицу микроэлементы, такие как редкоземельные элементы, керамические частицы или другие металлы для улучшения определенных свойств. К распространенным легированным элементам относятся оксид лантана (La_2O_3), оксид иттрия (Y_2O_3), калий (K) или карбид кремния (SiC). Количество легирования обычно контролируется в диапазоне 0,1%-2%, чтобы сбалансировать повышение производительности и контроль затрат.

Особенность:

Улучшенные высокотемпературные характеристики: молибденовая проволока, легированная редкоземельными элементами (например, легированием оксидом лантана), образует стабильный защитный слой оксида при высоких температурах, значительно повышая стойкость к окислению.

Улучшенные механические свойства: легированные элементы измельчают зерна, повышают прочность на разрыв и ударную вязкость, а также снижают риск разрыва нитей в процессе распыления.

Индивидуальные функции: Легированная молибденовая проволока может быть адаптирована

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

к требованиям применения, таким как повышение износостойкости или снижение коэффициента трения.

Умеренная стоимость: По сравнению с молибденовой проволокой высокой чистоты, стоимость производства легированной молибденовой проволоки немного ниже, что подходит для крупномасштабного промышленного применения.

Процесс подготовки: Приготовление легированной молибденовой проволоки вводит легированные элементы на стадии производства молибденового порошка. Например, молибденовую проволоку, легированную оксидом лантана, получают путем смешивания раствора оксида лантана с молибдатов аммония для получения легированного молибденового порошка, который впоследствии восстанавливается. Легированный молибденовый порошок превращается в молибденовую проволоку путем прессования, спекания и волочения. В процессе спекания необходимо точно контролировать температуру и атмосферу, чтобы легирующие элементы были равномерно распределены и не летучи. Процесс волочения и отжига аналогичен процессу волочения и отжига молибденовой проволокой высокой чистоты, но параметры необходимо регулировать с учетом влияния легирующих элементов на твердость материала. Особое внимание следует уделить обработке поверхности, чтобы избежать потери легирующих элементов в процессе очистки.

Сценарии применения: Легированная молибденовая проволока широко используется в конкретных промышленных сценариях благодаря целенаправленной оптимизации производительности. Например, молибденовая проволока, легированная оксидом лантана, используется для нанесения жаропрочного покрытия на лопатки газовых турбин с целью продления срока службы компонентов; Благодаря своей высокой прочности, легированная калием молибденовая проволока подходит для износостойкого покрытия автомобильных поршневых колец; Молибденовая проволока, легированная карбидом кремния, используется в шельфовом оборудовании для обеспечения отличной износостойкости и коррозионной стойкости. Диверсификация легированной молибденовой проволоки позволяет ей найти баланс между стоимостью и производительностью и особенно подходит для рынка среднего и высокого класса.

4.2 Классификация по использованию

Молибденовую распылительную проволоку можно разделить на две категории: молибденовая проволока для промышленного напыления и молибденовая проволока для функционального покрытия в зависимости от ее конечного использования. Эта классификация отражает требования к эксплуатационным характеристикам и конструкции покрытия молибденовой проволоки в различных сценариях применения.

4.2.1 Молибденовая проволока для промышленного напыления

Молибденовая проволока для промышленного напыления в основном используется для приготовления защитных покрытий, которые предназначены для повышения износостойкости, коррозионной стойкости и высокой термостойкости подложки. Этот вид

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

молибденовой проволоки широко используется в крупносерийном промышленном производстве, подчеркивая надежность и экономичность покрытия.

Особенность:

Высокая прочность: промышленные напыляемые покрытия должны выдерживать механическое истирание, химическое воздействие или воздействие высоких температур, а молибденовая проволока должна обладать стабильными механическими и химическими свойствами.

Высокая эффективность осаждения: промышленное напыление ориентировано на эффективность производства, и молибденовая проволока должна быть адаптирована к автоматической системе подачи проволоки, чтобы обеспечить непрерывный и стабильный процесс распыления.

Универсальность: Молибденовая проволока для промышленного напыления обычно соответствует стандартным спецификациям и подходит для различных оснований (например, сталь, алюминий, керамика).

Экономичность: Характеристики покрытия и стоимость должны быть сбалансированы, а молибденовая проволока для промышленного напыления в основном представляет собой молибденовую проволоку высокой чистоты или слегка легированную молибденовую проволоку.

Процесс подготовки и нанесения: Процесс подготовки молибденовой проволоки для промышленного напыления относительно стандартизирован с использованием молибденового порошка высокой чистоты или слегка легированного молибденового порошка, полученного методом порошковой металлургии, волочения проволоки и отжига. Процесс напыления в основном представляет собой газопламенное напыление и дуговое напыление, которое подходит для нанесения покрытий на большие площади благодаря простоте оборудования и низкой стоимости. В процессе распыления молибденовая проволока с постоянной скоростью поступает в пистолет-распылитель через устройство подачи проволоки, а после плавления образует расплава, которые распыляются на поверхность подложки. Последующая обработка, такая как полировка или термообработка, может еще больше оптимизировать производительность.

Сценарий применения: Молибденовая проволока для промышленного напыления широко применяется в следующих областях:

Автомобильная промышленность: износостойкие, высокотемпературные покрытия для поршневых колец, блоков цилиндров и выхлопных систем для повышения эффективности и долговечности двигателя.

Энергетическая промышленность: Защищает котельные трубы, теплообменники и компоненты ветряных турбин от коррозии и износа.

Судостроение и шельфовая промышленность: Обеспечивает антикоррозионные покрытия для гребных винтов и корпусов для продления срока службы морского оборудования.

Строительная техника: ковши экскаваторов и покрытия поверхностей тяжелого

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

оборудования для повышения износостойкости и ударопрочности.

4.2.2 Молибденовая проволока для нанесения функциональных покрытий

Молибденовая проволока для функциональных покрытий используется для приготовления покрытий с определенными функциями, такими как самосмазывающиеся, электропроводящие, термобарьерные или биосовместимые покрытия. Эти молибденовые проволоки обычно предназначены для высокотехнологичных применений и требуют индивидуальных свойств для удовлетворения конкретных технических требований.

Особенность:

Специальная функциональность: Функциональные покрытия предназначены для конкретных применений, таких как низкое трение, электропроводность или устойчивость к тепловому удару.

Высокие требования к точности: покрытие должно иметь точную толщину и микроструктуру, а размер и качество поверхности молибденовой проволоки должны быть чрезвычайно высокими.

Сложный процесс: Передовая технология напыления (например, плазменное напыление, HVOF) часто используется для функциональных покрытий, которые предъявляют строгие требования к характеристикам плавления и эффективности осаждения молибденовой проволоки.

Высокая добавленная стоимость: молибденовая проволока для функциональных покрытий в основном используется в высокотехнологичных областях, с высокой рыночной стоимостью, но высокой себестоимостью.

Подготовка и процесс нанесения: Подготовка молибденовой проволоки для нанесения функционального покрытия должна быть адаптирована в соответствии с функцией покрытия. Например, молибденовая проволока для самосмазывающихся покрытий может быть легирована дисульфидом молибдена или графитом, а молибденовая проволока для термобарьерных покрытий может быть смешана с керамическими частицами. Процесс подготовки включает в себя высокоточное волочение проволоки и многоступенчатый отжиг для обеспечения однородности и стабильности проволоки. Процесс напыления в основном представляет собой плазменное напыление, HVOF или холодное напыление, что позволяет точно контролировать микроструктуру и свойства покрытия. Перед распылением требуется тонкая предварительная обработка основания (например, пескоструйная обработка или ультразвуковая очистка) для обеспечения адгезии покрытия. Последующая обработка может включать лазерный переплав или герметизацию для оптимизации функциональных свойств.

Сценарий применения: Молибденовая проволока для нанесения функциональных покрытий имеет широкий спектр применения в следующих областях:

Аэрокосмическая промышленность: Термобарьерные покрытия используются на лопастях турбин для защиты компонентов от высоких температур и окисления; Токопроводящие покрытия применяются для электрических контактных деталей космических аппаратов.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Электроника и полупроводники: молибденовое покрытие используется для нагрева проводов в оборудовании для вакуумных покрытий для обеспечения покрытия высокой чистоты; Самосмазывающиеся покрытия используются для скольжения электронных компонентов на высоких скоростях.

Медицина: биосовместимые молибденовые покрытия используются в искусственных суставах и имплантатах для снижения коррозии жидкостей организма; Антимикробные покрытия используются для хирургических инструментов.

Аддитивное производство: молибденовое покрытие защищает сопло для 3D-печати от износа высокотемпературного расплавленного материала.

4.3 Классификация в зависимости от процесса распыления

В зависимости от применяемого процесса напыления, молибденовую проволоку можно разделить на молибденовую проволоку для пламенного напыления, молибденовую проволоку для дугового напыления, молибденовую проволоку для плазменного напыления, молибденовую проволоку для высокоскоростного кислородного распыления топлива (HVOF) и молибденовую проволоку для холодного напыления. Данная классификация отражает требования к эксплуатационным характеристикам и технологические характеристики молибденовой проволоки при различных технологиях напыления.

4.3.1 Молибденовая проволока для газопламенного напыления

Газопламенное напыление — это традиционный процесс напыления, при котором кислородно-ацетиленовое пламя нагревает молибденовую проволоку, плавит ее и распыляет на поверхность подложки. Молибденовая проволока для газопламенного напыления должна обладать стабильными свойствами плавления и умеренными механическими свойствами.

Особенность:

Простой процесс: оборудование для газопламенного напыления имеет низкую стоимость, простоту в эксплуатации и подходит для строительства на месте.

Умеренные свойства покрытия: Покрытие обладает высокой пористостью и средней адгезией, что делает его пригодным для общепромышленного применения.

Требования к молибденовой проволоке невелики: диаметр обычно составляет 1,6-3,0 мм, поверхность должна быть гладкой, но требования к чистоте относительно свободные.

Подготовка и процесс нанесения: Молибденовая проволока для газопламенного напыления в основном изготавливается из высокочистой или слаболегированной молибденовой проволоки, которая подготавливается стандартным процессом волочения проволоки. В процессе распыления молибденовая проволока поступает в пистолет-распылитель через устройство подачи проволоки, кислородно-ацетиленовое пламя плавит ее, а сжатый воздух распыляет расплавленные капли на подложку. После нанесения покрытия его необходимо отполировать или загерметизировать, чтобы уменьшить пористость.

Сценарии применения:

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Ремонт автомобильных деталей (например, коленчатых валов, поршней).
Износостойкие покрытия для строительной техники (например, ковшей экскаваторов).
Антикоррозионное покрытие для стальных конструкций моста.

4.3.2 Молибденовая проволока для дугового напыления

При дуговом напылении используется тепло дуги, образующееся между двумя молибденовыми проволоками, чтобы расплавить проволоку и распылить ее на поверхность подложки. Молибденовая проволока для дугового напыления должна обладать высокой проводимостью и стабильной подачей проволоки.

Особенность:

Высокая эффективность осаждения: высокая скорость дугового напыления, что подходит для покрытий большой площади.

Более высокое качество покрытия: покрытие имеет меньшую пористость и более сильную адгезию, чем при газопламенном напылении.

Двухпроволочная конструкция: две молибденовые проволоки должны подаваться синхронно, а консистенция диаметра проволоки должна быть высокой.

Подготовка и процесс нанесения: Молибденовая проволока для дугового напыления обычно представляет собой молибденовую проволоку высокой чистоты диаметром 1,6-2,0 мм. В процессе подготовки основное внимание уделяется точности размеров и чистоте поверхности проволоки, чтобы обеспечить стабильность дуги. Распылительное оборудование оснащено двойной системой подачи проволоки для точного контроля скорости подачи проволоки.

Сценарии применения:

Антикоррозионные покрытия для судов (например, корпусов, палуб).

Износостойкое покрытие для лопастей ветряных турбин.

Защитное покрытие для стальных мостов.

4.3.3 Молибденовая проволока для плазменного напыления

При плазменном напылении используется высокотемпературная плазма (до 15 000 °C) для плавления молибденовой проволоки с образованием высокоэффективного покрытия. Молибденовая проволока для плазменного напыления требует высокой чистоты и точности.

Особенность:

Высокое качество покрытия: плотное покрытие, низкая пористость, сильная адгезия.

Сложный процесс: высокая стоимость оборудования и точный контроль параметров плазмы.

Высокие требования к молибденовой проволоке: требуется высокая чистота и отсутствие дефектов на поверхности.

Подготовка и процесс нанесения: Молибденовая проволока для плазменного напыления

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

изготавливается из молибденовой проволоки высокой чистоты диаметром 1,0-2,0 мм, а поверхность подвергается электрохимической полировке. Плазма генерируется инертным газом (например, аргон) в оборудовании для напыления, а молибденовая проволока расплавляется в высокотемпературном потоке плазмы для получения высокоплотного покрытия после осаждения.

Сценарии применения:

Термобарьерное покрытие для лопаток турбин авиационных двигателей.

Проводящие покрытия для полупроводниковых приборов.

Антикоррозийное покрытие для высокотемпературных реакторов.

4.3.4 Молибденовая проволока для высокоскоростного кислородно-топливного напыления (ВВОФ).

При напылении HVOF наносится молибденовое покрытие через сверхзвуковое пламя, которое обладает высокой твердостью и прочной адгезией. Молибденовая проволока для HVOF должна быть устойчива к высокой температуре и впрыску под высоким давлением.

Особенность:

Сверхвысокие характеристики покрытия: пористость покрытия чрезвычайно низкая, а твердость близка к твердости керамических покрытий.

Высокие требования к оборудованию: требуется топливо под высоким давлением и точные системы управления.

Молибденовая проволока обладает высокой стабильностью: она должна выдерживать воздействие высокоскоростной струи.

Процесс подготовки и нанесения: Большинство молибденовых проволок для HVOF представляют собой молибденовые проволоки высокой чистоты или легированные молибденовые проволоки, а процесс подготовки оптимизирует ударную вязкость и качество поверхности проволоки. Оборудование для распыления использует кислород и топливо, такое как керосин, для создания сверхзвукового пламени, в котором молибденовая проволока плавится при высоких температурах и осаждается на высоких скоростях.

Сценарии применения:

Износостойкое покрытие для лопаток газовых турбин.

Покрытие высокой твердости для аэрокосмических гидравлических деталей.

Устойчивое к давлению покрытие для глубоководного оборудования.

4.3.5 Молибденовая проволока для холодного напыления

Холодное напыление ускоряет осаждение частиц молибдена через газы со сверхвысокими скоростями для образования покрытия при низких температурах. Молибденовая проволока для холодного напыления должна быть тонкой и равномерной.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Особенность:

Низкотемпературный процесс: предотвращает окисление и подходит для термочувствительных оснований.

Надежная защита окружающей среды: отсутствие выхлопных газов, в соответствии с принципом «зеленого» производства.

Особые требования к молибденовой проволоке: требуются мелкие частицы или порошкообразная форма.

Процесс подготовки и нанесения: Молибден для холодного напыления должен быть подготовлен путем специального измельчения или газового распыления, а размер частиц контролируется на микронном уровне. В распылительном оборудовании используются газы высокого давления, такие как азот, для ускорения частиц, которые оседают на поверхности подложки с образованием плотного покрытия.

Сценарии применения:

Теплопроводящие покрытия для электронных компонентов.

Ремонт подложки из алюминиевого сплава.

Биосовместимые покрытия для медицинских изделий.



Молибденовая распылительная проволока CTIA GROUP LTD

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

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Spray Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Spray Wire

Molybdenum spray wire is a high-purity molybdenum metal wire that is melted and deposited onto a substrate surface through thermal spray techniques such as flame spraying, plasma spraying, arc spraying, or HVOF (High Velocity Oxy-Fuel). The resulting coating offers excellent resistance to wear, corrosion, and high temperatures. Due to its high melting point and superior performance, molybdenum wire is widely used across various industrial sectors.

2. Characteristics of Molybdenum Spray Wire

High Melting Point: Approximately 2623°C, suitable for high-temperature environments.

Excellent Corrosion Resistance: Resists attack from acids, alkalis, and chemical media.

High Hardness & Wear Resistance: Tough coating that withstands mechanical wear.

Low Friction Coefficient: Reduces component wear and improves efficiency.

Chemical Stability: Maintains performance in harsh environments.

High Thermal Conductivity: Effectively dissipates heat and extends component lifespan.

3. Typical Uses of Molybdenum Spray Wire

Aerospace: Turbine blades, engine parts, thermal barrier coatings.

Automotive Industry: Wear-resistant coatings for piston rings, engine blocks, and brake discs.

Chemical & Energy Sectors: Corrosion-resistant pipelines, heat exchangers, wind power equipment.

Electronics & Semiconductors: Vacuum deposition heating wires, semiconductor leads.

Medical Field: Corrosion-resistant coatings for implants and surgical instruments.

Others: Marine anti-corrosion, wear-resistant construction machinery, high-temperature furnaces.

4. Basic Data of Molybdenum Spray Wire from CTIA GROUP LTD

Purity	≥99.95%
Density	10.2 g/cm ³
Diameter Range	1.0-3.0 mm, customizable
Tensile Strength	Moderate to ensure stable wire feeding
Packaging	Customized Packaging

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

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

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

Глава 5 Использование молибденовой распылительной проволоки

Молибденовая распылительная проволока играет незаменимую роль во многих промышленных областях благодаря высокой температуре плавления, коррозионной стойкости и отличным механическим свойствам. Молибденовые покрытия наносятся на поверхность подложек с помощью методов термического напыления, таких как газопламенное напыление, плазменное напыление, дуговое напыление и высокоскоростное кислородно-топливное напыление, которые могут значительно повысить износостойкость, устойчивость к высоким температурам и коррозионную стойкость компонентов. В этой главе будет подробно рассмотрен широкий спектр применения молибденовой распыляемой проволоки в аэрокосмической, автомобильной, химической и энергетической, электронной и полупроводниковой промышленности, медицине и биоинженерии, а также в других областях, демонстрируя ее разнообразную ценность в современной промышленности.

5.1 Аэрокосмическая отрасль

Аэрокосмическая промышленность предъявляет чрезвычайно высокие требования к свойствам материалов, и компоненты должны стабильно работать при высоких температурах, высоком давлении и в высококоррозионных средах. Благодаря своим превосходным высокотемпературным характеристикам и стойкости к окислению, молибденовая напыляемая проволока широко используется при приготовлении покрытий для ключевых компонентов авиационных двигателей и космических кораблей. В этом разделе будут обсуждаться конкретные области применения молибденовой напыляемой проволоки в лопатках турбин и компонентах двигателей, высокотемпературных конструкционных деталях и термобарьерных покрытиях, а также в износостойких и антикоррозионных покрытиях для космических аппаратов.

5.1.1 Лопатки турбины и компоненты двигателя

Лопатки турбины авиационного двигателя являются основными компонентами авиационного двигателя и подвергаются воздействию чрезвычайно высоких температур, давлений и механических нагрузок. Молибденовое покрытие, подготовленное молибденовой распылительной проволокой, стало идеальным выбором для защиты поверхности лопаток турбин благодаря своей высокой твердости и износостойкости. Молибденовые покрытия наносятся на поверхность сплавов на основе никеля или титановых лезвий методом плазменного напыления или высокоскоростного кислородного напыления (HVOF) для образования прочного защитного слоя, способного эффективно противостоять эрозии высокотемпературных газовых потоков и износу твердых частиц.

В рабочей среде лопаток турбины температура может превышать 1000°C, а при высокой скорости вращения и вибрации обычные материалы с трудом выдерживают такие суровые условия. Превосходная теплопроводность и стойкость к тепловому удару молибденового покрытия позволяют ему эффективно рассеивать тепло и снижать концентрацию термических напряжений на поверхности лопасти. Кроме того, высокая твердость

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

молибденового покрытия устойчива к воздействию твердых частиц, таких как песок или остатки сгорания, продлевая срок службы лопастей. В практическом применении молибденовые покрытия часто комбинируют с другими материалами, такими как диоксидные теплоизоляционные покрытия, для формирования композитного покрытия, которое еще больше повышает устойчивость лезвий к высоким температурам.

Молибденовая расплывательная проволока также широко используется в других компонентах двигателя, таких как камеры сгорания и форсунки. Экстремальные температуры и химическая коррозия внутри камеры сгорания требуют материалов с отличной стойкостью к окислению, а молибденовые покрытия защищают подложку от эрозии, образуя стабильный оксидный слой. Гибкость процесса напыления позволяет молибденовому покрытию адаптироваться к сложной геометрии, обеспечивая полную защиту камеры сгорания и форсунок. Применение этой технологии покрытия значительно повышает надежность и интервалы технического обслуживания авиационных двигателей, обеспечивая важную поддержку эффективности и безопасности аэрокосмической промышленности.

5.1.2 Высокотемпературные конструкционные детали и термобарьерные покрытия

Высокотемпературные конструкционные компоненты аэрокосмических аппаратов, такие как сопла ракетных двигателей, компоненты горячего конца и корпуса возвращаемых космических аппаратов, требуют поддержания структурной целостности при экстремальных температурах. Покрытия, изготовленные из молибденовой напыляемой проволоки, являются идеальными защитными материалами для этих компонентов благодаря их высокой температуре плавления и стойкости к тепловому удару. Молибденовое покрытие наносится на поверхность композитов из жаропрочного сплава или керамической матрицы по технологии плазменного напыления с образованием плотного защитного слоя, способного эффективно противостоять высокотемпературному окислению и напряжению термического цикла.

Термобарьерные покрытия (ТВС) являются важной технологией в аэрокосмической промышленности для снижения температуры поверхности подложек и продления срока службы компонентов. Молибденовые покрытия часто используются в качестве связующего слоя в системах термобарьерных покрытий для соединения подложки с верхним слоем керамики (например, диоксидом циркония). Коэффициент теплового расширения молибденового покрытия находится между коэффициентом теплового расширения металлической подложки и керамического покрытия, что может эффективно снизить напряжение, вызванное несоответствием теплового расширения, и предотвратить отслаивание покрытия. Кроме того, высокая теплопроводность молибденового покрытия помогает проводить тепло от керамического слоя к подложке, оптимизируя производительность системы теплового барьера.

В горячих компонентах космических шаттлов или гиперзвуковых транспортных средств молибденовые покрытия также действуют как антиабляционные покрытия. Абляция

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

относится к постепенной потере материалов под воздействием высокотемпературных потоков воздуха, а молибденовые покрытия могут замедлить скорость абляции и защитить критически важные компоненты благодаря своей высокой температуре плавления и химической стабильности. Применение этой технологии покрытия позволяет космическим аппаратам выполнять более длительные миссии в экстремальных условиях, обеспечивая техническую поддержку для исследования дальнего космоса и высокоскоростных полетов.

