

Полное руководство по молибденовым электродам

中钨智造科技有限公司
CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

Мировой лидер в области интеллектуального производства для вольфрамовой,
молибденовой и редкоземельной промышленности

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКИХ ПРАВАХ И ЮРИДИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

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

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

ЗНАКОМСТВО CTIA GROUP

CTIA GROUP LTD, дочерняя компания с независимой правосубъектностью, созданная компанией CHINATUNGSTEN ONLINE, занимается продвижением интеллектуального, интегрированного и гибкого проектирования и производства вольфрамовых и молибденовых материалов в эпоху промышленного интернета. CHINATUNGSTEN ONLINE, основанная в 1997 году с www.chinatungsten.com в качестве отправной точки — первый в Китае веб-сайт высшего уровня по вольфрамовым продуктам — является новаторской компанией электронной коммерции в стране, специализирующейся на вольфрамовой, молибденовой и редкоземельной промышленности. Опираясь на почти тридцатилетний опыт работы в области вольфрама и молибдена, CTIA GROUP наследует исключительные возможности своей материнской компании в области проектирования и производства, превосходные услуги и глобальную деловую репутацию, став поставщиком комплексных прикладных решений в области химических веществ вольфрама, металлов вольфрама, твердых сплавов, сплавов высокой плотности, молибдена и молибденовых сплавов.

За последние 30 лет CHINATUNGSTEN ONLINE создала более 200 многоязычных профессиональных веб-сайтов по вольфраму и молибдену, охватывающих более 20 языков, с более чем миллионом страниц новостей, цен и анализа рынка, связанных с вольфрамом, молибденом и редкоземельными элементами. С 2013 года официальный аккаунт WeChat «CHINATUNGSTEN ONLINE» опубликовал более 40 000 единиц информации, обслуживая почти 100 000 подписчиков и ежедневно предоставляя бесплатную информацию сотням тысяч профессионалов отрасли по всему миру. Благодаря совокупному количеству посещений веб-сайта и официального аккаунта, достигшему миллиардов раз, компания стала признанным глобальным и авторитетным информационным центром для вольфрамовой, молибденовой и редкоземельной отраслей, предоставляющим 24/7 многоязычные новости, характеристики продукции, рыночные цены и услуги по рыночным тенденциям.

Опираясь на технологии и опыт CHINATUNGSTEN ONLINE, CTIA GROUP фокусируется на удовлетворении индивидуальных потребностей клиентов. Используя технологию искусственного интеллекта, она совместно с клиентами разрабатывает и производит вольфрамовые и молибденовые изделия с определенным химическим составом и физическими свойствами (такими как размер частиц, плотность, твердость, прочность, размеры и допуски). Она предлагает комплексные интегрированные услуги, начиная от вскрытия пресс-форм, пробного производства и заканчивая отделкой, упаковкой и логистикой. За последние 30 лет компания CHINATUNGSTEN ONLINE предоставила услуги по исследованиям и разработкам, проектированию и производству более 500 000 видов вольфрамовых и молибденовых изделий для более чем 130 000 клиентов по всему миру, заложив основу для индивидуального, гибкого и интеллектуального производства. Опираясь на эту основу, CTIA GROUP еще больше углубляет интеллектуальное производство и интегрированные инновации в области вольфрама и молибдена в эпоху промышленного интернета.

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



ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКИХ ПРАВАХ И ЮРИДИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

СОДЕРЖАНИЕ

Глава 1 Обзор молибденовых электродов

- A.A Что такое молибденовый электрод
- A.B История и развитие молибденовых электродов
- A.B Значение молибденовых электродов в современной промышленности

Глава 2 Основные свойства молибденовых электродов

- 2.1 Физические свойства молибденовых электродов
 - 2.1.1 Температура плавления и плотность молибденовых электродов
 - 2.1.2 Электропроводность и теплопроводность молибденовых электродов
 - 2.1.3 Коэффициент теплового расширения и механическая прочность молибденовых электродов
- 2.2 Химические свойства молибденовых электродов
 - 2.2.1 Коррозионная стойкость и химическая стабильность молибденовых электродов
 - 2.2.2 Поведение молибденовых электродов при высокотемпературном окислении
- 2.3 Формы и технические характеристики молибденовых электродов
 - 2.3.1 Распространенные формы (пруток, плита, проволока и т.д.)
 - 2.3.2 Размеры и возможности настройки

Глава 3 Процесс изготовления молибденовых электродов

- 3.1 Источники сырья и подготовка
 - 3.1.1 Добыча молибденовой руды
 - 3.1.2 Приготовление порошка молибдена высокой чистоты
- 3.2 Основные производственные процессы молибденовых электродов
 - 3.2.1 Метод порошковой металлургии
 - 3.2.1.1 Прессование и формовка
 - 3.2.1.2 Высокотемпературное спекание
 - 3.2.2 Последующая обработка (ковка, прокатка, волочение)
- 3.3 Обработка поверхности и контроль качества молибденовых электродов
 - 3.3.1 Полировка и антиокислительная обработка
 - 3.3.2 Методы тестирования производительности
- 3.4 Инновации и усовершенствования в производстве молибденовых электродов
 - 3.4.1 Новые технологии (например, 3D-печать)
 - 3.4.2 Тенденции экологически чистого производства

Глава 4 Основные регионы производства молибденовых электродов

- 4.1 Глобальное распределение ресурсов молибдена
 - 4.1.1 Основные районы добычи молибдена (Китай, США, Чили и др.)
 - 4.1.2 Производство и запасы молибдена
- 4.2 Базы производства молибденовых электродов
 - 4.2.1 Китай (Шэньси, Хэнань и т.д.)
 - 4.2.2 США (Колорадо, Юта и др.)

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКИХ ПРАВАХ И ЮРИДИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

- 4.2.3 Европа (Австрия, Германия и т.д.)
- 4.2.4 Другие страны (Россия, Канада и т.д.)
- 4.3 Производственные предприятия
 - 4.3.1 Основные производители молибденовых электродов: CTIA GROUP LTD
 - 4.3.1.1 Сравнительная таблица характеристик высокотехнологичных электродов из вольфрама и молибденового сплава в Китае
 - 4.3.1.2 Характеристики китайских вольфрамовых высокотехнологичных молибденовых электродов

Глава 5 Области применения молибденовых электродов

- 5.1 Стекольная промышленность
 - 5.1.1 Электроды стеклодувных печей
 - 5.1.2 Производство оптического стекла и специального стекла
- 5.2 Металлургическая промышленность
 - 5.2.1 Высокотемпературные плавильные и дуговые печи
 - 5.2.2 Роль в производстве сплавов
- 5.3 Электронная и полупроводниковая промышленность
 - 5.3.1 Вакуумные трубки и разрядные трубки
 - 5.3.2 Тонкопленочное осаждение и микроэлектронные устройства
- 5.4 Научные исследования и специальные приложения
 - 5.4.1 Высокотемпературное экспериментальное оборудование
 - 5.4.2 Аэрокосмическая и атомная промышленность
- 5.5 Новые области применения
 - 5.5.1 Оборудование для возобновляемых источников энергии
 - 5.5.2 Компоненты медицинского оборудования

Глава 6 Преимущества, недостатки и ограничения молибденовых электродов

- 6.1 Преимущества молибденовых электродов
 - 6.1.1 Устойчивость к высоким температурам и длительный срок службы
 - 6.1.2 Отличная электропроводность и коррозионная стойкость
 - 6.1.3 Надежность в экстремальных условиях
- 6.2 Недостатки и ограничения молибденовых электродов
 - 6.2.1 Чувствительность к окислению и ограничениям окружающей среды
 - 6.2.2 Сложность и стоимость обработки
 - 6.2.3 Хрупкость и ограничения механических характеристик
- 6.3 Меры по совершенствованию молибденовых электродов
 - 6.3.1 Антиокислительные технологии
 - 6.3.2 Разработка композиционных материалов

Глава 7 Сравнение молибденовых электродов с другими электродными материалами

- 7.1 Сравнение с вольфрамовыми электродами
 - 7.1.1 Различия в производительности
 - 7.1.2 Сценарии применения

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКИХ ПРАВАХ И ЮРИДИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

- 7.2 Сравнение с графитированными электродами
 - 7.2.1 Долговечность и стоимость
 - 7.2.2 Работа при высоких температурах
- 7.3 Сравнение с медными электродами
 - 7.3.1 Электропроводность и термостойкость
 - 7.3.2 Среда использования
- 7.4 Сравнение с электродами из драгоценных металлов (например, платины)
 - 7.4.1 Экономическая целесообразность и специализированные приложения
- 7.5 Резюме всестороннего сравнения

Глава 8 Основные рынки применения молибденовых электродов

- 8.1 Азиатско-Тихоокеанский регион
 - 8.1.1 Китай (рынки стекла и металлургии)
 - 8.1.2 Япония и Южная Корея (электроника и полупроводники)
 - 8.1.3 Индия (спрос на индустриализацию)
- 8.2 Северная Америка
 - 8.2.1 США (стеклянная и аэрокосмическая промышленность)
 - 8.2.2 Канада (металлургия и научные исследования)
- 8.3 Европа
 - 8.3.1 Германия (промышленное производство и оптическое стекло)
 - 8.3.2 Франция и Соединенное Королевство (специализированные заявки)
- 8.4 Другие регионы
 - 8.4.1 Южная Америка (металлургический спрос в Чили и Перу)
 - 8.4.2 Ближний Восток и Африка (потенциал развивающихся рынков)
- 8.5 Характеристики глобальных рынков приложений
 - 8.5.1 Отраслевое распределение
 - 8.5.2 Региональные различия

Приложение

- A. Глоссарий
- B. Ссылки
- C. Технические стандарты и спецификации на молибденовые электроды

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКИХ ПРАВАХ И ЮРИДИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

Глава 1 Обзор молибденовых электродов

А.А Что такое молибденовый электрод

Молибденовый электрод представляет собой высокоэффективный электродный материал, основным компонентом которого является молибден (молибден, <http://molybdenum.com.cn>). Он широко используется во многих промышленных областях благодаря своим превосходным высокотемпературным характеристикам, коррозионной стойкости и проводимости. Молибден — переходный металл с символом элемента Mo и атомным номером 42. В основном он существует в природе в виде молибденита (MoS_2). Молибденовые электроды обычно изготавливаются методом порошковой металлургии. Содержание молибдена обычно должно достигать более 99,95%, а плотность — более $10,15 \text{ г/см}^3$ для обеспечения стабильности в экстремальных условиях. В качестве функционального материала молибденовые электроды могут быть стержневыми, пластинчатыми или проволочными. Конкретная форма зависит от сценария ее использования. Например, стержневые конструкции в основном используются в стекловаренных печах, в то время как проволочные молибденовые электроды могут использоваться в некоторых электронных устройствах.

Основное преимущество молибденовых электродов заключается в их физических и химических свойствах. Его температура плавления достигает 2623°C , уступая только вольфраму, что позволяет ему выдерживать экстремально высокие температуры без плавления или деформации. Кроме того, молибден обладает низким удельным сопротивлением (около $5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$) и высокой теплопроводностью ($138 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$), что делает его отличным решением для применений, требующих эффективной проводимости тока и тепла. В то же время молибден демонстрирует отличную коррозионную стойкость в неокисляющих кислотах, расплавленном стекле и некоторых щелочных средах, что еще больше расширяет его промышленное использование. Тем не менее, молибденовые электроды также имеют ограничения, такие как легкое образование летучих оксидов (таких как MoO_3) в окислительных средах, поэтому их обычно необходимо использовать в инертных газах (таких как аргон или азот) или восстановительных средах (таких как водород).

Структурно микроскопический размер зерен и плотность молибденовых электродов оказывают существенное влияние на их производительность. Контролируя условия спекания в процессе производства молибденовых электродов высокой чистоты, можно получить однородную структуру зерна, тем самым повышая их механическую прочность и долговечность. По данным CTIA GROUP LTD, поверхность молибденовых электродов обычно необходимо полировать, чтобы снизить риск дугового разряда и коррозии во время использования. Кроме того, молибденовые электроды также могут быть изготовлены по индивидуальному заказу в соответствии с потребностями заказчика, например, путем добавления следов редкоземельных элементов (таких как лантан или церий) для повышения их сопротивления ползучести при высоких температурах.