5.1.3 Износостойкое и антикоррозионное покрытие для космических аппаратов

Космические аппараты сталкиваются со сложными экологическими проблемами во время запуска, эксплуатации и восстановления, включая атмосферное трение, химическую коррозию и механический износ. Износостойкие и антикоррозионные покрытия, изготовленные из молибденовой напыляемой проволоки, широко используются во внешних конструкциях и ключевых компонентах космических аппаратов, таких как спутниковые антенны, компоненты двигательных установок и посадочные устройства. Эти покрытия наносятся методом дугового напыления или по технологии HVOF, что позволяет значительно повысить долговечность и надежность компонентов.

На внешней стороне космического аппарата молибденовое покрытие устойчиво к коррозии атмосферного кислорода и влаги, особенно в условиях стартовой площадки в океаническом климате. Высокая твердость и низкий коэффициент трения молибденового покрытия делают его устойчивым к ударному износу мельчайшими частицами, такими как пыль или частицы льда, встречающиеся во время высокоскоростного полета. Кроме того, химическая инертность молибденового покрытия позволяет ему оставаться стабильным при воздействии химических топлив или окислителей, защищая критически важные компоненты космического аппарата от эрозии.

Свойства молибденовых покрытий с низким коэффициентом трения особенно важны в движущихся частях спутников, таких как шарниры солнечных крыльев или механизмы привода антенны. Эти компоненты требуют высокоточного перемещения в вакуумной среде, и любое трение или износ могут привести к функциональному сбою. Покрытие, приготовленное молибденовой напыляемой проволокой, обеспечивает длительную стабильную работу этих компонентов благодаря своей гладкой поверхности и отличной износостойкости. Достижения в области технологий нанесения покрытий на космические аппараты не только улучшили производительность оборудования, но и обеспечили более надежную материальную поддержку для будущих миссий по исследованию дальнего космоса.

5.2 Автомобильная промышленность

Автомобильная промышленность является важной областью применения молибденовой распылительной проволоки, которая широко используется для улучшения характеристик двигателя, выхлопной системы и компонентов тормозной системы благодаря своей износостойкости, высокой термостойкости и низким характеристикам трения. В этом разделе рассматриваются конкретные области применения молибденовой напыляемой проволоки в

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

покрытиях поршней и блоков цилиндров, высокотемпературных покрытиях выхлопных систем и износостойких покрытиях тормозной системы.

5.2.1 Покрытие поршня двигателя и блока

Поршни и блоки цилиндров автомобильных двигателей являются основными компонентами автомобилей, которые должны работать в условиях высоких температур, высокого давления и высокоскоростного трения. Молибденовое покрытие, приготовленное молибденовой распылительной проволокой, становится идеальным защитным слоем для поверхности поршня и цилиндра благодаря высокой твердости и низкому коэффициенту трения. Молибденовые покрытия обычно наносятся на поверхность подложек из алюминиевого сплава или чугуна методом дугового напыления или газопламенного напыления с образованием прочного защитного слоя, который значительно снижает износ от трения и повышает эффективность и срок службы двигателя.

При применении поршневых колец молибденовое покрытие может эффективно снизить трение со стенкой цилиндра, снижая потери энергии и расход топлива. Пористая структура молибденового покрытия также обладает определенной способностью накапливать масло, что способно сохранять смазку во время работы и предотвращать ожоги, вызванные сухим трением. Кроме того, высокотемпературная стойкость молибденового покрытия позволяет ему оставаться стабильным в высокотемпературной среде камеры сгорания и противостоять коррозии продуктов сгорания. Применение этой технологии покрытия позволяет современным автомобильным двигателям работать с более высокими степенями сжатия и выходной мощностью, сохраняя при этом низкие затраты на техническое обслуживание.

Не менее важно молибденовое покрытие на внутренней стороне блока цилиндров. Поверхность блока цилиндров должна выдерживать многократное трение поршневого кольца и воздействие высокотемпературного газа, а обычным материалам сложно сохранять работоспособность в течение длительного времени. Молибденовое покрытие может эффективно защитить поверхность блока цилиндров и продлить срок его службы благодаря высокой твердости и устойчивости к тепловому удару. В некоторых высокопроизводительных автомобилях молибденовые покрытия используются в сочетании с другими материалами, такими как керамические или углеродные покрытия, для создания композитного покрытия, которое еще больше повышает эксплуатационные характеристики. Широкое использование этой технологии подтолкнуло автомобильную промышленность к более эффективному и экологически чистому развитию.

5.2.2 Термостойкое покрытие для выхлопной системы

Автомобильные выхлопные системы работают в высокотемпературных и коррозионных газовых средах и требуют отличной термостойкости и коррозионной стойкости. Благодаря высокой температуре плавления и химической стабильности, молибденовые покрытия, приготовленные из молибденовой распылительной проволоки, широко используются для защиты поверхности выхлопных труб, каталитических нейтрализаторов и глушителей. Эти

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

покрытия наносятся методом плазменного напыления или технологии HVOF и устойчивы к эрозии и окислению высокотемпературными выхлопными газами.

Рабочая температура выхлопной системы может достигать более 800 °С, особенно в двигателях с турбонаддувом, где температура выхлопных газов еще выше. Молибденовые покрытия предотвращают окисление или охрупчивание подложек, таких как нержавеющая сталь или низкоуглеродистая сталь, при высоких температурах, образуя стабильный оксидный слой. Кроме того, устойчивость молибденового покрытия к тепловому удару позволяет ему выдерживать частые горячие и холодные циклы, избегая трещин или отколов, вызванных перепадами температуры. В каталитических нейтрализаторах молибденовое покрытие также защищает катализатор из драгоценного металла внутри, продлевая срок его службы и повышая эффективность очистки выхлопных газов.

Свойства молибденовых покрытий с низким коэффициентом трения также играют важную роль в некоторых частях выхлопной системы, таких как клапаны или соединения. Эти компоненты должны поддерживать гибкое движение при высоких температурах, а нанесение молибденовых покрытий может снизить фрикционный износ и повысить надежность системы. Благодаря технологии напыляемой проволоки из молибдена выхлопная система автомобиля может поддерживать долгосрочную стабильную работу в суровых условиях, обеспечивая важную поддержку экологических характеристик и долговечности автомобиля.

5.2.3 Износостойкое покрытие для тормозной системы

Тормозная система лежит в основе автомобильной безопасности, а тормозные диски и колодки подвергаются высоким уровням трения и термических нагрузок. Молибденовое покрытие, полученное из молибденовой напыляемой проволоки, широко используется на поверхности тормозных дисков благодаря своей высокой твердости и износостойкости, повышая его способность противостоять износу и термическому разложению. Молибденовые покрытия наносятся по технологии HVOF или дугового напыления с образованием прочного защитного слоя, который значительно повышает производительность и срок службы тормозной системы.

Во время торможения высокоскоростное трение между тормозным диском и тормозными колодками выделяет много тепла, что приводит к резкому повышению температуры поверхности. Высокая теплопроводность и стойкость к тепловому удару молибденового покрытия могут эффективно рассеивать тепло и предотвращать перегрев тормозного диска и его деформацию или растрескивание. Кроме того, низкий коэффициент трения молибденового покрытия способствует снижению потерь энергии при торможении и повышению эффективности торможения. В высокопроизводительных спортивных автомобилях или тяжелых коммерческих автомобилях молибденовые покрытия также устойчивы к износу, вызванному частым торможением, продлевая срок службы тормозных дисков.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Не менее важно нанесение молибденового покрытия на тормозные колодки. Молибденовое покрытие может повысить износостойкость и устойчивость к высоким температурам тормозных колодок, уменьшить образование частиц износа и уменьшить воздействие тормозной пыли на окружающую среду. В области электромобилей применение молибденовых покрытий особенно заметно, потому что тормозная система электромобилей требует более высокой прочности для адаптации к рабочему режиму рекуперативного торможения. Благодаря технологии напыления молибденовой проволоки значительно улучшена производительность тормозной системы, что обеспечивает гарантию безопасности и защиты окружающей среды автомобиля.

5.3 Химическая и энергетическая промышленность

Химическая и энергетическая промышленность связана с различными экстремальными средами, включая высококоррозионные химические вещества, высокие температуры и высокое давление, а покрытия, приготовленные молибденовой распылительной проволокой, стали важными материалами в этих областях благодаря своей коррозионной стойкости и высокой термостойкости. В этом разделе рассматривается применение молибденовой проволоки с напыляемым покрытием в коррозионностойких покрытиях для трубопроводов и клапанов, реакторов и теплообменников, а также солнечного и ветрового оборудования.

5.3.1 Коррозионностойкие трубы и клапаны

Трубы и клапаны в химической промышленности часто подвергаются воздействию сильных кислот, щелочей или других агрессивных сред, а обычные материалы с трудом выдерживают эту эрозию в течение длительного времени. Молибденовые покрытия, приготовленные из молибденовой напыляемой проволоки, широко используются для защиты поверхностей трубопроводов и клапанов благодаря их превосходной химической стабильности и коррозионной стойкости. Эти покрытия наносятся с помощью технологии плазменного напыления или холодного напыления с образованием плотного защитного слоя, который эффективно изолирует коррозионные среды.

В нефтехимической промышленности трубы и клапаны должны выдерживать серосодержащие соединения, хлориды и другие агрессивные газы. Химическая инертность молибденовых покрытий позволяет им оставаться стабильными в этих средах, предотвращая коррозию и точечную коррозию подложек, таких как углеродистая сталь или нержавеющая сталь. Кроме того, высокая твердость молибденового покрытия противостоит эрозии и износу твердых частиц в проточной среде, продлевая срок службы труб и клапанов. На морских нефтегазовых платформах применение молибденовых покрытий особенно важно, поскольку они могут противостоять коррозии морской воды и солевым туманам, обеспечивая надежность оборудования в суровых условиях.

Движущиеся части клапанов, такие как золотники и седла, требуют низкого трения и высокой износостойкости, а нанесение молибденовых покрытий может значительно улучшить характеристики этих компонентов. Гладкая поверхность молибденового покрытия и низкий

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

коэффициент трения снижают сопротивление при работе клапана, улучшая гибкость и герметичность переключателя. Благодаря использованию технологии напыления молибденовой проволоки увеличиваются интервалы технического обслуживания химических трубопроводов и клапанов, что снижает эксплуатационные расходы и время простоя.

5.3.2 Покрyтия реакторов и теплообменников

Химические реакторы и теплообменники являются основным оборудованием в химическом производстве, которое должно работать в высокотемпературных, высокогорных и коррозионных средах. Молибденовое покрытие, приготовленное молибденовой распылительной проволокой, является идеальным защитным материалом для этих устройств благодаря своей высокой термостойкости и коррозионной стойкости. Молибденовое покрытие наносится по технологии HVOF или плазменного напыления, которая способна образовывать прочный защитный слой, защищающий внутренние поверхности реакторов и теплообменников.

Реакторы часто связаны со сложными химическими реакциями, в результате которых образуются высокотемпературные газы и коррозионные жидкости, которые предъявляют чрезвычайно высокие требования к материалам. Высокая температура плавления и химическая стабильность молибденовых покрытий позволяют им противостоять воздействию кислотных или щелочных сред, сохраняя при этом структурную целостность при высоких температурах. В теплообменниках превосходная теплопроводность молибденовых покрытий помогает повысить эффективность теплообмена, в то время как его стойкость к тепловому удару позволяет выдерживать частые перепады температуры и предотвращать растрескивание или отслаивание покрытия.

В атомной промышленности молибденовые покрытия применяются для защиты трубных пучков теплообменников от коррозии радиоактивных сред. Низкое сечение поглощения нейтронов молибденового покрытия дает ему уникальное преимущество в среде ядерной реакции, обеспечивая защиту без ущерба для эффективности реакции. Благодаря технологии напыления молибденовой проволоки значительно повышена производительность и безопасность реакторов и теплообменников, что обеспечивает гарантию стабильной работы химической и энергетической промышленности.

5.3.3 Покрyтия для оборудования солнечной и ветровой энергетики

Стремительное развитие оборудования для возобновляемых источников энергии выдвинуло новые требования к свойствам материалов, и покрытия, приготовленные из молибденовой напыляемой проволоки, сыграли важную роль в оборудовании для солнечной и ветровой энергетики. Эти покрытия повышают эффективность и долговечность оборудования благодаря своей стойкости к истиранию, коррозионной стойкости и высокой теплопроводности.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

В системах солнечной теплоэнергетики молибденовые покрытия наносятся на защиту поверхности коллекторных труб. Высокая теплопроводность и стойкость к тепловому удару молибденового покрытия обеспечивают эффективную теплопередачу, предотвращая повреждения, вызванные высокотемпературным окислением и термоциклированием. В ветроэнергетическом оборудовании молибденовые покрытия используются для защиты лопастей и подшипников в ветрогенераторах. Ветряные турбины работают в изменчивой природной среде, подверженной воздействию песка, влаги и солевого тумана, а износостойкость и коррозионная стойкость молибденовых покрытий могут эффективно продлить срок службы лопастей и подшипников.

Свойства молибденовых покрытий с низким коэффициентом трения особенно важны в системе трансмиссии ветряных турбин, снижая износ зубчатых колес и подшипников и повышая эффективность преобразования энергии. Технология холодного напыления также все чаще используется в оборудовании для возобновляемых источников энергии, а ее низкотемпературные свойства подходят для приготовления молибденовых покрытий для подложек из композитных или легких сплавов во избежание термических повреждений. Надежность и эффективность оборудования для солнечной и ветровой энергетики были значительно повышены за счет применения технологии напыления молибденовой проволоки, которая обеспечивает техническую поддержку популяризации возобновляемых источников энергии.

5.4 Электроника и полупроводниковая промышленность

Электронная и полупроводниковая промышленность предъявляет чрезвычайно высокие требования к чистоте, проводимости и термической стабильности материалов, и молибденовая напыляемая проволока стала важным материалом в этой области благодаря своей высокой чистоте и отличным физическим свойствам. В этом разделе будет обсуждаться применение молибденовой проволоки с напыляемым покрытием в нагревательной проволоке для вакуумного покрытия, полупроводниковых выводах и электродах, а также покрытии молибденовой проволоки для осаждения тонких пленок.

5.4.1 Нагревательная проволока для вакуумного нанесения покрытий

Вакуумное покрытие — это метод получения тонких пленок, обычно используемый в электронной и полупроводниковой промышленности для производства таких устройств, как дисплеи, датчики и интегральные схемы. Молибденовая распылительная проволока широко используется в качестве нагревательной проволоки для оборудования для вакуумного нанесения покрытий благодаря высокой температуре плавления и хорошей электропроводности. Молибденовая проволока нагревается за счет сопротивления для создания высоких температур, испаряя испарившиеся материалы, такие как алюминий или медь, и откладывая их на поверхности подложки для образования однородной пленки.

Высокая чистота и химическая стабильность молибденовой проволоки позволяют ей работать в вакуумной среде в течение длительных периодов времени и избегать загрязнения из-за окисления или испарения примесей. Молибденовая напыляемая проволока

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

дополнительно повышает стойкость к окислению за счет модификации поверхности (например, силиконизации) и продлевает срок службы нагревательной проволоки. Кроме того, механическая прочность и устойчивость к тепловому удару молибденовой проволоки позволяют ей выдерживать частые циклы нагрева и охлаждения и сохранять стабильную производительность. В оборудовании для нанесения высокоточных покрытий однородность и чистота поверхности молибденовой проволоки имеют решающее значение для качества пленки, а процесс напыления обеспечивает эти свойства проволоки.

5.4.2 Полупроводниковые выводы и электроды

Провода и электроды в полупроводниковых приборах требуют высокой проводимости и устойчивости к высоким температурам, а молибденовые покрытия, приготовленные из молибденовых распылительных проводов, широко используются для этих компонентов благодаря их отличным электрическим и механическим свойствам. Молибденовое покрытие наносится на свинцовую раму или поверхность электрода с помощью плазменного напыления или технологии холодного напыления с образованием защитного слоя с высокой проводимостью и коррозионной стойкостью.

В полупроводниковой упаковке свинцовая рама подвергается высокотемпературной пайке и химической очистке, а химическая инертность и высокая твердость молибденового покрытия защищают раму от повреждений. В силовых полупроводниковых приборах молибденовые покрытия применяются на поверхности электродов для повышения их проводимости и износостойкости, обеспечения стабильной работы прибора при высоких токах и напряжениях. Низкий коэффициент теплового расширения молибденового покрытия обеспечивает его хорошее соответствие материалам на основе кремния, уменьшая растрескивание, вызванное термическими нагрузками.

5.4.3 Покрытие молибденовой проволоки для нанесения тонких пленок

Осаждение тонких пленок является ключевой технологией в полупроводниковой промышленности для получения функциональных тонких пленок, таких как проводящие слои, изоляционные слои и барьерные слои. Благодаря своей высокой чистоте и однородности, молибденовая проволока с напыляемым покрытием используется в качестве мишени или вспомогательного материала для нанесения тонких пленок. Молибденовое покрытие наносится на поверхность подложки с помощью технологии холодного напыления или плазменного напыления с образованием высокоплотной пленки, пригодной для процессов физического осаждения из газовой фазы (PVD) или химического осаждения из газовой фазы (CVD).

Превосходная электропроводность и химическая стабильность молибденового покрытия позволяют ему обеспечивать стабильную работу при осаждении тонких пленок, предотвращая деградацию целевого материала при высоких температурах или реактивных газах. При производстве дисплеев молибденовые покрытия используются для создания прозрачных проводящих пленок (например, заднего электрода из оксида индия и олова) для

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

улучшения проводимости и долговечности пленки. Эффективность и качество осаждения тонких пленок были значительно повышены благодаря технологии напыляемой молибденовой проволоки, что способствует инновациям в электронной и полупроводниковой промышленности.

5.5 Медицина и биоинженерия

Медицинская и биоинженерная области предъявляют чрезвычайно высокие требования к биосовместимости, коррозионной стойкости и высоким температурным характеристикам материалов, а молибденовое покрытие, полученное из молибденовой распыляемой проволоки, широко используется в медицинских устройствах и биоинженерном оборудовании благодаря своим превосходным характеристикам. В этом разделе будет рассмотрено применение молибденовой напыляемой проволоки для нанесения покрытий на нагревательные элементы медицинских приборов и коррозионностойкие медицинские приборы.

5.5.1 Нагревательные элементы для медицинских изделий

Нагревательные элементы в медицинских устройствах, таких как нагреватели для скальпеля, стоматологическое оборудование и лабораторные аналитические приборы, должны быть стабильными и надежными при высоких температурах. В качестве материала для этих нагревательных элементов используется молибденовая проволока с напыляемым покрытием, обладающая высокой температурой плавления и хорошей электропроводностью. Молибденовая проволока нагревается за счет устойчивости к образованию высоких температур и используется для резки, прижигания или нагрева образцов, а ее высокая чистота и химическая стабильность обеспечивают безопасность в медицинских условиях.

В стоматологическом оборудовании молибденовая проволока используется в качестве нагревательного элемента в высокотемпературной печи спекания для изготовления керамических коронок или имплантатов. Устойчивость молибденовой проволоки к высоким температурам и стойкость к окислению позволяют ей сохранять свои эксплуатационные характеристики в течение нескольких циклов нагрева, избегая загрязнения, вызванного деградацией материала. В лабораторных аналитических приборах молибденовая проволока используется в качестве нагревательного элемента в масс-спектрометрах или оборудовании для термического анализа для обеспечения точного нагрева образцов и достоверных результатов анализа.

5.5.2 Антикоррозионные покрытия для медицинских изделий

Медицинские устройства, такие как хирургические инструменты, имплантаты и диагностические устройства, должны оставаться коррозионностойкими в присутствии биологических жидкостей или дезинфицирующих средств. Молибденовые покрытия, приготовленные из молибденовой напыляемой проволоки, широко используются для защиты поверхности этих устройств благодаря их химической инертности и высокой твердости. Молибденовые покрытия наносятся методом холодного напыления или плазменного

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

напыления с образованием плотного защитного слоя, предотвращающего коррозию или износ на поверхности оборудования.

В ортопедических имплантатах, таких как искусственные суставы или костные гвозди, молибденовые покрытия могут улучшить коррозионную стойкость и биосовместимость подложек, таких как титановые сплавы, уменьшая воспаление, вызванное реакцией имплантата на жидкости организма. В хирургических инструментах низкое трение и высокая твердость молибденового покрытия могут снизить сопротивление во время резки, повышая долговечность и точность инструмента. Благодаря технологии напыления молибденовой проволоки значительно повысились эксплуатационные характеристики и безопасность медицинских изделий, что обеспечивает гарантию на лечение пациентов.

5.6 Другие области применения

Использование молибденовой распылительной проволоки не ограничивается основными областями, упомянутыми выше, но также играет важную роль в морской и шельфовой технике, строительной технике и тяжелом оборудовании, а также в высокотемпературных печах и оборудовании для термообработки. В этом разделе будут рассмотрены конкретные приложения в этих областях.

5.6.1 Антикоррозионные покрытия для судов и шельфовой техники

Коррозия является серьезной проблемой для судов и шельфового оборудования, которые работают в морской воде, солевом тумане и влажной среде. Молибденовое покрытие, полученное из молибденовой напыляемой проволоки, широко используется для защиты трубопроводов гребных винтов судов, рулевых валов и морских платформ благодаря своей превосходной коррозионной стойкости и высокой твердости. Молибденовое покрытие наносится с помощью технологии дугового напыления HVOF или дугового напыления, которая может эффективно противостоять гальванической коррозии морской воды, а также эрозии и износу твердых частиц.

На морских платформах молибденовые покрытия используются для защиты буровых труб и клапанов, продлевая срок их службы в суровых условиях. Свойства молибденового покрытия с низким коэффициентом трения также улучшают производительность движущихся частей, таких как гидравлические системы, снижая потребность в техническом обслуживании. Надежность и безопасность морского и шельфового оборудования были значительно повышены за счет применения технологии напыления молибденовой проволокой.

5.6.2 Износостойкие покрытия для строительной техники и тяжелого оборудования

Строительная техника и тяжелое оборудование, такое как ковши экскаваторов, отвалы бульдозеров и молоты дробилок, подвергаются сильному износу и ударам. Молибденовое покрытие, подготовленное молибденовой распылительной проволокой, является идеальным защитным материалом для этих компонентов благодаря своей высокой твердости и

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

износостойкости. Молибденовое покрытие наносится по технологии HVOF для формирования прочного защитного слоя от воздействия песка, камня и других абразивов.

В тяжелом оборудовании молибденовые покрытия с низким коэффициентом трения снижают износ компонентов и повышают механическую эффективность. Например, молибденовое покрытие ковша экскаватора продлевает срок его службы в скальных грунтах, снижая частоту замен и затраты на техническое обслуживание. Благодаря применению технологии молибденовой проволоки производительность и долговечность строительной техники были значительно улучшены, что способствует эффективности инженерных проектов.