В реальной промышленности широко используются молибденовые электроды. Например, в стекольной промышленности он используется в качестве нагревательного элемента для

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКИХ ПРАВАХ И ЮРИДИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

полностью электрических стекловаренных печей, которые могут напрямую нагревать расплавленное стекло электричеством, заменяя традиционную тяжелую энергию нефти или газа. Такая замена не только повышает эффективность производства, но и значительно сокращает выбросы углекислого газа, что соответствует современному тренду «зеленого» производства. В металлургической промышленности молибденовые электроды часто используются в высокотемпературных плавильных печах или дуговых печах для производства высокоэффективных сплавов. В электронной промышленности молибденовые электроды часто используются в качестве электродных материалов для вакуумных трубок или полупроводниковых приборов из-за их высокой проводимости и стабильности.

1.2 История и развитие молибденовых электродов

История развития и применения молибденовых электродов восходит к концу 19-го и началу 20-го веков, когда ученые и инженеры начали изучать потенциал металлов с высокой температурой плавления в промышленности. Как редкий металл, промышленное применение молибдена началось поздно, в основном из-за отсутствия технологий рафинирования и обработки в то время. Самые ранние молибденовые продукты были извлечены из молибденовых руд методом химического восстановления, но чистота была низкой и не могла удовлетворить требования электродных материалов. Только в начале 20 века молибденовые электроды постепенно вошли в стадию промышленного производства с прорывом в технологии порошковой металлургии.

В 1920-х годах молибденовые электроды начали появляться в стекольной промышленности. В то время производство стекла в основном полагалось на мазут или газовое отопление, которое было неэффективным и загрязняло окружающую среду. С развитием технологии электроплавания люди обнаружили, что высокая температура плавления молибдена и коррозионная стойкость делают его очень подходящим в качестве материала электродов в стекловаренных печах. В конце 1920-х годов некоторые производители стекла в Соединенных Штатах взяли на себя инициативу в попытках использовать молибденовые электроды и обнаружили, что они могут не только выдерживать высокую температуру и коррозионную активность расплавленного стекла, но и значительно улучшать прозрачность и качество стекла. Это открытие способствовало широкому использованию молибденовых электродов в стекольной промышленности.

Во время Второй мировой войны спрос на молибден резко возрос, потому что он широко использовался для производства жаропрочных сплавов в военной технике, такой как танковая броня и детали авиационных двигателей. Хотя молибденовые электроды не были основным продуктом в то время, развитие технологии обработки молибдена после войны заложило основу для дальнейшего развития молибденовых электродов. В 1950-х годах, с популяризацией полностью электрических стекловаренных печей, молибденовые электроды стали неотъемлемой частью стекольной промышленности. В то же время быстрое развитие электронной промышленности также открыло новые рынки для молибденовых электродов, таких как ключевые электродные материалы в вакуумных и разрядных трубках.

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКИХ ПРАВАХ И ЮРИДИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

Вступая в 21 век, области применения молибденовых электродов еще больше расширились. Аэрокосмическая промышленность начала использовать молибденовые электроды для производства высокотемпературного экспериментального оборудования и компонентов ядерных реакторов, а появление новых областей энергии (таких как солнечные батареи и ветроэнергетическое оборудование) также принесло новые точки роста молибденовых электродов. Согласно документу «Применение и развитие молибдена» [2], в последние годы процесс производства молибденовых электродов постоянно совершенствуется. Например, его характеристики были значительно улучшены за счет легирования редкоземельными элементами или внедрения новых технологий нанесения покрытий на поверхность. Кроме того, в связи со все более строгими экологическими нормами, молибденовые электроды постепенно вытеснили некоторые традиционные материалы из-за их низких загрязняющих свойств и стали важным выбором для экологически чистого производства.

С глобальной точки зрения, развитие молибденовых электродов тесно связано с процессом индустриализации Китая, США и Европы. Будучи крупнейшим производителем молибдена на сегодняшний день, промышленность молибденовых электродов в Китае быстро выросла за последние несколько десятилетий, особенно в районах, богатых ресурсами молибдена, таких как Шэньси и Хэнань. Соединенные Штаты и Европа, с другой стороны, доминируют на рынке высококачественных молибденовых электродов благодаря передовым производственным технологиям и возможностям исследований и разработок. Например, Climax Molybdenum в США и Plansee в Австрии являются отраслевыми лидерами в области прецизионной обработки и изготовления молибденовых электродов по индивидуальному заказу.

1.3 Значение молибденовых электродов в современной промышленности

В современной промышленности важность молибденовых электродов отражается во многих аспектах. Во-первых, его превосходная производительность при высоких температурах и агрессивных средах делает его идеальным выбором для многих ключевых процессов. Если взять в качестве примера стекольную промышленность, то рабочая температура полностью электрической стекловаренной печи обычно превышает 1500 °C, а расплавленное стекло также содержит различные коррозионные компоненты (например, оксиды щелочных металлов). Молибденовые электроды могут стабильно работать в течение длительного времени в таких экстремальных условиях, а срок их службы может достигать тысяч часов, что значительно снижает затраты на обслуживание и время простоя оборудования.

Во-вторых, высокая электропроводность и теплопроводность молибденовых электродов дают им значительные преимущества в сценариях, требующих эффективной передачи энергии. Например, в электронной промышленности молибденовые электроды используются в качестве мишеней для распыления при производстве тонкопленочных транзисторов и экранов дисплеев, а их равномерное распределение тока и теплопроводность обеспечивают стабильность качества продукции. В металлургической промышленности использование молибденовых электродов в электродуговых печах может повысить эффективность плавки и помочь в производстве высокопрочных специальных сталей и сплавов.

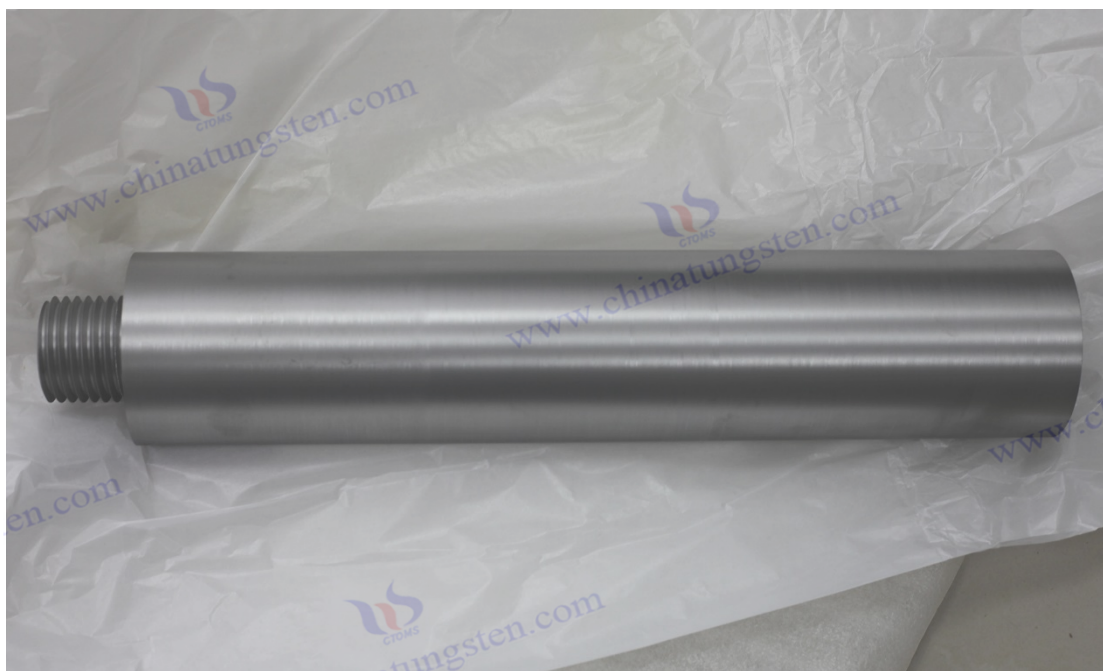
ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКИХ ПРАВАХ И ЮРИДИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

Кроме того, экологичность молибденовых электродов также отражает их важность. Традиционные процессы варки стекла основаны на ископаемом топливе, которое не только потребляет много энергии, но и производит много углекислого газа и сульфидов. Технология электроплавания с использованием молибденовых электродов нагревается за счет электрической энергии и практически не производит загрязняющих веществ, что соответствует глобальным целям по сокращению выбросов. Согласно отчету China Tungsten Online [1], использование молибденовых электродов может сократить выбросы углекислого газа на десятки тысяч тонн в год, что особенно заметно в условиях текущей экологической политики.

Молибденовые электроды также сыграли свою роль в содействии развитию новых технологий. Например, в аэрокосмической отрасли молибденовые электроды используются для изготовления устойчивых к высоким температурам экспериментальных печей для проверки характеристик новых материалов в экстремальных условиях. В атомной промышленности молибденовые электроды используются в некоторых компонентах ядерных реакторов из-за их радиационной стойкости и стабильности при высоких температурах. С популяризацией оборудования для возобновляемых источников энергии также изучается потенциальное применение молибденовых электродов в солнечных батареях и системах хранения энергии.

С экономической точки зрения, несмотря на то, что высокая производительность молибденовых электродов сопровождается более высокой начальной стоимостью, их длительный срок службы и низкие требования к техническому обслуживанию делают их общую экономическую эффективность выше, чем у многих альтернативных материалов. Например, в стекольной промышленности стоимость использования комплекта молибденовых электродов может быть на 30% выше, чем у графитовых электродов, но срок его службы в 2-3 раза больше, чем у графита, что в конечном итоге снижает себестоимость единицы продукции. Эта экономическая выгода делает молибденовые электроды высококонкурентоспособными на мировом рынке.

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКИХ ПРАВАХ И ЮРИДИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ



CTIA GROUP LTD Молибденовый электрод Фотографии

Глава 2 Основные характеристики молибденовых электродов

2.1 Физические характеристики молибденовых электродов

2.1.1 Температура плавления и плотность молибденовых электродов

Температура плавления молибденовых электродов достигает 2623 °C, что делает его одним из немногих материалов, способных сохранять структурную целостность при экстремально высоких температурах, уступая только вольфраму (3422 °C). Высокая температура плавления обусловлена прочными металлическими связями между атомами молибдена, что затрудняет разрушение его кристаллической структуры при высоких температурах. В практических приложениях, таких как стекловаренные печи, рабочая температура обычно составляет 1600-1800 °C, и молибденовые электроды могут легко выдерживать эту температуру без плавления или значительного размягчения.

Плотность молибдена составляет 10,2 г/см³, что немного ниже, чем у вольфрама (19,25 г/см³), но намного выше, чем у обычных промышленных металлов, таких как железо (7,87 г/см³). Такой уровень плотности не только обеспечивает структурную стабильность молибденового электрода, но и делает его умеренно тяжелым и простым в обработке и монтаже. Плотность напрямую влияет на плотность и механические свойства электрода. В процессе производства, контролируя условия спекания (такие как температура и давление), плотность молибденовых электродов обычно может достигать более 98% от теоретического значения, тем самым снижая внутреннюю пористость и повышая долговечность.

В реальных испытаниях температура плавления и плотность молибденовых электродов позволяют им превосходить многие традиционные материалы в высокотемпературных средах. Например, при плавке стекла молибденовые электроды могут подвергаться

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКИХ ПРАВАХ И ЮРИДИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

воздействию расплавленного стекла в течение длительного времени без существенной физической деградации. Согласно исследованию «Физические и химические свойства молибденовых материалов» [1], высокая температура плавления и умеренная плотность в совокупности обеспечивают устойчивость и надежность молибденовых электродов в экстремальных условиях.

2.1.2 Электропроводность и теплопроводность молибденовых электродов

Электропроводность молибденовых электродов является одним из их основных преимуществ в качестве материала электродов. Его удельное сопротивление составляет $5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$, что немного выше, чем у меди ($1,68 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$), но это уже отличный уровень среди высокотемпературных металлов. Такое удельное сопротивление позволяет молибденовым электродам эффективно передавать ток при подаче питания, снижая потери энергии. В стекловаренной печи молибденовые электроды генерируют джоулево тепло, непосредственно пропуская электричество, а их электропроводность напрямую определяет эффективность нагрева и однородность температуры.

Теплопроводность молибдена составляет 138 Вт/м·К, что значительно выше, чем у графита (около 30-50 Вт/м·К) и уступает только меди (401 Вт/м·К). Высокая теплопроводность означает, что молибденовые электроды могут быстро передавать тепло изнутри электрода внешней среде, чтобы избежать локального перегрева. Это свойство особенно важно в тех случаях, когда требуется точный контроль температуры. Например, при производстве оптического стекла равномерная теплопроводность молибденовых электродов помогает уменьшить дефекты термического напряжения в стекле.

В реальных случаях электропроводность и теплопроводность молибденовых электродов была широко проверена. Например, в процессе распыления в полупроводниковой промышленности, когда молибденовые электроды используются в качестве мишеней, их эффективные возможности по току и теплопроводности обеспечивают равномерность осаждения тонких пленок. Согласно информации из China Tungsten Online [2], эти характеристики молибденовых электродов дают им очевидные преимущества в мощных электронных устройствах.

2.1.3 Коэффициент теплового расширения и механическая прочность молибденовых электродов

Коэффициент теплового расширения молибдена составляет $4,8 \times 10^{-6}/\text{К}$, что значительно ниже, чем у меди ($16,5 \times 10^{-6}/\text{К}$) и стали ($11-13 \times 10^{-6}/\text{К}$). Это свойство означает, что молибденовые электроды меньше деформируются при резком изменении температуры и могут сохранять структурную целостность. В стекловаренной печи молибденовый электрод должен пройти процесс быстрого нагрева от комнатной температуры до высокой температуры, а низкий коэффициент теплового расширения эффективно снижает риск образования трещин, вызванных термическим напряжением.

Механическая прочность молибдена по-прежнему превосходна при высоких температурах. Его предел прочности на разрыв при комнатной температуре составляет около 600-800

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКИХ ПРАВАХ И ЮРИДИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

МПа, который постепенно уменьшается с повышением температуры, но все еще может поддерживать около 300 МПа при 1000°C. Этой прочности достаточно, чтобы справиться с механическими нагрузками в промышленном применении. Однако молибден обладает низкой пластичностью, особенно при низких температурах, он хрупкий и склонен к хрупкому разрушению. Поэтому во время обработки и монтажа обычно необходимо нагревать до 200-300°C для улучшения его пластичности.

В практическом применении коэффициент теплового расширения и механическая прочность молибденовых электродов напрямую влияют на срок их службы. Например, в высокотемпературных экспериментальных печах молибденовые электроды должны выдерживать частые термические циклы. Низкий коэффициент теплового расширения снижает усталостные повреждения, в то время как высокая механическая прочность обеспечивает стабильность их конструкции.

2.2 Химические свойства молибденовых электродов

2.2.1 Коррозионная стойкость и химическая стабильность молибденовых электродов

Коррозионная стойкость молибденовых электродов в неокисляющих средах является одним из главных его преимуществ. Он может противостоять коррозии от различных химических веществ, включая неокисляющие кислоты, такие как соляная кислота, серная кислота и фтористоводородная кислота. В стекольной промышленности расплавленное стекло содержит множество коррозионных компонентов (таких как Na_2O и K_2O), и молибденовые электроды могут использоваться в течение длительного времени в этой среде без значительной коррозии. Согласно экспериментальным данным, скорость коррозии молибдена в расплавленном стекле обычно составляет менее 0,1 мм/год, что намного ниже, чем у графита или стали.

Химическая стабильность молибдена также отражается на его коррозионной стойкости к расплавленным металлам. В металлургической промышленности молибденовые электроды часто используются для выплавки таких металлов, как алюминий и магний. Их поверхности не вступают в химическую реакцию с этими металлами, тем самым сохраняя целостность электрода. Однако в сильных окисляющих кислотах (таких как азотная кислота) молибден обладает плохой коррозионной стойкостью и легко подвержен быстрой коррозии.

2.2.2 Поведение молибденовых электродов при высокотемпературном окислении

Окислительные свойства молибденовых электродов при высоких температурах являются одним из их основных ограничений. Когда температура превышает 600°C, молибден вступает в реакцию с кислородом с образованием триоксида молибдена (MoO_3), летучего соединения, которое вызывает быструю потерю поверхности электрода. В воздухе с температурой выше 1000°C скорость окисления молибдена значительно ускоряется, что может полностью разрушить электродную структуру в течение нескольких часов. Поэтому молибденовые электроды обычно должны работать в инертном газе (например, аргоне) или восстановительной атмосфере (например, водороде).

Для решения этой проблемы в промышленности часто используется технология

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКИХ ПРАВАХ И ЮРИДИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

поверхностного покрытия, такая как покрытие слоем силицида молибдена (MoSi_2) или оксида алюминия для повышения их стойкости к окислению. Эти покрытия могут образовывать защитную пленку при высоких температурах, что значительно продлевает срок службы молибденовых электродов. Например, в некоторых экспериментальных печах срок службы молибденовых электродов с покрытием может быть увеличен более чем на 50% по сравнению с электродами без покрытия.

2.3 Форма и технические характеристики молибденового электрода

2.3.1 Распространенные формы молибденовых электродов (стержни, пластины, проволоки и т.д.)

Молибденовые электроды имеют различные формы и разрабатываются в соответствии с различными целями использования. Палочковидные молибденовые электроды являются наиболее распространенной формой, диаметром обычно 20-152,4 мм и длиной до 1500 мм. В основном они используются в стекловаренных печах и металлургических печах. Пластиночные молибденовые электроды в основном используются в сценариях, где требуются большие площади проводимости, например, в полупроводниковых мишенях для распыления, а их толщина обычно составляет 2-20 мм. Проволочные молибденовые электроды обычно имеют диаметр 0,1-3 мм и часто используются в прецизионной сварке или электронных устройствах.

Технология обработки для каждой формы разная. Например, стержневые электроды должны быть сформированы путемковки и токарной обработки, в то время как проволочные электроды должны пройти несколько процессов волочения проволоки. По данным China Tungsten Online [2], существенной разницы в производительности между молибденовыми электродами разных форм нет, но сценарии их применения существенно различаются.

2.3.2 Размер молибденового электрода и возможности его настройки

Молибденовые электроды доступны в широком диапазоне размеров для удовлетворения различных промышленных потребностей. Стандартные стержневые электроды имеют диаметр от 20 мм до 152,4 мм и могут быть адаптированы к конструкции печи длиной до 2 м. Пластиночные электроды более гибкие по размеру, с шириной и длиной до 500 мм×1000 мм. Проволочные электроды могут иметь точный диаметр до микрометров для высокоточных применений.

Индивидуальная настройка является основной особенностью молибденовых электродов. Клиенты могут указать размер, чистоту и обработку поверхности в зависимости от конкретных потребностей. Например, в аэрокосмической отрасли могут потребоваться сверхдлинные молибденовые электроды для размещения специальных экспериментальных печей, в то время как в электронной промышленности могут потребоваться ультратонкие молибденовые пластины для удовлетворения требований тонкопленочного осаждения. Такие производители, как CTIA GROUP LTD (Xiamen) Technology Co., Ltd., могут предоставить услуги по настройке полного процесса от проектирования до обработки.

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКИХ ПРАВАХ И ЮРИДИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ



CTIA GROUP LTD Молибденовый электрод Изображение

Глава 3 Процесс производства молибденового электрода

3.1 Источник и подготовка сырья для молибденового электрода

3.1.1 Добыча молибденовой руды

Производство молибденового электрода начинается с добычи молибденовой руды. Молибден в основном существует в природе в виде молибденита (MoS_2), на долю которого приходится более 90% мировых запасов молибдена. Молибденит обычно соседствует с медными рудниками и распространен в провинциях Хэнань, Шэньси, Колорадо, США и горнодобывающем районе Чукикамата в Чили. В процессе экстракции сначала отделяется молибденовый концентрат от руды по технологии флотации, и содержание молибдена в нем может достигать 45%-50%. Затем концентрат обжигают при высокой температуре с получением триоксида молибдена (MoO_3). Этот этап необходимо проводить на воздухе, чтобы обеспечить превращение сульфидов в оксиды и выделение газообразного диоксида серы.

Обоженный триоксид молибдена дополнительно очищается химическими методами, обычно с использованием кислотно-щелочной экстракции или технологии экстракции растворителем для удаления примесей (таких как железо, медь и свинец). Для повышения чистоты в промышленности часто используется процесс аммонизации для преобразования триоксида молибдена в паравольфрамат аммония (АПТ, $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$), а затем восстановления его до оксида молибдена высокой чистоты путем высокотемпературного разложения. Этот метод позволяет снизить содержание примесей до нескольких частей на миллион (ppm), удовлетворяя высоким требованиям чистоты молибденовых электродов. По данным China Tungsten Online (<http://www.tungsten-oxide.com>), Китай является крупнейшим в мире производителем молибденовой руды, объем производства которого в 2023 году

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКИХ ПРАВАХ И ЮРИДИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

составил более 120 000 тонн, что составляет более 40% мирового объема.

3.1.2 Приготовление порошка молибдена высокой чистоты

Порошок молибдена высокой чистоты является основным сырьем для производства молибденовых электродов и обычно изготавливается из триоксида молибдена или паравольфрамата аммония путем восстановления водорода. Процесс восстановления осуществляется в высокотемпературной (800-1000°C) водородной атмосфере, а уравнение реакции выглядит следующим образом: $\text{MoO}_3 + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{Mo} + 3\text{H}_2\text{O}$. Метод восстановления водорода может значительно снизить содержание кислорода, так что чистота порошка молибдена достигает более 99,95%, а размер частиц обычно составляет от 1 до 5 мкм, что подходит для последующего процесса порошковой металлургии.

Для дальнейшей оптимизации характеристик молибденового порошка в промышленности часто используется технология шарового фрезерования или фрезерования воздушным потоком для регулировки распределения частиц по размерам и обеспечения однородности частиц. Равномерность распределения частиц по размерам напрямую влияет на плотность прессованного формования и механические свойства после спекания. Компания China Tungsten Online (<http://www.tungsten-powder.com>) отметила, что в последние годы исследования и разработки наноразмерного молибденового порошка привлекли внимание, а его меньший размер частиц может улучшить плотность и проводимость молибденовых электродов. Тем не менее, стоимость производства нано-молибденового порошка относительно высока, и в настоящее время он в основном используется в высокотехнологичных приложениях.

3.2 Процесс производства сердечника молибденового электрода

3.2.1 Метод порошковой металлургии

3.2.1.1 Прессование

Порошковая металлургия является основным процессом производства молибденовых электродов, и его первым этапом является прессование. Порошок молибдена высокой чистоты помещается в форму и прессуется механическим давлением или холодным изостатическим прессованием (CIP). При холодном изостатическом прессовании используется жидкость под высоким давлением (обычно вода или масло) для равномерного приложения давления, которое может достигать 200-300 МПа. Этот метод позволяет обеспечить равномерную плотность заготовки и снизить внутреннюю пористость. Плотность прессованной заготовки обычно достигает 60%-70% от теоретической плотности, закладывая основу для последующего спекания.

Конструкция пресс-формы имеет решающее значение для прессования. Материалы пресс-форм обычно изготавливаются из твердого сплава или высокопрочной стали, чтобы выдерживать высокое давление и многократное использование. Геометрия формы должна точно соответствовать конечной форме молибденового электрода, например, для стержневого электрода требуется цилиндрическая форма. В процессе прессования ключевым фактором является текучесть молибденового порошка. Слишком низкая

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКИХ ПРАВАХ И ЮРИДИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

текучесть может привести к неравномерной плотности. Поэтому часто добавляют небольшое количество смазки (например, стеарата цинка) для улучшения текучести порошка и снижения износа пресс-формы.

3.2.1.2 Высокотемпературное спекание

Прессованная молибденовая заготовка должна быть обработана в высокотемпературной печи для спекания, обычно в водородной или вакуумной среде, с температурным диапазоном 1800-2200°C. В процессе спекания улучшается плотность и прочность заготовки за счет атомной диффузии, что делает ее близкой к теоретической плотности (10,2 г/см³). Водородная защита предотвращает реакцию молибдена с кислородом, в то время как вакуумное спекание подходит для применений с высокими требованиями к чистоте.