5.6.3 Высокотемпературные печи и оборудование для термообработки

Высокотемпературные печи и оборудование для термообработки должны работать при экстремально высоких температурах, а материалы должны обладать отличной устойчивостью к высоким температурам и окислению. Благодаря высокой температуре плавления и химической стабильности, молибденовая проволока с напыляемым покрытием используется в качестве нагревательного элемента и защитного покрытия для высокотемпературных печей. Молибденовая проволока нагревается за счет устойчивости к образованию высоких температур и используется в термической обработке металлов, спекании керамики и плавке стекла, а ее высокая чистота и стойкость к окислению обеспечивают долгосрочную стабильную работу.

В оборудовании для термообработки молибденовые покрытия используются для защиты внутренних стенок и несущих конструкций печей от высокотемпературного окисления и химического воздействия. Высокая теплопроводность и стойкость к тепловому удару молибденового покрытия позволяют ему выдерживать частые перепады температур и избегать трещин или сколов. Благодаря технологии напыляемой проволоки из молибдена значительно улучшена производительность и срок службы высокотемпературных печей, что обеспечивает гарантию стабильности и эффективности промышленного производства.



Молибденовая распылительная проволока CTIA GROUP LTD

Глава 6 Производственное оборудование для напыляемой проволоки из молибдена

Процесс производства молибденовой напыляемой проволоки включает в себя множество сложных этапов, от обработки сырья до окончательного нанесения покрытия, каждый из которых требует специализированного оборудования для обеспечения точности процесса и стабильности качества продукции. В этой главе будут подробно рассмотрены различные типы оборудования, необходимого для производства молибденовой распылительной проволоки, включая оборудование для обработки сырья, оборудование для производства молибденовой проволоки, оборудование для распыления, вспомогательное оборудование и оборудование для последующей обработки, а также автоматизированное и интеллектуальное оборудование. Вместе эти машины образуют техническую основу для производства молибденовой проволоки с покрытием и обеспечивают надежную поддержку для применения в аэрокосмической, автомобильной, химической и энергетической отраслях.

6.1 Оборудование для переработки сырья

Переработка сырья является первым этапом в производстве молибденовой распылительной проволоки, который включает в себя сложный процесс преобразования молибденовой руды в молибденовый порошок высокой чистоты. Оборудование на этом этапе должно обладать высокой точностью и строгими возможностями контроля окружающей среды, чтобы обеспечить высокую чистоту и консистенцию молибденового порошка. В этом разделе будет рассмотрено оборудование для приготовления и восстановления молибденового порошка, а также печи для спекания и кузнечное оборудование.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Spray Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Spray Wire

Molybdenum spray wire is a high-purity molybdenum metal wire that is melted and deposited onto a substrate surface through thermal spray techniques such as flame spraying, plasma spraying, arc spraying, or HVOF (High Velocity Oxy-Fuel). The resulting coating offers excellent resistance to wear, corrosion, and high temperatures. Due to its high melting point and superior performance, molybdenum wire is widely used across various industrial sectors.

2. Characteristics of Molybdenum Spray Wire

High Melting Point: Approximately 2623°C, suitable for high-temperature environments.

Excellent Corrosion Resistance: Resists attack from acids, alkalis, and chemical media.

High Hardness & Wear Resistance: Tough coating that withstands mechanical wear.

Low Friction Coefficient: Reduces component wear and improves efficiency.

Chemical Stability: Maintains performance in harsh environments.

High Thermal Conductivity: Effectively dissipates heat and extends component lifespan.

3. Typical Uses of Molybdenum Spray Wire

Aerospace: Turbine blades, engine parts, thermal barrier coatings.

Automotive Industry: Wear-resistant coatings for piston rings, engine blocks, and brake discs.

Chemical & Energy Sectors: Corrosion-resistant pipelines, heat exchangers, wind power equipment.

Electronics & Semiconductors: Vacuum deposition heating wires, semiconductor leads.

Medical Field: Corrosion-resistant coatings for implants and surgical instruments.

Others: Marine anti-corrosion, wear-resistant construction machinery, high-temperature furnaces.

4. Basic Data of Molybdenum Spray Wire from CTIA GROUP LTD

Purity	≥99.95%
Density	10.2 g/cm ³
Diameter Range	1.0-3.0 mm, customizable
Tensile Strength	Moderate to ensure stable wire feeding
Packaging	Customized Packaging

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

6.1.1 Оборудование для приготовления и восстановления молибденового порошка

Оборудование для приготовления и восстановления молибденового порошка является ядром переработки сырья, которое используется для преобразования оксида молибдена (MoO_3) после очистки молибденовой руды в металлический молибденовый порошок высокой чистоты. К ним относятся дробилки, мельницы, флотационное оборудование и печи для восстановления водорода, каждая из которых играет определенную роль в технологической цепочке.

Дробилки и мельницы используются для переработки молибденовой руды из крупных кусков руды в мелкие частицы. Щековые дробилки и конусные дробилки – это обычно используемое оборудование первичного дробления, которое способно дробить руду на более мелкие частицы и подходит для последующей измельчительной обработки. Помольная машина (например, шаровая мельница или стержневая мельница) дополнительно измельчает руду в мелкий порошок через мелющую среду во вращающемся цилиндре, которая является поплавок = "; Система: Выберите Разделение для подготовки. Это оборудование должно быть оснащено эффективными системами пылеулавливания, чтобы уменьшить загрязнение пыли и обеспечить равномерный размер частиц.

Флотационное оборудование является ключом к процессу обогащения и используется для отделения молибденита (MoS_2) от тонко измельченной руды. Флотационная камера обычно состоит из нескольких флотационных резервуаров, которые заполняются суспензией и воздухом, которые объединяются с коллекторами и пенообразователями для образования пены и отделения частиц молибденита от примесей. Современное флотационное оборудование оснащено автоматической системой управления, которая может регулировать количество добавляемого агента и поток пузырьков в режиме реального времени, а также повышать эффективность обогащения и чистоту концентрата. Флотационный молибденовый концентрат фильтруется и высушивается при подготовке к последующему обжигу.

Жаровня используется для преобразования молибденита в оксид молибдена и является важным этапом в приготовлении молибденового порошка. Вращающиеся печи и многокамерные печи обычно используются для обжига оборудования для удаления серы из молибденита путем высокотемпературного окисления с получением порошка оксида молибдена. Эти печи должны быть оснащены точными системами контроля температуры и блоками очистки выхлопных газов для обеспечения полного удаления серы и снижения выбросов диоксида серы. Обожженный оксид молибдена дополнительно очищается с помощью оборудования для выщелачивания аммиака для удаления следов примесей и получения раствора молибдата аммония высокой чистоты.

Печь восстановления водорода является основным оборудованием для производства порошка молибдена, который используется для восстановления оксида молибдена или молибдата аммония до порошка металлического молибдена. Процесс восстановления обычно делится на две стадии: первая стадия восстанавливает оксид молибдена до диоксида

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

молибдена (MoO_2) при более низких температурах, а вторая стадия дополнительно восстанавливает металлический молибден до металла при более высоких температурах. Эти печи доступны в трубчатом или толкающем исполнении, оснащены системой подачи водорода высокой чистоты и точным контролем температуры для обеспечения стабильности процесса восстановления. Материалом корпуса печи обычно является молибденовый сплав или кварц, устойчивый к высоким температурам для предотвращения загрязнения. Порошок восстановленного молибдена сортируется с помощью воздушного классификатора или вибрационного сита, чтобы убедиться, что размер и распределение частиц соответствуют потребностям процесса волочения проволоки.

Слаженная работа этого оборудования требует высокочистой производственной среды, чтобы избежать внешнего загрязнения молибденового порошка. Современное оборудование для приготовления молибденового порошка также интегрировано в систему онлайн-мониторинга, которая может определять химический состав и распределение частиц порошка по размерам в режиме реального времени, чтобы обеспечить постоянство качества продукции.

6.1.2 Печи для спекания и кузнечное оборудование

Агломерационные печи и кузнечно-прессовое оборудование используются для прессования молибденового порошка в плотную заготовку и дальнейшей переработки его в молибденовые прутки, пригодные для волочения проволоки. Печь для спекания является основным оборудованием процесса порошковой металлургии, а частицы порошка молибдена объединяются в прочную металлическую структуру путем высокотемпературной обработки. Кузнечно-прессовое оборудование оптимизирует микроструктуру заготовки за счет механической деформации для повышения ее прочности и пластичности.

В печах для спекания обычно используется вакуум или водород для защиты атмосферы от окисления молибдена при высоких температурах. Вакуумные печи для спекания подходят для производства молибденовых заготовок высокой чистоты путем вакуумирования для удаления кислорода и влаги из печи. Печь для спекания водорода создает восстановительную атмосферу за счет непрерывной подачи водорода высокой чистоты, который не только предотвращает окисление, но и очищает от следов оксидов на поверхности заготовки. Современные печи для спекания оснащены многоступенчатыми зонами нагрева и прецизионными системами контроля температуры, которые способны регулировать температуру спекания и время выдержки в соответствии с особенностями молибденового порошка, а также оптимизировать плотность и зернистую структуру заготовки. Некоторые усовершенствованные печи для спекания также оснащены автоматизированными системами загрузки и разгрузки для повышения эффективности производства.

Кузнечно-прессовое оборудование включает в себя машину горячей штамповки и стан горячей прокатки для переработки спеченной молибденовой заготовки в удлиненный молибденовый пруток. Горячештамповочная машина использует гидравлическую или механическую обработку для деформации заготовки при высоких температурах, измельчения

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

зерен и устранения внутренних дефектов. Стан горячей прокатки постепенно уменьшает диаметр заготовки с помощью ряда валков для получения однородного молибденового стержня. Эти устройства должны быть оснащены высокотемпературным нагревом для поддержания пластичности молибдена, а также системой защитной атмосферы для предотвращения окисления. Процессковки и прокатки требует точного контроля скорости деформации и температуры, чтобы избежать растрескивания заготовки или дефектов поверхности.

Синергия между печью спекания и кузнечно-прессовым оборудованием обеспечивает получение высококачественного сырья для производства молибденовой проволоки. Благодаря цифровому управлению и мониторингу в режиме реального времени современное оборудование может значительно повысить эффективность производства и стабильность продукции, заложив прочную основу для последующего процесса волочения.

6.2 Оборудование для производства молибденовой проволоки

Производство молибденовой проволоки является критическим этапом переработки молибденовых прутков в нити, включающим в себя такие процессы, как волочение проволоки, отжиг и обработка поверхности. Эти процессы требуют высокоточного оборудования для преодоления твердых и хрупких свойств молибдена, обеспечивая точность размеров и качество поверхности проволоки. В этом разделе будут рассмотрены волочильные машины и штампы, печи для отжига и оборудование для термообработки, а также оборудование для очистки и полировки поверхностей.

6.2.1 Волочильные машины и штампы

Волочильная машина является основным оборудованием для производства молибденовой проволоки, которая используется для растягивания молибденового стержня в нить через форму. Волочильная машина делится на однорежимную волочильную машину и многорежимную непрерывную волочильную машину, каждая из которых имеет свои применимые сценарии. Одноматричная волочильная машина подходит для мелкосерийного, высокоточного производства, оснащена одной формой, а каждое волочение завершается ручным или полуавтоматическим управлением. Многорежимная машина непрерывного волочения подходит для крупносерийного производства, оснащена несколькими штампами и тяговым устройством, которое может непрерывно растягивать молибденовый стержень, значительно повышая эффективность.

Основным компонентом волочильной машины является штамп, который обычно изготавливается из карбида вольфрама или поликристаллического алмаза, обладающего чрезвычайно высокой твердостью и износостойкостью. Конструкция апертуры матрицы должна точно соответствовать требованиям к чертежу, а последовательность уменьшения апертуры научно рассчитана для обеспечения равномерной деформации проволоки. Система смазки является важной частью волочильной машины для волочения проволоки, при распылении графитовой эмульсии или смазки из дисульфида молибдена трение между

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

формой и молибденовой проволокой снижается, срок службы штампа продлевается и улучшается качество поверхности проволоки. Современные волочильные машины также оснащены системой контроля натяжения и охлаждения для предотвращения разрыва или перегрева проволоки в процессе волочения.

Изготовление и обслуживание пресс-формы является ключом к процессу волочения. Высококачественные пресс-формы необходимо регулярно полировать и проверять, чтобы обеспечить точность отверстия и чистоты поверхности. Некоторые передовые волочильные машины оснащены встроенной системой контроля, которая способна контролировать диаметр проволоки и дефекты поверхности в режиме реального времени, а также своевременно регулировать параметры волочения. Такая высокоточная конструкция оборудования обеспечивает постоянство размеров и механические свойства молибденовой проволоки, обеспечивая высококачественную проволоку для процесса напыления.

6.2.2 Печи для отжига и оборудование для термообработки

Печи для отжига и оборудование для термообработки используются для устранения внутренних напряжений, вносимых в процессе волочения проволоки, восстановления кристаллической структуры молибденовой проволоки, улучшения ее пластичности и ударной вязкости. Эти устройства должны работать в вакууме или защитной атмосфере, чтобы предотвратить окисление поверхности молибденовой проволоки.

Печи для вакуумного отжига подходят для производства молибденовой проволоки высокой чистоты путем вакуумирования для удаления кислорода из печи. Печь оснащена высокотемпературным нагревательным элементом (например, молибденовой или вольфрамовой нагревательной проволокой), который позволяет точно контролировать температуру и скорость наращивания. В печи водородного отжига используется водород высокой чистоты для создания восстановительной атмосферы, которая не только предотвращает окисление, но и очищает от следов оксидов на поверхности проволоки. В современных печах отжига используется многоступенчатая конструкция нагрева для оптимизации микроструктуры молибденовой проволоки за счет прогрессивного нагрева, чтобы избежать слишком крупных зерен или переноса напряжения.

Оборудование для термообработки также включает в себя систему охлаждения для контроля скорости охлаждения после отжига. Быстрое охлаждение может привести к повторному накоплению напряжения, в то время как слишком медленное охлаждение может повлиять на производительность. Некоторые усовершенствованные печи для отжига оснащены автоматизированными системами загрузки и разгрузки, которые способны непрерывно обрабатывать несколько рулонов молибденовой проволоки, повышая эффективность производства. Печь для отжига также была спроектирована с учетом энергоэффективности, снижения потерь тепла за счет эффективных систем изоляции и рекуперации в соответствии с требованиями экологичного производства.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

6.2.3 Оборудование для очистки и полировки поверхностей

Оборудование для очистки и полировки поверхности используется для удаления смазочных материалов, оксидов и других загрязнений с поверхности молибденовой проволоки, обеспечивая превосходное качество поверхности в процессе нанесения покрытия. К ним относятся резервуары для химической очистки, ультразвуковые очистители и полировальные агрегаты.

При химической очистке ванн используются слабокислые или щелочные растворы, такие как разбавленная соляная кислота или гидроксид натрия, для удаления оксидных слоев и органических остатков с поверхности молибденовой проволоки. Резервуар для очистки обычно оснащен циркуляционной системой фильтрации для обеспечения чистоты моющего раствора и предотвращения вторичного загрязнения. После очистки молибденовая проволока тщательно очищается через резервуар для промывки деионизированной водой, чтобы избежать попадания остатков химических веществ, влияющих на эффект распыления.

Ультразвуковые очистители используют высокочастотные звуковые волны для создания крошечных пузырьков в жидкостях и удаления микронных частиц и масляных пятен за счет воздействия лопнувших пузырьков. Эта машина особенно подходит для работы с небольшими молибденовыми проволоками и способна проникать в микроскопические углубления поверхности нити для обеспечения полной очистки. Частоту и мощность ультразвукового очистителя необходимо регулировать в зависимости от размера провода, чтобы не повредить поверхность.

Полировальное оборудование включает в себя механическую полировальную машину и электрохимическое полировальное устройство. В механических полировальных машинах используются мелкие абразивы, такие как глинозем или алмазный порошок, для полировки поверхности молибденовой проволоки с помощью вращающихся щеток или абразивных лент для достижения зеркального эффекта. Устройство для электрохимической полировки выборочно растворяет микроскопические выступы на поверхности проволоки путем электролиза для формирования гладкой поверхности. Эти устройства позволяют значительно улучшить качество поверхности молибденовой проволоки, уменьшить разбрызгивание капель расплава в процессе распыления, а также повысить качество покрытия.

6.3 Оборудование для распыления

Оборудование для напыления является сердцем производства молибденовой напыляемой проволоки, которая используется для расплавления и нанесения молибденовой проволоки на поверхность подложки для образования защитного покрытия. К ним относятся системы газопламенного напыления, оборудование для плазменного напыления, установки дугового напыления и оборудование для высокоскоростного кислородного напыления (HVOF), каждое из которых предназначено для различных областей применения и требований к покрытиям.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

6.3.1 Системы газопламенного напыления

Система газопламенного напыления является одной из самых ранних технологий термического напыления, использующей кислородно-ацетиленовое пламя для нагрева молибденовой проволоки, в результате чего она плавится или полуплавится и распыляется на поверхность подложки сжатым воздухом. Система газопламенного напыления состоит из пистолета-распылителя, устройства подачи проволоки, системы подачи газа и блока управления.

Пистолет-распылитель является основным компонентом системы газопламенного напыления, оснащен камерой сгорания и форсунками, которые создают высокотемпературное пламя и контролируют направление капель. Устройство подачи проволоки подает молибденовую проволоку в пистолет-распылитель с постоянной скоростью благодаря точному управлению двигателем, обеспечивая стабильность процесса плавления. Система подачи газа обеспечивает кислород и ацетилен, а соотношение смешивания регулируется расходомером для оптимизации температуры и стабильности пламени. Блок управления регулирует параметры распыления, такие как скорость подачи проволоки, интенсивность пламени и расстояние распыления, с помощью цифрового интерфейса.

Система газопламенного напыления имеет простую конструкцию и подходит для строительства на месте и нанесения покрытий на большие площади, а также широко используется для ремонта автомобильных деталей и защиты промышленного оборудования. Однако температура пламени ниже, а пористость покрытия высока, что необходимо оптимизировать в сочетании с оборудованием для последующей обработки. Современные системы газопламенного напыления включают в себя автоматизированное управление и онлайн-мониторинг для повышения эффективности и стабильности распыления.

6.3.2 Оборудование для плазменного напыления

Оборудование для плазменного напыления использует высокотемпературную плазму (до 15 000 °C) для плавления молибденовой проволоки с образованием высокоскоростного потока расплавленных струй, которые осаждаются на поверхности подложки с образованием плотного покрытия. Данное оборудование включает в себя пистолет для плазменного распыления, систему электроснабжения, систему газоснабжения и блок охлаждения.

Пистолет-распылитель преобразует инертный газ (например, аргон или азот) в высокотемпературную плазму с помощью электрической дуги, а молибденовая проволока подается в поток плазмы для быстрого плавления. Конструкция сопла пистолета-распылителя должна обеспечивать стабильность и направленность потока плазмы для улучшения качества покрытия. Система электропитания обеспечивает высоковольтный постоянный ток, который контролирует силу и стабильность дуги. Система подачи газа точно регулирует поток и состав плазменного газа для оптимизации эффекта плавления. Охлаждающее устройство предотвращает перегрев пистолета с помощью водяного или воздушного охлаждения, продлевая срок службы оборудования.

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

Оборудование для плазменного напыления способно производить молибденовые покрытия с высокой твердостью и низкой пористостью для высокоэффективных применений в аэрокосмической и энергетической отраслях. Его высокая точность и гибкость позволяют работать с подложками со сложной геометрией, но затраты на оборудование высоки, эксплуатация сложна, и требуется профессиональная техническая поддержка.

6.3.3 Устройство для дугового распыления

Устройство дугового напыления использует дуговой нагрев между двумя молибденовыми проволоками для расплавления проволоки и распыления ее на поверхность основания с помощью сжатого воздуха. Такое устройство включает в себя дуговой пистолет-распылитель, систему подачи проволоки, систему электропитания, воздушный компрессор.

Пистолет-распылитель создает стабильную дугу, точно контролируя контакт двух молибденовых проволок, плавя конец проволоки. Система подачи проволоки приводится в действие двумя двигателями, что обеспечивает подачу двух молибденовых проволок в пистолет-распылитель с одинаковой скоростью для поддержания стабильности дуги. Система электропитания обеспечивает питание постоянным или переменным током, регулируя интенсивность и продолжительность дуги. Воздушный компрессор создает воздушный поток под высоким давлением, который распыляет и распыляет капли расплавленного молибдена на подложку, образуя равномерное покрытие.

Установка дугового напыления обладает высокой эффективностью напыления и подходит для распыления больших площадей, таких как стальные конструкции моста или защита компонентов судна. Качество покрытия находится между газопламенным и плазменным напылением, а стоимость низкая, что делает его пригодным для промышленного производства. Современные установки дугового напыления оснащены автоматизированной системой управления для повышения стабильности и производительности распыления.

6.3.4 Оборудование для высокоскоростного кислородного напыления (HVOF)

Оборудование для высокоскоростного кислородного напыления (HVOF) использует сжигание кислорода и топлива, такого как керосин или пропан, под высоким давлением, для создания сверхзвукового пламени, которое плавит молибденовую проволоку и распыляет ее на поверхность подложки с чрезвычайно высокой скоростью. Данное оборудование включает в себя краскопульты HVOF, системы подачи топлива, системы подачи кислорода и холодильные агрегаты.

Пистолет-распылитель HVOF воспламеняет смесь топлива и кислорода через камеру сгорания и конструкцию форсунки, образуя поток пламени с высокой температурой и высоким давлением. Молибденовая проволока подается в поток пламени для быстрого плавления и распыляется на подложку со сверхзвуковой скоростью, образуя плотное покрытие с низкой пористостью. Система подачи топлива и кислорода оптимизирует эффективность сгорания и скорость пламени за счет точного управления потоком. Блок

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

охлаждения защищает фурму от повреждения при высокой температуре с помощью системы водяного охлаждения.

Оборудование HVOF способно производить молибденовые покрытия с высокой твердостью и высокой адгезией, которые подходят для высокотехнологичных применений, таких как авиационные двигатели и газовые турбины. Его высокая скорость и низкие температурные характеристики снижают окислительное и термическое напряжение покрытия, но сложность и стоимость оборудования высоки. Современное оборудование HVOF оснащено цифровой системой управления и функцией онлайн-мониторинга, которая способна регулировать параметры распыления в режиме реального времени и улучшать качество покрытия.

6.4 Вспомогательное оборудование и оборудование для последующей обработки

Вспомогательное оборудование и оборудование для последующей обработки используются для поддержки подготовки подложки, отделки покрытия и контроля качества в процессе распыления, чтобы обеспечить производительность и надежность конечного продукта. В этом разделе будет рассмотрено оборудование для предварительной обработки подложек, оборудование для постобработки покрытий, а также оборудование для внутритрубной диагностики и мониторинга.