Оптимизация температуры и времени спекания имеет решающее значение для качества конечного продукта. Слишком высокая температура может привести к чрезмерному росту зерна и снижению механической прочности; Слишком низкая температура приведет к недостаточной плотности, что скажется на проводимости и коррозионной стойкости. По данным China Tungsten Online (baike.ctia.com.cn), в современных печах для спекания используется прецизионная технология контроля температуры, а колебания температуры контролируются в пределах $\pm 5^{\circ}\text{C}$ для обеспечения стабильного качества продукции.

3.2.2 Последующая обработка (ковка, прокатка, волочение проволоки)

Заготовка из спекенного молибдена обычно требует дальнейшей обработки для достижения окончательной формы и требований к производительности. Ковка улучшает плотность и механическую прочность молибдена за счет многократной ударной или экструзии, особенно для стержневых электродов. Температура ковки обычно составляет 1200-1500°C для обеспечения достаточной пластичности молибдена. Прокат используется для производства пластинчатых или полосовых молибденовых электродов. Заготовка прессуется в тонкую пластину с помощью нескольких проходов прокатки, а толщина может быть точной до нескольких миллиметров.

Волочение проволоки в основном используется для изготовления проволочных молибденовых электродов. Обычно он использует несколько проходов волочения и обработку отжигом для снятия внутреннего напряжения. В процессе волочения проволоки диаметр молибденовой проволоки может быть уменьшен с нескольких миллиметров до десятков микрон, что подходит для прецизионных применений в электронной промышленности. Точность последующей обработки напрямую влияет на качество поверхности и срок службы молибденового электрода. Например, шероховатость поверхности необходимо контролировать ниже Ra 0,8 мкм.

3.3 Обработка поверхности и контроль качества молибденовых электродов

3.3.1 Полировка и антиокислительная обработка

Обработка поверхности молибденовых электродов является ключевым этапом для повышения их производительности и срока службы. Полировка удаляет поверхностные

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКИХ ПРАВАХ И ЮРИДИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

дефекты механическим или электрохимическим методами до шероховатости менее Ra 0,2μm. Полированный молибденовый электрод имеет гладкую поверхность, что снижает риск возникновения дугового разряда и коррозии в процессе эксплуатации. Для механической полировки обычно используется алмазный шлифовальный круг или полировальная паста, в то время как электрохимическая полировка удаляет поверхностные микроскопические выступы через электролит (например, смесь серной кислоты и фосфорной кислоты).

Для повышения стойкости к окислению поверхность молибденовых электродов часто покрывают слоем стойкости к окислению, таким как силицид молибдена (MoSi_2) или оксид алюминия (Al_2O_3). Эти покрытия могут образовывать плотную защитную пленку при высоких температурах, чтобы предотвратить реакцию кислорода с молибденом. Например, покрытия из силицида молибдена могут оставаться стабильными на воздухе при температуре 1000 °C, что значительно продлевает срок службы молибденовых электродов. Компания China Tungsten Online (www.chinatungsten.com) сообщила, что применение технологии нанесения покрытий позволило увеличить срок службы молибденовых электродов в стекловаренных печах более чем на 30%.

3.3.2 Методы тестирования производительности

Контроль качества молибденовых электродов проходит на протяжении всего производственного процесса. Эксплуатационные испытания включают в себя измерение плотности (обычно с использованием метода Архимеда), определение твердости (твердомер Роквелла или Виккерса), измерение удельного сопротивления (метод четырех зондов) и анализ химического состава (ICP-MS или XRF). Плотность является важным показателем для оценки уплотнения, а плотность стандартных молибденовых электродов должна достигать 10,15-10,2 г/см³. Испытание на твердость отражает механическую прочность материала, которая обычно составляет от 70 до 90 HRB.

Кроме того, ультразвуковой контроль и рентгеновский контроль используются для проверки внутренних дефектов, таких как поры или трещины. Качество поверхности оценивается с помощью микроскопических наблюдений или измерения шероховатости для обеспечения соответствия промышленным стандартам. Эти методы испытаний гарантируют, что характеристики молибденовых электродов соответствуют требованиям применения.

3.4 Инновации и совершенствование процесса производства молибденовых электродов

3.4.1 Новые технологии (например, 3D-печать)

Технология 3D-печати (аддитивное производство) открыла новые возможности для производства молибденовых электродов. Молибденовые электроды сложной формы могут быть напечатаны непосредственно из молибденового порошка с помощью технологии селективного лазерного плавления (SLM) или электронно-лучевого плавления (EBM). Этот метод особенно подходит для мелкосерийного производства по индивидуальному заказу. Например, для аэрокосмической отрасли могут потребоваться молибденовые электроды

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКИХ ПРАВАХ И ЮРИДИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

специальной формы, а 3D-печать может значительно сократить производственный цикл.

Однако 3D-печать молибденовых электродов сталкивается с такими проблемами, как контроль стабильности бассейна расплава и сложность постобработки. Текущие исследования сосредоточены на оптимизации параметров печати и разработке порошков молибдена с высокой сыпучестью. Согласно отчету China Tungsten Online (cn.ctia.group), плотность напечатанных на 3D-принтере молибденовых электродов близка к плотности традиционной порошковой металлургии, но стоимость все еще высока.

3.4.2 Тенденции экологически чистого производства

С ужесточением экологических норм производство молибденовых электродов постепенно смещается в сторону «зеленого» производства. При традиционном процессе спекания образуется небольшое количество отходящих газов (например, влаги в водороде), а современные предприятия используют высокоэффективные технологии фильтрации и рекуперации для снижения выбросов. Например, водородная система замкнутого цикла может перерабатывать влагу из отходящих газов в водород, снижая потребление энергии и загрязнение. Компания China Tungsten Online (news.chinatungsten.com) отметила, что применение энергосберегающих печей для спекания и возобновляемых источников энергии становится отраслевой тенденцией.

Кроме того, внимание уделяется и переработке отходов молибдена. Отработанные молибденовые электроды могут быть повторно переработаны в молибденовый порошок химическими или физическими методами, а уровень переработки может достигать более 90%. Это не только снижает производственные затраты, но и сокращает потери ресурсов.



CTIA GROUP LTD Молибденовый электрод Изображение

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКИХ ПРАВАХ И ЮРИДИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

Глава 4 Основные источники происхождения молибденовых электродов

4.1 Распределение мировых ресурсов молибдена

4.1.1 Основные районы добычи молибденовой руды (Китай, США, Чили и др.)

Мировые ресурсы молибдена в основном распределены в нескольких странах, среди которых доминируют Китай, США и Чили. Китай является крупнейшим в мире производителем молибдена, запасы молибдена составляют около 50% от мировых, в основном распределены в уезде Луши, провинциях Хэнань, Цзиньдуйчэн, Шэньси и Уланкаб, Внутренняя Монголия. Запасы молибденита на этих участках богаты и богаты, со средним содержанием молибдена 0,1%-0,3%. В 2023 году производство молибдена в Китае превысило 120 000 тонн, что составляет более 40% от мирового.

Соединенные Штаты являются еще одним важным районом производства молибдена, с запасами около 20% от мировых, в основном сосредоточенными в горнодобывающем районе Climax в Колорадо и горнодобывающем районе Thompson Creek в штате Юта. Рудник Climax является крупнейшим в мире молибденовым рудником с историческим объемом добычи более 2 миллионов тонн. Ресурсы молибдена в Чили в основном сосуществуют с медными рудниками, сосредоточенными в районах добычи Чукикамата и Эскондиды, при этом производство молибдена составляет около 10% от общего объема добычи в мире, в основном в качестве побочного продукта медного концентрата.

Другие производственные районы включают Россию (Сибирь), Канаду (Британская Колумбия) и Перу (район Арекипы), но добыча относительно небольшая, запасы составляют около 10%.

Добыча молибдена в этих районах ограничена рельефом местности и условиями окружающей среды, а стоимость разработки высока.

4.1.2 Производство и запасы молибдена

По данным Международной ассоциации молибдена (ИМОА), мировое производство молибдена в 2023 году составит около 300 000 тонн, из которых Китай внесет 125 000 тонн, США — 40 000 тонн, а Чили — 30 000 тонн. Мировые запасы молибдена оцениваются в 15 миллионов тонн, что достаточно для удовлетворения спроса на добычу полезных ископаемых в ближайшие 50 лет. Однако дисбаланс в распределении ресурсов молибдена привел к большим колебаниям рыночных цен, особенно в периоды геополитической напряженности. Экспортная политика Китая, как крупного поставщика, оказывает значительное влияние на мировой рынок.

Добыча и переработка молибдена также должны учитывать воздействие на окружающую среду. Например, в процессе флотации молибденита образуются хвосты и сточные воды, которые необходимо тщательно очищать для снижения загрязнения. В последние годы многие страны приняли законы, обязывающие предприятия внедрять «зеленые» технологии добычи полезных ископаемых, такие как сухое штабелирование хвостов и рециркуляция

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКИХ ПРАВАХ И ЮРИДИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

воды. China Tungsten Online (news.chinatungsten.com) сообщила, что Китай продвигает пилотный проект по зеленой добыче молибденовых рудников с целью сокращения потребления энергии молибденовыми рудниками на 15% к 2025 году.

4.2 Базы производства молибденовых электродов

4.2.1 Китай (провинции Шэньси, Хэнань и другие регионы)

Китайские базы по производству молибденовых электродов в основном сосредоточены в провинциях Цзиньдуйчэн, провинция Шэньси и Лоян, провинция Хэнань. Jinduicheng Molybdenum является крупнейшим предприятием по производству молибдена в Китае с годовым объемом производства более 50 000 тонн молибденового концентрата и продуктов. Его изделия из молибденовых электродов широко используются в стекольной и металлургической промышленности. Шэньси стал центром производства молибденовых электродов в Китае благодаря своим богатым ресурсам молибдена и прочной промышленной базе.

Лоян, провинция Хэнань, является еще одной важной производственной площадкой. Luoyang Molybdenum Group (LME) является ведущим мировым поставщиком молибденовой продукции с годовым объемом производства более 20 000 тонн молибденовых электродов. Район Лоян продвигает технологические инновации молибденовых электродов, такие как технология антиокислительного покрытия, опираясь на местные университеты и научно-исследовательские институты (такие как Институт исследований металлов Китайской академии наук).

4.2.2 Соединенные Штаты Америки (Колорадо, Юта и т.д.)

Производство молибденовых электродов в Соединенных Штатах в основном сосредоточено в горнодобывающем районе Climax в Колорадо и горнодобывающем районе Thompson Creek в штате Юта. Climax Molybdenum является крупнейшим производителем молибдена в Соединенных Штатах, и его молибденовая электродная продукция в основном экспортируется на рынки Северной Америки и Европы. На производстве молибденовых электродов в Колорадо используется передовое оборудование для автоматизации, а эффективность производства и качество продукции являются одними из лучших в мире.

Горнодобывающий район Томпсон-Крик в штате Юта специализируется на производстве молибденовых продуктов высокой чистоты, а его молибденовые электроды широко используются в аэрокосмических и научных исследованиях. Производство молибденовых электродов в США подлежит строгому экологическому надзору, а предприятия должны соблюдать стандарты EPA (Агентство по охране окружающей среды США) в процессе производства.

4.2.3 Европа (Австрия, Германия и т.д.)

Производство молибденовых электродов в Европе осуществляется в основном в Австрии и Германии. Plansee Group в Австрии является ведущим мировым производителем молибденовой продукции с годовым объемом производства более 10 000 тонн молибденовых электродов. Ее производственная база расположена в районе Ройтте.

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКИХ ПРАВАХ И ЮРИДИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

Опираясь на местные передовые металлургические технологии и возможности прецизионной обработки, молибденовые электроды Plansee широко используются в стекольной и электронной промышленности.

H.C. Starck в Германии является еще одним важным производителем. Ее молибденовые электроды известны своей высокой чистотой и индивидуальным подходом. Немецкие производители делают упор на исследования и разработки. В последние годы они запустили молибденовые электроды, легированные редкоземельными элементами, для улучшения их высокотемпературных характеристик. Производство молибденовых электродов в Европе строго ограничено экологическими нормами ЕС, а технология «зеленого» производства стала отраслевым трендом.

4.2.4 Другие страны (Россия, Канада и т.д.)