6.4.1 Оборудование для предварительной обработки основания

Оборудование для предварительной обработки подложки используется для очистки и оптимизации поверхности основания и улучшения адгезии покрытия. К ним относятся пескоструйные аппараты, резервуары для химической очистки, ультразвуковые очистители.

Пескоструйный аппарат увеличивает шероховатость поверхности подложки за счет струйной обработки абразивов, таких как оксид алюминия или карбида кремния, с высокой скоростью, удаляя оксиды и старые покрытия. Современные абразивоструйные машины оснащены автоматизированными системами струйной обработки и рекуператорами, которые могут контролировать поток абразива и угол распыления, повышая эффективность обработки и экологичность. В ваннах для химической очистки используются щелочные или кислотные растворы для удаления масла и органических загрязнений, а также они оснащены циркуляционной системой фильтрации для обеспечения чистоты чистящей жидкости. Ультразвуковые очистители используют высокочастотные звуковые волны для создания крошечных пузырьков для удаления частиц микронного размера с поверхности подложки и подходят для деталей со сложной геометрией.

Для этих машин требуются технологические параметры, адаптированные к материалу и форме подложки. Например, подложки из алюминиевого сплава требуют щадящей струйной обработки и очистки, в то время как подложки из нержавеющей стали могут выдерживать повышенную прочность обработки. Синергия оборудования для предварительной обработки обеспечивает идеальную поверхность основания для процесса распыления.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Spray Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Spray Wire

Molybdenum spray wire is a high-purity molybdenum metal wire that is melted and deposited onto a substrate surface through thermal spray techniques such as flame spraying, plasma spraying, arc spraying, or HVOF (High Velocity Oxy-Fuel). The resulting coating offers excellent resistance to wear, corrosion, and high temperatures. Due to its high melting point and superior performance, molybdenum wire is widely used across various industrial sectors.

2. Characteristics of Molybdenum Spray Wire

High Melting Point: Approximately 2623°C, suitable for high-temperature environments.

Excellent Corrosion Resistance: Resists attack from acids, alkalis, and chemical media.

High Hardness & Wear Resistance: Tough coating that withstands mechanical wear.

Low Friction Coefficient: Reduces component wear and improves efficiency.

Chemical Stability: Maintains performance in harsh environments.

High Thermal Conductivity: Effectively dissipates heat and extends component lifespan.

3. Typical Uses of Molybdenum Spray Wire

Aerospace: Turbine blades, engine parts, thermal barrier coatings.

Automotive Industry: Wear-resistant coatings for piston rings, engine blocks, and brake discs.

Chemical & Energy Sectors: Corrosion-resistant pipelines, heat exchangers, wind power equipment.

Electronics & Semiconductors: Vacuum deposition heating wires, semiconductor leads.

Medical Field: Corrosion-resistant coatings for implants and surgical instruments.

Others: Marine anti-corrosion, wear-resistant construction machinery, high-temperature furnaces.

4. Basic Data of Molybdenum Spray Wire from CTIA GROUP LTD

Purity	≥99.95%
Density	10.2 g/cm ³
Diameter Range	1.0-3.0 mm, customizable
Tensile Strength	Moderate to ensure stable wire feeding
Packaging	Customized Packaging

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

6.4.2 Оборудование для последующей обработки покрытий

Оборудование для последующей обработки покрытий используется для оптимизации характеристик покрытий, включая печи для термообработки, полировальные машины и установки для обработки уплотнений. Печь для термообработки нагревается под действием вакуума или защитной атмосферы для устранения остаточных напряжений в покрытии и улучшения микроструктуры. Современные печи для термообработки оснащены многоступенчатой системой нагрева и охлаждения, которая позволяет точно контролировать температурный профиль во избежание растрескивания покрытия.

Полировальные машины включают в себя оборудование для механической полировки и электрохимической полировки. Механические полировальные машины шлифуют поверхность покрытия с помощью абразивов, уменьшая шероховатость и улучшая отделку. Электрохимический полировальный агрегат сглаживает покрытую поверхность с помощью электролиза и подходит для высокоточных применений. Устройства для обработки уплотнений повышают коррозионную стойкость путем распыления или пропитки органических/неорганических герметиков для заполнения пор покрытия. Эти устройства значительно повышают долговечность и функциональность покрытий.

6.4.3 Оборудование для онлайн-обнаружения и мониторинга

Внутритрубное оборудование для инспекции и мониторинга, включая лазерные толщиномеры, тепловизионные камеры и ультразвуковые детекторы, используется для оценки процесса нанесения покрытия и качества покрытия в режиме реального времени. Лазерные толщиномеры точно проверяют толщину и однородность покрытия с помощью бесконтактных измерений. Тепловизионные камеры контролируют распределение температуры подложек и покрытий, чтобы предотвратить перегрев или неравномерное охлаждение. Ультразвуковые детекторы используются для обнаружения пор или трещин внутри покрытий для обеспечения качества.

Эти устройства интегрированы с системами сбора данных для регистрации параметров процесса и результатов испытаний в режиме реального времени, чтобы обеспечить поддержку данных для управления качеством и оптимизации процессов. Современное инспекционное оборудование также поддерживает дистанционный мониторинг, что позволяет операторам анализировать состояние оборудования через облачную платформу для повышения производительности и надежности.

6.5 Автоматизация и интеллектуальное оборудование

Автоматизация и интеллектуальное оборудование представляют собой будущее направление технологии производства молибденовой напыляемой проволоки за счет интеграции роботов, датчиков и технологий искусственного интеллекта для достижения эффективного и точного производства. В этом разделе будут рассмотрены автоматизированные линии распыления, интеллектуальные системы управления и сбора данных, а также роботизированные системы распыления.

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

6.5.1 Автоматическая производственная линия для распыления

Автоматизированная линия распыления объединяет в себе оборудование для распыления, системы подачи проволоки и конвейеры для обеспечения непрерывного производства от предварительной обработки основания до последующей обработки покрытия. Производственная линия оснащена системой автоматического управления, которая координирует работу каждого оборудования через ПЛК (программируемый логический контроллер) для обеспечения стабильности технологических параметров. Конвейеры, такие как конвейерные ленты или роботизированные манипуляторы, перемещают субстрат от станции предварительной обработки к станции распыления, а затем к станции последующей обработки, сокращая ручное вмешательство.

Преимуществом автоматизированной линии распыления является ее высокая эффективность и консистенция. Например, линия распыления автомобильных деталей способна непрерывно обрабатывать тысячи поршневых колец с отклонением качества покрытия менее 1%. Производственная линия также оснащена системой переработки отходов для сокращения отходов разбрызгивания молибденовой проволоки и удовлетворения требований экологически чистого производства.

6.5.2 Интеллектуальные системы управления и сбора данных

Интеллектуальная система управления и сбора данных (SCADA) использует датчики и технологию Интернета вещей для мониторинга ключевых параметров в процессе распыления, таких как температура, давление и скорость подачи проволоки, в режиме реального времени. Эти системы в сочетании с алгоритмами искусственного интеллекта способны прогнозировать отклонения процессов и автоматически корректировать параметры. Например, модели машинного обучения могут улучшить качество покрытия за счет оптимизации распылений и расхода газа на основе исторических данных.

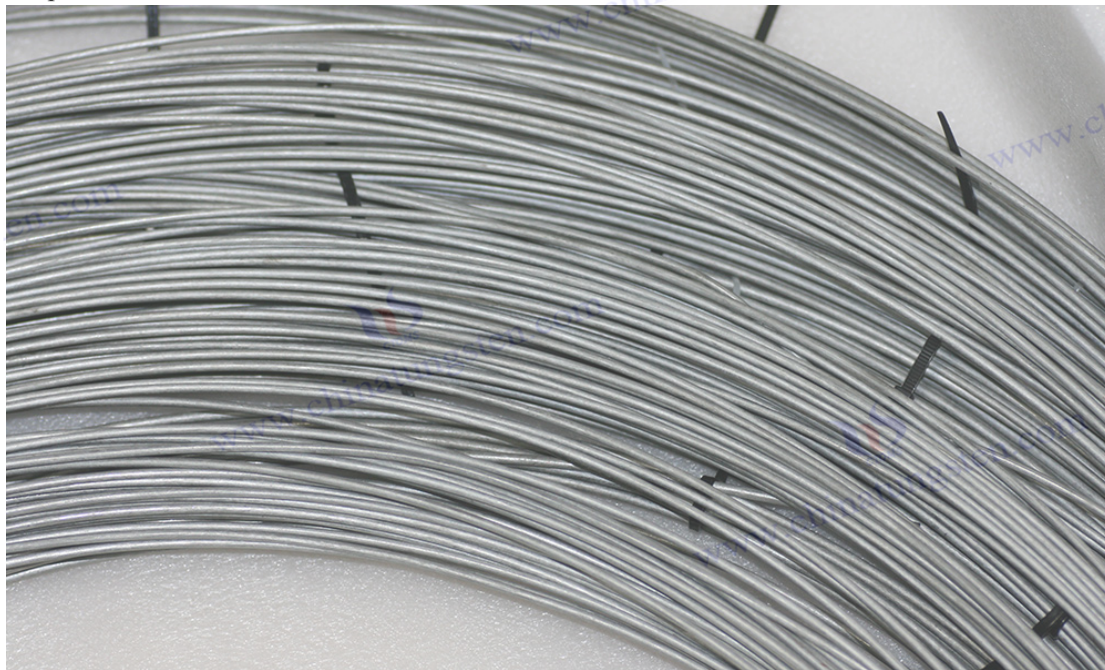
Система SCADA также поддерживает визуализацию данных и удаленное управление, позволяя операторам просматривать состояние производства в режиме реального времени с помощью мобильных устройств. Облачная база данных консолидирует операционные данные с нескольких производственных линий для оптимизации процессов и обслуживания оборудования. Эта интеллектуальная система значительно повышает эффективность производства и качество продукции, а также способствует цифровой трансформации технологии нанесения покрытий.

6.5.3 Роботизированные системы распыления

Роботизированная система нанесения покрытий использует многоосевых промышленных роботов для достижения точного нанесения покрытий на сложные подложки. Робот оснащен технологией визуального распознавания и планирования траектории, которая может адаптироваться к различным формам и размерам подложек, а также автоматически регулировать угол наклона пистолета и траекторию движения. Робот-распылитель интегрирован с системой онлайн-контроля для обеспечения обратной связи о качестве покрытия в режиме реального времени и динамической оптимизации параметров покрытия.

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

Использование роботизированных систем распыления значительно повысило гибкость производства. Например, в аэрокосмическом секторе роботы способны готовить равномерное молибденовое покрытие для изогнутой поверхности лопаток турбины; В автомобильной промышленности роботы могут быстро переключаться между программами распыления различных деталей, сокращая время цикла. Широкое применение этих систем способствовало развитию производства молибденовой напыляемой проволоки в направлении интеллекта и гибкости.



Молибденовая распылительная проволока CTIA GROUP LTD

Глава 7 Отечественные и зарубежные стандарты на молибденовую распылительную проволоку

Поскольку молибденовая распылительная проволока является высокоэффективным материалом, производство и применение ее должны соответствовать строгим стандартам, чтобы обеспечить качество продукции, стабильность процесса и безопасность применения. В стране и за рубежом был сформулирован ряд стандартов для молибденовой проволоки и материалов для термического напыления, охватывающих сырье, технологию обработки, эксплуатационные испытания и спецификации применения. В этой главе будут систематически обсуждаться национальные стандарты, международные стандарты, отраслевые стандарты и спецификации предприятий на молибденовую распылительную проволоку, а также проводиться глубокий анализ различий и применимости этих стандартов, чтобы обеспечить справочный материал для производителей и пользователей.

7.1 Отечественные стандарты на молибденовую напыляемую проволоку

Являясь крупнейшим в мире производителем и потребителем молибденовых ресурсов, Китай сформулировал ряд национальных стандартов (GB/T), относящихся к молибденовой

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

проволоке и материалам для термического напыления, которые содержат спецификации для производства, тестирования и применения молибденовой распылительной проволоки. Эти стандарты выпущены Администрацией по стандартизации Китайской Народной Республики и широко используются в отечественной промышленности по переработке молибдена и термическому напылению. В этом разделе будут подробно представлены национальные стандарты, непосредственно связанные с молибденовой распылительной проволокой, в том числе GB/T 4181-2017 «Молибденовая проволока», GB/T 3462-2017 «Молибденовый стержень и молибденовая заготовка», GB/T 4197-2011 «Металлическая проволока для напыления» и другие соответствующие стандарты.

7.1.1 GB/T 4181-2017 "Молибденовая проволока" и соответствующие требования

GB/T 4181-2017 «Молибденовая проволока» является национальным стандартом по подготовке и производительности молибденовой проволоки в Китае, которая подходит для молибденовой проволоки для различных целей, включая молибденовую проволоку для напыления. В стандарте подробно указан химический состав, допуск на размеры, механические свойства, качество поверхности и методы испытаний молибденовой проволоки, что обеспечивает техническую основу для производства молибденовой напыляемой проволоки.

Стандарт предъявляет крайне строгие требования к химическому составу молибденовой проволоки, предусматривающие, что чистота молибдена должна достигать более 99,95%, и ограничивающие содержание таких примесей, как железо, никель, углерод, кислород. Эти требования гарантируют, что молибденовая проволока обладает стабильными плавкими свойствами и отличными свойствами покрытия в процессе напыления. Стандарт также оговаривает диапазон диаметров и допуски молибденовой проволоки, которые обычно составляют от 0,02 мм до 3,0 мм, а молибденовая проволока для напыления в основном сосредоточена в диапазоне от 1,0 мм до 2,0 мм для удовлетворения потребностей различного напыляющего оборудования.

Что касается механических свойств, стандарт требует, чтобы молибденовая проволока обладала соответствующей прочностью на разрыв и пластичностью, чтобы ее было нелегко сломать во время волочения и подачи проволоки. Качество поверхности является еще одним ключевым критерием, и молибденовая нить для распыления должна иметь гладкую, без трещин и оксидов поверхность, чтобы уменьшить разбрызгивание капель в процессе распыления. Методы контроля включают химический анализ (с использованием эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой), измерение размеров (с помощью высокоточного микрометра или лазерного штангенциркуля) и контроль поверхности (с помощью микроскопии или визуального контроля).

GB/T 4181-2017 охватывает аэрокосмическую, автомобильную промышленность и электронику и обеспечивает основу для стандартизированного производства молибденовой распылительной проволоки. Стандарт также подчеркивает требования к упаковке и

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

транспортировке, оговаривая, что молибденовая проволока должна быть герметичной или защищенной от инертного газа упаковкой для предотвращения попадания влаги или окисления.

7.1.2 GB/T 3462-2017

GB/T 3462-2017 «Молибденовый пруток и молибденовая заготовка» является национальным стандартом на сырье в стадии подготовки производства молибденовой проволоки, который применим к молибденовым пруткам и молибденовым заготовкам, полученным методом порошковой металлургии. Эти материалы являются отправной точкой в процессе волочения проволоки, и их качество напрямую влияет на производительность молибденовой распылительной проволоки.

Настоящий стандарт определяет химический состав, размер, плотность и качество поверхности молибденовых прутков и молибденовых заготовок. Требования к химическому составу соответствуют GB/T 4181-2017, а чистота молибдена должна достигать 99,95%, а содержание примесей должно быть ограничено для обеспечения стабильности последующей переработки. Что касается размеров, стандарт охватывает широкий спектр молибденовых прутков и заготовок, обычно с диаметром от 5 мм до 100 мм и длиной, адаптированной к потребностям пользователя. Важным показателем молибденовой заготовки является плотность, которая должна быть близка к теоретической плотности (10,2 г/см³) для того, чтобы в процессе волочения проволоки не возникало внутренних дефектов.

Качество поверхности требует, чтобы поверхность молибденовых стержней и молибденовых заготовок не имела трещин, оксидной окалины или включений, а требования к отделке должны быть обточены или отшлифованы в соответствии с требованиями отделки. Методы контроля включают ультразвуковую дефектоскопию (проверка на наличие внутренних дефектов), химический анализ и микроструктурное наблюдение (оценка размера и однородности зерна). Стандарт также определяет параметры процесса термообработки, такие как температура спекания иковки, для оптимизации микроструктуры молибденовой заготовки.

Для производства молибденовой распылительной проволоки GB/T 3462-2017 предоставляет спецификации на высококачественное сырье, чтобы гарантировать, что молибденовые прутки и молибденовые заготовки могут соответствовать строгим требованиям волочения и напыления проволоки. Данный стандарт широко используется на отечественных предприятиях по переработке молибдена, таких как Jinduicheng Molybdenum и Luoyang Molybdenum.

7.1.3 GB/T 4197-2011

GB/T 4197-2011 «Металлическая проволока для напыления» - это специальный стандарт для металлической проволоки для термического напыления в Китае, охватывающий различные материалы металлической проволоки, включая молибденовую проволоку. Этот стандарт

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

содержит конкретные рекомендации по эксплуатационным характеристикам, техническим характеристикам и испытаниям молибденовой распылительной проволоки и особенно применим к процессам газопламенного и дугового напыления.

В стандарте указан химический состав, допуски на размеры, состояние поверхности и требования к упаковке молибденовой проволоки для напыления. Химическая чистота молибденовой проволоки должна соответствовать требованиям GB/T 4181-2017, а поверхность должна быть гладкой, не содержать масла и оксидов, чтобы обеспечить однородность капель расплава и качество покрытия в процессе напыления. Требования к размерам строгие, а отклонение диаметра молибденовой проволоки для напыления необходимо контролировать в пределах $\pm 0,02$ мм для удовлетворения потребностей автоматической системы подачи проволоки.

Что касается эксплуатационных испытаний, стандарт требует испытаний на растяжение, шероховатость поверхности и испытание молибденовой проволоки на напыление. При испытании на растяжение оценивается прочность на разрыв и пластичность проволоки, чтобы гарантировать, что ее нелегко сломать во время подачи проволоки. Испытание на шероховатость поверхности измеряется профилометром, чтобы убедиться, что качество поверхности проволоки соответствует требованиям напыления. В ходе испытания на распыление оценивается адгезия, пористость и однородность покрытия с помощью фактических операций напыления с использованием международно признанных методов испытаний, таких как ASTM C633 в качестве эталона.

Формула GB/T 4197-2011 заполняет пробел в стандартизации металлической проволоки для напыления в Китае и обеспечивает техническую поддержку для применения молибденовой распылительной проволоки в области автомобилестроения, энергетики и судостроения. В стандарте также подчеркиваются требования по охране окружающей среды, предусматривающие, что отходящие газы и выбросы отходов в производственном процессе должны быть сокращены в соответствии с тенденцией «зеленого» производства.

7.1.4 Другие соответствующие национальные стандарты

В дополнение к вышеупомянутым основным стандартам, Китай также сформулировал ряд национальных стандартов, связанных с производством и применением молибденовой напыляемой проволоки, охватывающих сырье, технологию обработки и свойства покрытия. Например:

GB/T 15258-2009 "Общие принципы методов химического анализа": предоставляет общие методы анализа химического состава молибденовых проволок и покрытий, включая эмиссионную спектрометрию с индуктивно связанной плазмой (ICP-OES) и атомно-абсорбционную спектрометрию (AAS), для обеспечения точного определения содержания примесей.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

GB/T 4325-2013 «Методы химического анализа молибдена и молибденовых сплавов»: Конкретно для молибденовых материалов указаны методы анализа железа, никеля, углерода, кислорода и других элементов, что обеспечивает техническую основу для обнаружения сырья и готовых продуктов молибденовой распылительной проволоки.

GB/T 17733-2008 "Требования к качеству для покрытий термическим напылением": Он определяет требования к эксплуатационным характеристикам покрытий термическим напылением, включая адгезию, твердость, пористость и коррозионную стойкость, и подходит для покрытий, полученных с помощью молибденовых распылительных проводов.

GB/T 14842-2007 "Методы испытаний механических свойств молибдена и молибденовых сплавов": Он содержит спецификации для испытаний на прочность на разрыв, пластичность и твердость молибденовой проволоки, чтобы гарантировать, что она соответствует требованиям к механическим свойствам процесса напыления.

В совокупности эти стандарты представляют собой полную систему спецификаций для производства и применения молибденовой распылительной проволоки, охватывающую каждое звено от сырья до готовой продукции. Когда отечественные предприятия производят молибденовую распылительную проволоку, они, как правило, должны соответствовать ряду стандартов одновременно, чтобы удовлетворить потребности разных отраслей промышленности и клиентов.

7.2 Международные стандарты на молибденовую распылительную проволоку

Международные стандарты обеспечивают единую основу для глобальной торговли и технического обмена молибденовой распылительной проволокой, которые в основном формулируются Американским обществом по испытаниям и материалам (ASTM), Международной организацией по стандартизации (ISO) и другими учреждениями. Эти стандарты являются весьма авторитетными с точки зрения химического состава, эксплуатационных испытаний и спецификаций применения, а также широко используются в отраслях переработки молибдена и термического напыления в Европе, Америке и Азии. В этом разделе основное внимание будет уделено ASTM B387-18 «Стержни, стержни и проволока из молибдена и молибденового сплава», спецификации ISO 20407 для материалов для термического напыления, ISO 14919 «Проволока для термического напыления» и другим соответствующим международным стандартам.

7.2.1 ASTM B387-18 Прутки, прутки и проволока из молибдена и молибденовых сплавов

ASTM B387-18 — это американский стандарт для молибдена и молибденовых сплавов, который подходит для различных форм молибденовых материалов, таких как стержни, полосы и проволока, включая молибденовую проволоку для напыления. Этот стандарт был разработан компанией ASTM International и широко используется в аэрокосмической, электронной и энергетической отраслях.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

В стандарте указан химический состав, механические свойства, допуски на размеры и качество поверхности молибденовой проволоки. Требования к чистоте молибдена разделены на несколько сортов, самый высокий сорт (тип 361) требует содержания молибдена 99,97%, а содержание примесей (таких как углерод, кислород, железо) строго ограничено. Молибденовая проволока для напыления обычно выбирается в высокой степени чистоты, чтобы обеспечить химическую стабильность и эксплуатационные характеристики покрытия. Допуск по размерам требует, чтобы отклонение диаметра молибденовой проволоки контролировалось в пределах $\pm 0,01$ мм, а поверхность не должна иметь трещин, окислов и других дефектов.

Испытания на механические свойства включают в себя прочность на растяжение, удлинение и твердость, а стандарт содержит подробные методы испытаний, такие как испытания на растяжение (см. ASTM E8) и испытания на твердость (см. ASTM E18). Проверка качества поверхности проводится с помощью визуального и микроскопического наблюдения, чтобы убедиться, что нити подходят для высоких требований термического напыления. Стандарт также устанавливает требования к упаковке и маркировке молибденовой проволоки, которая должна быть упакована влагонепроницаемым и устойчивым к окислению образом, а также маркирована номером партии, спецификацией и информацией о производителе.

ASTM B387-18 имеет высокую степень интернационализации, и многие китайские компании обязаны соблюдать этот стандарт при экспорте молибденовой проволоки с напыляемым покрытием. Благодаря высоким требованиям к точности стандарта он особенно подходит для применения в аэрокосмической и полупроводниковой промышленности, например, для нанесения покрытий на лопатки турбин и нагревательных проводов с вакуумным покрытием.

7.2.2 Спецификация ISO 20407 на материалы для термического напыления

ISO 20407 — это общая спецификация на материалы для термического напыления, разработанная Международной организацией по стандартизации, охватывающая различные формы материалов, такие как проволока, порошок и стержень, включая молибденовую проволоку. Этот стандарт обеспечивает основу для производительности, тестирования и применения материалов термического напыления для таких процессов, как газопламенное напыление, плазменное напыление и дуговое напыление.

Стандарт устанавливает требования к химическому составу, размерам и состоянию поверхности молибденовой распылительной проволоки. Чистота молибденовой проволоки должна достигать более 99,95%, а поверхность должна быть гладкой, не содержать масла и оксидов, чтобы обеспечить стабильность и качество покрытия в процессе напыления. Требования к размерным допускам аналогичны требованиям стандарта ASTM B387-18, а отклонение диаметра должно контролироваться в пределах $\pm 0,02$ мм. В стандарте также указаны условия упаковки и хранения провода, который должен быть защищен от воздействия окружающей среды в вакуумной сварке или с использованием инертного газа.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Что касается эксплуатационных испытаний, ISO 20407 предусматривает ряд методов испытаний, включая химический анализ (с использованием спектроскопии), определение шероховатости поверхности (со ссылкой на ISO 4287) и испытание производительности распылением. В ходе испытания на эффективность распыления оцениваются адгезия, пористость и микроструктура покрытий с использованием международно признанных стандартов испытаний, таких как ASTM C633 (испытание на адгезию) и ISO 6507 (испытание на твердость). Стандарт также подчеркивает систему управления качеством, которая требует от производителей создания отслеживаемых записей для обеспечения стабильной производительности от партии к партии.

Универсальность ISO 20407 делает его подходящим для мировой индустрии термического напыления, особенно на европейских и азиатских рынках. Стандарт обеспечивает техническую основу для международной торговли молибденовой распылительной проволокой, а также способствует трансграничному сотрудничеству и техническому обмену.

7.2.3 ISO 14919 Проволока для термического напыления

ISO 14919 — это стандарт, относящийся к проволоке для термического напыления, применимый к широкому спектру материалов проволоки, включая молибденовую проволоку. В этом стандарте подробно описаны спецификации, свойства и методы испытаний для напыляемой проволоки, а также приведены спецификации для процессов газопламенного и дугового напыления.

Стандарт требует, чтобы молибденовая распылительная проволока имела высокую чистоту и однородный химический состав, содержание молибдена должно достигать 99,95%, а содержание примесей должно строго контролироваться. Что касается размеров, то в стандарте указан общий диапазон диаметров (от 1,0 мм до 3,2 мм) с допусками в соответствии со стандартом ISO 286. Качество поверхности требует, чтобы проволока не имела трещин, окислов, остатков смазки и должна быть химически очищена или отполирована для достижения стандарта отделки.

Методы испытаний включают испытания на растяжение (для оценки прочности на разрыв и пластичности), проверку качества поверхности (с помощью микроскопов или профилографов) и испытания распылением (для оценки свойств покрытия). Стандарт также содержит спецификации упаковки и отгрузки, которые требуют, чтобы проволока была упакована влаго- и окислительно-устойчивым образом, с подробной идентификационной информацией, такой как тип материала, номер партии и дата изготовления.

Специфика ISO 14919 делает его важным справочным стандартом для индустрии термического напыления, особенно для нанесения покрытий в автомобильной, морской и энергетической отраслях. Стандарт дополняет ISO 20407 и вместе образует полную систему спецификаций материалов для термического напыления.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Spray Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Spray Wire

Molybdenum spray wire is a high-purity molybdenum metal wire that is melted and deposited onto a substrate surface through thermal spray techniques such as flame spraying, plasma spraying, arc spraying, or HVOF (High Velocity Oxy-Fuel). The resulting coating offers excellent resistance to wear, corrosion, and high temperatures. Due to its high melting point and superior performance, molybdenum wire is widely used across various industrial sectors.

2. Characteristics of Molybdenum Spray Wire

High Melting Point: Approximately 2623°C, suitable for high-temperature environments.

Excellent Corrosion Resistance: Resists attack from acids, alkalis, and chemical media.

High Hardness & Wear Resistance: Tough coating that withstands mechanical wear.

Low Friction Coefficient: Reduces component wear and improves efficiency.

Chemical Stability: Maintains performance in harsh environments.

High Thermal Conductivity: Effectively dissipates heat and extends component lifespan.

3. Typical Uses of Molybdenum Spray Wire

Aerospace: Turbine blades, engine parts, thermal barrier coatings.

Automotive Industry: Wear-resistant coatings for piston rings, engine blocks, and brake discs.

Chemical & Energy Sectors: Corrosion-resistant pipelines, heat exchangers, wind power equipment.

Electronics & Semiconductors: Vacuum deposition heating wires, semiconductor leads.

Medical Field: Corrosion-resistant coatings for implants and surgical instruments.

Others: Marine anti-corrosion, wear-resistant construction machinery, high-temperature furnaces.

4. Basic Data of Molybdenum Spray Wire from CTIA GROUP LTD

Purity	≥99.95%
Density	10.2 g/cm ³
Diameter Range	1.0-3.0 mm, customizable
Tensile Strength	Moderate to ensure stable wire feeding
Packaging	Customized Packaging

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

7.2.4 Другие международные стандарты

В дополнение к вышеуказанным основным стандартам, существует ряд международных стандартов, связанных с покрытием молибденовой проволоки, материалами покрытия, процессами и свойствами покрытия. Например:

ASTM E8/E8M-21 "Методы испытаний металлических материалов на растяжение": Предоставляет общий метод испытания прочности на разрыв и удлинения молибденовой проволоки, который подходит для испытания механических свойств ASTM B387-18.

ASTM C633-13 Метод испытаний на адгезию покрытий термическим напылением: Определяет метод испытаний на адгезию для покрытий методом термического напыления, который широко используется для оценки качества покрытий, полученных с помощью молибденовой проволоки.

ISO 4287 Параметры текстуры поверхности: Предоставляет спецификацию для измерения шероховатости поверхности молибденовых проволок и покрытий, гарантируя, что качество поверхности проволоки и покрытий соответствует требованиям к покрытию.

Тест на твердость по Виккерсу ISO 6507 для металлических материалов: Предоставляет метод определения твердости молибденовых покрытий и подходит для оценки износостойкости и механических свойств покрытий.

Эти стандарты обеспечивают всестороннюю техническую поддержку производства и применения молибденовой распылительной проволоки, что имеет большое значение, особенно на международном рынке. Многие транснациональные компании должны соответствовать многочисленным международным стандартам при производстве молибденовой распылительной проволоки, чтобы соответствовать требованиям разных стран и отраслей.

7.3 Отраслевые стандарты и корпоративные спецификации на молибденовую распылительную проволоку

В дополнение к национальным и международным стандартам, производство и применение молибденовой распылительной проволоки также должно соответствовать отраслевым стандартам и внутренним корпоративным спецификациям. Эти спецификации часто разрабатываются отраслевыми ассоциациями или ведущими компаниями для предоставления более подробных рекомендаций по конкретным сценариям применения или техническим требованиям. В этом разделе будут рассмотрены отраслевые стандарты для цветных металлов, отраслевые стандарты термического напыления и методы внутреннего контроля качества.

7.3.1 Стандарты цветной металлургии

Китайская ассоциация промышленности цветных металлов (CNIA) сформулировала ряд

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

отраслевых стандартов, связанных с молибденовыми материалами, дополняя недостатки национальных стандартов. Эти стандарты разработаны Институтом технологии и экономики цветных металлов и другими учреждениями и широко используются на отечественных предприятиях по переработке молибдена.

YS/T 357-2014 «Молибден высокой чистоты и молибденовые сплавы»: В нем оговариваются химический состав, свойства и методы испытаний молибденовой проволоки высокой чистоты, молибденового бруска и других материалов молибденовых сплавов, которые подходят для сырья и полуфабрикатов из молибденовой напыляемой проволоки. Согласно этому стандарту, молибден должен быть чистым на 99,99%, что делает его особенно подходящим для применения в аэрокосмической и полупроводниковой промышленности.

YS/T 616-2012 "Методы контроля молибдена и продуктов его переработки из молибденовых сплавов": В нем представлены подробные методы контроля размера, качества поверхности и механических свойств молибденовой проволоки и молибденовых прутков, включая ультразвуковую дефектоскопию, анализ микроструктуры и определение твердости.

YS/T 358-2011 "Молибденовый порошок": Он определяет распределение частиц по размерам, химический состав и физические свойства молибденового порошка, а также предоставляет спецификации для подготовки сырья для молибденовой распылительной проволоки.

Эти отраслевые стандарты предусматривают более конкретные технические требования к производству и переработке молибденовых материалов, дополняя стандарты GB/T. Стандарты сформулированы ведущими отечественными предприятиями (такими как Jinduicheng Molybdenum и Luoyang Molybdenum), отражающими фактические потребности и технический уровень отрасли.

7.3.2 Отраслевые стандарты термического напыления

Разработанный Китайской национальной группой термического напыления (CNTSG) и другими международными организациями, такими как Американское общество термического напыления (ASM TSS), отраслевой стандарт термического напыления содержит рекомендации по процессу нанесения покрытия, материалу и характеристикам покрытия.

JB/T 7702-2012 "Техническая спецификация для термического напыления": Стандарт, выпущенный Китайской федерацией машиностроительной промышленности, который определяет общие требования к процессу термического напыления, включая подготовку молибденовой распылительной проволоки, параметры напыления и испытание покрытия. Этот стандарт применяется к процессам газопламенного, дугового напыления и плазменного напыления.

AWS C2.25/C2.25M: Спецификация 2012 года на материалы для термического напыления:

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

стандарт, разработанный Американским обществом сварки (AWS), который распространяется на проволоку и порошки для напыления, включая молибденовую проволоку. Этот стандарт содержит подробные спецификации по эксплуатационным характеристикам и испытаниям распыляемых материалов и применим к рынку Северной Америки.

EN 15311 Требования к качеству для термического напыления: Европейский стандарт, определяющий методы контроля качества для покрытий методом термического напыления, включая испытания на адгезию, пористость и шероховатость поверхности, для покрытий, полученных с помощью молибденовой проволоки.

Эти отраслевые стандарты содержат более подробные технические рекомендации, чем национальные стандарты, для конкретных потребностей процессов термического напыления. Стандарты разработаны отраслевыми экспертами и компаниями и отражают последние тенденции в технологиях термического напыления.

7.3.3 Технические требования к внутреннему контролю качества

Многие ведущие компании по переработке молибдена и термическому напылению разработали внутренние спецификации контроля качества для удовлетворения потребностей конкретных клиентов или областей применения. Эти спецификации часто основаны на национальных и отраслевых стандартах, но добавляют более строгие требования или индивидуальные методы испытаний.

Сила корпоративной спецификации заключается в ее гибкости и актуальности, а также в ее способности быстро реагировать на изменения рынка и потребности клиентов. Эти спецификации часто сочетаются с ISO 9001 (Система менеджмента качества) и ISO 14001 (Система экологического менеджмента) для обеспечения соответствия и устойчивости в производственном процессе.

7.4 Сравнение стандартов и анализ применимости молибденовой распылительной проволоки

Отечественные и зарубежные стандарты и отраслевые спецификации дают многоуровневое руководство по производству и применению молибденовой распылительной проволоки, но есть различия в ее содержании и требованиях. Понимание этих различий и выбор правильного стандарта имеют важное значение для оптимизации производственных процессов и удовлетворения потребностей рынка. В этом разделе будут проанализированы различия между отечественными и зарубежными стандартами, а также рассмотрены сценарии их применения и основа выбора.

7.4.1 Различия в отечественных и зарубежных стандартах

Существуют следующие основные различия между отечественными и зарубежными стандартами с точки зрения химического состава, требований к характеристикам, методов

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

испытаний и области применения:

Химический состав: Отечественные стандарты (например, GB/T 4181-2017) требуют чистоты молибденовой проволоки 99,95%, в то время как международные стандарты (например, ASTM B387-18) предлагают несколько степеней чистоты до 99,97%. Международные стандарты имеют более строгие ограничения на определенные примеси (например, кислород, азот) и подходят для высокоточных применений.

Допуски по размерам: Международные стандарты (например, ISO 14919) требуют более строгих допусков по размерам, а отклонения диаметра должны контролироваться в пределах $\pm 0,01$ мм, в то время как национальные стандарты (например, GB/T 4197-2011) допускают отклонения в $\pm 0,02$ мм. Это отражает спрос на высокоточную проволоку на международном рынке.

Методы испытаний: Отечественные стандарты отдают предпочтение использованию традиционных методов спектрального анализа и механических испытаний, в то время как международные стандарты (такие как ASTM C633) вводят более совершенные методы обнаружения, такие как анализ СЭМ и ультразвуковая дефектоскопия, с более высокой точностью обнаружения.

Область применения: Отечественные стандарты (такие как GB/T 4197-2011) больше сосредоточены на общих применениях в автомобильной и энергетической областях, в то время как международные стандарты (такие как ISO 20407) охватывают такие высокотехнологичные области, как аэрокосмическая промышленность и полупроводники, подчеркивая особые свойства покрытий.

Экологические требования: В последние годы в национальные стандарты были добавлены положения о защите окружающей среды (например, GB/T 4197-2011 требует сокращения выбросов выхлопных газов), в то время как международные стандарты (например, ISO 20407) ранее включали концепции «зеленого» производства, подчеркивая устойчивость производственного процесса.

Эти различия отражают различные потребности и технический уровень внутреннего и внешнего рынков. Отечественные стандарты уделяют больше внимания практичности и экономичности, и подходят для крупномасштабного промышленного применения; Международные стандарты уделяют больше внимания высокой точности и высокой производительности, которые подходят для рынка высокого класса.

7.4.2 Стандартные сценарии применения и выбор

Выбор подходящих стандартов молибденовой распылительной проволоки должен быть всесторонне рассмотрен в соответствии со сценарием применения, требованиями заказчика и позиционированием на рынке. Ниже приведены рекомендуемые критерии для основных

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

сценариев применения:

Аэрокосмическая промышленность: ASTM B387-18 и ISO 20407 рекомендуются из-за их строгих требований к высокой чистоте и свойствам покрытий для высокопроизводительных применений, таких как лопатки турбин и термобарьерные покрытия. Это также может быть дополнено внутренними спецификациями компании, такими как стандарты Plansee.

Автомобильная промышленность: GB/T 4197-2011 и ISO 14919 идеально подходят для нанесения покрытий общего назначения, таких как поршневые кольца, выхлопные системы и т. д. Эти стандарты экономичны, имеют простые методы обнаружения и подходят для крупносерийного производства.

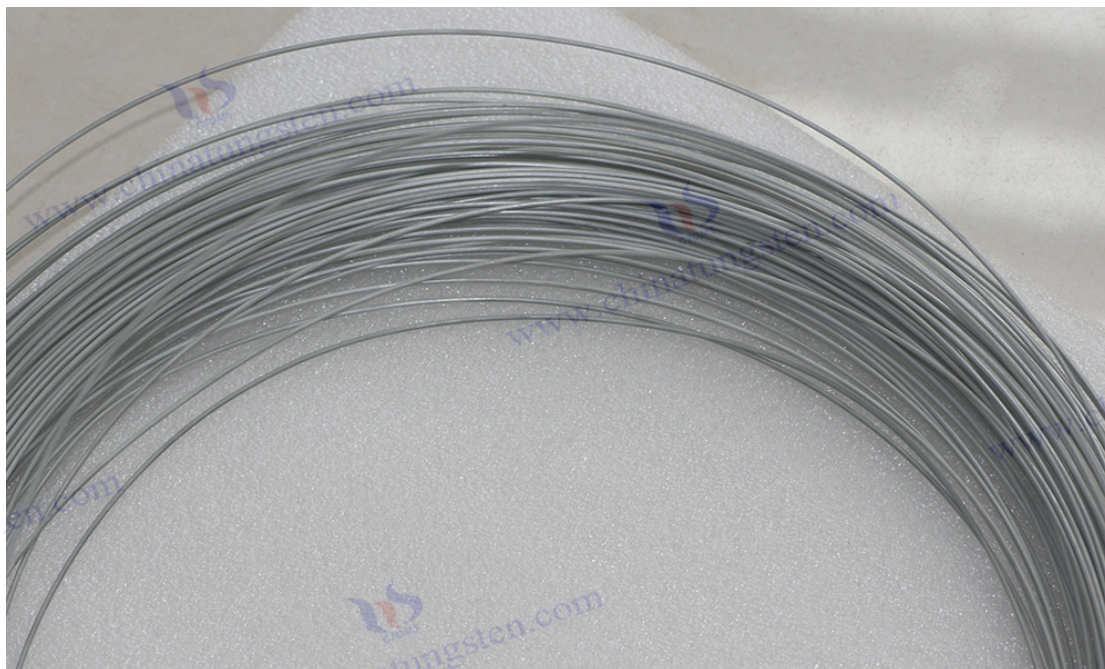
Химическая и энергетическая промышленность: GB/T 17733-2008 и AWS C2.25 рекомендуются для коррозионностойких покрытий труб и теплообменников. В этих стандартах подробно прописывается коррозионная стойкость и долговечность покрытий.

Электроника и полупроводниковая промышленность: ASTM B387-18 и YS/T 357-2014 подходят для подготовки молибденовых проводов высокой чистоты в соответствии с высокими требованиями к вакуумным покрытиям и полупроводниковым проводам.

Экспортные рынки: Приоритет должен быть отдан международным стандартам (например, ISO 14919, ASTM B387-18) и отраслевым нормам на целевых рынках (например, EN 15311) для удовлетворения требований клиентов и соблюдения торговых норм.

На практике компаниям часто приходится соблюдать несколько стандартов одновременно. Например, компаниям, экспортирующим молибденовую проволоку с напыляемым покрытием для использования в аэрокосмической отрасли, может потребоваться соблюдение стандартов GB/T 4181-2017 (внутреннее производство), ASTM B387-18 (международный рынок) и внутренних спецификаций (специфические требования заказчика). Создав стандартизированную систему управления качеством, предприятия могут гибко реагировать на требования различных стандартов и повышать конкурентоспособность на рынке.

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



Молибденовая распылительная проволока CTIA GROUP LTD

Глава 8 Испытание и контроль качества молибденовой распылительной проволоки

При производстве и применении молибденовой напыляемой проволоки предъявляются чрезвычайно высокие требования к качеству, а ее эксплуатационные характеристики напрямую влияют на прочность, адгезию и срок службы покрытия. Испытания и контроль качества являются ключевой частью обеспечения соответствия молибденовой распылительной проволоки и ее покрытия отраслевым стандартам и потребностям клиентов, охватывая все этапы производства, от сырья до готовой продукции. В этой главе будут систематически обсуждаться испытания сырья, испытания качества молибденовой проволоки, испытания напыляемых покрытий, тестирование технологий и оборудования, а также система управления качеством молибденовой напыляемой проволоки, а также расскажут о том, как достичь высокого качества производства с помощью научных методов тестирования и строгих процессов управления.

8.1 Тестирование сырья

Качество сырья является основой для производства молибденовой распылительной проволоки, особенно химический состав, размер частиц и содержание примесей в молибденовом порошке высокой чистоты, что напрямую влияет на последующую обработку и производительность покрытия. Для тестирования сырья требуются высокоточные аналитические методы, чтобы гарантировать, что молибденовый порошок соответствует строгим стандартам. В этом разделе подробно представлен анализ химического состава, определение размера и морфологии частиц, а также определение содержания примесей в порошке молибдена.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Spray Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Spray Wire

Molybdenum spray wire is a high-purity molybdenum metal wire that is melted and deposited onto a substrate surface through thermal spray techniques such as flame spraying, plasma spraying, arc spraying, or HVOF (High Velocity Oxy-Fuel). The resulting coating offers excellent resistance to wear, corrosion, and high temperatures. Due to its high melting point and superior performance, molybdenum wire is widely used across various industrial sectors.

2. Characteristics of Molybdenum Spray Wire

High Melting Point: Approximately 2623°C, suitable for high-temperature environments.

Excellent Corrosion Resistance: Resists attack from acids, alkalis, and chemical media.

High Hardness & Wear Resistance: Tough coating that withstands mechanical wear.

Low Friction Coefficient: Reduces component wear and improves efficiency.

Chemical Stability: Maintains performance in harsh environments.

High Thermal Conductivity: Effectively dissipates heat and extends component lifespan.

3. Typical Uses of Molybdenum Spray Wire

Aerospace: Turbine blades, engine parts, thermal barrier coatings.

Automotive Industry: Wear-resistant coatings for piston rings, engine blocks, and brake discs.

Chemical & Energy Sectors: Corrosion-resistant pipelines, heat exchangers, wind power equipment.

Electronics & Semiconductors: Vacuum deposition heating wires, semiconductor leads.

Medical Field: Corrosion-resistant coatings for implants and surgical instruments.

Others: Marine anti-corrosion, wear-resistant construction machinery, high-temperature furnaces.

4. Basic Data of Molybdenum Spray Wire from CTIA GROUP LTD

Purity	≥99.95%
Density	10.2 g/cm ³
Diameter Range	1.0-3.0 mm, customizable
Tensile Strength	Moderate to ensure stable wire feeding
Packaging	Customized Packaging

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

8.1.1 Анализ химического состава порошка молибдена

Химический состав молибденового порошка является основным показателем его качества, который напрямую определяет эксплуатационные характеристики молибденовой проволоки и покрытия. Молибденовый порошок для напыления обычно требует, чтобы содержание молибдена достигало более 99,95%, а содержание примесей, таких как железо, никель, углерод и кислород, необходимо строго контролировать, чтобы избежать побочных реакций или снижения качества покрытия в процессе высокотемпературного напыления.