Производство молибденовых электродов в России в основном сосредоточено в Норильском горнодобывающем районе в Сибири. «Норильский никель» является основным производителем, с годовым объемом производства около 5 000 тонн молибденовой продукции. Российские молибденовые электроды в основном используются в отечественной металлургической промышленности, а объем экспорта относительно невелик.

Производство молибденовых электродов в Канаде сосредоточено в горнодобывающем районе Эндако в Британской Колумбии, а основным предприятием является Thompson Creek Metals. Продукция с молибденовыми электродами в основном обслуживает рынок Северной Америки, а области ее применения включают научные исследования и аэрокосмическую промышленность. Производство молибдена в Канаде ограничено запасами ресурсов, и его производство составляет всего около 1% от общемирового объема.

4.3 Обзор основных производителей

4.3.1 CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD (<http://molybdenum.com.cn/Chinese/molybdenum-electrodes.html>) — ведущий производитель молибденовых электродов в Китае со штаб-квартирой в Сямыне. Опираясь на богатые ресурсы молибдена и передовое производственное оборудование, продукция компании охватывает области стекла, металлургии и электроники. CTIA GROUP LTD также предоставляет индивидуальные услуги, такие как сверхдлинные стержневые электроды и продукты с антиокислительным покрытием, а ее технический уровень занимает лидирующие позиции в Азии.

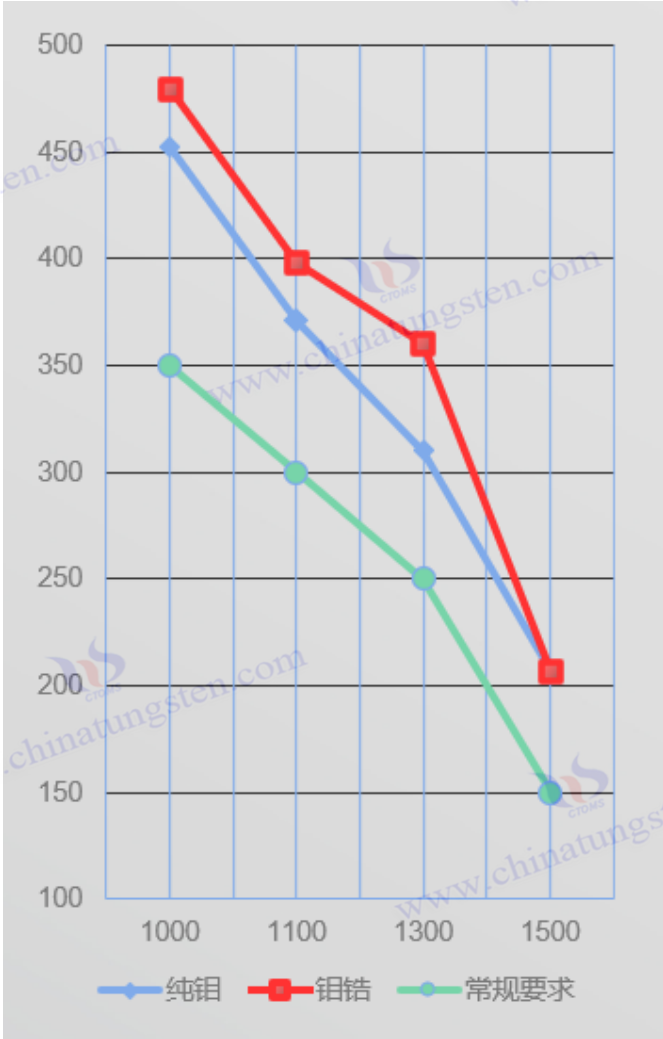
CTIA GROUP LTD в основном предлагает три типа электродной продукции: электрод из чистого молибдена, молибденовый электрод с антиокислительным покрытием и керамический молибденовый электрод, армированный оксидом циркония. Предоставляемая продукция обладает следующими преимуществами:

- Охват всех спецификаций и размеров, большой процесс деформационной штамповки, длительный срок службы

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКИХ ПРАВАХ И ЮРИДИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

- Коррозионная стойкость, хорошая стабильность
- Превосходное сопротивление ползучести
- Высокая электропроводность и теплопроводность
- Электрод с покрытием обладает отличными антиокислительными характеристиками

4.3.1.1 Сравнение характеристик электродов из молибдена и молибденового сплава CTIA GROUP LTD:



4.3.1.2 Эксплуатационные характеристики молибденового электрода CTIA GROUP LTD:

- Долговечность молибденового электрода при высоких температурах

Electrodes	Specifications	CTIA GROUP LTD
Pure Molybdenum Electrode	Ø 50.8mm	Deformation 0.37%
At 1200°C, 200MPa stress, 1000 hours		

- Производительность рекристаллизации молибденового электрода

Electrodes	Specifications	CTIA GROUP LTD	
		Deformation 60%	Deformation 90%
Pure Molybdenum Electrode	Ø 50.8mm	1250°C	1150°C
Molybdenum Zirconium Electrode	Ø 50.8mm	1480°C Above	1400°C Above

• Плотность молибденового электрода

Electrodes	Specifications	CTIA GROUP LTD
Pure Molybdenum Electrode	Ø 30.0 - 101.0 mm	>10.10
	Ø ≥ 101.0 mm	>9.90
Pure Molybdenum Electrode	Ø 30.0 - 101.0 mm	>10.0
	Ø ≥ 101.0 mm	>9.85



Изображение молибденовых электродов с покрытием производства CTIA GROUP LTD

Глава 5 Области применения молибденовых электродов

5.1 Стекольная промышленность

5.1.1 Электроды стекловаренной печи

В стекольной промышленности молибденовые электроды являются основными компонентами полностью электрических стекловаренных печей. Варка стекла требует нагрева сырья (например, кварцевого песка и карбоната натрия) до 1400-1600°C и расплавления их в однородное жидкое стекло. Традиционные методы нагрева нефти или газа имеют проблемы высокого энергопотребления и сильного загрязнения, в то время как молибденовые электроды генерируют джоулево тепло за счет прямого источника питания,

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКИХ ПРАВАХ И ЮРИДИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

обеспечивая эффективное и чистое решение для нагрева.

Стержневая форма молибденовых электродов обычно устанавливается на боковой стенке или дне печи, а электрический дуговой или резистивный нагрев формируется электричеством. Диаметр каждого молибденового электрода может достигать 50-152,4 мм, а длина может быть настроена в соответствии с размером печи, до 1,5 м и более. Его высокая температура плавления (2623 °C) и коррозионная стойкость позволяют ему противостоять оксидам щелочных металлов (таких как Na₂O, K₂O) и высокотемпературной коррозии в расплавленном стекле. Согласно тематическому исследованию, проведенному China Tungsten Online (news.chinatungsten.com), китайский стекольный завод увеличил эффективность печи на 20% и улучшил прозрачность качества стекла на 15% после использования молибденовых электродов.

5.1.2 Производство оптического стекла и специального стекла

Оптическое стекло и специальное стекло предъявляют чрезвычайно высокие требования к качеству и требуют точного контроля температуры и равномерного нагрева. Молибденовые электроды являются первым выбором в производстве оптического стекла благодаря их превосходной теплопроводности и стабильности. Например, при производстве высокоточных оптических линз молибденовые электроды обеспечивают контроль колебаний температуры расплавленного стекла в пределах $\pm 5^{\circ}\text{C}$, уменьшая дефекты, вызванные термическим напряжением.

Специальное стекло, такое как термостойкое стекло и пуленепробиваемое стекло, также используется в процессе производства молибденовых электродов. В этих областях коррозионная стойкость и длительный срок службы молибденовых электродов являются ключевыми преимуществами. Согласно статье «Применение молибденовых электродов в стекольной промышленности» [3], срок службы молибденовых электродов может достигать более 3000 часов, что значительно превышает срок службы графитовых электродов (1000 часов).

5.2 Металлургическая промышленность

5.2.1 Высокотемпературная плавильная и электродуговая печь

В металлургической промышленности молибденовые электроды широко используются в высокотемпературных плавильных и электродуговых печах для получения высокоэффективных сплавов и специальных сталей. Высокотемпературное плавление обычно требует нагрева металлического сырья до температуры выше 1500°C. Обычные угольные электроды или графитовые электроды подвержены окислению и коррозии в таких условиях, а высокая температура плавления (2623°C) и коррозионная стойкость молибденовых электродов делают их идеальным выбором.

В электродуговой печи молибденовые электроды получают напряжение для создания дуги для нагрева металлического сырья для плавки. Например, при производстве ферромолибденовых (<http://www.ferro-tungsten.com>) или молибденовых сплавов молибденовые электроды используются в качестве отрицательных или положительных

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКИХ ПРАВАХ И ЮРИДИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

электродов. Их стабильная передача тока и устойчивость к высоким температурам обеспечивают эффективность процесса плавления и качество продукции. Согласно «Применению молибдена в металлургической промышленности» [4], электродуговые печи с использованием молибденовых электродов позволяют сократить время плавки на 15-20% при одновременном улучшении чистоты сплава.

Кроме того, расширяется применение молибденовых электродов в вакуумных плавильных печах. Вакуумная среда позволяет избежать окисления, а молибденовые электроды в этих условиях имеют более длительный срок службы. Например, при производстве титановых сплавов или жаропрочных сплавов на основе никеля молибденовые электроды могут выдерживать вакуумные среды до 2000 °C без значительных потерь. Анализ конкретных случаев показывает, что после того, как американская металлургическая компания использовала молибденовые электроды, ее производственные затраты снизились на 12%, а качество продукции улучшилось на 10%.

5.2.2 Роль в производстве сплавов

Молибденовые электроды играют ключевую роль в производстве сплавов, особенно в тех случаях, когда требуется высокая температурная стабильность и проводимость. Молибден сам по себе является важным легирующим элементом, а его высокая прочность и коррозионная стойкость широко используются в стали и сплавах на основе никеля. В качестве электродного материала молибденовые электроды могут обеспечивать стабильный источник тепла и электрической энергии для плавления сплава. Например, при производстве нержавеющей и инструментальной стали молибденовые электроды используются в дуговых печах для обеспечения равномерного распределения молибденовых элементов в сплаве.

Молибденовые электроды также используются для производства композитных материалов на основе молибдена, таких как молибден-титановые сплавы или молибден-циркониевые сплавы. Эти композитные материалы широко используются в аэрокосмической и атомной промышленности, а стабильность молибденового электрода напрямую влияет на эксплуатационные характеристики конечного продукта. Компания China Tungsten Online (wiki.ctia.com.cn) сообщила, что новый тип электрода из молибдена и редкоземельного сплава улучшил свои характеристики ползучести при высоких температурах на 25%, способствуя его применению в производстве высококачественных сплавов.

5.3 Электронная и полупроводниковая промышленность

5.3.1 Вакуумные трубки и разрядные трубки

В электронной промышленности молибденовые электроды широко используются в вакуумных и разрядных трубках благодаря своей высокой проводимости и высокой температурной стабильности. Вакуумные лампы являются основными компонентами ранних электронных устройств, таких как радиоприемники, телевизоры и радары, а их внутренние электроды должны выдерживать высокие напряжения и высокие температуры в вакуумной среде. Молибденовые электроды являются идеальными материалами благодаря низкому удельному сопротивлению ($5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$) и высокой температуре плавления

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКИХ ПРАВАХ И ЮРИДИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

(2623°C) и могут стабильно работать в течение тысяч часов в вакууме.

Газоразрядные трубки, такие как ксеноновые лампы или криптоновые лампы, также используют молибденовые электроды в качестве электродного материала. Эти лампы работают при высоких температурах и высоких напряжениях, а стойкость к окислению и проводимость молибденовых электродов обеспечивают стабильность светоотдачи и срока службы. Согласно «Применению молибдена в электронной промышленности» [5], срок службы молибденовых электродов в вакуумных трубках может достигать 5000 часов, что намного превышает срок службы медных или никелевых электродов.

5.3.2 Тонкопленочное осаждение и микроэлектронные устройства

В полупроводниковой промышленности молибденовые электроды используются в качестве мишеней для распыления в процессах осаждения тонких пленок. Распыление — это технология физического осаждения из газовой фазы, при которой атомы молибдена наносятся на подложку путем бомбардировки молибденовой мишени высокоскоростными ионами с образованием проводящего или отражающего слоя. Молибденовые мишени широко используются в производстве тонкопленочных транзисторов (TFT), солнечных батарей и экранов дисплеев благодаря своей высокой чистоте (обычно выше 99,95%) и однородности.

Низкий коэффициент теплового расширения молибденовых электродов ($4,8 \times 10^{-6}/\text{K}$) хорошо сочетается с кремниевыми подложками, снижая проблемы с напряжением при осаждении тонких пленок. Например, при производстве ЖК-дисплеев мишени с молибденовыми электродами обеспечивают однородность и проводимость пленки, улучшая яркость и срок службы дисплея. Согласно тематическому исследованию China Tungsten Online (<http://www.tungsten-copper.com>), корейская полупроводниковая компания увеличила квалификационный уровень своей продукции на 8% после использования молибденовых мишеней.

Кроме того, молибденовые электроды также используются в межсоединительных материалах микроэлектронных устройств. Для микроэлектронных устройств требуются высокопроводящие и стабильные электродные материалы. Молибденовые электроды стали альтернативой меди или алюминию благодаря их антимиграционной и высокотемпературной стабильности.

5.4 Научные исследования и специальное использование

5.4.1 Высокотемпературное экспериментальное оборудование

В области научных исследований молибденовые электроды широко используются в высокотемпературном экспериментальном оборудовании, таком как вакуумные печи, плазменные печи и термические анализаторы. Эти устройства должны работать при высоких температурах выше 2000°C. Традиционные материалы, такие как графит или керамика, трудно удовлетворить требованиям, в то время как высокая температура плавления и стабильность молибденовых электродов делают их первым выбором.

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКИХ ПРАВАХ И ЮРИДИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

Например, в исследованиях в области материаловедения молибденовые электроды используются для высокотемпературных испытаний на растяжение или испытаний на тепловое расширение для проверки характеристик новых высокотемпературных материалов в экстремальных условиях. По данным «Молибденовые электроды в высокотемпературных материалах для исследований» [6], скорость деформации молибденовых электродов в вакуумной среде при 2000°C составляет менее 0,5%, что обеспечивает достоверность экспериментальных данных. Компания China Tungsten Online (baike.ctia.com.cn) сообщила, что китайский научно-исследовательский институт успешно проверил характеристики молибден-ниобиевого сплава в вакуумной печи с использованием молибденовых электродов, способствуя его применению в аэрокосмической отрасли.

5.4.2 Аэрокосмическая и атомная промышленность

В аэрокосмической промышленности молибденовые электроды используются для изготовления высокотемпературных испытательных печей и компонентов двигателей. Например, камера сгорания ракетного двигателя должна выдерживать температуру выше 2000°C. Молибденовые электроды используются в качестве нагревательных или испытательных элементов для обеспечения точности испытаний материалов на эксплуатационные характеристики.

В атомной промышленности молибденовые электроды используются в некоторых частях ядерных реакторов из-за их радиационной стойкости и стабильности при высоких температурах. Например, молибденовые электроды могут использоваться в качестве электродных материалов при выплавке ядерного топлива, выдерживая высокие температуры и радиационные среды без существенных повреждений. По данным «Применение молибдена в атомной промышленности» [7], срок службы молибденовых электродов в ядерных реакторах может достигать более 10 лет.

5.5 Новые области применения

5.5.1 Оборудование для возобновляемых источников энергии

С быстрым развитием возобновляемых источников энергии применение молибденовых электродов в солнечных батареях и накопителях энергии постепенно увеличивается. В солнечных батареях молибденовые электроды используются в качестве материалов для задних электродов. Их высокая проводимость и стабильность повышают эффективность преобразования элемента. Например, в солнечных элементах на основе селенида меди и индия галлия (CIGS) в качестве обратных контактных слоев используются молибденовые электроды для эффективного сбора тока.

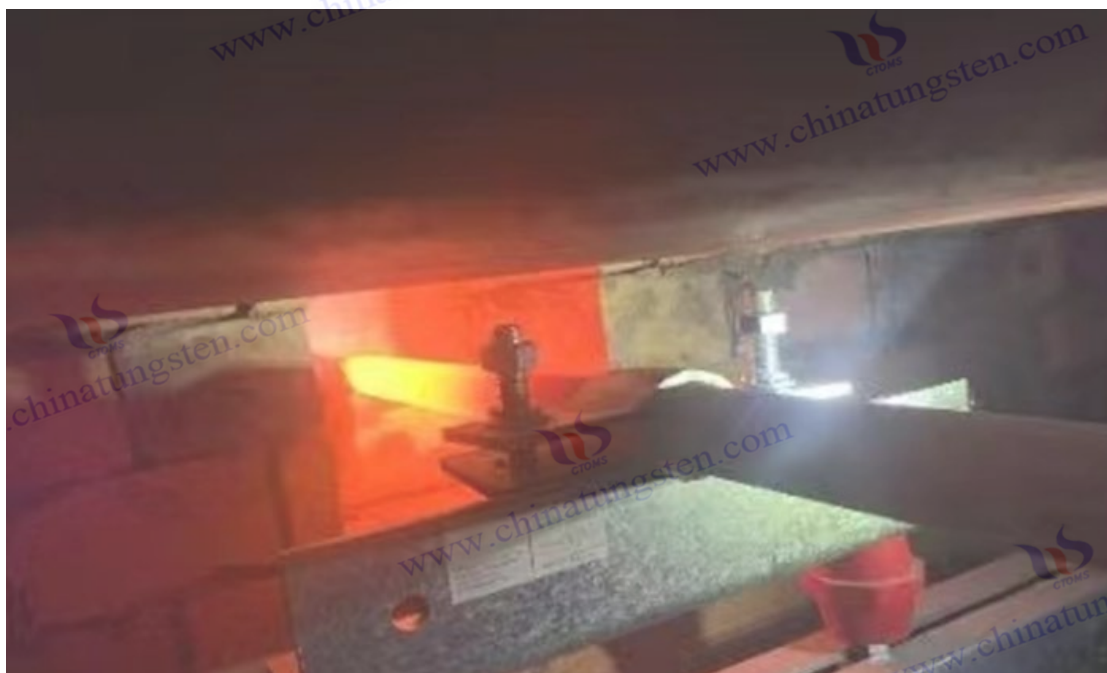
В накопителях энергии молибденовые электроды используются в качестве электродных материалов для суперконденсаторов и литиевых аккумуляторов. Их высокая термостойкость и электропроводность помогают повысить эффективность хранения энергии. Согласно отчету China Tungsten Online (<http://www.tungsten-copper.com>), применение молибденовых электродов в солнечных элементах составляет 5% от общего спроса и, как ожидается, вырастет до 10% к 2030 году.

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКИХ ПРАВАХ И ЮРИДИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

5.5.2 Компоненты медицинского оборудования

В области медицинских приборов молибденовые электроды используются в рентгеновском оборудовании и аппаратах лучевой терапии. Например, молибденовые электроды часто используются в качестве катодов и анодов в рентгеновских трубках. Их высокая температура плавления и коррозионная стойкость обеспечивают стабильность и срок службы оборудования. В лучевой терапии молибденовые электроды используются для изготовления фокусирующих устройств для пучков частиц высоких энергий, чтобы точно контролировать дозы облучения.

По данным «Применение молибдена в медицинских устройствах» [8], срок службы молибденовых электродов в рентгеновских трубках может достигать 5 000 часов, что значительно снижает затраты на обслуживание оборудования. Кроме того, молибден обладает низкой биосовместимостью, но после специальной обработки покрытия его можно использовать в некоторых имплантируемых медицинских устройствах.



CTIA GROUP LTD Сценарии применения молибденовых электродов Изображения

Глава 6 Преимущества, недостатки и ограничения молибденовых электродов

6.1 Преимущества молибденовых электродов

6.1.1 Устойчивость к высоким температурам и длительный срок службы

Высокая температура плавления (2623 °C) молибденовых электродов делает их стабильными при экстремально высоких температурах, что делает их идеальным выбором для стекловаренных печей, дуговых печей и высокотемпературного экспериментального оборудования. В стекольной промышленности срок службы молибденовых электродов

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКИХ ПРАВАХ И ЮРИДИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

может достигать 3000-5000 часов, значительно превышая графитовые электроды (1000 часов) и угольные электроды (1500 часов). Его долгий срок службы обусловлен тем, что кристаллическая структура молибдена не склонна к фазовому переходу или разложению при высоких температурах.

В условиях вакуума или инертного газа срок службы молибденовых электродов еще больше продлевается. Например, в аэрокосмической экспериментальной печи скорость деформации молибденовых электродов в вакуумной среде при 2000°C составляет менее 0,5%, что обеспечивает надежность эксперимента и долговечность оборудования. Компания China Tungsten Online (wiki.ctia.com.cn) сообщила, что экспериментальная печь европейского научно-исследовательского института, использующая молибденовые электроды, проработала 8000 часов и нуждалась в замене только один раз.

6.1.2 Отличная проводимость и коррозионная стойкость

Удельное сопротивление молибденового электрода составляет $5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$, а его проводимость уступает только меди и серебру. Он хорошо работает с высокотемпературными металлами. Его высокая проводимость обеспечивает эффективную передачу энергии в дуговых печах и вакуумных трубах, снижает потери энергии. В стекловаренных печах проводимость молибденовых электродов повышает эффективность нагрева более чем на 20%.

Молибденовые электроды также очень устойчивы к коррозии в неокисляющих кислотах (таких как соляная кислота и серная кислота) и расплавленном стекле. Например, в расплавленном стекле скорость коррозии молибдена составляет менее 0,1 мм/год, в то время как скорость коррозии графитовых электродов может достигать более 1 мм/год. Эта коррозионная стойкость позволяет ему хорошо работать в суровых промышленных условиях.

6.1.3 Надежность в экстремальных условиях

Молибденовые электроды могут адаптироваться к различным экстремальным условиям, включая высокую температуру (выше 2000 °C), вакуум (ниже 10^{-6} Па) и высокую радиацию (атомная промышленность). В аэрокосмической отрасли молибденовые электроды используются для тестирования новых высокотемпературных материалов, а их стабильность обеспечивает точность экспериментальных данных. В ядерных реакторах радиационная стойкость и высокие температурные характеристики молибденовых электродов делают их ключевым компонентом.

6.2 Недостатки и ограничения молибденовых электродов

6.2.1 Чувствительность к окислению и ограничения по окружающей среде

Производительность молибденовых электродов в окислительных средах является их основным ограничением. Когда температура превышает 600°C, молибден вступает в реакцию с кислородом с образованием летучего триоксида молибдена (MoO_3), что приводит к быстрой потере поверхности электрода. В воздухе с температурой выше 1000°C

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКИХ ПРАВАХ И ЮРИДИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

молибденовые электроды могут полностью окислиться в течение нескольких часов. Поэтому молибденовые электроды необходимо использовать в инертных газах (таких как аргон) или восстановительных атмосферах (таких как водород), что увеличивает сложность эксплуатации и стоимость.

6.2.2 Сложность и стоимость обработки

Молибден обладает высокой твердостью (70-90HRB) и низкой пластичностью, склонен к хрупкому разрушению, особенно при низких температурах. Это затрудняет обработку молибденовых электродов и требуетковки, прокатки или волочения при высоких температурах (200-300°C). Процесс обработки требует прецизионного оборудования и опытных операторов, а также является дорогостоящим. Согласно рыночным данным China Tungsten Online (news.chinatungsten.com), средняя себестоимость производства молибденовых электродов в 2023 году составит около 25-30 долларов США/кг, что намного выше, чем у графитированных электродов (5-10 долларов США/кг).

6.2.3 Хрупкость и ограничения механических свойств

Хрупкость молибдена при низких температурах – еще один недостаток. При комнатной температуре молибден обладает низкой ударной вязкостью и подвержен хрупкому разрушению, особенно при сварке или ударных нагрузках. Хотя пластичность улучшается при высоких температурах, она все же ниже, чем у меди или алюминия. Это ограничивает использование молибденовых электродов в определенных областях применения, требующих высокой прочности.

6.3 Меры по совершенствованию молибденовых электродов

6.3.1 Антиокислительная технология

Для того чтобы решить проблему чувствительности к окислению, промышленность разработала целый ряд антиокислительных технологий. Наиболее распространенными являются поверхностные покрытия, такие как силицид молибдена (MoSi_2) и оксид алюминия (Al_2O_3), которые могут образовывать защитный слой при высоких температурах, предотвращая реакцию кислорода с молибденом. Компания China Tungsten Online (www.chinatungsten.com) сообщила, что срок службы молибденовых электродов с покрытием на воздухе при температуре 1000°C может быть продлен более чем на 50%.

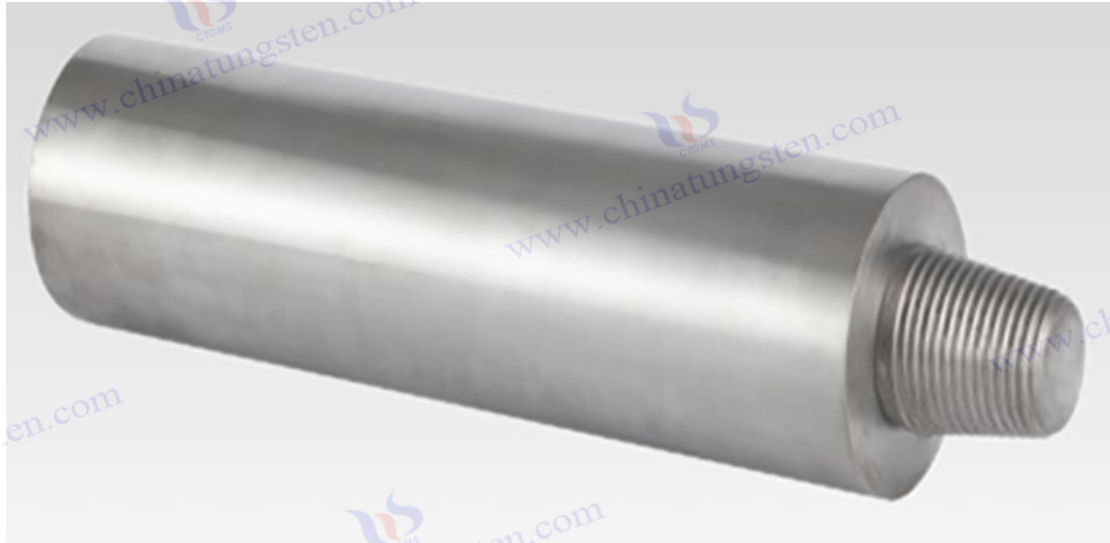
Кроме того, широко изучены и технологии допинга. Например, добавление редкоземельных элементов (таких как лантан, церий) или титана может улучшить стойкость к окислению и стабильность молибдена при высоких температурах. Эти усовершенствования были применены в аэрокосмической и атомной промышленности.

6.3.2 Разработка композитных материалов

Еще одним направлением совершенствования является разработка композиционных материалов на основе молибдена. Например, композиты молибден-титан сочетают в себе термостойкость молибдена и ударную вязкость титана для улучшения механических свойств. Молибден-редкоземельные композитные электроды демонстрируют лучшее

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКИХ ПРАВАХ И ЮРИДИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

сопротивление ползучести при высоких температурах. Эти композитные материалы постепенно используются на рынках высокого класса.



CTIA GROUP LTD Молибденовый электрод Изображение

Глава 7 Сравнение молибденового электрода с другими материалами электродов

7.1 Сравнение молибденового электрода с вольфрамовым электродом

7.1.1 Разница в производительности

Температура плавления вольфрамового (<http://tungsten.com.cn>) электрода (3422°C) выше, чем у молибденового электрода (2623°C), что делает его более предпочтительным в условиях сверхвысоких температур ($>2500^{\circ}\text{C}$). Однако плотность вольфрама ($19,25 \text{ г/см}^3$) намного выше, чем у молибдена ($10,2 \text{ г/см}^3$), что делает его более тяжелым и неудобным в обработке и установке. Удельное сопротивление вольфрама ($5,6 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$) немного выше, чем у молибдена, но теплопроводность ($174 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$) немного выше.

С точки зрения коррозионной стойкости, молибденовый электрод работает лучше, чем вольфрам, в неокисляющей кислоте и расплавленном стекле, но вольфрам имеет лучшую стойкость к окислению в окислительной среде. Вольфрамовый электрод имеет меньшую пластичность, чем молибден, сложнее в обработке и имеет более высокую стоимость.

7.1.2 Сценарии применения

Вольфрамовые электроды в основном используются в сварке (например, сварке TIG) и высокотемпературных печах (например, плазменных печах), в то время как молибденовые электроды широко используются в стекловаренных печах и дуговых печах. Вольфрамовые электроды подходят для применения при сверхвысоких температурах из-за их чрезвычайно высокой температуры плавления, но их вес и стоимость ограничивают их использование в стекольной промышленности.

7.2 Сравнение молибденовых электродов и графитовых электродов

7.2.1 Долговечность и стоимость

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКИХ ПРАВАХ И ЮРИДИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

Долговечность графитированных электродов значительно ниже, чем у молибденовых электродов. Срок их службы в условиях высоких температур и агрессивных сред составляет всего 1000 часов, в то время как молибденовые электроды могут достигать 3000-5000 часов. Однако стоимость сырья (графита или кокса) графитированных электродов ниже, а себестоимость производства составляет всего 1/3-1/5 от стоимости молибденовых электродов.

7.2.2 Работа при высоких температурах

Температура плавления графитовых электродов (около 3500°C) выше, чем у молибдена, но они легко окисляются в окислительных средах, что ограничивает область их применения. Молибденовые электроды обладают лучшей устойчивостью к высоким температурам в инертных или восстановительных средах, особенно в стекловаренных печах.

7.3 Сравнение молибденового электрода и медного электрода

7.3.1 Проводимость и термостойкость

Проводимость медного электрода (удельное сопротивление $1,68 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$) значительно лучше, чем у молибденового электрода, но его температура плавления (1085°C) низкая и не выдерживает высоких температур окружающей среды. Медные электроды подходят для низкотемпературных индуктивных систем (например, для проводов и низковольтного оборудования), в то время как молибденовые электроды подходят для сценариев с высокими температурами и высокой коррозионной стойкостью.

7.3.2 Среда использования

Медные электроды устойчивы на воздухе, но легко поддаются коррозии под воздействием кислот и солей. Молибденовые электроды устойчивы к коррозии в неокисляющих кислотах и расплавленном стекле, но следует избегать окисляющих сред.

7.4 Сравнение молибденовых электродов и электродов из драгоценных металлов (например, платины)

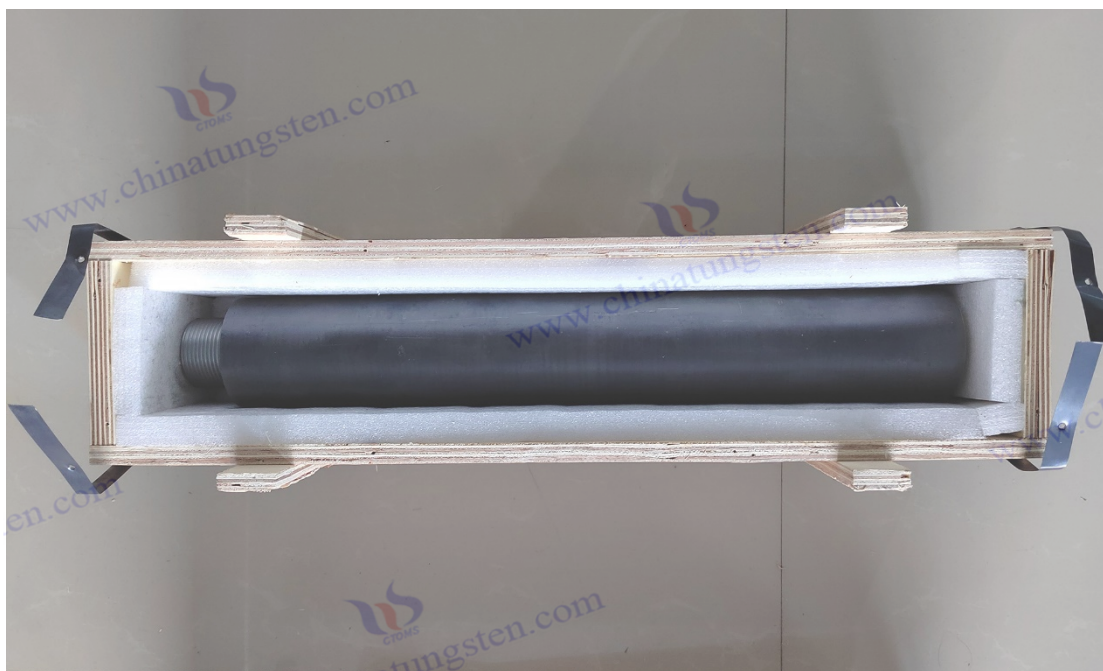
7.4.1 Экономичность и специальное использование

Платиновые электроды обладают отличной проводимостью и коррозионной стойкостью, но их стоимость чрезвычайно высока (около 500-1000 долларов США/кг) и используются только в лабораториях или специальных приложениях (например, в химических датчиках). Стоимость молибденовых электродов (25-30 USD/кг) значительно ниже, чем у платины, а их производительность вполне достаточна для промышленного применения.

7.5 Всестороннее сравнительное резюме

Молибденовые электроды превосходят электроды из графита, меди и драгоценных металлов по высокой температурной стабильности, коррозионной стойкости и экономичности, но уступают вольфраму и платине в окислительных средах. Выбор молибденовых электродов должен основываться на конкретных условиях применения и бюджете затрат.

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКИХ ПРАВАХ И ЮРИДИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ



Изображение молибденовых электродов производства CTIA GROUP LTD

Глава 8 Основные рынки приложений в мире

8.1 Азиатско-Тихоокеанский регион

8.1.1 Китай (рынок стекла и металлургии)

Поскольку Китай является крупнейшим в мире рынком потребления молибденовых электродов, спрос в основном исходит от стекольной и металлургической промышленности. В 2023 году потребность стекольной промышленности Китая в молибденовых электродах превысит 15 000 тонн, что составит более 60% от общего спроса страны. Этот спрос в основном сосредоточен на производственных базах стекла в провинциях Шаньдун, Хэбэй и Гуандун, где работают сотни компаний по производству стекла, производящих архитектурное, автомобильное и оптическое стекло. Применение молибденовых электродов в полностью электрических плавильных стекловаренных печах значительно повысило эффективность производства и снизило потребление энергии и выбросы углекислого газа. Например, стекольный завод в провинции Шаньдун увеличил эффективность нагрева печи на 20% и прозрачность качества стекла на 15% за счет использования молибденовых электродов диаметром 100 мм и длиной 1200 мм (<http://molybdenum.com.cn/Chinese/molybdenum-electrodes.html>), сэкономив около 5 миллионов юаней на энергозатратах на электроэнергию в год.

В металлургической промышленности потребность Китая в молибденовых электродах составляет около 5000 тонн, в основном используемых для производства ферромолибдена (<http://www.ferro-tungsten.com>) и высокопрочных сталей, таких как инструментальная сталь и нержавеющая сталь. Основными поставщиками являются Shaanxi Jinduicheng Molybdenum Industry и Henan Luoyang Molybdenum Industry Group. Эти компании полагаются на богатые ресурсы молибдена и передовые производственные технологии для

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКИХ ПРАВАХ И ЮРИДИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

удовлетворения металлургических потребностей в стране и за рубежом. В 2023 году производство электродуговых печей с использованием молибденовых электродов в металлургической промышленности Китая увеличилось на 12%, что привело к расширению рынка высококачественных легированных материалов.

Рост китайского рынка также поддерживается государственной политикой. Например, в «14-м пятилетнем плане» особое внимание уделяется «зеленому» производству, энергосбережению и сокращению выбросов, а молибденовым электродам отдают предпочтение за их низкие характеристики загрязнения. China Tungsten Online (news.chinatungsten.com) сообщила, что в 2024 году Китай планирует инвестировать 2 млрд юаней в модернизацию стекловаренных печей, увеличив скорость проходки молибденовых электродов с 70% до 85%.

8.1.2 Япония и Южная Корея (электроника и полупроводники)

Япония и Южная Корея являются центрами электронной и полупроводниковой промышленности в Азиатско-Тихоокеанском регионе, и спрос на молибденовые электроды в этих сферах неуклонно растет. В 2023 году потребность Японии в молибденовых электродах составит около 3 000 тонн, в основном используемых для распыления полупроводников и производства дисплеев. Японские гиганты электроники, такие как Toshiba и Sony, используют молибденовые электроды для производства тонкопленочных транзисторов (TFT) и дисплеев на органических светодиодах (OLED). Высокая чистота (более 99,95%) и низкий коэффициент теплового расширения ($4,8 \times 10^{-6}/K$) молибденовых электродов обеспечивают равномерность осаждения тонких пленок и улучшают яркость и срок службы дисплея. Например, японская компания увеличила квалификационный уровень своей продукции на 10% и годовой объем продаж на 8% за счет использования молибденовых мишеней.

Южная Корея является одним из крупнейших в мире производителей полупроводников. В 2023 году спрос на молибденовые электроды составит около 2 000 тонн, в основном используемых на полупроводниковых заводах Samsung и SK Hynix. Молибденовые электроды используются в качестве мишеней для распыления для производства микросхем памяти и процессоров. Их проводимость и стабильность имеют решающее значение для производительности микроэлектронных устройств. По данным Министерства промышленности Кореи, в 2024 году Южная Корея планирует добавить 10 новых линий по производству полупроводников, и каждая производственная линия потребляет около 50 тонн молибденовых электродов в год.

8.1.3 Индия (спрос в процессе индустриализации)

Процесс индустриализации Индии открыл новые возможности для роста рынка молибденовых электродов. В 2023 году потребность Индии в молибденовых электродах составит около 1 000 тонн, в основном используемых в стекольной и металлургической промышленности. С реализацией индийского плана «Сделано в 2025 году» спрос на производство стеклянных бутылок, листового стекла и стали быстро вырос. Количество

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКИХ ПРАВАХ И ЮРИДИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

печей с использованием молибденовых электродов в стекольной промышленности Индии увеличилось с 50 в 2020 году до 120 в 2023 году, при этом среднегодовой темп роста составляет 30%.

Металлургическая промышленность является еще одним важным источником спроса. Индийские сталелитейные заводы (такие как Tata Steel и JSW Steel) используют молибденовые электроды для производства высокопрочной стали для строительства инфраструктуры. В 2023 году индийская металлургическая промышленность будет потреблять около 0,5 тыс. тонн молибденовых электродов, а к 2027 году ожидается рост до 0,15 тыс. тонн. China Tungsten Online (news.chinatungsten.com) прогнозирует, что индийский рынок станет горячей точкой роста в Азиатско-Тихоокеанском регионе в ближайшие пять лет, но из-за нехватки ресурсов молибдена Индия вынуждена полагаться на импорт.

8.2 Северная Америка

8.2.1 Соединенные Штаты (стекольная и аэрокосмическая промышленность)

Соединенные Штаты являются крупнейшим рынком молибденовых электродов в Северной Америке, со спросом около 0,5 тыс. тонн в 2023 году, из которых на стекольную промышленность приходится 40%, на аэрокосмическую промышленность — 30%, на другие отрасли — 30%. В стекольной промышленности молибденовые электроды в Соединенных Штатах в основном используются для производства оптического стекла и архитектурного стекла. Например, Corning использует молибденовые электроды для изготовления высокоточных оптических линз, годовое потребление которых составляет около 0,2 тыс. тонн. Высокая теплопроводность и коррозионная стойкость молибденовых электродов обеспечивают стабильность качества стекла.

В аэрокосмическом секторе спрос на молибденовые электроды в США быстро растет, достигнув около 1 500 тонн в 2023 году, в основном для высокотемпературных экспериментальных печей и испытаний компонентов двигателей. Boeing и Lockheed Martin используют молибденовые электроды для тестирования новых высокотемпературных материалов, а их стабильность составляет менее 0,5% в вакуумной среде при 2000°C. По данным NASA, использование молибденовых электродов продлевает срок службы экспериментальных печей на 30% и снижает затраты на испытания.

8.2.2 Канада (металлургия и научные исследования)

Спрос на молибденовые электроды в Канаде в основном сосредоточен в сферах металлургии и научных исследований, общий спрос составит около 1 500 тонн в 2023 году. Металлургическая промышленность использует молибденовые электроды для производства специальных сталей и молибденовых сплавов, с годовым потреблением около 1000 тонн, в основном поставляемых компанией Thompson Creek Metals. Канадские сталелитейные заводы (такие как ArcelorMittal) и алюминиевые заводы (такие как Alcoa) полагаются на молибденовые электроды для повышения эффективности плавки.

Сфера научных исследований – еще один большой рынок. Многие канадские университеты

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКИХ ПРАВАХ И ЮРИДИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

и научно-исследовательские институты (такие как Университет Торонто и Национальный исследовательский совет Канады) используют молибденовые электроды для исследования высокотемпературных материалов. В 2023 году потребность в молибденовых электродах для научных исследований составляет около 0,5 тыс. тонн, в основном используемых в вакуумных печах и плазменных экспериментах. Рынок молибденовых электродов в Канаде ограничен запасами ресурсов и зависит от импорта из Соединенных Штатов.

8.3 Европа

8.3.1 Германия (промышленное производство и оптическое стекло)

Германия является крупнейшим рынком молибденовых электродов в Европе, со спросом около 0,4 тыс. тонн в 2023 году, из которых промышленное производство составляет 50%, оптическое стекло — 30%, а другие отрасли — 20%. В промышленном производстве немецкие автомобильные и машиностроительные компании (такие как Volkswagen и Siemens) используют молибденовые электроды для производства высокопрочной стали и молибденовых сплавов, с годовым потреблением около 0,2 тыс. тонн.

Производство оптического стекла является еще одним важным источником спроса. Компании Zeiss и Schneider в Германии используют молибденовые электроды для производства высокоточных оптических линз, годовое потребление которых составляет около 0,12 тыс. тонн. Высокая теплопроводность и стабильность молибденовых электродов обеспечивают качество и эффективность производства стекла. По данным Немецкой промышленной ассоциации, в 2024 году Германия планирует инвестировать 500 миллионов евро в модернизацию линий по производству оптического стекла, чтобы стимулировать рост спроса на молибденовые электроды.

8.3.2 Франция и Соединенное Королевство (специальные заявки)

Спрос на молибденовые электроды во Франции и Великобритании в основном сосредоточен в атомной промышленности и научных исследованиях, общий спрос составит около 2 000 тонн в 2023 году. Areva во Франции и Rolls-Royce в Великобритании используют молибденовые электроды для производства компонентов ядерных реакторов и авиационных двигателей, с годовым потреблением около 1000 тонн. Атомная промышленность предъявляет чрезвычайно высокие требования к радиационной стойкости и высокотемпературной стабильности молибденовых электродов, а срок службы молибденовых электродов может достигать более 10 лет.

Сфера научных исследований также является важным рынком. Французский национальный центр научных исследований (CNRS) и Имперский колледж Лондона используют молибденовые электроды для высокотемпературных исследований материалов и плазмы, с годовым потреблением около 1000 тонн. Рост европейского рынка обусловлен экологическими нормами ЕС, и молибденовые электроды пользуются популярностью из-за их низких характеристик загрязнения.

8.4 Другие регионы

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКИХ ПРАВАХ И ЮРИДИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

8.4.1 Южная Америка (металлургический спрос в Чили и Перу)

Спрос на молибденовые электроды в Южной Америке в основном сосредоточен в металлургической промышленности Чили и Перу, общий спрос на которые в 2023 году составит около 1 000 тонн. Codelco и Molymet в Чили используют молибденовые электроды для производства ферромолибдена и медно-молибденовых сплавов, с годовым потреблением около 7000 тонн. Southern Copper в Перу также использует молибденовые электроды для повышения эффективности плавки, с годовым потреблением около 3000 тонн.

Рынок Южной Америки имеет большой потенциал роста, но коэффициент использования молибденовых электродов низок из-за ограничений инфраструктуры и финансирования. China Tungsten Online (news.chinatungsten.com) прогнозирует, что спрос на рынке Южной Америки вырастет до 3000 тонн к 2030 году.

8.4.2 Ближний Восток и Африка (потенциал развивающихся рынков)

Рынок молибденовых электродов на Ближнем Востоке и в Африке все еще находится в зачаточном состоянии, общий спрос на него составит около 5 000 тонн в 2023 году, в основном используется в стекольной и металлургической промышленности. Стекольная промышленность в Саудовской Аравии использует молибденовые электроды для производства архитектурного стекла, годовое потребление составляет около 2000 тонн. Металлургическая промышленность Южной Африки использует молибденовые электроды для производства специальных сталей, с годовым потреблением около 3000 тонн.

Ожидается, что с развитием инициативы «Один пояс, один путь» и процессом индустриализации Африки спрос на молибденовые электроды на Ближнем Востоке и в Африке будет быстро расти. China Tungsten Online (news.chinatungsten.com) прогнозирует, что рынки Ближнего Востока и Африки достигнут 2000 тонн в 2030 году.

8.5 Характеристики спроса на мировом рынке приложений

8.5.1 Отраслевое распределение

В мировом спросе на молибденовые электроды на долю стекольной промышленности приходится 60% (около 12 000 тонн), металлургической промышленности — 20% (около 4 000 тонн), электронной промышленности — 10% (около 2 000 тонн), а на другие отрасли (такие как аэрокосмическая, атомная промышленность и научные исследования) — 10% (около 2 000 тонн). Стекольная промышленность является крупнейшим рынком, движимым популяризацией полностью электрической технологии плавления и продвижением политики защиты окружающей среды.

8.5.2 Региональные различия

Азиатско-Тихоокеанский регион является крупнейшим рынком с долей спроса 70% (около 14 000 тонн) в 2023 году, в основном за счет Китая, Японии и Южной Кореи. На Северную Америку и Европу приходится по 15% (около 3000 тонн), а на другие регионы — 5% (около 1000 тонн). Региональные различия в основном определяются отраслевой структурой и

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКИХ ПРАВАХ И ЮРИДИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

распределением ресурсов. Азиатско-Тихоокеанский регион характеризуется высокой степенью индустриализации, в то время как Северная Америка и Европа сосредоточены на высокотехнологичных приложениях.



CTIA GROUP LTD Молибденовый электрод Изображение

Приложение

А. Глоссарий

Молибденовый электрод: материал электрода с молибденом в качестве основного компонента, используемый при высоких температурах и в агрессивной среде.

Порошковая металлургия: процесс подготовки молибденовых изделий путем прессования и спекания.

Мишень для распыления: материал, используемый для физического осаждения из газовой фазы, молибденовый электрод используется в качестве мишени в полупроводниковой промышленности.

Полностью электрическая стекловаренная печь: стекловаренное оборудование с использованием молибденового электрода для прямого электрического нагрева.

В. Ссылки

- [1] «Физические и химические свойства молибденовых материалов», Журнал материаловедения и инженерии, 2017
- [2] «Введение в продукты с молибденовыми электродами», China Tungsten Online, www.chinatungsten.com
- [3] «Применение молибденового электрода в стекольной промышленности», Журнал технологии стекла, 2019 г.
- [4] «Применение молибдена в металлургической промышленности», Журнал «Металлургические материалы», 2020
- [5] «Применение молибдена в электронной промышленности», Журнал электронной инженерии, 2018
- [6] «Молибденовый электрод в исследованиях высокотемпературных материалов», Прогресс в материаловедении, 2022 г.
- [7] «Применение молибдена в атомной промышленности», Журнал ядерных технологий, 2021

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

- [8] «Применение молибдена в медицинских устройствах», Журнал медицинской техники, 2023 г.
[9] «Отчет о мировом рынке молибдена», Международная молибденовая ассоциация, 2023 г.
[10] «Тенденция цен на молибден», Chinatungsten Online, news.chinatungsten.com

С. Технические стандарты и спецификации, относящиеся к молибденовым электродам

ASTM B387: Стандарт прутков из молибдена и молибденовых сплавов, который определяет размер, чистоту и требования к производительности молибденовых электродов.

GB/T 3462: Китайский стандарт молибденовых прутков, применимый к производству и испытаниям промышленных молибденовых электродов.

ISO 4487: Международный стандарт качества молибденовой продукции, подчеркивающий высокую чистоту и плотность.

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