Для анализа химического состава использовали оптическую эмиссионную спектрометрию с индуктивно связанной плазмой (ICP-OES) и атомно-абсорбционную спектроскопию (AAS). ICP-OES подходит для обнаружения примесей металлов, таких как железо, никель и кремний, путем возбуждения образцов порошка молибдена для получения характерных спектров и анализа типов и содержания элементов, а также обладает преимуществами высокой чувствительности и одновременного анализа нескольких элементов. AAS точно определяет содержание одного элемента путем поглощения атомами света на определенной длине волны и обычно используется для обнаружения следовых количеств углерода или серы в порошке молибдена. Содержание кислорода и азота обычно определяется плавлением инертным газом, который точно определяет содержание неметаллических примесей путем нагрева образца и анализа выделяющегося газа.

Процесс анализа должен проводиться в чистой среде, чтобы избежать внешнего загрязнения. Подготовка образцов включает в себя растворение или плавление в кислоте, что обеспечивает полное расщепление молибденового порошка до обнаруживаемого раствора. Результаты испытаний должны быть сравнены со стандартами (например, GB/T 4325-2013 «Методы химического анализа молибдена и молибденовых сплавов»), чтобы убедиться в соблюдении требований к чистоте молибденового порошка для напыления. Анализ химического состава используется не только для приемки сырья, но и для тестирования партий на протяжении всего производственного процесса, чтобы обеспечить стабильное качество.

8.1.2 Определение размера и морфологии частиц молибденового порошка

Размер частиц и морфология молибденового порошка влияют на его поведение в процессе прессования, спекания и волочения, что является важным контрольным моментом для производства молибденовой напыляемой проволоки. Идеальный молибденовый порошок должен иметь равномерное распределение частиц по размерам и регулярную морфологию частиц, чтобы обеспечить плотность заготовки и однородность проволоки.

Для определения размера частиц в основном используется лазерный анализатор размера частиц для измерения размера и распределения частиц за счет рассеяния лазерного луча. Устройство позволяет проводить быстрый анализ диапазона размеров частиц молибденовых порошков (обычно 1-50 мкм) для создания подробных кривых распределения частиц по размерам. Результаты испытаний должны соответствовать стандарту (например, YS/T 358-2011 «Порошок молибдена»), чтобы гарантировать концентрированное распределение

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

частиц по размерам и отсутствие негабаритных или мелких частиц. Слишком крупные частицы могут привести к дефектам спекания, в то время как слишком мелкие частицы могут снизить текучесть и повлиять на эффективность прессования.

Для определения топографии используется сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) для наблюдения за морфологией частиц и поверхностными характеристиками порошка молибдена. SEM обеспечивает микроскопические изображения с высоким разрешением, которые определяют, являются ли частицы сферическими, агломератными или имеют поверхностные дефекты. Сферические частицы обладают хорошей текучестью и насыпной плотностью, что подходит для процесса порошковой металлургии; Частицы неправильной формы могут увеличить сложность прессования и повлиять на качество заготовки. Обнаружение СЭМ часто сочетается с энергетической спектроскопией (EDS) для анализа распределения элементов на поверхности частиц и проверки на наличие оксидов или примесей.

Тестирование размера и морфологии частиц проводится на регулярной основе, включая складирование и предпроизводственный контроль каждой партии молибденового порошка. Данные испытаний служат основой для оптимизации процесса, такой как регулировка параметров измельчения или восстановления для получения желаемых свойств молибденового порошка.

8.1.3 Определение содержания примесей

Количество примесей является ключевым показателем качества молибденового порошка, а следовые количества примесей могут вызвать дефекты покрытия, такие как пористость или трещины, в процессе распыления. При тестировании на примеси основное внимание уделяется не только металлическим элементам (например, железу, никелю), но и неметаллическим элементам (например, кислороду, азоту, углероду, сере) и другим следовым загрязнителям.

При определении содержания кислорода используется метод плавления в инертном газе для точного определения содержания кислорода по инфракрасному поглощению или теплопроводности для обнаружения выделяющегося кислорода. Кислород является наиболее распространенной примесью в молибденовом порошке, и слишком высокое содержание кислорода может привести к окислению молибденовой проволоки при высоких температурах, что приведет к снижению характеристик покрытия. Азот и углерод обнаруживаются аналогичным образом при сжигании образца и анализе полученного газа, который определяется с помощью газовой хроматографии или инфракрасной спектроскопии. Уровни серы обычно измеряются с помощью химического анализа или спектроскопии, чтобы убедиться, что они ниже стандартных пределов.

Обнаружение примесей металлов в первую очередь основано на ИСП-ОЭС или рентгенофлуоресцентном анализе (РФА). XRF — это метод неразрушающего обнаружения, который анализирует элементный состав с помощью характерных рентгеновских лучей,

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

испускаемых образцом, что делает его пригодным для быстрого скрининга примесей, таких как железо, никель, медь и т. д. ICP-OES обеспечивает более высокую точность и подходит для точного анализа следовых примесей. Процесс тестирования требует калибровки стандартов высокой чистоты для обеспечения точности результатов.

Испытание на наличие примесей требует тщательного отбора проб и анализа, при этом каждая партия молибденового порошка отбирается в нескольких местах для обеспечения репрезентативности. Результаты испытаний сравниваются со стандартами (например, ASTM V387-18 или GB/T 4325-2013), а несоответствующие партии необходимо повторно очищать или отбраковывать для обеспечения качества сырья.

8.2 Контроль качества молибденовой проволоки

Молибденовая проволока является основным материалом процесса напыления, и ее точность размеров, качество поверхности и механические свойства напрямую влияют на стабильность процесса напыления и качество покрытия. Контроль качества молибденовой проволоки должен охватывать каждое звено производства и поставки, чтобы гарантировать, что проволока соответствует стандартным требованиям. В этом разделе будут обсуждаться измерения точности размеров и допусков, проверка поверхностных дефектов и шероховатости, а также испытания механических свойств.

8.2.1 Точность размеров и измерение допусков

Точность размеров молибденовой проволоки является важным показателем ее качества, особенно однородность и допуск диаметра, что напрямую влияет на стабильность системы подачи проволоки и образование капель расплава. Диаметр молибденовой проволоки для распыления обычно составляет от 1,0 мм до 3,0 мм, а допуск должен контролироваться в пределах $\pm 0,02$ мм в соответствии со стандартами (такими как GB/T 4181-2017 или ISO 14919).

Для измерения размеров в основном используются лазерные штангенциркули и высокоточные микрометры. Лазерный штангенциркуль измеряет диаметр молибденовой проволоки в режиме реального времени с помощью бесконтактного лазерного сканирования, обеспечивая высокоточные непрерывные данные и подходит для внутритрубного контроля. Устройство способно обнаруживать небольшие колебания диаметра и выявлять дефекты, которые могут возникнуть в процессе волочения. Микрометры используются для контроля в автономном режиме, когда несколько поперечных сечений измеряются вручную для обеспечения равномерных диаметров. Процесс измерения должен проводиться в условиях постоянной температуры, чтобы избежать ошибок, вызванных изменениями температуры.

Проверка допусков должна охватывать весь рулон молибденовой проволоки, случайным образом выбирать несколько секций для измерения и записывать максимальные и минимальные значения диаметра. Результаты испытаний сравниваются со стандартными, чтобы убедиться, что проволока соответствует требованиям точности напыляющего

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

оборудования. Молибденовая проволока неподходящего размера может привести к нестабильной подаче проволоки или неравномерной толщине покрытия, что потребует доработки или утилизации.

8.2.2 Обнаружение поверхностных дефектов и шероховатостей

Качество поверхности молибденовой проволоки имеет решающее значение для эффекта распыления, и любые трещины, оксиды или остатки смазки могут привести к разбрызгиванию капель или дефектам покрытия. Обнаружение поверхностных дефектов и шероховатостей находится в центре внимания контроля качества молибденовой проволоки, гарантируя, что проволока имеет гладкую и безупречную поверхность.

При контроле поверхностных дефектов используется визуальный контроль и микроскопическое наблюдение. Визуальный осмотр используется для быстрого скрининга видимых трещин, царапин или оксидной накипи и обычно выполняется при ярком свете. Микроскопическое наблюдение позволяет получать изображения с более высоким разрешением и обнаруживать поверхностные дефекты, такие как следы от струн или микротрещины в микронном диапазоне. Современное контрольное оборудование также включает в себя цифровую систему визуализации, которая может автоматически идентифицировать и регистрировать местоположение дефектов, повышая эффективность контроля.

Шероховатость поверхности проверяется с помощью профилометра или атомно-силового микроскопа (АСМ). Профилометр измеряет профиль поверхности с помощью контактного зонда и генерирует параметры шероховатости (например, Ra, Rz), чтобы гарантировать, что шероховатость поверхности молибденовой проволоки соответствует стандартам (например, ISO 4287). АСМ обеспечивает нанометровое разрешение для высокоточных приложений для контроля микроскопической текстуры поверхности нити. Шероховатость молибденовой проволоки для напыления обычно должна быть менее 0,2 мкм Ra для уменьшения трения и разбрызгивания в процессе распыления.

Инспекция поверхности должна охватывать случайный образец каждой партии молибденовой проволоки в сочетании с онлайн-системой мониторинга для проверки качества процесса рисования и полировки в режиме реального времени. Сильно дефектные провода должны быть повторно очищены или отполированы, чтобы убедиться, что они соответствуют требованиям к покрытию.

8.2.3 Испытание механических свойств (прочность на разрыв, твердость и т.д.)

Механические свойства молибденовой проволоки, включая прочность на разрыв, пластичность и твердость, являются ключевыми для ее стабильности при волочении и напылении. Испытания на механические свойства гарантируют, что проволока может выдерживать нагрузки при обработке и подаче проволоки в соответствии с потребностями применения.

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

Прочность на разрыв и пластичность проверяются с помощью универсальных испытательных машин на растяжение в соответствии со стандартами, такими как ASTM E8 или GB/T 14842-2007. Во время испытания образец молибденовой проволоки медленно растягивается, чтобы зафиксировать его максимальное растягивающее усилие и удлинение перед разрывом. Прочность на разрыв отражает несущую способность проволоки, а пластичность отражает ее пластическую деформационную способность. Молибденовая проволока для напыления обычно требует умеренной прочности на разрыв, чтобы избежать поломки при подаче проволоки, и в то же время обладает определенной пластичностью для адаптации к процессу волочения и отжига.

Определение твердости проводится с помощью твердомера по Виккерсу или Роквеллу в соответствии со стандартом, таким как ISO 6507 или ASTM E18. В тесте на твердость по Виккерсу используется алмазный индентор для приложения небольшой нагрузки на поверхность молибденовой проволоки, измерения размера вдавливания и расчета значения твердости. Тест на твердость по Роквеллу применяется к более грубой проволоке, где глубина вдавливания измеряется с помощью стального шарика или алмазного индентора. Испытание на твердость может отражать износостойкость и технологичность молибденовой проволоки, а твердость молибденовой проволоки для напыления должна быть умеренной, чтобы сбалансировать прочность и ударную вязкость.

Испытание механических свойств требует отбора проб из каждой партии молибденовой проволоки, чтобы убедиться, что результаты соответствуют требованиям стандарта. Данные испытаний служат основой для оптимизации процесса, такой как регулировка температуры отжига или скорости волочения, для получения идеального сочетания свойств.

8.3 Проверка покрытия распылением

Качество напыляемого покрытия лежит в основе применения молибденовой напыляемой проволоки, которая напрямую влияет на долговечность и производительность детали. При контроле покрытия оцениваются толщина, адгезия, микроструктура и устойчивость к коррозии, температуре и тепловому удару, чтобы убедиться, что покрытие соответствует проектным требованиям. Эти анализы подробно рассматриваются в этом разделе.

8.3.1 Измерение толщины и однородности покрытия

Толщина покрытия является критическим параметром, влияющим на его защитные характеристики, слишком тонкая может привести к недостаточной защите, а слишком толстая может увеличить нагрузку или стоимость. Толщина покрытия, полученного с помощью молибденовой распылительной проволоки, обычно составляет 50-500 мкм, и необходимо обеспечить однородность, чтобы избежать локальной слабости.

Для измерения толщины в основном используются ультразвуковые толщиномеры и лазерные толщиномеры. Ультразвуковые толщиномеры рассчитывают толщину покрытия, отражая звуковые волны на границе раздела между покрытием и подложкой, что делает его

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

пригодным для неразрушающего контроля. Лазерные толщиномеры измеряют расстояние между поверхностью покрытия и подложкой с помощью лазерного сканирования, предоставляя высокоточные данные о распределении толщины для деталей со сложной геометрией. Инспекция в автономном режиме также может быть выполнена с помощью металлургического микроскопа для точного измерения толщины покрытия путем разрезания образца для наблюдения за поперечным сечением.

Оценка однородности включает в себя измерение нескольких участков поверхности покрытия, регистрацию максимальных и минимальных значений толщины и расчет скорости отклонения. Результаты испытаний должны соответствовать стандарту (например, GB/T 17733-2008 или ASTM C633), а покрытия с неравномерной толщиной должны быть оптимизированы по параметрам распыления, таким как регулировка расстояния распыления или скорости подачи проволоки.

8.3.2 Испытание на адгезию покрытия

Адгезия является ключевым показателем прочности сцепления покрытия с подложкой и определяет долговечность покрытия в процессе эксплуатации. Покрытия, приготовленные из молибденовой напыляемой проволоки, должны обладать высокой адгезией для противостояния механическим воздействиям и термическим нагрузкам.

Испытание на адгезию в основном проводится с использованием метода испытания на растяжение в соответствии со стандартом (например, ASTM C633). Во время испытания образец покрытия приклеивается между двумя приспособлениями, и постепенно увеличивающееся напряжение с помощью растягивающей машины для регистрации максимального усилия при отслаивании покрытия. Значения адгезии выражаются в МПа, а для напыляемых молибденовых покрытий обычно требуется адгезия 30-50 МПа, в зависимости от применения.

Другим методом является испытание на царапины, при котором алмазная игла прикладывает к поверхности покрытия возрастающую нагрузку, чтобы наблюдать за критической точкой, в которой покрытие отслаивается. Испытание на царапины подходит для оценки адгезии покрытия при локальном напряжении и может сочетаться с обнаружением акустической эмиссии для повышения точности. Покрытия с плохой адгезией должны быть проверены на предварительную обработку основания или процесс распыления, оптимизированную дробеструйную обработку или настройки параметров.

8.3.3 Анализ микроструктуры и пористости покрытия

Микроструктура и пористость покрытия напрямую влияют на его механические свойства и коррозионную стойкость. Напыляемые молибденовые покрытия должны иметь плотную микроструктуру и низкую пористость, чтобы обеспечить отличную защиту.

Для микроструктурного анализа используются сканирующая электронная микроскопия

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

(СЭМ) и оптическая микроскопия. SEM предоставляет изображения поперечного сечения с высоким разрешением для визуализации размера зерна, межфазного сцепления и распределения дефектов покрытий. Оптическая микроскопия подходит для быстрого анализа широкой области структуры покрытия и выявления трещин или нерасплавленных частиц. В процессе проверки образец подготавливается путем резки, монтажа и полировки, чтобы обеспечить чистоту поперечного сечения.

Анализ пористости выполняется с помощью анализа изображений или денситометрии. При анализе изображений используются изображения SEM или оптического микроскопа для расчета доли пористости к площади поперечного сечения покрытия, а пористость напыляемых молибденовых покрытий обычно составляет менее 5%. Метод измерения плотности использует принцип Архимеда для сравнения фактической плотности покрытия с теоретической плотностью и косвенно рассчитывает пористость. Покрытия со слишком высокой пористостью требуют оптимизированного процесса распыления, такого как повышенная скорость распыления или технология HVOF.

8.3.4 Испытание на коррозионную стойкость и устойчивость к высоким температурам

Коррозионная стойкость и высокая термостойкость напыляемых молибденовых покрытий являются ключевыми показателями в суровых условиях и широко используются в аэрокосмической, химической и энергетической областях. Испытания на коррозию и высокую температуру моделируют реальные условия использования для оценки долгосрочной стабильности покрытия.

Испытание на коррозионную стойкость включает в себя испытание в солевом тумане и испытание погружением. При испытании в солевом тумане (ASTM B117) образец с покрытием помещается в камеру солевого тумана и подвергается воздействию тумана хлорида натрия высокой концентрации для наблюдения за временем появления коррозионных пятен. Иммерсионные испытания включают погружение образца в кислотный или щелочной раствор (например, серную кислоту или гидроксид натрия) и периодическую проверку покрытия на предмет потери качества или изменения поверхности. Химическая инертность молибденовых покрытий делает их превосходными в широком диапазоне агрессивных сред, но особое внимание необходимо уделять влиянию пористости на коррозию.

Испытание на устойчивость к высоким температурам проводится путем испытания на окисление при высокой температуре и испытания на термоциклирование. При испытании на высокотемпературное окисление образец покрытия помещают в высокотемпературную печь (например, при температуре 1000 °C) и подвергают воздействию воздуха или кислорода для измерения окислительного прироста массы или потери покрытия. Термоциклические испытания имитируют чередование горячих и холодных сред, а быстрый нагрев и охлаждение используются для оценки термостойкости покрытий к тепловому удару. Результаты испытаний необходимо сравнить со стандартом (например, ISO 20407), чтобы

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

убедиться, что покрытие соответствует требованиям к применению.

8.3.5 Испытание покрытия на тепловой удар

Эффективность теплового удара является важным показателем напыляемых молибденовых покрытий в условиях высокотемпературного цикла, особенно в авиационных двигателях и газовых турбинах. Испытание на тепловой удар оценивает устойчивость покрытия к растрескиванию и выкрашиванию при быстрых изменениях температуры.

Испытание на тепловой удар обычно проводится методом закалки водой или методом циркуляции горячего воздуха. При использовании метода закалки в воде образец покрытия, нагретый до высокой температуры (например, 800°C), быстро погружают в холодную воду и повторяют несколько раз для выявления трещин или сколов. Метод циркуляции горячего воздуха моделирует более реалистичную среду термоциклирования через горячую доменную печь и систему охлаждения, а также регистрирует количество циклов отказа покрытия. Во время испытания образование трещин может контролироваться в сочетании с акустической эмиссией или инфракрасной визуализацией для повышения точности обнаружения.

Покрытия с плохими свойствами теплового удара требуют оптимизации микроструктуры, такой как градиентное покрытие или термообработка для уменьшения несоответствия теплового расширения. Результаты испытаний служат основой для проектирования покрытия и совершенствования технологического процесса, обеспечивая его надежность в экстремальных условиях.

8.4 Технология и оборудование для испытаний

Передовые технологии и оборудование для контроля качества молибденовой распылительной проволоки лежат в основе контроля качества, обеспечивая высокую точность, неразрушающий анализ в режиме реального времени. В этом разделе будут обсуждаться широко используемые методы и оборудование для контроля, включая рентгенофлуоресцентный анализ (XRF), сканирующую электронную микроскопию (SEM) и энергодисперсионный дисперсионный анализ (EDS), твердомеры, ультразвуковой контроль и лазерные толщиномеры, а также другие передовые технологии.

8.4.1 Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА)

Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) — это метод неразрушающего контроля, используемый для быстрого анализа химического состава молибденовых порошков, молибденовых проволок и покрытий. Рентгенофлуоресцентное оборудование возбуждает атомы образца, испуская рентгеновские лучи, регистрирует характеристическую флуоресценцию, которую они излучают, и анализирует тип и содержание элементов.

Преимущество XRF заключается в его скорости и возможностях многоэлементного анализа, что делает его пригодным для обнаружения примесей, таких как железо, никель и медь в молибденовых порошках, а также распределения элементов в покрытиях. Портативное

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

рентгенофлуоресцентное оборудование облегчает проведение испытаний на месте, в то время как настольное оборудование обеспечивает более высокую точность лабораторного анализа. Процесс испытаний требует калибровки стандартных образцов для обеспечения точности результатов. XRF широко используется в производстве молибденовой напыляемой проволоки и соответствует требованиям таких стандартов, как GB/T 15258-2009.

8.4.2 Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) и энергодисперсионно-дисперсионный анализ (ЭДС)

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) является основным оборудованием для анализа микроструктуры, сканирования поверхности образца электронным пучком для получения изображений с высоким разрешением. SEM широко используется для проверки топографии молибденового порошка, поверхностных дефектов молибденовой проволоки и структуры поперечного сечения покрытий, а также способен идентифицировать такие характеристики, как размер зерна, пористость и трещины.

Спектроскопия (СЭД) в сочетании с СЭМ позволяет анализировать распределение и содержание элементов путем обнаружения характерных рентгеновских лучей, испускаемых образцом. EDS подходит для проверки распределения примесей в молибденовом порошке, оксидов на поверхности молибденовой проволоки или элементарной диффузии на границе раздела покрытия. Испытание SEM/EDS проводится в условиях высокого вакуума, и образец должен быть электропроводящим (например, с углеродным или золотым покрытием), чтобы избежать эффекта заряда.

Высокое разрешение и возможности элементного анализа, предоставляемые SEM/EDS, делают его незаменимым инструментом для контроля качества молибденовых распылительных проводов в соответствии с такими стандартами, как ASTM E1508.

8.4.3 Твердомер (Виккерс, Роквелл)

Твердомеры используются для оценки механических свойств молибденовых проволок и покрытий, отражающих их износостойкость и прочность. Твердомер по Виккерсу измеряет размер вдавливания путем подачи небольшой нагрузки через алмазный индентор и подходит для контроля тонкой молибденовой проволоки и тонких покрытий. Твердомер по Роквеллу измеряет глубину вдавливания через стальной шарик или алмазный индентор и подходит для более грубой проволоки или толстых покрытий.

Определение твердости проводится в соответствии со стандартом, таким как ISO 6507 или ASTM E18, чтобы обеспечить точность измерений нагрузки и вдавливания. Результаты испытаний служат основой для оптимизации процесса, например, для корректировки параметров спекания или распыления для достижения желаемого значения твердости. Твердомер прост в эксплуатации и широко используется на производственных площадках и в лабораториях.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Spray Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Spray Wire

Molybdenum spray wire is a high-purity molybdenum metal wire that is melted and deposited onto a substrate surface through thermal spray techniques such as flame spraying, plasma spraying, arc spraying, or HVOF (High Velocity Oxy-Fuel). The resulting coating offers excellent resistance to wear, corrosion, and high temperatures. Due to its high melting point and superior performance, molybdenum wire is widely used across various industrial sectors.

2. Characteristics of Molybdenum Spray Wire

High Melting Point: Approximately 2623°C, suitable for high-temperature environments.

Excellent Corrosion Resistance: Resists attack from acids, alkalis, and chemical media.

High Hardness & Wear Resistance: Tough coating that withstands mechanical wear.

Low Friction Coefficient: Reduces component wear and improves efficiency.

Chemical Stability: Maintains performance in harsh environments.

High Thermal Conductivity: Effectively dissipates heat and extends component lifespan.

3. Typical Uses of Molybdenum Spray Wire

Aerospace: Turbine blades, engine parts, thermal barrier coatings.

Automotive Industry: Wear-resistant coatings for piston rings, engine blocks, and brake discs.

Chemical & Energy Sectors: Corrosion-resistant pipelines, heat exchangers, wind power equipment.

Electronics & Semiconductors: Vacuum deposition heating wires, semiconductor leads.

Medical Field: Corrosion-resistant coatings for implants and surgical instruments.

Others: Marine anti-corrosion, wear-resistant construction machinery, high-temperature furnaces.

4. Basic Data of Molybdenum Spray Wire from CTIA GROUP LTD

Purity	≥99.95%
Density	10.2 g/cm ³
Diameter Range	1.0-3.0 mm, customizable
Tensile Strength	Moderate to ensure stable wire feeding
Packaging	Customized Packaging

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

8.4.4 Ультразвуковой контроль и лазерные толщиномеры

Ультразвуковой контроль и лазерные толщиномеры являются важными инструментами для контроля качества покрытия, оценки внутренних дефектов и толщины поверхности соответственно. Ультразвуковые детекторы обнаруживают пористость, трещины или отслаивание за счет отражения звуковых волн на границе раздела между покрытием и подложкой, что делает их пригодными для неразрушающего контроля. Оборудование нуждается в калибровке стандартных образцов, чтобы обеспечить точность скорости звука и отраженного сигнала.

Лазерные толщиномеры измеряют толщину покрытия с помощью лазерного сканирования, обеспечивая высокоточный бесконтактный контроль деталей со сложной геометрией. Машина способна создавать карту толщины, выявлять участки неровностей и оптимизировать процесс нанесения покрытия. Комбинация ультразвукового контроля и лазерных толщиномеров обеспечивает всестороннюю оценку качества покрытия в соответствии с такими стандартами, как ASTM C633.

8.4.5 Другие передовые технологии обнаружения

В дополнение к вышеупомянутому оборудованию, обнаружение молибденовой распылительной проволоки также использует различные передовые технологии для повышения точности и эффективности обнаружения. Например:

Рентгеновская дифракция (XRD): он используется для анализа кристаллической структуры молибденового порошка, молибденовой проволоки и покрытия, определения фазового состава и напряженного состояния, а также подходит для изучения высокотемпературных характеристик покрытий.

Инфракрасная термография: используется для контроля распределения температуры в процессе распыления в режиме реального времени, чтобы предотвратить перегрев основания или неравномерное покрытие.

Обнаружение акустической эмиссии: Оцените долговечность покрытия, отслеживая его акустический сигнал о микротрещинах при тепловом ударе или механическом воздействии.

Атомно-силовая микроскопия (АСМ): обеспечивает топографию поверхности в нанометровом масштабе и анализ шероховатости для высокоточного контроля молибденовых проволок и покрытий.

Эти технологии предоставляют различные средства для контроля качества молибденовой распылительной проволоки в сочетании с традиционными методами для удовлетворения потребностей различных сценариев применения.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

8.5 Система менеджмента качества

Система менеджмента качества является стержнем производства молибденовой напыляемой проволоки, обеспечивающей достоверность результатов испытаний и контролируемость производственного процесса. Установив стандартизированный процесс управления, предприятия могут достичь постоянного улучшения качества и удовлетворенности клиентов. В этом разделе будут рассмотрены вопросы сертификации качества ISO 9001, инспекционной отчетности и прослеживаемости, а также анализа и улучшения качества дефектов.

8.5.1 Сертификация качества ISO 9001

ISO 9001 – это международно признанный стандарт системы менеджмента качества, который обеспечивает нормативную базу для производства молибденовой проволоки с покрытием. Стандарт требует от предприятий создания комплексного процесса управления качеством, охватывающего закупку сырья, производственный процесс, тестирование и послепродажное обслуживание. ISO 9001 подчеркивает клиентоориентированность и повышение качества и эффективности продукции за счет постоянного совершенствования.

При производстве молибденовой проволоки с покрытием стандарт ISO 9001 требует разработки подробных операционных процедур (СОП), которые разъясняют обязанности и стандарты каждого звена. Например, химический состав порошков молибдена проверяется в соответствии со стандартизированными процедурами отбора проб и анализа, а испытание на адгезию напыляемых покрытий должно документировать все параметры и результаты. Стандарт также требует регулярных внутренних аудитов и обзоров со стороны руководства для выявления потенциальных проблем и разработки мер по их улучшению.

Компании, сертифицированные по стандарту ISO 9001, могут повысить свою конкурентоспособность на рынке и соответствовать строгим требованиям таких отраслей, как аэрокосмическая и автомобильная промышленность. Процесс сертификации проводится сторонней организацией для обеспечения объективности и соответствия руководства.

8.5.2 Протокол испытаний и прослеживаемость

Протоколы испытаний и прослеживаемость являются важными компонентами управления качеством, гарантирующими, что качество каждой партии молибденовой расплывательной проволоки и ее покрытия поддается проверке. В отчете об испытаниях должны быть подробно зафиксированы результаты испытаний сырья, молибденовой проволоки и покрытий, включая химический состав, размер, производительность и анализ дефектов. Отчет должен соответствовать требованиям стандарта к формату (например, GB/T 15258-2009) и быть подписан и датирован инспектором.

Прослеживаемость требует создания полного производственного реестра, охватывающего каждый этап процесса, от закупки молибденового порошка до готового продукта для нанесения покрытия. Каждой партии молибденовой проволоки и покрытия присваивается уникальный идентификационный номер, в котором фиксируется источник сырья, производственные параметры, результаты испытаний и заводская информация. Современные

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

предприятия используют электронные системы отслеживания для управления данными с помощью штрих-кодов или QR-кодов, обеспечивая быстрый поиск и обмен информацией.

Прослеживаемость не только помогает контролировать качество, но и позволяет быстро выявлять причину проблем при их возникновении. Например, если покрытие отслаивается, качество поверхности молибденовой проволоки или параметры покрытия могут быть проверены с помощью системы прослеживаемости для разработки целенаправленных мер по улучшению.

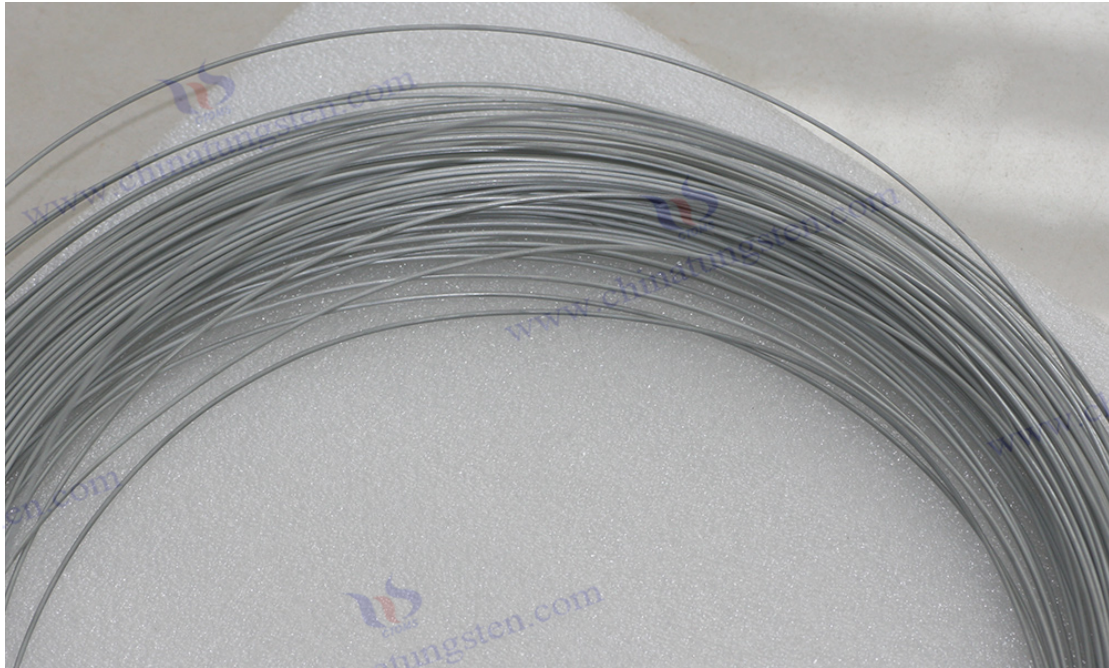
8.5.3 Анализ и улучшение качества дефектов

Качественный анализ дефектов является ключом к постоянному совершенствованию, за счет систематического анализа причин дефектов, оптимизации производственного процесса и методов контроля. К распространенным дефектам относятся поверхностные трещины в молибденовой проволоке, чрезмерная пористость покрытия и недостаточная адгезия, что требует научного анализа для выявления основной причины.

При анализе дефектов обычно используется диаграмма «рыбий скелет», 5W1H (Почему, Где, Когда, Кто, Что, Как) и Анализ видов и последствий отказа (FMEA). Диаграмма «рыбий скелет» делит причины дефектов на пять категорий: человек, машина, материал, метод и окружающая среда, а также систематически сортирует возможные влияющие факторы. 5W1H определяет сценарии и условия, при которых дефекты возникают из-за конкретных проблем. FMEA оценивает потенциальный риск возникновения дефектов и разрабатывает превентивные меры, такие как улучшенная предварительная обработка основания или оптимизация параметров покрытия.

Усовершенствования необходимо тестировать, чтобы убедиться в их эффективности. Например, если пористость покрытия слишком высока, попробуйте увеличить скорость распыления или использовать технологию HVOF и проверьте улучшение с помощью анализа SEM. Результаты улучшения должны быть включены в СОП и планы обучения, чтобы предотвратить повторение проблем.

Анализ и улучшение качества дефектов является динамичным процессом управления качеством, и благодаря подходу, основанному на данных, компании могут постоянно улучшать производительность и надежность молибденовой распылительной проволоки для удовлетворения рыночного спроса.



Молибденовая распылительная проволока CTIA GROUP LTD

Глава 9 Тенденции развития и будущие перспективы молибденовой распылительной проволоки

Являясь важным материалом для технологии термического напыления, молибденовая распылительная проволока сыграла незаменимую роль в аэрокосмической, автомобильной, энергетической и химической промышленности. С трансформацией мировой промышленности в интеллектуальную, экологичную и высокотехнологичную, технология, рынок и применение молибденовой распылительной проволоки открывают новые возможности и вызовы. В этой главе будут подробно рассмотрены тенденции технического развития молибденовой распылительной проволоки, рыночный спрос и расширение применения, защита окружающей среды и устойчивое развитие, а также перспективы международных технических обменов и сотрудничества, а также представлен систематический прогноз будущего развития отрасли.

9.1 Технические тенденции развития молибденовой распылительной проволоки

Технологическое развитие молибденовой распылительной проволоки движется в сторону повышения производительности, эффективности и интеллекта. Конвергенция новых материалов, новых процессов и цифровых технологий произвела революцию в технологии напыления, позволив молибденовой проволоке и ее покрытиям соответствовать требованиям все более сложных и требовательных областей применения. В этой секции речь пойдет о тенденциях развития новых материалов и процессов напыления, интеллектуальном и цифровом производстве, технологиях нанесения композитных покрытий.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

9.1.1 Новые материалы и процессы напыления

Разработка новых материалов и процессов напыления является ключевым направлением для улучшения характеристик молибденовой распылительной проволоки. Обычная молибденовая проволока основана на ее высокой температуре плавления, коррозионной стойкости и превосходных механических свойствах, но одно молибденовое покрытие может столкнуться с ограничениями в некоторых экстремальных условиях, таких как сверхвысокие температуры или сильная коррозия. Внедрение новых материалов и процессов направлено на преодоление этих ограничений и расширение спектра применения молибденовой проволоки.

С точки зрения материалов, композиты с молибденовой матрицей и легированные молибденовые проволоки стали горячими точками исследований. Композиты с молибденовой матрицей значительно повышают твердость, износостойкость и стойкость к окислению покрытий за счет добавления в молибден керамических частиц (например, диоксида циркония, карбида кремния) или редкоземельных элементов (например, лантана, церия). Например, молибденовая проволока, легированная оксидом лантана, может образовывать стабильный оксидный защитный слой при высокотемпературном напылении, продлевая срок службы покрытия. Разработка наноразмерного молибденового порошка также привела к прорыву в процессе напыления, а мелкий размер и равномерное распределение наночастиц делают покрытие более плотным, а пористость значительно снижена. Получение таких наноразмерных материалов часто осуществляется с использованием методов осаждения из газовой фазы или механического легирования для обеспечения высокой чистоты и консистенции частиц.

С точки зрения технологического процесса, технологии холодного напыления и лазерного напыления быстро развиваются. Холодное напыление осаждает частицы молибдена на поверхности подложки через сверхзвуковые потоки газа, избегая окисления и термического напряжения, вызванного высокотемпературным плавлением, и особенно подходит для термочувствительных подложек, таких как алюминиевые сплавы или полимеры. Лазерное напыление в сочетании с высокой плотностью энергии лазера точно контролирует траекторию осаждения капель расплава и микроструктуру покрытия, что приводит к более равномерному покрытию и более сильной адгезии. Кроме того, достижения в области технологий сверхзвукового газопламенного напыления (HVOF) и взвешенного плазменного напыления (SPS) также обеспечили более высокую эффективность осаждения и качество покрытия для напыления молибденовой проволоки. Эти процессы позволяют достичь более низкой пористости и более высокой прочности сцепления за счет оптимизации потока газа, мощности источника тепла и скорости подачи проволоки.

Сочетание новых материалов и процессов также стимулирует разработку функциональных покрытий. Например, самосмазывающиеся покрытия на основе молибдена легируются дисульфидом молибдена или графитом, что значительно снижает коэффициент трения и подходит для высокоточных скользящих деталей; Термобарьерные покрытия на основе молибдена наносятся на лопатки турбин авиационных двигателей путем компаундирования

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

с керамическими слоями для продления их срока службы при высоких температурах. Эти технологические тенденции показывают, что молибденовая проволока с напыляемым покрытием эволюционирует от одного материала к многофункциональному, индивидуальному направлению, обеспечивая более гибкое решение для высокотехнологичных приложений.

9.1.2 Интеллектуальное и цифровое производство

Интеллектуальное и цифровое производство является революционной тенденцией в индустрии молибденовой напыляемой проволоки, а интеграция искусственного интеллекта, Интернета вещей и анализа больших данных значительно повысила эффективность производства, контроль качества и возможности оптимизации процессов. Интеллектуальные системы нанесения покрытий и цифровые производственные процессы меняют подход к производству и использованию молибденовой проволоки.

Интеллектуальная система распыления основана на промышленных роботах и датчиках, которые могут контролировать и регулировать параметры распыления в режиме реального времени. Роботизированная система распыления адаптируется к основанию со сложной геометрией с помощью технологии визуального распознавания и планирования траектории для обеспечения однородности покрытия. Датчик собирает такие данные, как температура, давление и скорость подачи проволоки в режиме реального времени, а также динамически оптимизирует параметры процесса с помощью системы управления с обратной связью. Например, некоторые передовые установки для плазменного напыления могут использовать алгоритмы машинного обучения для прогнозирования дефектов покрытия и автоматически регулировать расстояния распыления или скорость потока газа для снижения процента брака.

Цифровое производство обеспечивает возможность подключения устройств и обмена данными через промышленный Интернет вещей (IIoT). Каждая единица оборудования на производственной линии (например, волочильная машина, пистолет-распылитель, детектор) оснащена модулем сбора данных, который загружает параметры процесса и данные о качестве на облачную платформу. Платформы анализа данных, такие как SCADA-системы, позволяют осуществлять мониторинг производственных процессов в режиме реального времени для выявления потенциальных проблем и оптимизации процессов. Например, анализ колебаний напряжения во время волочения молибденовой проволоки может внести коррективы в составы смазочных материалов или конструкцию штампов для улучшения качества проволоки. Цифровое производство также поддерживает удаленное обслуживание, позволяя техническим специалистам получать доступ к состоянию оборудования через облако для быстрой диагностики неисправностей и сокращения времени простоя.

Искусственный интеллект (ИИ) играет все более важную роль в оптимизации процессов. Алгоритмы искусственного интеллекта анализируют исторические производственные данные, чтобы предсказать наилучшую комбинацию параметров процесса и сократить циклы испытаний. Например, при распылении HVOF модель AI может рекомендовать оптимальное

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

соотношение топлива и скорость впрыска в зависимости от типа основания и потребностей в применении, что значительно улучшает характеристики покрытия. Кроме того, искусственный интеллект поддерживает прогнозирование качества и снижает риски, связанные с качеством, анализируя данные проверки, такие как изображения SEM или результаты испытаний на адгезию, чтобы заранее выявлять несоответствующую продукцию.

Тенденция к интеллектуальному и цифровому производству не только повысила эффективность производства, но и способствовала гибкому производству. Современные линии нанесения покрытий способны быстро переключаться между различными размерами молибденовой проволоки и типами покрытий для удовлетворения потребностей небольших партий и индивидуальных заказов. Этот технологический прогресс позволяет индустрии молибденовой напыляемой проволоки лучше адаптироваться к изменениям рынка и поставлять продукцию с высокой добавленной стоимостью для высокотехнологичных областей, таких как аэрокосмическая и автомобильная промышленность.

9.1.3 Технология нанесения композитных покрытий

Технология композитного покрытия значительно улучшает общие характеристики покрытия за счет комбинации его с другими материалами, такими как керамика, металлы или полимеры. Разработка композитных покрытий является важным направлением технологии напыляемой проволоки из молибдена, которая может удовлетворить потребности применения в многофункциональных и экстремальных условиях.

Градиентное покрытие — это тип технологии композитного покрытия, который уменьшает выкрашивание, вызванное термическим напряжением, путем введения переходного слоя между подложкой и молибденовым покрытием для сглаживания разницы в коэффициенте теплового расширения и твердости. Например, на лопатках турбин авиационных двигателей слой связующего из сплава на основе никеля сочетается с молибденовым покрытием и покрытием из диоксида циркония для образования градиентной структуры, что значительно повышает термостойкость покрытия. Градиентные покрытия обычно готовятся с использованием многокомпонентной системы распыления, которая обеспечивает постепенное изменение состава и производительности за счет точного контроля скорости осаждения различных материалов.

Многослойное покрытие является еще одной важной композитной технологией, которая оптимизирует характеристики покрытий за счет чередования нанесения различных слоев материала. Например, молибденовые покрытия наносятся поочередно с покрытиями из оксида алюминия, которые обеспечивают как износостойкость, так и коррозионную стойкость, что делает их пригодными для химической защиты реакторов. Подготовка многослойных покрытий требует точного контроля толщины каждого слоя и межфазного склеивания, а современное оборудование для плазменного напыления обеспечивает эффективное осаждение нескольких материалов за счет конструкции с несколькими пистолетами.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Функционализированные композиционные покрытия придают покрытиям особые свойства путем легирования их функциональными материалами. Например, молибденовые покрытия, легированные углеродными нанотрубками, обладают отличной проводимостью и самосмазкой, которые подходят для высокоскоростных скользящих частей электронных устройств; Молибденовое покрытие, легированное оксидом иттрия, повышает стойкость к высокотемпературному окислению и подходит для лопаток газовых турбин. Разработка этих функциональных покрытий опирается на достижения в области нанотехнологий и технологии модификации поверхности, чтобы гарантировать, что легированный материал равномерно распределен и хорошо связан с молибденовой матрицей.

Сложность технологии нанесения композитных покрытий заключается в сложности процесса и контроле затрат. Будущие разработки требуют интеллектуального оборудования и оптимизации процессов для снижения производственных затрат при одновременном повышении однородности и надежности покрытий. Широкое применение этих технологий будет способствовать повышению конкурентоспособности на рынке молибденовой распылительной проволоки в высокотехнологичной области.

9.2 Рыночный спрос и расширение сферы применения молибденовой распылительной проволоки

Рыночный спрос на молибденовую распылительную проволоку обусловлен глобальной индустриализацией и развитием новых технологий, а область применения быстро расширяется от традиционных отраслей до развивающихся. В этом разделе будет проанализирован потенциал применения в развивающихся отраслях промышленности, а также глобальные рыночные тенденции, чтобы предоставить рыночную перспективу для будущего развития молибденовой распылительной проволоки.

9.2.1 Потенциал применения в развивающихся отраслях

Быстрое развитие новых отраслей, таких как возобновляемые источники энергии, электромобили, аддитивное производство и биомедицина, открыло новые возможности применения молибденовой проволоки. Эти отрасли промышленности требуют более высоких эксплуатационных характеристик и универсальности высокоэффективных покрытий, стимулируя инновации и расширение рынка технологии молибденовой проволоки.

В области возобновляемых источников энергии молибденовая проволока с напыляемым покрытием широко используется в качестве защитного покрытия для оборудования для солнечной тепловой и ветровой энергетики. Трубки солнечных коллекторов должны работать при высоких температурах в течение длительных периодов времени, а молибденовые покрытия повышают эффективность и долговечность теплопередачи благодаря своей высокой теплопроводности и стойкости к окислению. Лопасти и подшипники ветряных турбин подвергаются воздействию ветра, песка и влаги, а износостойкость и коррозионная стойкость молибденовых покрытий позволяют значительно продлить срок их службы. По мере роста мирового спроса на чистую энергию потенциал применения молибденовой

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

проволоки в оборудовании для возобновляемых источников энергии будет продолжать расширяться.

Развитие индустрии электромобилей (EV) привело к появлению огромного рынка молибденовой проволоки. Система управления аккумулятором и компоненты двигателя электромобилей должны работать при высоких температурах и больших токах, а молибденовое покрытие может улучшить проводимость и износостойкость электродов, продлевая срок службы компонентов. Кроме того, в тормозной системе электромобилей используется рекуперативное торможение, которое требует более высокой износостойкости тормозных дисков, а молибденовое покрытие удовлетворяет эти потребности за счет низкого коэффициента трения и высокой твердости. Быстрый рост рынка электромобилей будет способствовать дальнейшей популярности молибденовой распылительной проволоки в автомобильной промышленности.

Аддитивное производство (3D-печать) — еще одна новая область применения. Молибденовые покрытия используются для защиты сопел и пресс-форм оборудования для 3D-печати от износа и коррозии, вызванных высокотемпературными расплавленными материалами. Молибденовая проволока также может быть использована в качестве сырья для 3D-печати для подготовки деталей на основе молибдена сложной формы с помощью лазерного или плазменного осаждения для аэрокосмической и медицинской промышленности. Высокие требования аддитивного производства к свойствам материалов и гибкости процесса стимулировали технологические инновации в области молибденовой распылительной проволоки.

В биомедицинской области покрытия, приготовленные из молибденовой напыляемой проволоки, наносятся на защиту поверхности имплантатов и хирургических инструментов благодаря их биосовместимости и коррозионной стойкости. Например, молибденовые покрытия на искусственных суставах позволяют снизить коррозию жидкости и увеличить срок службы имплантатов; Молибденовое покрытие скальпеля повышает точность резки благодаря высокой твердости и низкому трению. С развитием точной медицины и старением общества молибденовые покрытия имеют широкие перспективы для применения в медицинских устройствах.

Потенциал применения этих новых отраслей показывает, что молибденовая распылительная проволока превращается из традиционной отрасли в высокотехнологичную область. Предприятиям необходимо увеличивать инвестиции в НИОКР и разрабатывать специализированные продукты для удовлетворения возникающих потребностей, чтобы воспользоваться рыночными возможностями.

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

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Spray Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Spray Wire

Molybdenum spray wire is a high-purity molybdenum metal wire that is melted and deposited onto a substrate surface through thermal spray techniques such as flame spraying, plasma spraying, arc spraying, or HVOF (High Velocity Oxy-Fuel). The resulting coating offers excellent resistance to wear, corrosion, and high temperatures. Due to its high melting point and superior performance, molybdenum wire is widely used across various industrial sectors.

2. Characteristics of Molybdenum Spray Wire

High Melting Point: Approximately 2623°C, suitable for high-temperature environments.

Excellent Corrosion Resistance: Resists attack from acids, alkalis, and chemical media.

High Hardness & Wear Resistance: Tough coating that withstands mechanical wear.

Low Friction Coefficient: Reduces component wear and improves efficiency.

Chemical Stability: Maintains performance in harsh environments.

High Thermal Conductivity: Effectively dissipates heat and extends component lifespan.

3. Typical Uses of Molybdenum Spray Wire

Aerospace: Turbine blades, engine parts, thermal barrier coatings.

Automotive Industry: Wear-resistant coatings for piston rings, engine blocks, and brake discs.

Chemical & Energy Sectors: Corrosion-resistant pipelines, heat exchangers, wind power equipment.

Electronics & Semiconductors: Vacuum deposition heating wires, semiconductor leads.

Medical Field: Corrosion-resistant coatings for implants and surgical instruments.

Others: Marine anti-corrosion, wear-resistant construction machinery, high-temperature furnaces.

4. Basic Data of Molybdenum Spray Wire from CTIA GROUP LTD

Purity	≥99.95%
Density	10.2 g/cm ³
Diameter Range	1.0-3.0 mm, customizable
Tensile Strength	Moderate to ensure stable wire feeding
Packaging	Customized Packaging

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

9.2.2 Анализ тенденций мирового рынка

На мировой рынок молибденовой распылительной проволоки влияют процессы индустриализации, региональная экономика и политическое руководство, демонстрируя диверсифицированную тенденцию развития. Китай, Европейский союз, Северная Америка и Азиатско-Тихоокеанский регион являются основными рынками с различными характеристиками рынка и драйверами спроса в каждом регионе.

Китай является крупнейшим в мире производителем и потребителем молибденовых ресурсов, и рынок молибденовой распылительной проволоки выигрывает от быстрого развития отечественного производства и строительства инфраструктуры. Аэрокосмическое, автомобильное и энергетическое оборудование являются основными областями спроса на китайском рынке, и национальная политика, такая как цель «углеродной нейтральности», способствовала развитию возобновляемых источников энергии и электромобилей, еще больше увеличивая спрос на молибденовую проволоку. Китайские компании заняли важное положение на мировом рынке за счет технологической модернизации и оптимизации затрат.

Рынок ЕС характеризуется высокотехнологичными приложениями и экологическими требованиями, при этом основными источниками спроса являются аэрокосмическая и автомобильная промышленность. Правила Европейского Союза в области «зеленого» производства, такие как REACH и RoHS, требуют от компаний внедрения процессов распыления с низким уровнем загрязнения, что стимулирует развитие технологий холодного напыления и покрытий из зеленого молибдена. Европейские компании лидируют в области технологических инноваций и стандартов качества, уделяя особое внимание техническому сотрудничеству с международным рынком.

На рынке Северной Америки доминируют аэрокосмическая и энергетическая промышленность, и спрос на высокоэффективные покрытия в США продолжает расти, особенно в газовых турбинах и глубоководном нефтегазовом оборудовании. Североамериканские компании являются лидерами в области технологий HVOF и плазменного напыления, уделяя особое внимание разработке и применению интеллектуального оборудования. Проводимая правительством США политика производственного рещоринга придала новый импульс региональному рынку.

Азиатско-Тихоокеанский регион, особенно Индия, Япония и Южная Корея, является быстрорастущим рынком, где рост в автомобильной электронике, возобновляемых источниках энергии и судостроении стимулирует спрос на молибденовую проволоку. Низкое ценовое преимущество индийского рынка сделало его развивающимся центром обработки молибденовой проволоки, в то время как Япония и Южная Корея сосредоточены на высокоточных приложениях в полупроводниковой и дисплейной промышленности. Развитие региональной экономической интеграции, такой как ВРЭП, способствовало обмену технологиями и совместному использованию ресурсов на рынке Азиатско-Тихоокеанского региона.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Мировые рыночные тенденции указывают на то, что спрос на молибденовую распылительную проволоку будет продолжать расти, особенно в элитных и развивающихся сегментах. Предприятиям необходимо обращать внимание на дифференцированные потребности региональных рынков и улучшать охват рынка за счет локализации производства и оптимизации глобальных цепочек поставок. В то же время риск международных торговых барьеров и колебаний цен на сырье должен быть устранен путем диверсификации закупок и стратегического сотрудничества.

9.3 Охрана окружающей среды и устойчивое развитие распыления

Охрана окружающей среды и устойчивое развитие являются важным направлением развития напыляемой молибденовой промышленности, а концепция зеленых технологий и экономики замкнутого цикла глубоко влияет на режим производства и выбор процессов. Снижение загрязнения окружающей среды, повышение эффективности использования ресурсов и продвижение низкоуглеродного производства являются общими задачами, с которыми сталкивается отрасль. В этой секции будут обсуждаться технологии зеленого напыления и системы экологического менеджмента.

Технология зеленого напыления

Технология зеленого распыления направлена на сокращение выбросов загрязняющих веществ и потребления энергии в процессе распыления, а также на достижение экологических целей за счет инноваций в процессах и модернизации оборудования. Разработка технологии зеленого напыления обеспечивает решение проблемы, связанной с тем, что традиционные методы термического напыления, такие как газопламенное напыление, могут производить выхлопные газы, пыль и шум.

Технология холодного напыления является типичной «зеленой» технологией, которая позволяет избежать выбросов оксидов и потерь тепловой энергии, вызванных высокой температурой, за счет струйного напыления частиц молибдена при низкой температуре и высокой скорости. В оборудовании для холодного напыления используется эффективная система циркуляции газа, которая снижает количество используемого гелия или азота и снижает эксплуатационные расходы. Низкое тепловложение холодного напыления делает его пригодным для работы с термочувствительными основаниями и снижением образования брака, что делает его широко используемым в автомобильной и электронной промышленности.

Оборудование для распыления с низким уровнем выбросов находится в центре зеленого развития. Современные системы плазменного напыления и HVOF оснащены установками очистки выхлопных газов, которые удаляют вредные газы, такие как диоксид серы или оксиды азота, с помощью технологии фильтрации и адсорбции, обеспечивая соответствие стандартам выбросов (например, EU REACH). Эффективные системы сжигания снижают выбросы углекислого газа при одновременном повышении энергоэффективности за счет оптимизации соотношения топлива и кислорода. Некоторые современные распылительные

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

установки также включают в себя системы рекуперации тепла, которые используют отработанное тепло для предварительного нагрева основания или для нагрева, снижая потребление энергии.

Внедрение технологии очистки на водной основе также способствовало развитию зеленого распыления. В обычных процессах очистки используются органические растворители, которые могут вызывать загрязнение летучими органическими соединениями (ЛОС). Очистители на водной основе очень эффективны в удалении масла и оксидов с поверхности молибденовой проволоки с помощью биоразлагаемых составов и технологии ультразвуковой очистки, снижая воздействие на окружающую среду. Комплексное применение этих зеленых технологий делает производство молибденовой распылительной проволоки более экологичным и отвечает требованиям глобального устойчивого развития.

Утилизация и переработка лома

Утилизация и переработка отходов является важной частью устойчивого развития индустрии молибденовой распылительной проволоки. Будучи редким металлом, молибден имеет ограниченные ресурсы, и его переработка может снизить производственные затраты и снизить нагрузку на окружающую среду. Частицы брызг, отходы нитей накаливания и старые покрытия от процесса распыления являются основными объектами переработки.

Рекуперация брызговых частиц достигается с помощью специальной системы сбора. Современное распылительное оборудование оснащено пылеуловителями и фильтрами для улавливания и отделения частиц молибдена, выделяющихся в процессе распыления. Эти частицы просеиваются и очищаются и могут быть повторно использованы для распыления или производства молибденового порошка. Эффективность системы рециркуляции напрямую влияет на использование ресурсов, а современное оборудование способно улавливать до 90% брызг.

Переработка отходов нитей накаливания и старых покрытий осуществляется химическими или механическими методами. Отходы проволоки очищаются плавкой или электролизом и превращаются в молибденовый порошок высокой чистоты, который повторно вводится в производственный процесс. При переработке старых покрытий обычно используется пескоструйная обработка или методы химической зачистки для отделения покрытия от подложки, а восстановленный молибденовый материал измельчается и очищается перед повторным использованием. Процесс переработки требует строгого контроля за внесением примесей, чтобы качество перерабатываемого материала соответствовало стандарту (например, GB/T 3462-2017).

Создание системы переработки требует сотрудничества между восходящими и нисходящими звеньями промышленной цепочки. Переработчики молибдена и поставщики услуг по распылению должны создать сеть переработки для сбора и переработки отходов единым образом. Ведущие компании, такие как H.C. Starck, разработали замкнутые системы

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

переработки, которые преобразуют отходы непосредственно в сырье, значительно снижая потребление ресурсов. Политическая поддержка также способствовала развитию экономики замкнутого цикла, например, Закон Китая о содействии экономике замкнутого цикла, который поощряет компании внедрять технологии переработки и сокращать отходы редких металлов.

Переработка и переработка отходов не только снижает производственные затраты, но и повышает имидж социальной ответственности компании. В будущем отрасль нуждается в дальнейшем совершенствовании технологий и стандартов переработки для содействия устойчивому использованию ресурсов молибдена.

9.4 Международный технический обмен и сотрудничество в области молибденовой распылительной проволоки

Международные технические обмены и сотрудничество являются ключевыми движущими силами развития индустрии молибденовой распылительной проволоки, которая способствует технологическим инновациям, унификации стандартов и глобализации рынка. Благодаря трансграничным исследованиям и разработкам, отраслевому сотрудничеству и международным конференциям отрасли могут обмениваться ресурсами, решать общие проблемы и стимулировать технологический прогресс. В данной секции будут рассмотрены перспективы гармонизации международных технических стандартов и трансграничного сотрудничества в области НИОКР и промышленности.

9.4.1 Гармонизация международных технических стандартов

Унификация международных технических стандартов обеспечивает основу для глобальной торговли и технического обмена молибденовой распылительной проволокой, а также снижает технические барьеры, вызванные различиями в стандартах. В настоящее время в стандартах для молибденовой напыляемой проволоки в основном доминируют ISO, ASTM и китайские системы GB/T, но между стандартами существуют различия в химическом составе, методах испытаний и требованиях к применению, что влияет на совместимость многонациональных рынков.

Стандарты ISO, такие как ISO 14919 и ISO 20407, лежат в основе гармонизации международных технических стандартов и охватывают требования к эксплуатационным характеристикам проволоки и покрытий для напыления. Эти стандарты были разработаны экспертами из нескольких стран и отражают технический консенсус мировой отрасли. Например, стандарт ISO 14919 определяет допуски на размеры и качество поверхности для молибденовой проволоки с напыляемым покрытием, что широко признано в Европейском Союзе, Северной Америке и Азиатско-Тихоокеанском регионе. В будущем ИСО необходимо будет еще больше расширить охват стандартов, включив в них спецификации для новых технологий (например, холодное напыление, нанопокрывание) для адаптации к отраслевым разработкам.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Стандарты ASTM, такие как ASTM B387-18, оказывают значительное влияние на рынок Северной Америки, а их высокие требования к точности подходят для высокотехнологичных приложений, таких как аэрокосмическая промышленность. По сравнению с китайским стандартом GB/T, ASTM имеет более строгие требования к содержанию примесей и методам их обнаружения. Усилия по гармонизации стандартов требуют гармонизации ISO и ASTM для разработки более совместимых спецификаций. Например, ASTM и GB/T могут упростить процесс трансграничной сертификации за счет гармонизации методов испытаний химического состава и механических свойств молибденовой проволоки посредством двусторонних соглашений о взаимном признании.

Роль Китая в установлении международных стандартов растет. Отечественные предприятия (например, Chinatungsten High-tech) активно участвуют в работе технических комитетов ИСО по содействию интеграции стандартов GB/T (например, GB/T 4181-2017) с международными стандартами. Унификация стандартов не только способствует техническому обмену, но и повышает конкурентоспособность китайских предприятий на мировом рынке. В будущем отрасль нуждается в укреплении многостороннего сотрудничества, ускорении пересмотра и продвижения стандартов, а также создании глобальной единой технической базы для напыляемой проволоки из молибдена.

9.4.2 Трансграничные НИОКР и промышленное сотрудничество

Транснациональные НИОКР и промышленное сотрудничество являются важным способом внедрения инноваций в технологию молибденовой проволоки при напылении молибдена, что ускоряет разработку новых материалов и процессов за счет обмена ресурсами и опытом. Сотрудничество принимает форму совместных лабораторий, лицензирования технологий, отраслевых альянсов и международных конференций.

Совместная лаборатория является основной платформой для трансграничных исследований и разработок. Например, Китайская академия наук в сотрудничестве с Институтом Фраунгофера в Германии создала совместную лабораторию технологии термического напыления, специализирующуюся на исследованиях композитных покрытий на основе молибдена и технологии холодного напыления. Обмениваясь оборудованием и данными, эти лаборатории решают технические проблемы, связанные с высокотемпературным окислением и термоударом молибденовых покрытий. Совместная лаборатория также взрастила международные таланты и предоставила технические резервы для развития отрасли.

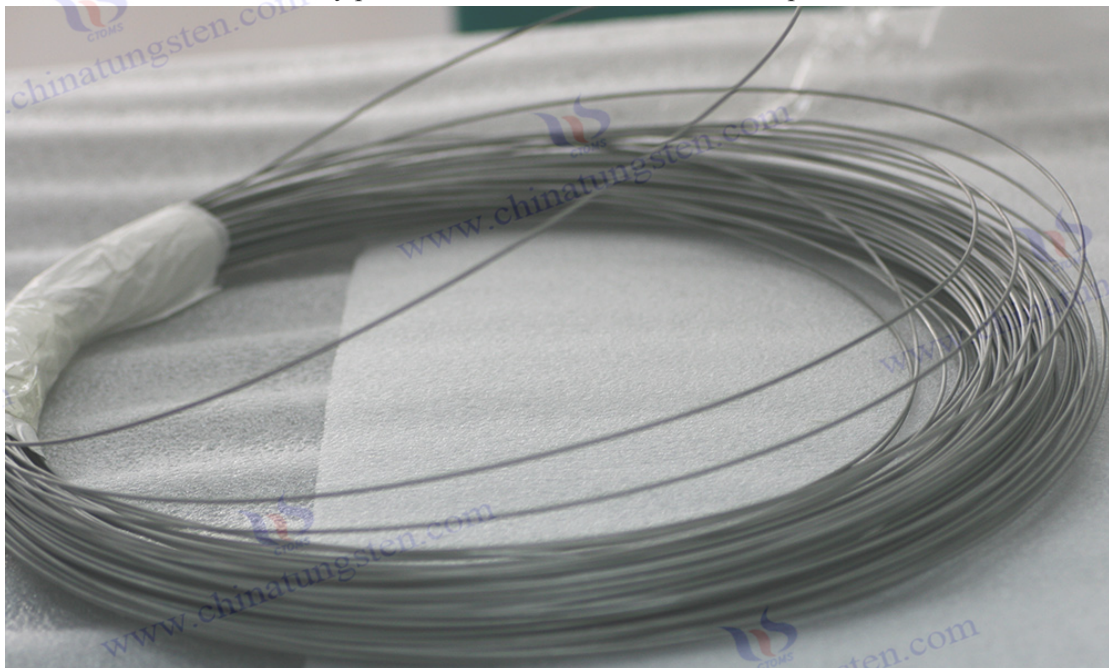
Лицензирование технологий является распространенной формой отраслевого сотрудничества. Европейские компании содействуют технологическому обновлению регионального рынка, лицензируя технологию производства молибденовой проволоки азиатским компаниям. Лицензирование технологий сопровождается строгим контролем качества, чтобы гарантировать, что производительность лицензионной продукции соответствует стандартам. Эта модель совместной работы снижает затраты на распространение технологий и расширяет охват рынка предприятиями.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Отраслевой альянс способствовал широкомасштабному применению молибденовой распылительной проволоки за счет интеграции ресурсов промышленной цепочки. Например, Международная конференция по термическому напылению, организованная совместно Американским обществом термического напыления (ASM TSS) и Китайской национальной группой сотрудничества по термическому напылению, предоставляет предприятиям платформу для обмена технологиями и связи с рынком. Альянс также координирует сотрудничество поставщиков сырья, производителей оборудования и поставщиков услуг по нанесению покрытий для оптимизации глобальной цепочки поставок.

Международные конференции и выставки, такие как Международная конференция по термическому напылению ITSC, являются важными каналами технического обмена, объединяя экспертов и компании со всего мира для демонстрации новейших технологий молибденовой распылительной проволоки. Конференция способствовала реализации проектов приграничного сотрудничества посредством технических презентаций, семинаров и выставок. Например, конференция ITSC 2024 года была посвящена умному распылению и зеленым технологиям, указав направление будущего развития индустрии молибденовой проволоки.

Проблема трансграничных НИОКР и промышленного сотрудничества заключается в защите интеллектуальной собственности и культурных различиях. В будущем отрасль должна создать более прозрачный механизм сотрудничества, чтобы сбалансировать интересы всех сторон посредством обмена патентами и совместной подачи заявок. В то же время укреплять обучение талантов и культурные обмены, повышать эффективность сотрудничества и способствовать глобальному развитию технологии напыляемой проволоки из молибдена.



Молибденовая распылительная проволока CTIA GROUP LTD

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

Приложение

А. Глоссарий

Молибденовая распылительная проволока: материал, в котором в качестве сырья используется молибденовая проволока высокой чистоты для формирования функционального покрытия на поверхности подложки с помощью технологии термического напыления.

Термическое напыление: процесс плавления или полуплавления материала с помощью нагрева и распыления его на поверхность подложки для образования покрытия.

Плазменное напыление: Технология высокотемпературного напыления, при которой в качестве источника тепла используется поток плазменного пламени.

Пламенное распыление: метод распыления, при котором в качестве источника тепла используется горящее пламя.

Дуговое напыление: метод, при котором металлические проволоки плавятся путем дугового разгорания и распыления их на поверхность подложки.

Высокоскоростное газокислородное распыление (HVOF): технология распыления, при которой для впрыска расплавленных материалов используется высокоскоростной газ сгорания.

Адгезия покрытия: Прочность сцепления между покрытием и подложкой, обычно оценивается с помощью испытаний на растяжение или сдвиг.

Пористость покрытия: Объемное соотношение пор в покрытии, которое влияет на характеристики покрытия.

Коррозионная стойкость: способность материала противостоять химической или гальванической коррозии.

Стойкость к истиранию: способность поверхности материала противостоять механическому износу.

Порошок молибдена: частицы молибдена высокой чистоты, полученные химическим восстановлением или физическими методами.

Порошковая металлургия: процесс подготовки материалов путем прессования и спекания металлических порошков.

Процесс волочения проволоки: Процесс обработки металлических стержней в нити с помощью волочильных штампов.

Поверхностная активация: Обработка, которая улучшает поверхностную активность молибденовой проволоки химическими или физическими методами.

Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА): метод спектроскопического анализа, используемый для определения элементного состава материалов.

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ): метод микроскопии, используемый для наблюдения за микроскопической морфологией и структурой материалов.

Энергетическая спектроскопия (ЭДС): метод, используемый в сочетании с СЭМ для анализа элементного распределения материалов.

Термическая обработка: Процесс улучшения свойств материала путем управления процессом нагрева и охлаждения.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Зеленое производство: Метод производства, направленный на энергосбережение, сокращение выбросов и защиту окружающей среды.

В. Ссылки

- [1] Китайский вольфрам, онлайн. Библиотека вольфрам-молибдена.
- [2] Китайский вольфрам. Основана в 1986 году, выходит раз в два месяца.
- [3] Институт исследований металлов Китайской академии наук. Прогресс в исследованиях покрытий на основе молибдена.
- [4] Праксэйр Поверхностные технологии. Брошюра по нанесению покрытий методом термического напыления.
- [5] GB/T 4181-2017 Молибденовая проволока. Управление по стандартизации Китая.
- [6] GB/T 3462-2017 «Молибденовые прутки и молибденовые заготовки». Управление по стандартизации Китая.
- [7] ASTM B387-18, Стандартная спецификация на прутки, прутки и проволоку из молибдена и молибденового сплава. ASTM International.
- [8] ISO 14919, Термическое напыление - Провода, стержни и шнуры для пламенного и дугового напыления. Международная организация по стандартизации.
- [9] ISO 20407, Тонкая керамика - Метод испытаний на межфазное растяжение и прочность на сдвиг. Международная организация по стандартизации.
- [10] Журнал материаловедения. Тенденции в области термического напыления покрытий.
- [11] Технология поверхностей и покрытий. Достижения в области холодного распыления и интеллектуальных систем распыления.
- [12] Международная конференция по термическому напылению (ITSC). Труды 2024.
- [13] ISO 9001:2015 «Системы менеджмента качества - Требования». Международная организация по стандартизации.
- [14] ISO 14001:2015 «Системы экологического менеджмента - Требования». Международная организация по стандартизации.
- [15] Регламент ЕС REACH. Европейское химическое агентство.
- [16] Закон о продвижении экономики замкнутого цикла в Китае. Национальная комиссия по развитию и реформам.
- [17] Институт исследований металлов Китайской академии наук. Прогресс в исследованиях покрытий на основе молибдена.
- [18] ASTM C633. Стандартный метод испытаний на адгезию или когезию покрытий термическим напылением.
- [19] ISO 4287. Geometric Product Specification (GPS) - текстура поверхности.
- [20] Журнал технологии термического напыления. Молибденовые покрытия: свойства и применение.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности