

Что такое молибденовый лист

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

ВВЕДЕНИЕ В CTIA GROUP

CTIA GROUP LTD, дочерняя компания с полной собственностью и независимым юридическим лицом, созданная 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 — первого в Китае веб-сайта с продукцией из вольфрама высшего уровня — является пионерской компанией электронной коммерции в стране, сосредоточенной на вольфрамовой, молибденовой и редкоземельной промышленности. Используя почти три десятилетия обширного опыта в области вольфрама и молибдена, CTIA GROUP унаследовала исключительные проектные и производственные возможности своей материнской компании, превосходное обслуживание и международную деловую репутацию, став поставщиком комплексных прикладных решений в области вольфрамовых химикатов, вольфрамовых металлов, твердых сплавов, высокоплотных сплавов, 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 металлами. С 2013 года ее официальный аккаунт WeChat "CHINATUNGSTEN ONLINE" опубликовал более 40 000 единиц информации, обслуживая почти 100 000 подписчиков и ежедневно предоставляя бесплатную информацию сотням тысяч специалистов отрасли по всему миру. Благодаря совокупным посещениям кластера ее веб-сайта и официального аккаунта, достигающим миллиардов раз, он стал признанным мировым и авторитетным информационным центром для отраслей вольфрама, молибдена и редкоземельных металлов, предоставляя круглосуточные многоязычные новости, характеристики продукции, рыночные цены и услуги по тенденциям рынка.

Основываясь на технологиях и опыте CHINATUNGSTEN ONLINE, CTIA GROUP фокусируется на удовлетворении индивидуальных потребностей клиентов. Используя технологию искусственного интеллекта, она совместно с клиентами проектирует 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 услуги по полному процессу, начиная от открытия пресс-формы, опытного производства и заканчивая отделкой, упаковкой и логистикой. За последние 30 лет CHINATUNGSTEN ONLINE предоставила услуги по НИОКР, проектированию и производству для более чем 500 000 видов вольфрамовых и молибденовых изделий 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 вольфрамовых и молибденовых материалов в эпоху промышленного Интернета.

Доктор Ханис и его команда в CTIA GROUP, основываясь на своем более чем 30-летнем опыте работы в отрасли, также написали и опубликовали знания, технологии, анализ цен на вольфрам и рыночных тенденций, связанных с вольфрамом, молибденом и редкоземельными металлами, свободно делясь ими с вольфрамовой промышленностью. Доктор Хан, имеющий более чем 30-летний опыт с 1990-х годов в электронной коммерции и международной торговле вольфрамовой и молибденовой продукцией, а также в проектировании и производстве цементированных карбидов и сплавов высокой плотности, является известным экспертом в области вольфрамовой и молибденовой продукции как на внутреннем, так и на международном уровне. Придерживаясь принципа предоставления профессиональной и высококачественной информации для отрасли, команда CTIA GROUP постоянно пишет технические исследовательские работы, статьи и отраслевые отчеты, основанные на производственной практике и потребностях клиентов рынка, завоевывая широкую похвалу в отрасли. Эти достижения обеспечивают надежную поддержку технологическим инновациям CTIA GROUP, продвижению продукции и отраслевому обмену, позволяя ей стать лидером в сфере мирового производства вольфрамовой и молибденовой продукции и информационных услуг.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

Каталог

Глава 1 Обзор молибденовых листов

- 1.1 Определение молибденового листа
- 1.2 Характеристики молибденовых листов
- 1.3 Характеристики молибденовых листов
 - 1.3.1 Характеристики внешнего вида молибденовых листов
 - 1.3.1.1 Появление и причина появления черно-коричневого молибденового листа
 - 1.3.1.2 Серебристо-серый блеск и принцип обработки молибденовых листов после щелочной промывки
 - 1.3.1.3 Плоскостность молибденового листа

Глава 2 Эксплуатационные характеристики молибденовых листов

- 2.1 Физические свойства молибденовых листов
 - 2.1.1 Плотность молибденовых листов
 - 2.1.2 Температура плавления молибденового листа
 - 2.1.3 Температура кипения молибденового листа
 - 2.1.4 Проводимость молибденовых листов
 - 2.1.5 Теплопроводность молибденовых листов
 - 2.1.6 Коэффициент теплового расширения молибденового листа
- 2.2 Механические свойства молибденовых листов
 - 2.2.1 Высокая прочность молибденового листа
 - 2.2.2 Пластичность молибденовых листов
 - 2.2.3 Сопротивление ползучести молибденовых листов при высоких температурах
 - 2.2.4 Твердость молибденовых листов
 - 2.2.5 Ударная вязкость молибденовых листов
 - 2.2.6 Усталостная прочность молибденовых листов
- 2.3 Химические свойства молибденовых листов
 - 2.3.1 Коррозионная стойкость молибденовых листов
 - 2.3.2 Стойкость молибденовых листов к окислению
- 2.4 CTIA GROUP LTD Молибденовый лист MSDS

Глава 3 Классификация молибденовых листов

- 3.1 Классификация молибденовых листов по чистоте
 - 3.1.1 Молибденовые листы высокой чистоты ($\geq$ чистотой 99,95%)
 - 3.1.2 Простыни молибдена обыкновенной чистоты (чистота 99% - 99,9%)
- 3.2 Классификация молибденовых листов в соответствии с технологическим процессом изготовления
 - 3.2.1 Молибденовые листы, изготовленные методом порошковой металлургии
 - 3.2.2 Горячекатаные молибденовые листы, изготовленные методом прокатки
 - 3.2.3 Холоднокатаные молибденовые листы, изготовленные методом прокатки
- 3.3 Классификация молибденовых листов по областям применения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 3.3.1 Молибденовые листы, используемые в электронной сфере
- 3.3.2 Молибденовые листы, используемые в металлургической промышленности
- 3.3.3 Молибденовые листы, используемые в химической промышленности
- 3.3.4 Молибденовые листы, используемые в аэрокосмической отрасли
- 3.3.5 Молибденовые листы, используемые в других областях

Глава 4 Процесс производства и подготовки молибденового листа

- 4.1 Подготовка сырья перед производством молибденовых листов
 - 4.1.1 Виды и характеристики молибденовой руды
 - 4.1.1.1 Характеристики и распределение молибденита
 - 4.1.2 Методы добычи и обогащения молибденовой руды
 - 4.1.2.1 Процесс открытой добычи молибденовой руды и основные моменты
 - 4.1.2.2 Подземные способы добычи молибденовой руды
 - 4.1.2.3 Принципы и процессы метода флотации молибденовой руды
 - 4.1.2.4 Принципы и процессы гравитационного метода сепарации молибденовой руды
 - 4.1.2.5 Принципы и процессы магнитной сепарации молибденовой руды
 - 4.1.3 Рафинирование и конверсия молибденового концентрата
 - 4.1.3.1 Процесс окислительного обжига и выщелачивания аммиака молибденового концентрата
 - 4.1.3.2 Процесс окислительного обжига и кислотного выщелачивания молибденового концентрата
 - 4.1.3.3 Приготовление молибденового порошка из экстрактов концентрата молибдена
- 4.2 Процесс формования молибденового листа
 - 4.2.1 Получение молибденовых листов методом порошковой металлургии
 - 4.2.2 Подготовка молибденового листа методом прокатки
 - 4.2.2.1 Подготовка молибденовых листов методом горячей прокатки
 - 4.2.2.2 Подготовка молибденовых листов методом холодной прокатки

Глава 5 Оборудование для производственных и эксплуатационных испытаний молибденовых листов

- 5.1 Горно-шахтное оборудование для добычи молибденовой руды
 - 5.1.1 Оборудование для открытых горных работ по добыче молибденовой руды
 - 5.1.2 Оборудование для подземных горных работ для молибденовой руды
- 5.2 Оборудование для обогащения минералов молибденовой руды
 - 5.2.1 Дробильное оборудование для молибденовой руды
 - 5.2.2 Оборудование для измельчения молибденовой руды
 - 5.2.3 Сортировочное оборудование для молибденовой руды
 - 5.2.4 Флотационное оборудование для молибденовой руды
- 5.3 Формовочное оборудование для молибденовых листов
 - 5.3.1 Оборудование для порошковой металлургии молибденовых листов
 - 5.3.1.1 Оборудование для прессования порошка для молибденовых листов
 - 5.3.1.2 Оборудование для спекания молибденовых листов
 - 5.3.2 Прокатное оборудование для молибденовых листов
 - 5.3.2.1 Станы горячей прокатки молибденовых листов

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 5.3.2.2 Стан холодной прокатки молибденовых листов
- 5.4 Оборудование для эксплуатационных испытаний молибденовых листов
- 5.4.1 Оборудование для измерения плотности молибденовых листов
- 5.4.2 Оборудование для определения температуры плавления молибденовых листов
- 5.4.3 Оборудование для испытаний на проводимость молибденовых листов
- 5.4.4 Оборудование для испытаний на теплопроводность молибденовых листов
- 5.5 Оборудование для испытания механических свойств молибденового листа
- 5.5.1 Универсальная машина для испытания материалов для проверки механических свойств молибденовых листов
- 5.5.2 Твердомер проверяет механические свойства молибденовых листов
- 5.5.3 Ударная испытательная машина для проверки механических свойств молибденовых листов

Глава 6 Методы испытаний на эксплуатационные характеристики молибденовых листов

- 6.1 Метод определения плотности молибденового листа
- 6.2 Метод определения температуры плавления молибденового листа
- 6.3 Методы испытаний на термическую стабильность молибденовых листов
- 6.4 Метод определения проводимости молибденового листа
- 6.5 Метод определения теплопроводности молибденового листа
- 6.6 Метод определения коэффициента теплового расширения молибденового листа
- 6.7 Метод испытаний на прочность молибденового листа
- 6.8 Метод определения твердости молибденового листа
- 6.9 Методы испытаний на ударную вязкость молибденовых листов
- 6.10 Метод испытаний на пластичность молибденовых листов
- 6.11 Методы испытаний на усталостные свойства молибденовых листов
- 6.12 Метод испытаний на коррозионную стойкость молибденовых листов
- 6.13 Методы испытаний на стойкость к окислению молибденовых листов

Глава 7 Области применения молибденовых листов

- 7.1 Применение молибденового листа в области электронной информации
- 7.1.1 Применение молибденовых листов в полупроводниках
- 7.1.2 Применение молибденового листа в электродных материалах
- 7.1.3 Применение молибденового листа в свинцовой раме
- 7.2 Применение молибденовых листов в печи для выращивания кристаллов сапфира
- 7.2.1 Отражающий экран в печи для выращивания кристаллов сапфира для производства молибденовых листов
- 7.2.2 Молибденовые листы для производства крышек печей для выращивания кристаллов сапфира
- 7.3 Применение молибденовых листов в вакуумных печах
- 7.3.1 Отражающие экраны в вакуумных печах для производства молибденовых листов
- 7.3.2 Нагрев в вакуумной печи для производства молибденовых листов
- 7.3.3 Соединители в вакуумных печах для производства молибденовых листов
- 7.4 Применение молибденового листа в плазменном покрытии

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.4.1 Молибденовый лист в качестве мишени для распыления при нанесении плазменных покрытий

7.5 Применение молибденового листа в металлургической промышленности

7.5.1 Применение молибденовых листов в качестве добавок при производстве стали

7.6 Применение молибденового листа в конструкции высокотемпературной печи

7.6.1 Применение молибденового листа в теплозащитном экране

7.6.2 Применение молибденового листа в нагревательном элементе

7.7 Применение молибденового листа в антикоррозионной защите химического оборудования

7.7.1 Применение молибденового листа в футеровке реактора

7.7.2 Применение молибденового листа в деталях труб

7.8 Применение молибденового листа в компонентах спутников

7.8.1 Применение молибденового листа в деталях антенн

7.8.2 Применение молибденового листа в радиаторе системы терморегулирования

Глава 8 Проблемы безопасности и охраны окружающей среды при производстве молибденовых листов

8.1 Вопросы безопасности при производстве молибденовых листов

8.2 Экологические проблемы при производстве молибденовых листов

Глава 9 Отечественные и зарубежные стандарты на молибденовые листы

9.1 Китайский национальный стандарт на молибденовые листы

9.2 Международные стандарты на молибденовые листы

9.3 Стандарты молибденового листа в Европе, Америке, Японии, Южной Корее и других странах мира

Глава 10 Лист молибдена Факты и цифры

10.1 Каковы основные факты о таблестках молибдена

10.2 Все данные молибденовых листов (эксплуатационные характеристики, производственные и эксплуатационные характеристики)

Приложение: Многоязычный глоссарий молибденовой стружки (китайский, английский, японский, корейский)

Ссылки

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

CTIA GROUP LTD
Molybdenum Sheet Introduction

1. Overview of Molybdenum Sheet

Molybdenum sheet is a thin metal sheet made from high-purity molybdenum through rolling processes. It features excellent high-temperature resistance, thermal conductivity, and mechanical strength. It is widely used in electronics, metallurgy, vacuum equipment, aerospace, and lighting industries as heating elements, thermal shields, or structural components. With a smooth surface and precise dimensions, molybdenum sheets can be customized in various specifications to meet the requirements of advanced manufacturing and scientific research equipment.

2. Features of Molybdenum Sheet

High Purity Material: Purity $\geq 99.95\%$, with extremely low impurity levels

High-Temperature Resistance: Melting point up to 2610°C , stable performance in extreme conditions

Excellent Workability: High flatness, smooth surface, easy to punch, shear, and weld

Customizable Specifications: Various sizes and thicknesses available to suit different processes

3. Specifications of Molybdenum Sheet

Parameter	Specification
Purity	$\geq 99.95\%$
Thickness	0.01 mm - 3.00 mm
Width	50 mm - 600 mm
Length	Custom lengths or supplied in coil
Surface Finish	Polished, Alkali-cleaned, Sandblasted
Thickness Tolerance	± 0.005 mm - ± 0.2 mm
Surface Roughness	Ra 0.8 μm – Ra 3.2 μm

4. Production Process

Molybdenum Ingot (Raw Material) $\rightarrow$ Inspection $\rightarrow$ Hot Rolling $\rightarrow$ Leveling & Annealing $\rightarrow$ Alkali Cleaning $\rightarrow$ Inspection $\rightarrow$ Warm Rolling $\rightarrow$ Vacuum Annealing $\rightarrow$ Inspection $\rightarrow$ Cold Rolling $\rightarrow$ Leveling $\rightarrow$ Shearing $\rightarrow$ Vacuum Annealing $\rightarrow$ Inspection $\rightarrow$ Packaging

5. Purchasing Information

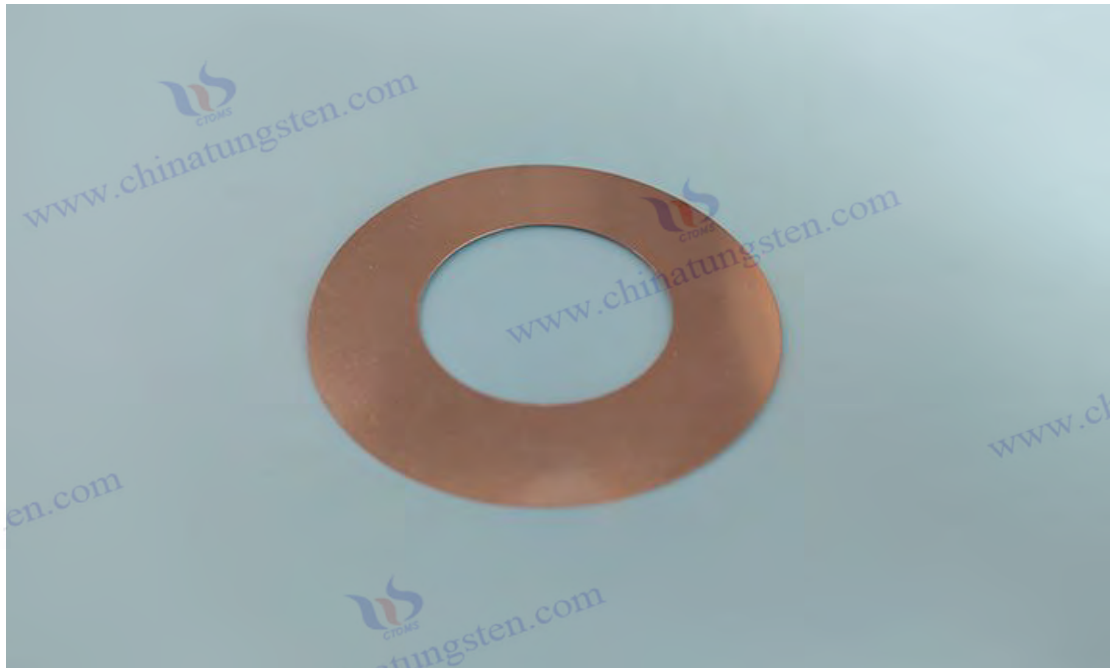
Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: molybdenum.com.cn

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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



Молибденовый лист CTIA GROUP LTD

Глава 1 Обзор молибденовых таблеток

1.1 Определение молибденового листа

Молибденовый лист представляет собой тонкий листовой материал, изготовленный из металлического молибдена высокой чистоты (чистота обычно достигает более 99,95%) с помощью таких процессов, как порошковая металлургия, прокатка или ковка, и его внешний вид демонстрирует серебристо-серый металлический блеск. Молибден (химический символ Mo, атомный номер 42) – редкий переходный металл, занимающий важное место в промышленности и науке и технике благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам.

Как форма обработки металла молибдена, молибденовый лист обычно представлен в чрезвычайно тонких толщинах (от 0,01 мм до 3 мм) и широко используется в аэрокосмической, электронной промышленности, атомной энергетике, медицинском оборудовании и высокотемпературных печах. Его высокая температура плавления (около 2620 °C) и высокая прочность делают его превосходным в экстремальных условиях, особенно в сценариях, требующих высокой термостойкости и коррозионной стойкости. Процесс производства молибденовых листов обычно включает в себя извлечение молибдена из молибденита (MoS_2), а затем прохождение через несколько процессов, таких как спекание, горячая прокатка, холодная прокатка и отжиг, для получения тонких чешуек с определенными свойствами. Этот материал не только играет важную роль в традиционных отраслях промышленности, но и показывает незаменимую ценность в новых технологических областях, таких как производство полупроводников и новое энергетическое оборудование.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.2
Характеристики молибденовых листов

Ниже приведена таблица с подробным описанием общих спецификаций молибденовых листов, толщиной покрытия, шириной, длиной, типом обработки поверхности и соответствующими показателями производительности для удовлетворения потребностей различных промышленных сценариев:

параметр	Диапазон технических характеристик	замечание
толщина	0,01 мм - 3 мм	Для высокоточных электронных компонентов используется ультратонкая фольга (0,01-0,1 мм), для конструкционных деталей – более толстые листы (>1 мм)
Ширина	50 мм - 600 мм	Он может быть настроен в соответствии с потребностями клиента, а некоторые широкие молибденовые листы требуют специального прокатного оборудования
длина	Нестандартная длина или формы для рулонов	Форма рулона используется для непрерывного производства, а длина резки зависит от области применения
Поверхностная обработка	Полированный, протравленный, подвергнутый пескоструйной обработке	Полированная сторона подходит для полупроводников, протравленная сторона используется в вакуумной среде, а сторона с пескоструйной обработкой усиливает адгезию
Допуски по толщине	± 0,005 мм - ±02 мм	Соответствует стандарту ASTM B386, в зависимости от толщины
Чистота материала	≥99,95%	Молибденовые листы высокой чистоты могут быть легированы лантаном, титаном и другими элементами (например, сплавами ТЗМ) для улучшения характеристик
Отожженное состояние	Отжиг для снятия напряжений, полный отжиг	Температура отжига составляет 1100-1300°C, что улучшает пластичность и снижает хрупкость
Шероховатость поверхности	Ra 0,8 мкм – Ra 3,2 мкм	Шероховатость полированной поверхности самая низкая, а шероховатость поверхности с пескоструйной обработкой выше

На рынке продукты таких брендов, как CTIA GROUP LTD Molybdenum Sheet, строго следуют стандарту ASTM B386, допуск по толщине может контролироваться в пределах ±0,005 мм, а значение шероховатости поверхности Ra составляет всего 0,4 микрона, что соответствует строгим требованиям высокотехнологичных приложений. Технические характеристики молибденового

листа также могут быть оптимизированы в соответствии с составом сплава (например, молибденового сплава TZM) или легированных элементов (например, лантана или титана) для удовлетворения особых потребностей таких секторов, как аэрокосмическая, атомная промышленность или производство полупроводников. Например, лист из молибденового сплава TZM превосходит лист из чистого молибдена с точки зрения прочности при высоких температурах и сопротивления ползучести, а также подходит для более высоких температур (выше 1500 °C).

1.3 Характеристики молибденовых листов

Молибденовый лист выделяется среди многих высокоэффективных материалов благодаря своим уникальным свойствам материала. Прежде всего, молибденовый лист имеет чрезвычайно высокую температуру плавления (2620 °C), уступая только вольфраму, рению и другим металлам, поэтому он может сохранять отличную механическую прочность в высокотемпературных средах, например, прочность на разрыв более 700 МПа при 1200 °C. Во-вторых, молибденовые листы имеют низкий коэффициент теплового расширения (около $4,8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$), что соответствует коэффициенту теплового расширения многих керамических материалов и полупроводниковых подложек, что делает их важным применением в термобарьерных покрытиях и электронной упаковке. Кроме того, молибденовые листы обладают отличной теплопроводностью (теплопроводность около 138 Вт/м·К) и могут эффективно рассеивать тепло, что делает их пригодными для теплового экранирования высокотемпературных печей или подложек для рассеивания тепла для электронных устройств. Однако молибденовые листы хрупки при комнатной температуре, а их объемноцентрированная кубическая кристаллическая структура делает их ограниченными в пластичности при низких температурах, но при нагревании до температуры рекристаллизации (1000-1200°C) пластичность значительно улучшается, что удобно для дальнейшей обработки. Молибденовые листы также демонстрируют отличную коррозионную стойкость, особенно в кислых средах и неокисляющих атмосферах, но склонны к образованию летучих оксидов (например, MoO_3) в окислительных средах, поэтому они часто используются под защитой от вакуума или инертного газа. Кроме того, молибденовые листы обладают высокой электропроводностью (удельное сопротивление около $5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$), благодаря чему их можно использовать в качестве электродного материала или мишени в электронной промышленности. В целом, молибденовые листы обладают высокой прочностью, высокой термостойкостью, низким тепловым расширением и отличной тепло- и электропроводностью, что делает их незаменимыми материалами для аэрокосмической, атомной промышленности и производства полупроводников.

1.3.1 Характеристики внешнего вида молибденовых листов

1.3.1.1 Появление и причина появления черно-коричневого молибденового листа

Необработанные молибденовые листы часто имеют черновато-коричневый вид во время производства, что в основном связано с оксидным слоем, который образуется на их поверхности. При обработке молибденовых листов, такой как прокатка или отжиг, когда металл молибдена

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

подвергается воздействию воздуха, его поверхность вступает в реакцию с кислородом с образованием оксида молибдена (MoO_3 или MoO_2). Эти оксиды обычно имеют черно-коричневый или темно-серый цвет и покрывают поверхность молибденового листа, образуя тонкую плотную оксидную пленку. Возникновение реакций окисления тесно связано с температурой и концентрацией кислорода в технологической среде. Например, в процессе отжига при высоких температурах (800-1000°C) поверхности молибдена сильно подвержены окислению, если они не защищены вакуумом или инертными газами, такими как аргон или азот. Кроме того, на черно-коричневый цвет молибденовых листов также могут влиять остатки смазки, используемой в процессе прокатки, или следы поверхностных загрязнений. Эти смазочные материалы могут карбонизироваться при высоких температурах, образуя следовые количества соединений на основе углерода, которые еще больше затемняют цвет поверхности. Несмотря на то, что черно-коричневый оксидный слой в некоторой степени защищает молибденовый лист от дальнейшей коррозии, в высокоточных приложениях, таких как полупроводниковые мишени или электронные компоненты, этот оксидный слой часто необходимо удалять путем постобработки, чтобы обеспечить чистоту поверхности и стабильную производительность.

1.3.1.2 Серебристо-серый блеск и принцип обработки молибденовых листов после щелочной промывки

Благодаря едкой промывке поверхность молибденового листа может приобрести фирменный серебристо-серый металлический блеск, который является не только внутренней характеристикой металла молибдена, но и отражением его высокой чистоты и чистоты поверхности. В процессе промывки каустической жидкостью обычно используется сильный щелочной раствор, такой как гидроксид натрия (NaOH) или гидроксид калия (KOH), для замачивания молибденовых листов при определенной температуре (50-80°C) для удаления оксидов, жиров и органических остатков с поверхности. Химический принцип промывки едкой основан на реакции оксида молибдена со щелочным раствором, например, MoO_3 реагирует с NaOH с образованием растворимого молибдата натрия (Na_2MoO_4).), тем самым отслаиваясь от поверхностного оксидного слоя и раскрывая истинный цвет металлического молибдена. Кроме того, за едкой промывкой часто следует процесс промывки и сушки деионизированной водой, чтобы предотвратить вторичное окисление и убедиться, что на поверхности нет остаточных химических веществ.

Шероховатость поверхности щелочного промытого молибденового листа может составлять всего Ra 0,4 микрона, демонстрируя зеркальный серебристо-серый блеск, который не только улучшает эстетику, но и значительно улучшает характеристики молибденового листа в вакуумной среде, например, снижая скорость газовой выделенности, и подходит для использования в вакуумных печах или мишенях для распыления. Точное управление процессом промывки каустической кислоты особенно важно для высококачественных изделий из молибденовых листов, таких как молибденовые листы CTIA GROUP LTD за счет оптимизации процесса промывки каустической кислоты для обеспечения чистоты и консистенции поверхности, а также для соответствия требованиям стандарта ASTM B386 для высокоточных молибденовых листов.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.3.1.3 Плоскостность молибденового листа

Плоскостность молибденовых листов является важным показателем их внешних характеристик и эксплуатационных характеристик, особенно в высокоточных приложениях, таких как нанесение тонких пленок, электронная упаковка и прецизионные механические компоненты. Плоскостность обычно количественно определяется волнистостью поверхности или отклонением плоскостности, а отклонение плоскостности высококачественного молибденового листа можно контролировать в пределах $\pm 0,01$ мм/м. На плоскостность молибденового листа влияет множество факторов, включая процесс прокатки, обработку отжигом и толщину материала. Ультратонкие молибденовые листы (толщина $< 0,1$ мм) подвержены внутренним напряжениям в процессе холодной прокатки, что приводит к небольшим волнистостям поверхности или ряби, поэтому для улучшения структуры зерна и снятия напряжения требуется точный отжиг для снятия напряжений ($1100-1300^{\circ}\text{C}$). Более толстые молибденовые листы (>1 мм) относительно легко контролировать из-за высокой жесткости материала, но необходимо избегать чрезмерной деформации или неравномерного охлаждения в процессе прокатки. Современное прокатное оборудование и многопроходные процессы отжига могут значительно улучшить плоскостность молибденового листа, например, за счет контроля температурного градиента и скорости охлаждения с помощью вакуумной печи для отжига, что сводит к минимуму волнистость поверхности молибденового листа. Кроме того, плоскостность также связана с обработкой поверхности, а молибденовые листы после полировки или травления обычно имеют более высокую плоскостность из-за более равномерного распределения поверхностного напряжения. На практике молибденовые листы с высокой плоскостностью могут обеспечить хорошее прилегание мишени к подложке при осаждении тонкой пленки или снизить концентрацию термического напряжения в электронной упаковке, тем самым продлевая срок службы компонентов.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Молибденовый лист CTIA GROUP LTD

Глава 2 Эксплуатационные характеристики молибденовых листов

2.1 Физические свойства молибденовых листов

Молибденовые листы CTIA GROUP LTD известны своими превосходными физическими свойствами, они используются в аэрокосмической отрасли, электронике и высокотемпературных приложениях, охватывая такие ключевые свойства, как плотность, температура плавления, температура кипения, электропроводность, теплопроводность и коэффициент теплового расширения. Эти свойства обусловлены центрированной по телу кубической кристаллической структурой молибдена и энергией связывания плато, что позволяет ему демонстрировать превосходную стабильность и функциональность в экстремальных условиях. Далее будет подробно рассмотрен коэффициент теплового расширения молибденового листа, а также его высокая прочность, пластичность и сопротивление ползучести при высоких температурах по механическим свойствам, а также проведен глубокий анализ на основе профессиональных данных и опыта процесса, чтобы выявить его применимость в высокоточных и высокотемпературных сценариях.

2.1.1 Плотность молибденовых листов

Плотность молибденового листа является важным показателем его физических свойств, обычно около $10,22 \text{ г/см}^3$ (при 20°C), что немного ниже, чем у вольфрама ($19,25 \text{ г/см}^3$), но выше, чем у многих распространенных металлов, таких как железо ($7,87 \text{ г/см}^3$) или алюминий ($2,70 \text{ г/см}^3$). Это значение плотности отражает компактное атомное расположение металлического молибдена, что делает его относительно легким по весу при сохранении высокой прочности, что делает его

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

пригодным для применений, требующих как прочности, так и веса, таких как тепловая защита аэрокосмических компонентов или высокотемпературные печи. На плотность молибденового листа влияет его чистота и следовые количества легированных элементов. Например, плотность листа молибдена высокой чистоты (чистота $\geq 99,95\%$) близка к теоретическому значению, в то время как лист молибденового сплава ТЗМ, легированный лантаном или титаном, может иметь незначительное изменение плотности (обычно от 10,16 до 10,20 г/см³) из-за добавления небольшого количества других элементов. В процессе производства плотность молибденового листа точно контролируется порошковой металлургией и последующим процессом прокатки. Размер частиц и условия спекания исходного молибденового порошка (например, температура 1800-2000°C, вакуум или водородная защита) влияют на плотность заготовки, в то время как многократные проходы холодной прокатки и отжига еще больше устраняют внутреннюю пористость и обеспечивают равномерную плотность молибденового листа. Постоянство плотности особенно важно для осаждения тонких пленок или целевых применений, так как любое небольшое отклонение плотности может привести к неравномерной скорости распыления или нестабильным свойствам материала. При фактическом измерении плотность молибденового листа обычно проверяется методом дренажа Архимеда или рентгеновским плотномером, а погрешность контролируется в пределах $\pm 0,01$ г/см³ для удовлетворения потребностей высокоточных приложений.

2.1.2 Температура плавления молибденового листа

Температура плавления молибденового листа является одним из его наиболее заметных физических свойств, около 2620 °C (2893 K), уступая только вольфраму (3422 °C) и рению (3180 °C) среди распространенных металлов. Эта чрезвычайно высокая температура плавления позволяет молибденовым листам хорошо работать в высокотемпературных средах и широко используется в жаропрочных компонентах вакуумных печей, ядерных реакторов и аэрокосмических двигателей. Высокая температура плавления молибдена обусловлена его прочными металлическими связями и кубической кристаллической структурой, центрированной по телу, что придает ему высокую механическую прочность при высоких температурах. Например, при температуре 1200°C прочность на разрыв молибденовых листов все еще может поддерживаться выше 700 МПа, что намного выше, чем у многих других металлических материалов. Стабильность температуры плавления также тесно связана с чистотой молибденового листа, которая ближе к теоретическому значению молибденового листа высокой чистоты ($\geq 99,95\%$) из-за его очень низкого содержания примесей, в то время как следовые примеси (такие как углерод, кислород или азот) могут незначительно снижать температуру плавления или вызывать локальные изменения свойств. В процессе производства характеристики температуры плавления молибденовых листов сохраняются благодаря строгому контролю очистки сырья и среды обработки. Например, молибденит (MoS₂) необходимо спекать при высоких температурах в вакууме или восстановительной атмосфере после очистки, чтобы избежать влияния оксидных включений на свойства материала. Кроме того, молибденовые листы должны быть осторожны с их склонностью к окислению при высоких температурах, а в окислительной атмосфере выше 600 °C молибден быстро образует летучие оксиды (например, MoO₃), поэтому его часто

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

используют в вакууме или под защитой инертных газов, таких как аргон или азот, чтобы воспользоваться его высокой температурой плавления. Это свойство молибденовых листов делает их идеальными для термической защиты, распыления мишеней и подложек из жаропрочных сплавов в высокотемпературных печах.

2.1.3 Температура кипения молибденового листа

Температура кипения молибденового листа является еще одной ключевой характеристикой его физических свойств, которая составляет около 4639 °C (4912 K), что является одним из самых высоких показателей в области металлических материалов, уступая только нескольким металлам с высокой температурой плавления, таким как вольфрам (5555 °C) и рений (5596 °C). Эта чрезвычайно высокая температура кипения позволяет молибденовому листу сохранять структурную стабильность в условиях экстремально высоких температур, что делает его особенно подходящим для использования в приложениях, требующих работы при сверхвысоких температурах, таких как плазменное напыление, вакуумное испарение или высокотемпературное плавильное оборудование. Высокая температура кипения молибдена тесно связана с его прочными металлическими связями и низким давлением пара (давление пара всего около 10^{-7} Па при 3000°C), что означает, что даже при температурах, близких к температуре плавления, молибденовые листы имеют чрезвычайно низкие потери на испарение и способны сохранять свою физическую форму в течение длительного времени. На стабильность точки кипения влияет чистота молибденового листа, которая ближе к теоретическому значению из-за низкого содержания примесей в молибденовых листах высокой чистоты ($\geq 99,95\%$), в то время как следовые примеси (такие как кислород или углерод) могут вызывать местное испарение или поверхностные дефекты. В процессе производства характеристики температуры кипения молибденовых листов оптимизируются за счет выбора сырья высокой чистоты и процесса обработки в вакуумной среде. Например, при вакуумном спекании или отжиге (температура обычно контролируется на уровне 1800-2000 °C) можно эффективно снизить образование оксидов или нитридов и обеспечить стабильность материала при высоких температурах. Высокая температура кипения молибденовых листов дает им уникальные преимущества в аэрокосмической промышленности (например, футеровка ракетных сопел) или в полупроводниковой промышленности (например, высокотемпературные испарительные лодки), но необходимо избегать воздействия высоких температур в окисляющих атмосферах, чтобы предотвратить потери материала из-за испарения оксидов.

2.1.4 Проводимость молибденовых листов

Проводимость молибденового листа является важной основой для его широкого применения в электронной промышленности, а его удельное сопротивление составляет около $5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$ (при 20°C), соответствующая проводимость составляет $1,92 \times 10^7 \text{ См/м}$, что свидетельствует о хорошей проводимости. По сравнению с медью (удельное сопротивление $1,68 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$) или серебром ($1,59 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$), молибденовый лист немного менее проводящий, но его стабильность проводимости при высоких температурах намного выше, чем у многих распространенных

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

материалов проводников. Например, при 1000°C удельное сопротивление молибденовых листов увеличивается лишь примерно в 2,5 раза, в то время как удельное сопротивление меди может увеличиваться более чем в 5 раз. Эта высокотемпературная проводящая стабильность делает молибденовые листы идеальными для электродных материалов, мишеней для распыления и компонентов высокотемпературных схем. Проводимость молибденового листа тесно связана с его кристаллической структурой и чистотой, а объемно-центрированная кубическая структура металлического молибдена обладает высокой подвижностью электронов, в то время как высокая чистота ($\geq 99,95\%$) может снизить рассеяние на границе зерен и устойчивость к примесям. В процессе производства проводящие свойства молибденового листа дополнительно оптимизируются за счет контроля процесса прокатки и условий отжига. Например, отжиг для снятия напряжений (1100-1300°C) улучшает структуру зерна и снижает сопротивление границ зерен, что приводит к повышению проводимости. Кроме того, поверхностные обработки, такие как полировка или травление, снижают влияние оксидного слоя на проводимость поверхности, обеспечивая стабильные электрические свойства молибденового листа в вакууме или инертной среде. Электропроводность молибденовых листов особенно важна в производстве полупроводников, например, в качестве мишени для распыления для нанесения проводящих тонких пленок или в качестве анодного материала в рентгеновских трубках.

2.1.5 Теплопроводность молибденовых листов

Теплопроводность молибденовых листов является ключевым преимуществом в системах высокотемпературного рассеивания тепла и терморегулирования, с теплопроводностью около 138 Вт/м·К при 20°C, что близко к алюминию (237 Вт/м·К), но намного выше, чем у нержавеющей стали (около 16 Вт/м·К). Эта превосходная теплопроводность позволяет молибденовым листам быстро передавать тепло, что широко используется для теплового экранирования в высокотемпературных печах, подложек для рассеивания тепла для электронных устройств и терморегулирования аэрокосмических компонентов. Теплопроводность молибденового листа тесно связана с его электронной структурой и кристаллической регулярностью, а объемно-центрированная кубическая структура металла молибдена имеет высокую плотность свободных электронов, что способствует быстрому проведению тепла. Теплопроводность немного снижается с повышением температуры, например, примерно до 100 Вт/м·К при 1000°C, но все еще достаточна для большинства высокотемпературных применений. На теплопроводность молибденовых листов также влияют его чистота и микроструктура, при этом высокочистые молибденовые листы ($\geq 99,95\%$) имеют лучшую теплопроводность за счет меньшего разброса зернистых границ и примесей, в то время как легированные сплавы (например, ТЗМ) могут незначительно снижать теплопроводность (около 120-130 Вт/м·К) из-за добавления элементов. Во время производства теплопроводность молибденовых листов улучшается за счет оптимизации процесса спекания и прокатки, например, снижения внутренней пористости за счет вакуумного спекания или контроля размера зерна за счет холодной прокатки и отжига для минимизации термической стойкости. В практическом применении теплопроводность молибденовых листов делает их материалом для отвода тепла в полупроводниковой упаковке или в качестве теплозащитного слоя в высокотемпературных печах, что позволяет эффективно снижать

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

температурные градиенты и продлевать срок службы оборудования.

2.1.6 Коэффициент теплового расширения молибденового листа

Коэффициент теплового расширения молибденовых листов является критическим физическим свойством в высокотемпературных приложениях, составляя в среднем около $4,8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ (в диапазоне 20-1000 $^{\circ}\text{C}$), что значительно ниже меди ($16,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) и алюминия ($23,1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$). Тем не менее, он аналогичен коэффициенту теплового расширения многих керамических материалов (например, оксида алюминия, около $7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) и полупроводниковых подложек (например, кремния, около $2,6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$). Этот низкий коэффициент теплового расширения позволяет молибденовым листам эффективно снижать термическое напряжение в высокотемпературных средах, что делает их идеальными для применений, требующих термического согласования, таких как электронная упаковка, осаждение тонких пленок и термобарьерные покрытия. Низкий коэффициент теплового расширения обусловлен объемно-центрированной кубической кристаллической структурой металлического молибдена, который обладает сильной межатомной силой связи, ограничивающей расширение кристаллической решетки при высоких температурах.

На характеристики теплового расширения молибденовых листов также влияют их чистота и технология обработки, при этом молибденовые листы высокой чистоты ($\geq 99,95\%$) имеют более стабильный коэффициент теплового расширения, в то время как легированные сплавы (такие как TZM, содержащие титан и цирконий) могут незначительно увеличивать коэффициент теплового расширения (около $5,0-5,3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$). В процессе производства равномерность коэффициента теплового расширения контролируется с помощью точных процессов прокатки и отжига, например, вакуумного отжига (1100-1300 $^{\circ}\text{C}$) для оптимизации структуры зерна, снижения концентрации микроскопических напряжений и обеспечения стабильного теплового расширения. Низкий коэффициент теплового расширения молибденовых листов особенно критичен в производстве полупроводников, например, в качестве материала подложки для упаковки микросхем, что позволяет эффективно снижать напряжения теплового несоответствия, вызванные изменениями температуры, тем самым повышая надежность устройства. Кроме того, в высокотемпературных печах или аэрокосмических компонентах свойства низкого теплового расширения молибденовых листов помогают сохранить структурную стабильность и продлить срок службы.

2.2 Механические свойства молибденовых листов

Механические свойства молибденовых листов, включая высокую прочность, пластичность и сопротивление ползучести при высоких температурах, являются основными преимуществами молибденовых листов в суровых условиях. Объемно-центрированная кубическая кристаллическая структура металла молибдена придает ему отличную механическую прочность, но также придает определенную степень низкотемпературной хрупкости. Благодаря передовым методам обработки, таким как холодная прокатка, горячая прокатка и отжиг, механические свойства молибденовых листов могут быть оптимизированы, благодаря чему они хорошо

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

работают как при окружающей среде, так и при высоких температурах. Ниже будет подробно проанализирована высокая прочность, пластичность и сопротивление ползучести молибденового листа, а также раскрыта его применимость в аэрокосмической, атомной промышленности и высокотемпературных печах с профессиональными данными.

2.2.1 Высокая прочность молибденового листа

Высокая прочность молибденового листа является важной его характеристикой в условиях высоких нагрузок и высоких температур, а его прочность на разрыв может достигать 800-1000 МПа при комнатной температуре, что намного выше, чем у многих распространенных металлов, таких как алюминий (около 200 МПа) или нержавеющая сталь (около 500 МПа). При высоких температурах, таких как 1200°C, прочность на разрыв молибденовых листов может сохраняться выше 700 МПа, демонстрируя превосходную прочностную стабильность. Эта высокая прочность обусловлена прочными металлическими связями молибдена и высоким модулем упругости (около 320 ГПа), что позволяет ему выдерживать значительные механические нагрузки. На прочность молибденовых листов влияет их чистота и технология обработки, высокочистые молибденовые листы ($\geq 99,95\%$) имеют более высокую прочность за счет меньшего количества примесей в границах зерен, в то время как легированные сплавы (такие как ТЗМ) дополнительно улучшают высокотемпературную прочность (до более чем 1200 МПа) за счет добавления титана, циркония и других элементов. В процессе производства прочность молибденового листа оптимизируется за счет многопроходной прокатки и отжига для снятия напряжений. Процесс холодной прокатки значительно повышает прочность за счет внесения дислокаций и измельчения зерна, в то время как отжиг (1100-1300°C) уравнивает прочность и ударную вязкость и предотвращает чрезмерное охрупчивание. Высокая прочность молибденовых листов делает их важными областями применения в аэрокосмической промышленности (например, в качестве опорной конструкции лопаток турбин) или в атомной промышленности (например, в футеровке корпусов реакторов), где они могут выдерживать экстремальные механические нагрузки и высокотемпературные нагрузки.

2.2.2 Пластичность молибденовых листов

Пластичность молибденового листа является важным аспектом его механических свойств, хотя его объемно-центрированная кубическая кристаллическая структура показывает определенную степень хрупкости при комнатной температуре, он может достичь хорошей пластичности при соответствующих условиях. При комнатной температуре молибденовые листы обычно имеют удлинение при разрыве от 5 до 10%, что ниже, чем у высокопластичных металлов, таких как медь (около 50%), но может быть значительно улучшено за счет высокотемпературной обработки или отжига. Например, при температуре рекристаллизации 1000-1200°C относительное удлинение при разрыве молибденового листа может быть увеличено до более чем 20%, что подходит для формования сложных форм. Улучшение пластичности тесно связано с оптимизацией структуры зерна, а холоднокатаный молибденовый лист является хрупким из-за высокой плотности повреждений, но рекристаллизация зерна может быть обеспечена вакуумным отжигом (1100-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1300°C), а внутреннее напряжение и плотность дислокаций могут быть снижены, тем самым повышая пластичность. Лист молибдена высокой чистоты ($\geq 99,95\%$) обладает лучшей пластичностью за счет меньшего количества примесей, в то время как легированные сплавы (такие как TZM) имеют несколько меньшую пластичность при высоких температурах, но все же лучше, чем чистый молибден при низких температурах. В процессе производства пластичность молибденовых листов оптимизируется за счет точно контролируемых проходов прокатки и процессов отжига, таких как прокатка многопроходными с небольшими деформациями в сочетании с низкотемпературным отжигом, что улучшает пластичность при сохранении прочности. Пластичность молибденовых листов позволяет им широко использоваться при осаждении тонких пленок, штамповке и прецизионной обработке, например, в качестве гибких подложек или мишеней в полупроводниковой промышленности.

2.2.3 Сопротивление ползучести молибденовых листов при высоких температурах

Сопротивление ползучести молибденовых листов при высоких температурах является ключевым преимуществом при длительных нагрузках при высоких температурах, особенно в таких областях, как аэрокосмическая промышленность и высокотемпературные печи. Ползучесть относится к медленной деформации материалов при высоких температурах и постоянных нагрузках, а молибденовые листы имеют чрезвычайно низкие скорости ползучести при высоких температурах (1000-1500°C), такие как 10^{-6} при 1200°C и 100 МПа напряжений/с, что намного лучше, чем у нержавеющей стали (около 10^{-4} /с). Это превосходное сопротивление ползучести обусловлено высокой температурой плавления и прочными металлическими связями металлического молибдена, а также стабильностью его объемно-центрированной кубической кристаллической структуры при высоких температурах. Легированные сплавы (например, TZM) дополнительно повышают сопротивление ползучести за счет добавления титана, циркония и углерода для образования осажденной фазы, а их предел прочности на ползучесть может быть увеличен на 30-50% по сравнению с чистым молибденом. Во время производства сопротивление ползучести улучшается за счет оптимизации размера зерна и процессов легирования, таких как контроль температуры спекания (1800-2000 °C) и скорости охлаждения, что приводит к получению тонкой и однородной структуры зерна, которая снижает соскальзывание границ зерна и деформацию ползучести. Кроме того, сопротивление ползучести молибденовых листов также связано с их поверхностным состоянием и средой, в которой они используются, а в вакууме или инертной атмосфере молибденовые листы могут избежать образования оксидов и, таким образом, поддерживать долгосрочную стабильность при высоких температурах. Сопротивление ползучести молибденовых листов при высоких температурах делает их незаменимыми во внутренних устройствах высокотемпературных печей, опорных конструкциях ядерных реакторов и высокотемпературных компонентах аэрокосмической отрасли, что позволяет им сохранять свою форму и прочность в экстремальных условиях.

2.2.4 Твердость молибденовых листов

Твердость молибденового листа CTIA GROUP LTD является важным воплощением его

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

механических свойств, что делает его имеющим значительные преимущества при износостойком и высоконагруженном применении. Твердость молибденовых листов обычно выражается в формах Виккерса (HV) или Бринелля (HB), а диапазон твердости по Виккерсу высокочистых молибденовых листов (чистота $\geq 99,95\%$) при комнатной температуре составляет 220-250 HV, что эквивалентно твердости по Бринеллю около 230-260 HB, значительно выше, чем у алюминия (около 30 HV) и близко к некоторым низколегированным сталям. Такая высокая твердость обусловлена центрированной по телу кубической кристаллической структурой металлического молибдена и его сильной силой связывания атомов, которая может эффективно противостоять царапинам и деформации поверхности. Твердость холоднокатаного молибденового листа может быть увеличена до более чем 280 HV за счет увеличения плотности дислокаций, в то время как твердость отожженного (1100-1300°C) будет немного снижена до 200-220 HV для балансировки ударной вязкости. Легированные сплавы, такие как TZM (содержащие титан, цирконий и углерод), могут достигать твердости 300-350 HV благодаря механизму осаждения, который особенно подходит для высокотемпературных и высоконагруженных сред. В производственном процессе твердость точно регулируется путем контроля величины деформации прокатки и процесса отжига, например, многопроходная холодная прокатка в сочетании с низкотемпературным отжигом для оптимизации размера зерна, поддержания высокой твердости и предотвращения хрупкости. Высокая твердость молибденовых листов делает их превосходными при напылении, подложках с покрытием режущего инструмента и высокотемпературных формах, выдерживая механический износ и поверхностные нагрузки.

2.2.5 Ударная вязкость молибденовых листов

Ударная вязкость молибденового листа относится к его способности поглощать энергию и сопротивляться разрушению при воздействии силы, хотя его объемно-центрированная кубическая кристаллическая структура проявляет определенную степень хрупкости при комнатной температуре, при соответствующей оптимизации процесса молибденовый лист может демонстрировать умеренную ударную вязкость. При комнатной температуре вязкость разрушения (K_{IC}) молибденового листа обычно составляет 10-15 МПа·м^{1/2}, что ниже, чем у металлов с высокой вязкостью, таких как медь (около 50 МПа·м^{1/2}), но при высокой температуре (1000-1200°C) вязкость значительно улучшается, и вязкость разрушения может достигать более 20 МПа·м^{1/2}. Это связано с усилением скольжения на границе зерна и дислокационного движения при высоких температурах, что снижает склонность к хрупкому разрушению. На ударную вязкость молибденовых листов влияют чистота и микроструктура, молибденовые листы высокой чистоты ($\geq 99,95\%$) имеют более чистые зернистые границы и лучшую ударную вязкость за счет меньшего количества примесей, в то время как легированные сплавы, такие как TZM, могут поддерживать баланс ударной вязкости и прочности при высоких температурах за счет упрочнения в дисперсионной фазе. В процессе производства эффективно улучшается ударная вязкость и уменьшается распространение трещин за счет контроля размера зерен и оптимизации процесса отжига, такого как вакуумный отжиг (1100-1300°C) для формирования однородных и мелких зерен. Прочность молибденовых листов дает им преимущество при изготовлении аэрокосмических компонентов, таких как высокотемпературные сопла и электронные подложки,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

где они могут выдерживать тепловой удар и механическую вибрацию, не подвергаясь поломке.

2.2.6 Усталостная прочность молибденовых листов

Усталостная прочность молибденового листа отражает его способность противостоять образованию усталостных трещин и их распространению под действием циклических напряжений, что является ключевой характеристикой при динамических нагрузках. При комнатной температуре предел усталостной прочности молибденового листа (т.е. напряжение, которое не разрушается при 10^7 циклах) составляет около 400-500 МПа, что составляет около 50% его прочности на разрыв. При высоких температурах (1000°C) усталостный предел немного снижается до 300-400 МПа, но все равно лучше, чем у многих металлических материалов. Усталостная стойкость молибденового листа тесно связана с его кристаллической структурой и качеством поверхности, а объемно-центрированная кубическая структура молибденового металла имеет более высокую устойчивость к распространению усталостных трещин, в то время как молибденовый лист высокой чистоты ($\geq 99,95\%$) имеет лучшие усталостные характеристики из-за меньшего количества примесей на границах зерен. Легированные сплавы, такие как TZM, могут еще больше увеличить усталостную долговечность за счет осаждения. В производственном процессе усталостная стойкость повышается за счет оптимизации процессов прокатки и обработки поверхности, таких как полировка поверхностей ($R_a \leq 0,4$ мкм) для снижения точки зарождения поверхностных микротрещин и отжиг со снятием напряжений (1100-1300°C) для снижения остаточного напряжения и увеличения усталостной долговечности. Усталостная прочность молибденовых листов делает их превосходными в аэрокосмической промышленности (например, опоры лопаток турбин) и высокотемпературных вибрационных средах (например, в компонентах ядерных реакторов), а также способна выдерживать длительные циклические нагрузки без отказа.

2.3 Химические свойства молибденовых листов

Химические свойства молибденовых листов, включая коррозионную стойкость и стойкость к окислению, определяют их пригодность в суровых химических средах. Благодаря своим стабильным химическим свойствам и низкой реакционной способности, металлический молибден проявляет отличную коррозионную стойкость в неокисляющих кислотах, щелочах и различных химических средах, но особое внимание следует уделять защите его поверхности в окисляющих средах. Коррозионная стойкость и стойкость к окислению молибденовых листов будут подробно рассмотрены ниже, в сочетании с экспертными данными, чтобы показать, как они ведут себя в химических средах.

2.3.1 Коррозионная стойкость молибденовых листов

Коррозионная стойкость молибденовых листов является важным преимуществом в химической промышленности и в экстремальных условиях, особенно в неокисляющих кислотах и щелочных средах. Молибденовые листы обладают отличной коррозионной стойкостью к неокисляющим

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

кислотам, таким как соляная кислота, серная кислота и фтористоводородная кислота, например, при концентрации 10% соляной кислоты (20°C) скорость коррозии составляет менее 0,01 мм/год, что намного лучше, чем у нержавеющей стали (около 0,1 мм/год). В щелочных средах, таких как растворы гидроксида натрия, молибденовые листы также хорошо себя чувствуют, со скоростью коррозии ниже 0,005 мм/год. Это связано с химически инертной природой и высоким электродным потенциалом металлического молибдена, что делает его менее подверженным электрохимическим реакциям с неокисляющими средами. Однако среди окисляющих кислот (например, концентрированной азотной кислоты) молибденовые листы имеют плохую коррозионную стойкость из-за образования растворимых молибдатов. Коррозионная стойкость молибденовых листов тесно связана с их поверхностным состоянием и чистотой, молибденовые листы высокой чистоты ($\geq 99,95\%$) имеют низкую склонность к коррозии на границах зерен из-за меньшего количества примесей, в то время как полировка или травление поверхности ($Ra \leq 0,4$ мкм) может еще больше снизить температуру коррозии. В процессе производства коррозионная стойкость повышается за счет оптимизированных процессов очистки и обработки поверхности, таких как удаление примесей кислорода и азота путем вакуумного спекания или удаление поверхностных оксидов с помощью каустической промывки. Коррозионная стойкость молибденовых листов делает их широко используемыми в футеровке химических реакторов, электродных материалах и морской технике.

2.3.2 Стойкость молибденовых листов к окислению

Стойкость к окислению молибденового листа является лимитирующим фактором его химических свойств в высокотемпературной среде, поскольку металлический молибден склонен к образованию летучих оксидов в окислительной атмосфере. При температурах ниже 600 °C на поверхности молибденового листа может образовываться тонкий и плотный оксидный слой (например, MoO_2), обеспечивающий некоторую защиту, но при температуре выше 600 °C молибден быстро окисляется с образованием летучего триоксида молибдена (MoO_3). Скорость испарения может достигать 0,1 г/см²·ч при 800 °C, что приводит к быстрым потерям материала. Это свойство ограничивает использование молибденовых листов в окислительных средах для высокотемпературных применений, часто под защитой вакуума или инертных газов, таких как аргон или азот, чтобы избежать потерь при окислении. В вакуумной среде стойкость молибденовых листов к окислению значительно повышается, а поверхность остается стабильной даже при 1500 °C. На стойкость к окислению влияет чистота и обработка поверхности молибденового листа, а молибденовый лист высокой чистоты ($\geq 99,95\%$) имеет меньшую скорость окисления из-за меньшего количества примесей, в то время как легированный сплав (например, ТЗМ) может немного улучшить стойкость к окислению за счет добавления титана и циркония. В процессе производства стойкость к окислению оптимизируется с помощью поверхностных покрытий (например, силицидных или оксидоземных покрытий) или процессов вакуумного отжига, например, при 1200 °C для снижения поверхностной адсорбции кислорода. Стойкость молибденовых листов к окислению ограничивает их прямое использование в высокотемпературных воздушных средах, но стабильность при высоких температурах делает их идеальными в вакуумных печах, производстве полупроводников и атомной промышленности.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.4 CTIA GROUP LTD Молибденовый лист MSDS

Молибденовые листы CTIA GROUP LTD как металлический материал высокой чистоты, его Паспорт безопасности материала (MSDS) или Паспорт безопасности (SDS) является важным документом для обеспечения его безопасного использования, хранения и транспортировки, и соответствует требованиям Международной гармонизированной системы классификации и маркировки опасных химических веществ (GHS). Несмотря на то, что молибденовые листы сами по себе считаются неопасными в нормальных условиях, их MSDS предоставляет подробную информацию о физико-химических свойствах, рисках для здоровья и окружающей среды, рекомендации по безопасной эксплуатации и аварийные меры для обеспечения безопасности и соблюдения требований к охране труда. Ниже подробно описывается содержание MSDS в молибденовом листе CTIA GROUP LTD с точки зрения физических и химических свойств, воздействия на здоровье и окружающую среду, эксплуатации и хранения, защитных мер и экстренной обработки.

Физико-химические свойства молибденовых листов CTIA GROUP LTD являются основной частью MSDS, предоставляя пользователям основную физико-химическую информацию о материалах. Его химический состав — молибден высокой чистоты (чистота $\geq 99,95\%$), химический символ Mo, атомный номер 42, плотность около $10,22 \text{ г/см}^3$ (20°C), температура плавления около 2620°C , температура кипения около 4639°C . Молибденовые листы имеют серебристо-серый металлический блеск и обычно встречаются в виде чешуек или фольги, толщиной от 0,01 мм до 3 мм. Обработка поверхности, такая как полировка или травление, влияет на их внешний вид и шероховатость (Ra 0,4-1,6 мкм). Молибденовые листы химически стабильны при комнатной температуре, нерастворимы в воде, имеют низкую реакционную способность с неокисляющими кислотами (такими как соляная кислота, серная кислота) и щелочными растворами, но склонны к образованию летучего триоксида молибдена (MoO_3) в высокотемпературной окислительной атмосфере ($>600^\circ\text{C}$). В MSDS четко указано, что температура вспышки и температура самовоспламенения молибденовых листов неприменимы, поскольку они являются твердыми металлами и не представляют опасности взрыва или воспламеняемости в нормальных условиях. Эти функции обеспечивают основу для безопасной работы, гарантируя, что пользователи осведомлены о своем физическом поведении и потенциальных химических реакциях.

Воздействие на здоровье человека и окружающую среду являются важными компонентами MSDS, целью которой является оценка потенциальных рисков, связанных с молибденовыми листами для человека и окружающей среды. Таблетки молибдена не представляют существенной опасности для здоровья человека при нормальных условиях применения, их токсичность крайне низка, а данные об острой пероральной токсичности (ЛД₅₀), как правило, отсутствуют, так как чистый молибден не считается токсичным веществом. Тем не менее, молибденовая пыль или пары могут образовываться во время обработки, такой как резка, шлифовка или сварка, вдыхание высокой концентрации пыли может вызвать легкое раздражение дыхательных путей, а длительное воздействие может вызвать дискомфорт в легких. MSDS рекомендует избегать вдыхания пыли и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

следить за тем, чтобы рабочее место хорошо проветривалось. Контакт кожи и глаз с молибденовыми листами обычно безвреден, но острые края могут привести к механическим царапинам, и с ними следует обращаться безопасно. С экологической точки зрения, молибденовые листы сами по себе не имеют прямого риска загрязнения воды, почвы и воздуха, но молибденовая пыль или отходы, образующиеся при переработке, могут оказывать воздействие на местную окружающую среду при отсутствии надлежащей обработки. MSDS подчеркивает, что отходы молибденового листа должны сортироваться и перерабатываться в соответствии с местными нормами и избегать прямых выбросов в окружающую среду для выполнения требований по охране окружающей среды.

Безопасное обращение и хранение являются ключевой частью MSDS для обеспечения безопасного использования молибденовых листов на рабочем месте. Молибденовые листы CTIA GROUP LTD следует хранить в сухом и хорошо проветриваемом помещении, избегая высокой температуры ($>600^{\circ}\text{C}$) и окислительной атмосферы для предотвращения окисления поверхности. Место хранения следует хранить вдали от сильных окислителей (например, концентрированной азотной кислоты) или высокотемпературных источников возгорания, так как молибден может вступать в реакцию с кислородом при высоких температурах с образованием MoO_3 . MSDS рекомендует использовать соответствующие средства индивидуальной защиты (СИЗ), такие как защитные перчатки, защитные очки и респираторы, особенно при резке, шлифовании или сварке, чтобы предотвратить вдыхание пыли или механические травмы. При эксплуатации оборудования должна быть оборудована местная система вытяжной вентиляции, обеспечивающая концентрацию пыли ниже предельно допустимых значений профессионального воздействия (например, OSHA PEL или ACGIH TLV, рекомендуемый предел воздействия молибденовой пыли составляет примерно 10 мг/м^3). С точки зрения транспортировки молибденовые листы не подпадают под категорию опасных грузов в рамках Международной морской перевозки опасных грузов (IMDG) или Международной ассоциации воздушного транспорта (IATA), но они должны быть правильно упакованы, чтобы избежать физических повреждений или загрязнения. MSDS также рекомендует регулярно проверять складские помещения, чтобы убедиться, что никакая влага или высокие температуры не могут повлиять на свойства материала.

Меры по чрезвычайным ситуациям являются еще одним ключевым элементом MSDS, обеспечивающим руководство по быстрому реагированию на непредвиденные ситуации. В случае вдыхания пыли при обработке молибденового листа MSDS рекомендует переместить пострадавших людей на свежий воздух и обратиться за медицинской помощью, если симптомы сохраняются. Когда кожа соприкасается с молибденовым листом и вызывает царапины, рану следует немедленно промыть водой и провести соответствующую обработку раны; Если молибденовая пыль попала в глаза, промойте их большим количеством воды в течение не менее 15 минут и обратитесь к врачу. В случае пожара молибденовый лист сам по себе не горюч, но если речь идет о высокотемпературном окислении, следует использовать сухой порошок или огнетушащее вещество углекислого газа, а также следует избегать огнетушащего вещества на водной основе, чтобы предотвратить усиление реакции. При разливах или утилизации отходов MSDS требует использования пылесосного оборудования или методов влажной уборки для сбора

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

молибденовой пыли, чтобы избежать попадания летучей пыли, а также отправки отходов на авторизованное предприятие по переработке для утилизации, а также запрещает выбрасывать. Контактная информация для экстренных случаев обычно включает в себя номер телефона экстренной связи производителя и адрес в случае аварии.

MSDS молибденовых чипов CTIA GROUP LTD также должен соответствовать международным и региональным нормативным требованиям, таким как стандарт OSHA по передаче информации об опасности (29 CFR 1910.1200), регламент EC REACH (EC No 1907/2006) и китайский стандарт GB/T 16483-2008. Документ оформлен в 16 разделах стандарта GHS, включая идентификацию веществ, классификацию опасности, информацию об ингредиентах, меры первой помощи, меры противопожарной защиты, реагирование на разливы, эксплуатацию и хранение, контроль воздействия, физико-химические свойства, стабильность и реакционную способность, токсикологическую информацию, экологическую информацию, информацию об утилизации, информацию о транспортировке, нормативную информацию и другую информацию. MSDS необходимо обновлять каждые три года или пересматривать по мере поступления новой информации об опасностях для обеспечения точности и соответствия. Пользователи могут получить последние документы MSDS через официальный сайт CTIA GROUP LTD или связаться с отделом по работе с клиентами, чтобы убедиться в соответствии с правилами безопасности труда и охраны окружающей среды.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

CTIA GROUP LTD
Molybdenum Sheet Introduction

1. Overview of Molybdenum Sheet

Molybdenum sheet is a thin metal sheet made from high-purity molybdenum through rolling processes. It features excellent high-temperature resistance, thermal conductivity, and mechanical strength. It is widely used in electronics, metallurgy, vacuum equipment, aerospace, and lighting industries as heating elements, thermal shields, or structural components. With a smooth surface and precise dimensions, molybdenum sheets can be customized in various specifications to meet the requirements of advanced manufacturing and scientific research equipment.

2. Features of Molybdenum Sheet

High Purity Material: Purity $\geq 99.95\%$, with extremely low impurity levels

High-Temperature Resistance: Melting point up to 2610°C , stable performance in extreme conditions

Excellent Workability: High flatness, smooth surface, easy to punch, shear, and weld

Customizable Specifications: Various sizes and thicknesses available to suit different processes

3. Specifications of Molybdenum Sheet

Parameter	Specification
Purity	$\geq 99.95\%$
Thickness	0.01 mm - 3.00 mm
Width	50 mm - 600 mm
Length	Custom lengths or supplied in coil
Surface Finish	Polished, Alkali-cleaned, Sandblasted
Thickness Tolerance	± 0.005 mm - ± 0.2 mm
Surface Roughness	Ra 0.8 μm – Ra 3.2 μm

4. Production Process

Molybdenum Ingot (Raw Material) $\rightarrow$ Inspection $\rightarrow$ Hot Rolling $\rightarrow$ Leveling & Annealing $\rightarrow$ Alkali Cleaning $\rightarrow$ Inspection $\rightarrow$ Warm Rolling $\rightarrow$ Vacuum Annealing $\rightarrow$ Inspection $\rightarrow$ Cold Rolling $\rightarrow$ Leveling $\rightarrow$ Shearing $\rightarrow$ Vacuum Annealing $\rightarrow$ Inspection $\rightarrow$ Packaging

5. Purchasing Information

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

Website: molybdenum.com.cn

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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



Молибденовый лист CTIA GROUP LTD

Глава 3 Классификация молибденовых листов

Молибденовые листы классифицируются различными способами, обычно в зависимости от их чистоты, состава сплава, технологии обработки или сценариев применения для удовлетворения потребностей различных отраслей промышленности. Чистота является одним из важных оснований для классификации молибденовых листов, ведь чистота напрямую влияет на его физико-химические и механические свойства, а затем определяет его применимость в высокотемпературной, электронной, аэрокосмической и других областях. Благодаря высокому качеству и диверсифицированным стандартам классификации, молибденовый лист CTIA GROUP LTD широко используется на рынке. Далее мы сосредоточимся на классификации молибденовых листов по чистоте и подробно проанализируем характеристики, процессы подготовки и сценарии применения молибденовых листов высокой чистоты ($\geq$ чистоте 99,95%) и обычных молибденовых листов (чистота 99% - 99,9%).

3.1 Классификация молибденовых листов по чистоте

Классификация по чистоте является одним из наиболее распространенных методов сортировки молибденовых листов, которые принято делить на молибденовые листы высокой чистоты (чистота $\geq$ 99,95%) и обычные молибденовые листы (чистота 99% - 99,9%) исходя из уровня чистоты молибденового металла. Разница в чистоте в основном связана с контролем примесей в процессе очистки сырья и производственном процессе, что влияет на эксплуатационные параметры молибденовых листов, такие как электропроводность, теплопроводность, коррозионная стойкость и высокая температурная стабильность. Молибденовые листы различной чистоты значительно различаются с точки зрения производственного процесса, стоимости и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

областей применения, при этом молибденовые листы высокой чистоты обычно используются в высокоточных и требовательных условиях, в то время как молибденовые листы обычной чистоты больше подходят для чувствительных к стоимости сценариев общего назначения.

3.1.1 Молибденовые листы высокой чистоты ($\geq$ чистотой 99,95%)

Молибденовые листы высокой чистоты относятся к тонким листовым материалам с содержанием металла молибдена 99,95% и более, которые обычно извлекаются из молибденита (MoS_2) с помощью многоступенчатого процесса очистки и используют передовую технологию вакуумной плавки или электронно-лучевой очистки для удаления примесей, таких как кислород, углерод и азот. Содержание примесей очень низкое (общее количество примесей < 500 ppm), а содержание таких элементов, как железо, никель и кремний, обычно контролируется в пределах 10-50 ppm. Эта высокая чистота придает молибденовым листам отличные электрические, тепловые и механические свойства, такие как удельное сопротивление всего $5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$, теплопроводность составляет около 138 Вт/м·К, а прочность на разрыв может достигать 800-1000 МПа при комнатной температуре. Качество поверхности листа молибдена высокой чистоты также лучше, а шероховатость поверхности может составлять до 0,4 микрона после полировки или травления, что делает его пригодным для высокоточных применений. В процессе производства молибденовые листы высокой чистоты необходимо спекать ($1800-2000^\circ\text{C}$) и прокатывать в вакууме или инертном газе высокой чистоты (например, аргоне) для предотвращения окисления и внесения примесей. Процесс отжига ($1100-1300^\circ\text{C}$) еще больше оптимизирует структуру зерна и улучшает пластичность и ударную вязкость. Типичные области применения молибденовых листов высокой чистоты включают напыление мишеней для полупроводниковой промышленности для нанесения высокоточных тонких пленок; высокотемпературные компоненты в аэрокосмической отрасли, такие как футеровка ракетных сопел; и радиационно-защитные материалы в атомной промышленности, которые уменьшают сечения захвата нейтронов из-за низкого содержания примесей. Кроме того, молибденовые листы высокой чистоты также хорошо работают в анодах рентгеновских трубок и высокотемпературном тепловом экранировании вакуумных печей, обладая высокой температурой плавления (2620°C) и низким коэффициентом теплового расширения ($4,8 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$), что обеспечивает стабильность в экстремальных условиях. Тем не менее, высокая стоимость подготовки молибденовых листов высокой чистоты и сложные процессы очистки и обработки делают их в основном используемыми в высокотехнологичных приложениях.

3.1.2 Простыни молибдена обыкновенной чистоты (чистота 99% - 99,9%)

Обычные молибденовые листы относятся к чешуйчатым материалам с содержанием молибдена от 99% до 99,9%, причем содержание примесей в них (1000-10 000 ppm) выше, чем у молибденовых листов высокой чистоты, а обычные примеси включают железо, никель, углерод, кислород и т.д., и содержание может быть в пределах 100-500 ppm. Эксплуатационные характеристики молибденовых листов обычной чистоты несколько ниже, чем у молибденовых листов высокой чистоты, например, удельное сопротивление несколько выше (около $5,5-6,0 \times 10^{-8}$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ω·м), теплопроводность несколько ниже (около 130-135 Вт/м·К), а предел прочности на разрыв составляет 700-900 МПа при комнатной температуре. Тем не менее, его производительность достаточна для многих промышленных нужд, а производственные затраты низкие, что делает его пригодным для крупномасштабного производства и чувствительных к стоимости приложений. Процесс подготовки листов молибдена обычной чистоты относительно упрощен, и обычная технология порошковой металлургии обычно используется для получения оксида молибдена (MoO_3) путем обжига молибденита), который затем восстанавливается водородом для получения молибденового порошка, который затем спекается и прокатывается. Процесс спекания может осуществляться под защитой водорода (1600-1800°C) для снижения риска окисления, но требования к контролю примесей не такие строгие, как при использовании молибденовых листов высокой чистоты. Обработка поверхности в основном подвергается травлению или пескоструйной обработке, а шероховатость поверхности обычно составляет от Ra 0,8 до 1,6 микрон, что соответствует потребностям общего применения. Молибденовые листы обычной чистоты широко используются для теплового экранирования высокотемпературных печей, коррозионностойкой футеровки химического оборудования, а также низкоточных электродных материалов в электронной промышленности. Например, в печи резистивного нагрева обычные молибденовые листы используются в качестве нагревательных элементов или опорных конструкций, чтобы выдерживать высокие температуры 1000-1500°C. В некоторых механических компонентах его умеренная прочность и пластичность также делают его экономичным выбором. Несмотря на то, что молибденовые листы обычной чистоты немного уступают молибденовым листам высокой чистоты с точки зрения коррозионной стойкости и высокой термостойкости, они имеют значительные экономические эффективные преимущества в неокисляющих средах или сценариях со средними требованиями к точности.

3.2 Классификация молибденовых листов в соответствии с технологическим процессом изготовления

Процесс производства молибденового листа оказывает важное влияние на его свойства, микроструктуру и сценарии применения, поэтому классификация по производственному процессу является еще одним важным способом классификации молибденового листа. Производственный процесс в основном включает в себя порошковую металлургию и процесс прокатки, в котором процесс прокатки далее делится на два способа: горячая прокатка и холодная прокатка. Молибденовые листы, полученные различными способами, имеют значительные различия в структуре зерна, качестве поверхности, механических свойствах и стоимости и т. д., чтобы удовлетворить разнообразные потребности высокотемпературной промышленности и точной электроники. Оптимизируя производственный процесс, CTIA GROUP LTD Molybdenum Sheet гарантирует, что производительность продукта соответствует требованиям конкретных сценариев применения. Далее будут подробно рассмотрены технологические характеристики, эксплуатационные характеристики и области применения молибденовых листов, горячекатаных молибденовых листов и холоднокатаных молибденовых листов, изготовленных методом порошковой металлургии.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.2.1 Молибденовые листы, изготовленные методом порошковой металлургии

Порошковая металлургия является основным процессом для производства молибденовых листов, который подходит для получения молибденовых листовых материалов высокой чистоты и сложной формы. Процесс включает в себя экстракцию оксида молибдена (MoO_3) из молибденита (MoS_2), который восстанавливается водородом с получением молибденового порошка высокой чистоты (чистота $\geq 99,95\%$), который затем прессуется, спекается и впоследствии обрабатывается. Молибденовый порошок обычно прессуется в заготовку под высоким давлением (100-200 МПа) и спекается в вакуумной или водородной защитной атмосфере (температура 1800-2000°C) с образованием плотной молибденовой заготовки. В процессе спекания частицы молибденового порошка объединяются путем диффузии, причем размер зерна обычно контролируется на уровне 10-50 мкм, а плотность может достигать более 98%. Молибденовые листы, изготовленные методом порошковой металлургии, имеют однородную микроструктуру и высокую чистоту, а содержание примесей (например, кислорода, углерода) можно контролировать с точностью до 50 ppm, что делает их пригодными для высокоточных применений. Плотность получаемого молибденового листа близка к теоретическому значению (10,22 г/см³), прочность на разрыв составляет около 700-900 МПа при комнатной температуре, а шероховатость поверхности (R_a 0,8-1,6 мкм) может быть оптимизирована путем последующей полировки. Преимуществом процесса порошковой металлургии является возможность получения ультратонких молибденовых листов (толщиной 0,01-0,1 мм), а также заготовок нестандартной формы, пригодных для напыления мишеней в полупроводниковой промышленности и теплового экранирования в высокотемпературных печах. Однако высокая стоимость этого процесса и длительное время цикла ограничивают его использование в крупномасштабных и недорогих приложениях. Молибденовые листы, изготовленные методом порошковой металлургии, широко используются в электронной, атомной и аэрокосмической промышленности, например, в качестве анодных материалов для рентгеновских трубок или в качестве компонентов высокотемпературных вакуумных печей.

3.2.2 Горячекатаные молибденовые листы, изготовленные методом прокатки

Процесс горячей прокатки заключается в подготовке молибденовых листов толщиной 0,5-3 мм путем прокатки молибденовых заготовок при высоких температурах (обычно 1000-1400°C). Процесс горячей прокатки обычно осуществляется под вакуумом или под защитой инертного газа, такого как аргон, чтобы предотвратить окисление молибдена при высоких температурах. Молибденовые заготовки сначала подготавливаются методом порошковой металлургии, а затем прокатываются в несколько проходов на высокотемпературном прокатном стане с контролируемой деформацией 20-30% каждый раз для постепенного истончения и улучшения структуры зерна. Горячекатаные молибденовые листы имеют больший размер зерна (50-100 мкм) и перекристаллизуются за счет высокотемпературной обработки, что придает им хорошую пластичность (удлинение при разрыве около 10-15%) и низкое внутреннее напряжение. Прочность на разрыв горячекатаного молибденового листа составляет около 600-800 МПа при комнатной температуре, что немного ниже, чем у холоднокатаного молибденового листа, но его

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

высокотемпературная прочность (около 500 МПа при 1000°C) отличная, и он подходит для высокотемпературных сред. С точки зрения качества поверхности, шероховатость поверхности горячекатаного молибденового листа обычно составляет Ra 1,0-2,0 мкм, что может быть оптимизировано с помощью травления или пескоструйной обработки. Преимущество процесса горячей прокатки в том, что он обладает высокой эффективностью производства, подходит для изготовления более толстых молибденовых листов, а стоимость ниже, чем у порошковой металлургии, но точность контроля толщины ($\pm 0,05$ мм) немного уступает точности контроля толщины при процессе холодной прокатки. Горячекатаные молибденовые листы широко используются в нагревательных элементах для высокотемпературных печей, конструкционных деталях аэрокосмической промышленности (например, опорах лопаток турбин) и коррозионностойких футеровках для химического оборудования, где они отвечают требованиям умеренной точности и долговечности благодаря сочетанию прочности и стабильности при высоких температурах.

3.2.3 Холоднокатаные молибденовые листы, изготовленные методом прокатки

Процесс холодной прокатки представляет собой дальнейшую прокатку молибденовых заготовок или горячекатаных молибденовых листов при комнатной температуре или близкой к ней для получения ультратонких молибденовых листов толщиной обычно 0,01-1 мм. Процесс холодной прокатки достигается с помощью высокоточного прокатного стана, а величина деформации контролируется на уровне 10-20% каждый раз, чтобы избежать чрезмерного напряжения и растрескивания. Размер зерна холоднокатаного молибденового листа невелик (5-20 мкм), а благодаря значительному эффекту деформационного упрочнения плотность дислокаций увеличивается, благодаря чему его прочность на разрыв может достигать 900-1200 МПа при комнатной температуре, что значительно выше, чем у горячекатаного молибденового листа. Однако холоднокатаные молибденовые листы имеют низкую пластичность (удлинение при разрыве около 5-8%), и часто приходится улучшать ударную вязкость путем отжига для снятия напряжений (800-1100°C), а прочность после отжига немного снижается до 800-1000 МПа, но удлинение при разрыве может быть увеличено до 10-12%. Качество поверхности холоднокатаного молибденового листа отличное, шероховатость поверхности может составлять до Ra 0,4 мкм после полировки, а допуск по толщине контролируется в пределах $\pm 0,005$ мм, что отвечает потребностям высокоточных применений. Преимущество процесса холодной прокатки заключается в том, что с его помощью можно производить ультратонкие высокопрочные молибденовые листы, которые подходят для высокоточного напыления, подложек для полупроводниковой упаковки и гибких электронных компонентов в электронной промышленности. Тем не менее, процесс холодной прокатки очень сложен, и смазка и температура в процессе обработки должны строго контролироваться, чтобы предотвратить поверхностные дефекты или трещины. Холоднокатаные молибденовые листы широко используются в осаждении тонких пленок, микроэлектронике и медицинских устройствах (например, в сборках рентгеновских трубок) благодаря своей высокой прочности, отличному качеству поверхности и точности размеров, что делает их предпочтительным материалом для высокотехнологичного производства.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.3 Классификация молибденовых листов по областям применения

Разнообразные свойства молибденовых листов делают их широко используемыми во многих промышленных областях и могут быть разделены на электронные области, металлургическую промышленность, химические области, аэрокосмические области и другие области в соответствии с различными сценариями применения. Различные области применения требуют разного уровня чистоты, толщины, качества поверхности и производительности молибденовых листов, что побуждает производителей оптимизировать свои производственные процессы для удовлетворения конкретных потребностей. Благодаря своим высоким качествам и индивидуальным характеристикам, молибденовый лист CTIA GROUP LTD хорошо зарекомендовал себя в различных областях. Ниже будут подробно рассмотрены характеристики применения, требования к эксплуатационным характеристикам и типичное использование молибденовых листов в электронике, металлургической промышленности, химической промышленности, аэрокосмической промышленности и других областях.

3.3.1 Молибденовые листы, используемые в электронной сфере

В области электроники молибденовые листы известны своей превосходной электропроводностью (удельное сопротивление около $5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$), теплопроводностью (около 138 Вт/м·К) и низким коэффициентом теплового расширения (около $4,8 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$), особенно в производстве полупроводников и микроэлектронных устройств. Молибденовые листы высокой чистоты ($\geq 99,95\%$) предпочтительны в области электроники из-за их низкого содержания примесей для снижения граничного сопротивления зерен и выбросов газов, обеспечивая надежность устройства.

Молибденовые листы обычно используются при напылении мишеней для получения проводящих слоев для тонкопленочных транзисторов (TFT), солнечных батарей и интегральных схем, обычно толщиной 0,01-0,1 мм и шероховатостью поверхности до Ra 0,4 микрона для обеспечения однородности пленки. Кроме того, молибденовые листы используются в качестве подложек для рассеивания тепла в электронной упаковке и совместимы с кремнием (коэффициент теплового расширения около $2,6 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$). It имеет хорошее тепловое соответствие с керамическими материалами, что может эффективно снизить термическое напряжение и продлить срок службы чипа. В рентгеновских трубках молибденовые листы используются в качестве анода или поддерживающего материала, чтобы противостоять высокоэнергетической бомбардировке электронами благодаря их высокой температуре плавления (2620°C) и хорошей электропроводности. В производстве молибденовые листы в области электроники должны подвергаться холодной прокатке и вакуумному отжигу ($1100-1300^\circ\text{C}$) для обеспечения высокой точности и качества поверхности. Эти свойства молибденовых листов делают их незаменимыми в полупроводниковой, дисплейной и оптоэлектронной промышленности.

3.3.2 Молибденовые листы, используемые в металлургической промышленности

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

В металлургической промышленности молибденовые листы в основном используются в компонентах высокотемпературных печей и плавильного оборудования, благодаря их высокой температуре плавления (2620°C) и отличной высокотемпературной прочности (прочность на разрыв около 700 МПа при 1200°C). Обычные молибденовые листы чистоты (99%-99,9%) обычно используются при изготовлении теплозащитных экранов, нагревательных элементов и футеровок тиглей из-за их низкой стоимости, а диапазон толщины обычно составляет 0,5-3 мм. Благодаря хорошей пластичности (удлинение при разрыве около 10-15%) и низкому внутреннему напряжению, горячекатаный молибденовый лист подходит для обработки деталей сложной формы в высокотемпературных печах. В вакууме или инертной атмосфере (например, в аргоне или азоте) молибденовые листы могут выдерживать высокие температуры выше 1500 °C без деформации и широко используются в высокотемпературных печах для спекания, печах для выращивания монокристаллов и оборудовании для варки стекла. Сопротивление ползучести молибденовых листов при высоких температурах (скорость ползучести до 10⁻⁶/с при 1200°C) обеспечивает устойчивость при длительных высокотемпературных нагрузках. В производстве металлургических молибденовых листов в основном используется порошковая металлургия и процессы горячей прокатки, а поверхность может быть подвергнута травлению для повышения коррозионной стойкости. Использование молибденовых листов в металлургической промышленности позволило значительно повысить долговечность оборудования и эффективность технологического процесса, например, в качестве ключевого компонента при выплавке вольфрама, молибдена и других тугоплавких металлов.

3.3.3 Молибденовые листы, используемые в химической промышленности

В химической промышленности молибденовые листы широко используются в футеровках реакторов, электродных материалах и коррозионностойких компонентах благодаря их превосходной коррозионной стойкости, особенно в неокисляющих кислотах (таких как соляная кислота, серная кислота) и щелочных средах, со скоростью коррозии менее 0,01 мм/год в 10% соляной кислоте (20°C). Обычные молибденовые листы чистоты (99%-99,9%) часто используются в химическом оборудовании из-за их высокой экономичности, толщина обычно составляет 0,2-2 мм, а поверхность в основном травлется (Ra 0,8-1,6 мкм) для обеспечения чистоты. Молибденовые листы используются в качестве электродных материалов в электрохимической промышленности, например, при электролизе хлора или водорода, и устойчивы к коррозионным электролитам благодаря своей высокой проводимости и химической стабильности. Тем не менее, молибденовые листы подвержены образованию летучих MoO₃ в окисляющих кислотах (например, концентрированной азотной кислоте) или в высокотемпературных окислительных средах, которые необходимо наносить поверхностными покрытиями (например, силицидами) или в инертной атмосфере для усиления защиты. В производстве листы химического молибдена оптимизируются с помощью порошковой металлургии и процесса прокатки, а содержание примесей кислорода и азота (<100 ppm) строго контролируется для повышения коррозионной стойкости. Использование молибденовых листов в химической промышленности, таких как коррозионностойкая облицовка реакторов и опорные материалы трубопроводов, значительно увеличивает срок службы оборудования в суровых химических средах.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.3.4 Молибденовые листы, используемые в аэрокосмической отрасли

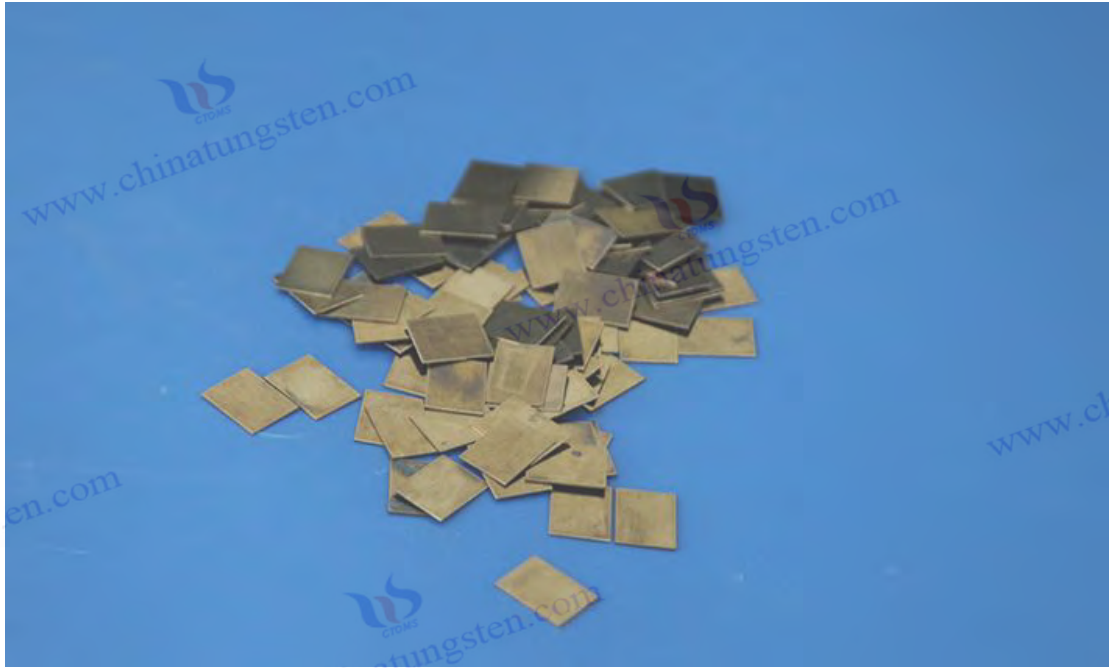
В аэрокосмической отрасли молибденовые листы используются для изготовления высокотемпературных конструкционных и термостойких компонентов благодаря своей высокой прочности (предел прочности на разрыв 800-1000 МПа при комнатной температуре), высокой температуре плавления (2620°C) и низкому коэффициенту теплового расширения ($4,8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$). Молибденовые листы высокой чистоты ($\geq 99,95\%$) или молибденовые листы из сплава TZM (содержащие титан и цирконий) обусловлены своими отличными высокотемпературными свойствами (прочность на разрыв до 800 МПа при 1500°C) и сопротивлением ползучести (скорость ползучести 10^{-6} /s), которые обычно используются для облицовки ракетных сопел, опор лопаток турбин и теплового экранирования возвращаемых аппаратов. Низкая плотность молибденового листа (10,22 г/см³) имеет преимущество в весе по сравнению с вольфрамом (19,25 г/см³), что подходит для требований к легкости в аэрокосмической отрасли. Холоднокатанные молибденовые листы широко используются в прецизионных компонентах, таких как спутниковые системы терморегулирования, благодаря своей высокой точности (допуск по толщине $\pm 0,005$ мм) и качеству поверхности ($Ra \leq 0,4$ мкм). При производстве листов из аэрокосмического молибдена используются процессы вакуумного спекания и многопроходной прокатки, чтобы обеспечить мелкие зерна (5-20 микрон) для повышения прочности и ударной вязкости. Использование молибденовых листов в аэрокосмической отрасли значительно повышает надежность компонентов при экстремально высоких температурах и механических нагрузках, например, в ракетных двигателях и высокотемпературных двигательных установках.

3.3.5 Молибденовые листы, используемые в других областях

В других областях молибденовые листы используются в медицине, энергетике и научных исследованиях благодаря своей универсальности. В медицине молибденовые листы высокой чистоты ($\geq 99,95\%$) используются в анодных мишенях для рентгеновского и компьютерного оборудования, которые могут выдерживать высокоэнергетическую бомбардировку электронами благодаря своей высокой температуре плавления и проводимости, обычно толщиной 0,1-1 мм, а поверхность должна быть отполирована до $Ra 0,4$ микрона для обеспечения однородности излучения. В энергетике молибденовые листы используются в задних электродах солнечных тонкопленочных элементов и в радиационной защите ядерных реакторов благодаря их низкому сечению захвата тепловых нейтронов и высокой температурной стабильности (стабильной при 1500°C). В области научных исследований молибденовые листы широко используются в экспериментах по материаловедению и физике в качестве подложки для образцов или электродного материала для высокотемпературных экспериментов, а его толщина может составлять всего 0,01 мм для удовлетворения потребностей высокоточных экспериментов. Другие области применения включают обработку ювелирных изделий (в качестве высокотемпературных форм) и светотехническую промышленность (в качестве вспомогательных материалов для филамента). В производстве эти молибденовые листы производятся с использованием процессов холодной прокатки и вакуумного отжига для оптимизации структуры зерна и качества

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

поверхности в соответствии с конкретными потребностями. Несмотря на разнообразие применений, эти молибденовые листы часто используются в вакууме или инертной атмосфере, чтобы избежать высокотемпературного окисления и обеспечить стабильную производительность.



Молибденовый лист CTIA GROUP LTD

Глава 4 Процесс производства и подготовки молибденового листа

4.1 Подготовка сырья перед производством молибденовых листов

Процесс производства и подготовки молибденовых листов начинается с приобретения и обработки высококачественного сырья, которое является ключевым звеном для обеспечения эксплуатационных характеристик молибденовых листов, которые напрямую влияют на их чистоту, микроструктуру и конечные результаты нанесения. Сырьем для молибденовых листов в основном является молибденовая руда, из которой молибденит (MoS_2) является основным источником молибдена. Процесс подготовки сырья включает в себя добычу руды, обогащение и первоначальную очистку для получения молибденового порошка высокой чистоты для последующей порошковой металлургии и процессов прокатки. Молибденовые листы CTIA GROUP LTD обеспечивают высокую чистоту и консистенцию сырья благодаря строгому процессу подготовки сырья и отвечают высоким требованиям аэрокосмической, электронной и высокотемпературной промышленности. Далее будут подробно рассмотрены типы и характеристики молибденовой руды, методы добычи и обогащения, уделяя особое внимание характеристикам и распределению молибденита, а также процессу и ключевым моментам открытой добычи.

4.1.1 Виды и характеристики молибденовой руды

Молибденовая руда является основным сырьем для производства молибденовых листов, в основном в виде сульфидов, а молибденит (MoS_2) является наиболее распространенным молибденовым минералом, составляющим основную часть мировых ресурсов молибдена. К

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

другим типам молибденовых руд относятся молибдат (например, молибдат кальция CaMoO_4) и оксид молибденита (например, MoO_3). Однако он используется меньше из-за небольших запасов или сложности эксплуатации. Молибденит стал основным сырьем для производства молибденовых листов благодаря высокому содержанию молибдена (около 60% молибдена) и легкому разделению. Свойства молибденовой руды напрямую влияют на процесс очистки и производительность конечного молибденового листа, например, примеси в руде (такие как медь, железо, кремний) повлияют на чистоту молибденового порошка, который необходимо удалить путем обогащения и химической обработки. Кроме того, физические свойства молибденовой руды, такие как твердость и кристаллическая структура, также влияют на эффективность дробления и обогащения. Молибденовая руда часто ассоциируется с медно-порфировой рудой или другими сульфидными минералами, которые требуют сложного процесса сортировки для извлечения концентрата молибдена с высоким содержанием золота.

4.1.1.1 Характеристики и распределение молибденита

Молибденит (MoS_2) — слоистый сульфидный минерал с серебристо-серым до железистым блеском с твердостью 1-1,5 по шкале Мооса и плотностью около 4,7-5,0 г/см³. Его химический состав в основном состоит из молибдена (59,94%) и серы (40,06%), а кристаллическая структура представляет собой шестиугольную кристаллическую систему, а сила межслойного связывания слабая, что придает ему хорошую смазывающую способность и легкое отслаивание. Молибденит часто бывает чешуйчатым или чешуйчатым по своей природе и легко отделяется с помощью флотации. Он термически стабилен и начинает окисляться с образованием MoO_3 при нагревании до 600°C на воздухе, но может выдерживать более высокие температуры (около 1200°C) в инертной атмосфере. Химическая стабильность молибденита делает его устойчивым к кислотному и щелочному воздействию, но он легко вступает в реакцию с окислителями (например, азотной кислотой), поэтому необходимо уделять внимание контролю окружающей среды в процессе обогащения и очистки. Распределение ресурсов молибденита в мире сосредоточено, а основными районами добычи являются Китай (на долю которого приходится около 40% мировых запасов, главным образом в провинциях Хэнань, Шэньси, Цзилинь и др.), США (Колорадо, Монтана), Чили, Канада и Австралия. Район Луаньчуань в Лояне, Китай, является крупнейшим в мире районом добычи молибдена, где содержание руды обычно колеблется от 0,1% до 0,3% (содержание молибдена), а содержание руды с высоким содержанием молибдена может достигать более 0,5%. Молибденит часто связан с сульфидными рудами, такими как медь, свинец, цинк и т.д., а содержание сопутствующих элементов (таких как железо и медь) нуждается в строгом контроле путем обогащения, чтобы обеспечить чистоту молибденового порошка ($\geq 99,95\%$) для последующей очистки.

4.1.2 Методы добычи и обогащения молибденовой руды

Добыча и обогащение молибденовой руды является основным этапом подготовки сырья, целью которой является извлечение высокосортного молибденового концентрата из низкосортной руды и получение высококачественного сырья для последующей металлургической очистки. Горные

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

методы делятся на открытые и подземные в зависимости от геологических условий месторождения, причем открытый способ добычи является доминирующим из-за своей низкой стоимости и высокой эффективности, подходит для крупных мелкозалегающих месторождений. При обогащательном способе в основном используется флотационная технология, совмещенная с гравитационной сепарацией, магнитной сепарацией и другими вспомогательными средствами, для отделения молибденита в молибденовой руде от попутных минералов и получения концентрата с содержанием молибдена $\geq 50\%$. В процессе обогащения необходимо строго контролировать размер частиц измельчения (обычно до -200 меш, около 74 мкм), флотационные реагенты (такие как ксантогенат, пенообразователь) и значение pH (8-10) для улучшения коэффициента извлечения молибденита (обычно 85-95%). Концентрат молибдена после обогащения необходимо дополнительно обжарить с получением оксида молибдена (MoO_3), который закладывает основу для последующего восстановления водорода с получением молибденового порошка. Эффективность обогащения и чистота концентрата напрямую влияют на характеристики молибденовых листов, например, высокий уровень примесей (железа, меди) может снизить проводимость и коррозионную стойкость молибденовых листов.

4.1.2.1 Процесс открытой добычи молибденовой руды и основные моменты

Открытым способом добычи молибдена является основной способ добычи молибдена, который подходит для месторождений с неглубоким залеганием рудного тела и большими запасами, таких как Луаньчуань в Китае и рудник Клемакс в США. Процесс включает в себя разведку, вскрышные работы, взрывные работы, погрузку, транспортировку и складирование. На этапе разведки геологическое бурение и геофизические методы используются для определения местоположения рудного тела, содержания (обычно 0,1%-0,3% молибдена) и запасов, а также для разработки плана горных работ. На этапе вскрыши удаляется верхний слой почвы и пустая порода, покрывающая рудное тело, а коэффициент вскрыши (отношение пустой породы к объему руды) обычно составляет от 3:1 до 10:1 и должен быть оптимизирован для снижения затрат. При взрывных работах используются точно контролируемые взрывчатые вещества (например, аммиачная селитра) для дробления рудного тела, размер взрывного отверстия обычно составляет 100-250 мм, а размер частиц руды контролируется на расстоянии 0,1-1 м после взрыва для последующего дробления. Для транспортировки руды на обогащательную фабрику используются большие экскаваторы (10-30 кубометров емкости ковша) и самосвалы (50-200 тонн груза). На этапе штабелирования необходимо классифицировать и штабелировать по сорту, чтобы избежать смешивания руд с высоким и низким содержанием золота.

Основные выводы из открытых горных работ: оптимизация схемы взрывных работ для снижения разубоживания руды (целевой $< 10\%$) и повышения стабильности содержания; второй – использование высокоэффективного оборудования, такого как электрические экскаваторы и тяжелые грузовики, для повышения эффективности производства (до 100 000 тонн руды в сутки); В-третьих, охрана окружающей среды, контроль взрывной пыли (подавление пыли путем распыления) и сброса сточных вод (коэффициент переработки $> 80\%$) в соответствии с нормами охраны окружающей среды. Молибденовая руда открытого типа вступает в процесс обогащения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

после предварительного дробления, обеспечивая высококачественное сырье для производства молибденовых листов.

4.1.2.2 Подземные способы добычи молибденовой руды

Производство молибденовых листов опирается на высококачественное молибденовое рудное сырье, в то время как подземная добыча — это добыча молибденовой руды (MoS_2) в глубоких или сложных геологических условиях. Китай или Канада. Процесс подземной добычи включает в себя строительство шахты, прокладку дороги, взрывную добычу, подъем руды и наземную транспортировку. Строительство рудника начинается с вскрытия рудного тела через вертикальные или наклонные стволы, оборудованные системами вентиляции, дренажа и подъема для обеспечения безопасности работ. При прокладке проходческих тоннелей используется проходческий комбайн или взрывной метод, а вдоль рудного тела прокладываются горизонтальные или наклонные дороги, а размер дорожного полотна обычно составляет 3-5 метров в ширину и 3-4 метра в высоту. На стадии добычи в основном используется комнатно-столбовой метод или метод заполнения, а комнатно-столбовой метод поддерживает кровлю, удерживая рудный столб, а коэффициент извлечения составляет около 70-80%; При засыпном способе выработка заполняется хвостами или цементом, а коэффициент восстановления может достигать более 90%, но стоимость высока. При взрывных работах используются высокоточные заряды, такие как эмульсионные взрывчатые вещества, чтобы раздробить руду до размера частиц 0,1-0,5 метра, которые затем поднимаются на поверхность погрузчиками и вагонетками.

К ключевым моментам подземной добычи можно отнести: во-первых, управление безопасностью, которое требует строгого контроля вентиляции (объем воздуха $\geq 3 \text{ м}^3/\text{с}\cdot\text{чел.}$) и опоры (анкеры, стальная сетка) для предотвращения обрушения; Второе – оптимизировать последовательность горных работ, отдать приоритет отработке высокосортных рудных тел (содержание молибдена 0,2-0,5%) и снизить скорость разубоживания (целевой показатель $<15\%$); Третье направление – энергосбережение и защита окружающей среды с использованием оборудования с низким энергопотреблением (например, электрических погрузчиков) и обратной засыпки хвостов для снижения воздействия на окружающую среду. Добытая под землей молибденовая руда после предварительного дробления вступает в процесс обогащения, обеспечивая стабильное сырье для производства молибденовых листов.

4.1.2.3 Принципы и процессы метода флотации молибденовой руды

Флотация является основным методом обогащения молибденита, который широко применяется для извлечения концентрата высокосортного молибдена из низкосортного молибденита, а его принцип основан на разнице между гидрофобностью молибденита и гидрофильностью попутных минералов. Молибденит (MoS_2) является естественно гидрофобным на поверхности и легко адсорбируется коллекторами (такими как ксантогенат или меркаптан) и прикрепляется к пузырькам, в то время как ассоциированные минералы (такие как кварц, полевошпат) обладают высокой гидрофильностью и остаются в суспензии. Процесс флотации состоит из пяти стадий:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

дробление, измельчение, шламование, флотация и обезвоживание. Дробление измельчает сырую руду (размер зерна 0,1-1 мм) до 10-50 мм, а помол далее измельчает руду до -200 меш (около 74 мкм), благодаря чему степень диссоциации мономера молибденита достигает более 80%. На стадии кондиционирования пульпы добавляли коллектор (например, бутилксантогенат, 0,1-0,3 кг/т), пенообразователь (например, терпинеол, 0,05-0,1 кг/т) и ингибитор (например, силикат натрия, 0,5-1 кг/т) для регулировки pH пульпы до 8-10 для оптимизации эффекта флотации. Флотация происходит во флотационной камере, где пузырьки (воздух или азот) перемешиваются для подачи молибденита в слой пены с получением концентрата молибдена (содержание молибдена 50-60%) с коэффициентом извлечения обычно 85-95%. Хвосты в дальнейшем восстанавливаются путем многоступенчатой флотации для извлечения остаточного молибдена. Обезвоживание снижает влажность концентрата до менее чем 10% с помощью сгустителя и фильтр-пресса. Преимущества флотации заключаются в том, что она обладает высокой эффективностью и технологичностью, а также может обрабатывать руды с низким содержанием золота (содержание молибдена 0,1-0,3%), но при этом необходимо строго контролировать количество химикатов и очистки сточных вод (коэффициент переработки > 80%) для снижения загрязнения окружающей среды. Полученный методом флотации молибденовый концентрат обеспечивает высококачественное сырье для последующего обжига и очистки.

4.1.2.4 Принципы и процессы гравитационного метода сепарации молибденовой руды

Метод гравитационной сепарации является вспомогательным методом обогащения молибденита, при котором для разделения используется разница плотностей между молибденитом (плотность 4,7-5,0 г/см³) и сопутствующими минералами (например, кварцем, плотностью 2,65 г/см³), что подходит для извлечения крупнозернистого молибденита или сопутствующих тяжелых минералов. Принцип гравитационной сепарации основан на гравитационном осаждении или центробежной силе, причем молибденит быстро оседает в оборудовании гравитационной сепарации благодаря своей высокой плотности, в то время как легкие пустые минералы вымываются прочностью. Процесс гравитационной сепарации включает в себя дробление, измельчение, классификацию, гравитационную сепарацию и обезвоживание. Сырую руду сначала измельчают до 50-100 мм и измельчают до 0,5-2 мм для выделения частиц молибденита. Сортировка осуществляется с помощью спирального классификатора или гидроциклона для разделения пульпы на крупнозернистые и мелкие зерна, а крупнозернистые (>0,5 мм) поступают в оборудование гравитационной сепарации. Для гравитационной сепарации обычно используются кондукторы или встряхиватели, а отсадочная машина стратифицировала частицы руды по плотности с помощью пульсирующего потока воды, и молибденит опускается в нижний слой для получения крупного концентрата (содержание молибдена 20-40%); Встряхиватель использует боковой поток воды и вибрацию для достижения коэффициента восстановления 70-85%. Мелкозернистый шлам (<0,5 мм) обычно переводится в процесс флотации. Обезвоживание снижает влажность концентрата гравитационной сепарации до менее чем 10%. Преимущества гравитационной сепарации заключаются в том, что оборудование простое, стоимость невысокая, и оно подходит для переработки высокосортной крупнозернистой руды (содержание молибдена >0,3%), но менее эффективно для мелкозернистой руды, и часто используется в

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

сочетании с флотацией. Концентрат гравитационной сепарации нуждается в дальнейшей флотации и очистке, чтобы получить высококачественное сырье для производства молибденовых листов.

4.1.2.5 Принципы и процессы магнитной сепарации молибденовой руды

Магнитная сепарация является вспомогательным средством обогащения молибденовой руды, которое применяется для удаления магнитных примесей (таких как магнетит, Fe_3O_4) или связанных с ними магнитных минералов в молибдените и повышения чистоты молибденового концентрата. Принцип магнитной сепарации основан на магнитных различиях минералов, молибденит является немагнитным материалом (магнитная восприимчивость $< 10^{-6} \text{ см}^3/\text{г}$), в то время как магнетит обладает сильным магнетизмом (магнитная восприимчивость $10^2\text{-}10^3 \text{ см}^3/\text{г}$), который легко адсорбируется в магнитном поле. Процесс магнитной сепарации включает в себя дробление, измельчение, магнитную сепарацию и обезвоживание. Сырая руда измельчается до 50-100 мм и измельчается до -200 меш (около 74 мкм) для диссоциации магнитных примесей от молибденита. При магнитной сепарации используется мокрый магнитный сепаратор, напряженность магнитного поля обычно составляет 0,1-0,6 Тл, магнитные примеси адсорбируются на магнитном барабане, а немагнитный молибденит вытекает с суспензией с образованием предварительного концентрата (содержание молибдена 10-30%). После магнитной сепарации пульпа обычно поступает в процесс флотации для дальнейшей очистки. Обезвоживание снижает влажность концентрата до менее чем 10% с помощью концентраторов и фильтр-прессов. Преимущество магнитной сепарации заключается в том, что она может эффективно удалять ферромагнитные примеси (например, содержание железа от 1% до менее 0,1%) и улучшать качество концентрата молибдена, но она неэффективна против немагнитных примесей (таких как кварц) и должна использоваться в сочетании с другими методами обогащения. Оборудование для магнитной сепарации необходимо регулярно обслуживать, чтобы обеспечить стабильность магнитного поля, а скорость рециркуляции сточных вод должна достигать более 80% для соблюдения требований по защите окружающей среды. Молибденовый концентрат, предварительно обработанный магнитной сепарацией, дает сырье с низким содержанием примесей для последующей очистки и производства молибденового листа.

4.1.3 Рафинирование и конверсия молибденового концентрата

Рафинирование и конверсия молибденового концентрата является ключевым этапом преобразования молибденового концентрата (в основном молибденита, MoS_2), полученного путем обогащения, в высокочистые молибденовые соединения или металлический молибденовый порошок, что обеспечивает высококачественное сырье для последующего производства молибденовых листов. В процессе рафинирования в основном удаляются примеси, такие как сера и железо, путем окислительного обжига в сочетании с гидрометаллургией (например, выщелачиванием аммиака или кислотным выщелачиванием) для получения оксида молибдена высокой чистоты (MoO_3) или молибдата аммония $((\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4)$, и, наконец, порошок молибдена получают путем восстановления. Выбор процесса рафинирования напрямую влияет на чистоту

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

молибденового порошка ($99,95\% \geq$ требуется для удовлетворения спроса на молибденовые листы высокой чистоты), распределение частиц по размерам и стоимость производства. Благодаря передовым технологиям рафинирования, молибденовые листы CTIA GROUP LTD обеспечивают высокую чистоту и консистенцию сырья и отвечают потребностям высокотехнологичных приложений, таких как электроника и аэрокосмическая промышленность. Ниже подробно обсуждается метод окислительного обжига и выщелачивания аммиака, процесс окислительного обжига и кислотного выщелачивания и процесс приготовления молибденового порошка молибденового концентрата.

4.1.3.1 Процесс окислительного обжига и выщелачивания аммиака молибденового концентрата

Окислительный обжиг-аммиачное выщелачивание является основным процессом рафинирования молибденового концентрата, который подходит для производства соединений молибдена высокой чистоты и широко используется при приготовлении листового молибденового сырья высокой чистоты. Принцип заключается в том, что молибденит (MoS_2) окисляется до оксида молибдена (MoO_3) путем высокотемпературного обжига, а затем растворяется аммиаком с получением растворимого молибдата аммония, который затем очищается кристаллизацией. Процесс состоит из пяти стадий: обжиг, выщелачивание аммиака, фильтрация, кристаллизация и сушка. Стадия обжига осуществляется во вращающейся печи или многокамерной печи при температуре, регулируемой на уровне $550-650^\circ\text{C}$, и для окисления MoS_2 до MoO_3 вводится воздух, при этом сера преобразуется в SO_2 (что требует очистки отходящих газов в соответствии с экологическими нормами, а коэффициент извлечения SO_2 составляет $>95\%$). После обжига концентрат молибдена (содержание молибдена $50-60\%$) превращается в сырой оксид молибдена (содержание молибдена $>95\%$), а такие примеси, как железо и медь, частично улетучиваются или окисляются. На стадии выщелачивания аммиака сырой оксид молибдена вступает в реакцию с аммиачной водой (концентрация $10-15\%$) при температуре $50-70^\circ\text{C}$ и pH $8-9$ с образованием раствора молибдата аммония, а нерастворимые примеси, такие как железо и кремний, фильтруются и отделяются. Отфильтрованный раствор молибдата аммония кристаллизуют путем выпаривания с получением кристаллов молибдата аммония высокой чистоты (чистота $\geq 99,5\%$), которые окончательно высушивают при $120-150^\circ\text{C}$. Преимущество метода выщелачивания аммиаком заключается в том, что эффективность очистки высокая, а содержание примесей (таких как железо и медь) может быть снижено до менее чем 50 ppm , что подходит для производства листового молибденового сырья высокой чистоты. Однако использование аммиачной воды требует строгого контроля за очисткой сточных жидкостей (коэффициент извлечения аммиака $>90\%$) для снижения загрязнения окружающей среды. Молибдат аммония, полученный в результате этого процесса, обеспечивает сырье высокой чистоты для последующего приготовления молибденового порошка.

4.1.3.2 Процесс окислительного обжига и кислотного выщелачивания молибденового концентрата

Окислительное обжиговое кислотное выщелачивание является еще одним широко используемым

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

процессом рафинирования молибденового концентрата, который подходит для переработки молибденового концентрата, содержащего сложные примеси, особенно когда есть много сопутствующих металлов, таких как медь и свинец. Принцип заключается в том, чтобы окислить молибденит до оксида молибдена (MoO_3) путем обжига, а затем растворить примеси кислотным раствором для сохранения оксида молибдена высокой чистоты. Процесс включает в себя обжаривание, маринование, фильтрацию, промывку и сушку. Стадия обжига аналогична методу выщелачивания аммиака, который осуществляется в атмосфере воздуха $550-650^\circ\text{C}$, где молибденит окисляется до MoO_3 и сера преобразуется в SO_2 (требуется высокоэффективное устройство абсорбции выхлопных газов, а скорость удаления SO_2 составляет $>95\%$). На стадии кислотного выщелачивания сырой оксид молибдена вступает в реакцию с разбавленной соляной кислотой (концентрация $5-10\%$) или серной кислотой при $60-80^\circ\text{C}$ для растворения примесей, таких как железо, медь и кальций, в то время как MoO_3 сохраняется, поскольку он нерастворим в разбавленной кислоте. После фильтрации и отделения раствора примесей твердые частицы оксида молибдена несколько раз промывают деионизированной водой, чтобы гарантировать, что содержание примесей (например, железа, меди) снижается до менее чем 100 ppm . Промытый оксид молибдена сушат при $150-200^\circ\text{C}$ с получением оксида молибдена высокой чистоты (чистота $\geq 99,5\%$).

Преимущества метода кислотного выщелачивания заключаются в том, что он позволяет эффективно удалять разнообразные примеси металлов, а также обладает сильной адаптивностью процесса, что подходит для обработки низкосортных или сложных руд, но при этом высока стоимость обработки жидкости из кислотных отходов (перед сбросом ее необходимо нейтрализовать до pH 6-8). По сравнению с методом аммиачного выщелачивания, метод кислотного выщелачивания более прост в эксплуатации, но чистота несколько ниже, и он подходит для производства сырья из листов молибдена обычной чистоты ($99\%-99,9\%$). Полученный оксид молибдена обеспечивает надежную основу для последующего приготовления молибденового порошка.

4.1.3.3 Приготовление молибденового порошка из экстрактов концентрата молибдена

Экстракт концентрата молибдена (оксид молибдена или молибдат аммония) преобразуется в порошок молибдена высокой чистоты с помощью процесса восстановления водорода, который обеспечивает конечное сырье для производства молибденовых листов. Принцип заключается в использовании водорода для восстановления MoO_3 или $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ до металлического молибдена при высоких температурах, при этом удаляя кислород и остаточные примеси. Процесс включает в себя восстановление, просеивание и контроль качества. Фаза восстановления происходит в трубчатой печи или вращающейся печи и проводится в два этапа: первый этап восстановления MoO_3 или молибдата аммония до MoO_2 при $400-600^\circ\text{C}$ в потоке газообразного водорода (чистота $\geq 99,99\%$ и расход $1-2\text{ м}^3/\text{ч}$), при этом выделять водяной пар и аммиак (необходимо очищать хвостовые газы); На втором этапе дополнительно измельчают металлический молибденовый порошок при $900-1100^\circ\text{C}$, размер частиц обычно составляет $1-10$ микрон, а чистота может достигать более $99,95\%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

В процессе восстановления следует строго контролировать чистоту водорода и атмосферу в печи, чтобы избежать окисления (содержание кислорода < 50 ppm) из-за остатков кислорода. На стадии грохочения вибрационное сито (100-200 меш) используется для удаления крупных частиц или агломератов, чтобы обеспечить равномерный размер частиц молибденового порошка (около 2-5 мкм для D50). Контроль качества осуществляется с помощью ICP-MS для обнаружения примесей (например, железа, меди < 20 ppm) и рентгеновской дифракции для подтверждения кристаллической структуры (объемно-центрированный куб). Свойства молибденового порошка напрямую влияют на качество молибденовых листов, например, мелкий и равномерный размер частиц способствует плотности спекания ($> 98\%$), а высокая чистота обеспечивает проводимость и коррозионную стойкость. Подготовленный молибденовый порошок далее перерабатывается в молибденовые листы с помощью порошковой металлургии и прокатки для удовлетворения потребностей аэрокосмической, электронной и других областей.

4.2 Процесс формования молибденового листа

Процесс формования молибденового листа является ключевым этапом для его преобразования из молибденового порошка высокой чистоты или молибденовой заготовки в листовый материал с определенной толщиной, размером и свойствами, что напрямую определяет механические свойства, качество поверхности и адаптивность применения молибденового листа. Процесс формовки в основном включает в себя порошковую металлургию и процесс прокатки, в котором процесс прокатки далее делится на два способа: горячая прокатка и холодная прокатка. Эти процессы оптимизируют структуру зерна, прочность и пластичность молибденовых листов за счет точного контроля температуры, деформации и условий окружающей среды для удовлетворения потребностей таких отраслей, как электроника, аэрокосмическая и высокотемпературная промышленность. Молибденовый лист CTIA GROUP LTD изготавливается с использованием передовой технологии формования для обеспечения высокой точности и консистенции изделий. Далее будут подробно рассмотрены характеристики процесса, влияние на производительность и преимущества применения порошковой металлургии для подготовки молибденовых листов, подготовки молибденовых листов методом горячей прокатки и подготовки молибденовых листов методом холодной прокатки.

4.2.1 Получение молибденовых листов методом порошковой металлургии

Порошковая металлургия является основным процессом формования для производства молибденовых листов, который подходит для подготовки высокочистых и однородных структур молибденовых листов, особенно для производства ультратонких молибденовых листов (толщина 0,01-0,1 мм) или компонентов сложной формы. Процесс включает в себя прессование молибденового порошка, спекание и последующую обработку. Порошок молибдена высокой чистоты (чистота $\geq 99,95\%$, размер частиц 1-10 мкм) прессуется в заготовки методом холодного изостатического прессования (давление 100-200 МПа), а форма заготовок может быть изменена в соответствии с требованиями (например, пластины или стержни). Прессованная заготовка

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

спекается в вакууме или водородной защитной атмосфере, температура контролируется на уровне 1800-2000 °C, а время спекания составляет 2-6 часов, благодаря чему частицы молибденового порошка соединяются путем диффузии с образованием плотного зеленого тела, а плотность составляет более 98%. В процессе спекания размер зерна контролируется с точностью до 10-50 микрон, чтобы сбалансировать прочность и ударную вязкость. Прочность на разрыв спеченной заготовки составляет около 500-700 МПа, а плотность близка к теоретическому значению (10,22 г/см³). Для дальнейшей подготовки листов спеченную заготовку прокатывают или ковят, а поверхность травят или полируют с шероховатостью Ra 0,8-1,6 мкм. Преимущество порошковой металлургии заключается в том, что из нее можно производить молибденовые листы с высокой чистотой и однородной структурой, с низким содержанием примесей (железо, медь < 20 ppm), которые подходят для полупроводниковых мишеней и компонентов высокотемпературных печей. Тем не менее, этот процесс сложен и дорогостоящ, что делает его пригодным для высокоточных применений, таких как распыление мишеней в электронной промышленности или радиационная защита в атомной промышленности.

4.2.2 Подготовка молибденового листа методом прокатки

Процесс прокатки является наиболее часто используемым методом формовки при производстве молибденовых листов, при котором спеченная молибденовая заготовка постепенно утончается до желаемой толщины при одновременном улучшении ее механических свойств и качества поверхности. Прокатка делится на два метода: горячая прокатка и холодная прокатка, которые подходят для молибденовых листов с разными требованиями к толщине и производительности. Процесс прокатки осуществляется в вакууме или в инертной атмосфере (например, аргоне) для предотвращения окисления при высоких температурах и для предотвращения образования летучих MoO₃ на поверхности молибденового листа. В процессе прокатки величина деформации, температура прокатки и процесс отжига напрямую влияют на размер зерна, прочность и пластичность молибденовых листов. Горячая прокатка подходит для производства более толстых молибденовых листов (0,5-3 мм), в то время как холодная прокатка используется для ультратонких молибденовых листов (0,01-0,1 мм). Прочность на разрыв прокатанного молибденового листа может достигать 800-1200 МПа, а шероховатость поверхности может составлять всего Ra 0,4 мкм при полировке, что соответствует требованиям точности электроники, аэрокосмической и других областей.

4.2.2.1 Подготовка молибденовых листов методом горячей прокатки

В процессе горячей прокатки подготавливаются молибденовые листы толщиной 0,5-3 мм путем прокатки молибденовой заготовки при высокой температуре (1000-1400 °C) для многопроходных работ, что подходит для компонентов высокотемпературных печей и деталей аэрокосмических конструкций. Молибденовые заготовки (обычно получаемые методом порошковой металлургии) обрабатываются в вакуумном стане или стане горячей прокатки в среде инертного газа с контролируемой деформацией 20-30% на валок во избежание растрескивания. В процессе горячей прокатки зерна молибдена подвергаются динамической рекристаллизации, причем размер зерна

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

больше (50-100 мкм), что придает молибденовому листу хорошую пластичность (удлинение при разрыве 10-15%) и низкое внутреннее напряжение. Прочность на разрыв горячекатаного молибденового листа составляет около 600-800 МПа при комнатной температуре, и она все еще может достигать 500 МПа при высокой температуре (1200°C), что подходит для высокотемпературных сред. Шероховатость поверхности обычно составляет Ra 1,0-2,0 микрон и может быть оптимизирована с помощью травления или пескоструйной обработки. Преимущества процесса горячей прокатки заключаются в том, что он обладает высокой эффективностью производства, подходит для массового производства и имеет более низкую стоимость, чем метод порошковой металлургии, но допуск по толщине ($\pm 0,05$ мм) немного уступает таковому при холодной прокатке. Горячекатаные молибденовые листы широко используются в нагревательных элементах для высокотемпературных печей, коррозионно-стойких футеровках для химического оборудования и высокотемпературных несущих конструкциях для аэрокосмической промышленности, где их высокотемпературная прочность и сопротивление ползучести (скорость ползучести $10^{-6}/\text{с}$) обеспечивают долговременную стабильность.

4.2.2.2 Подготовка молибденовых листов методом холодной прокатки

Процесс холодной прокатки представляет собой дальнейшую прокатку горячекатаных молибденовых листов или спеченных молибденовых заготовок при комнатной температуре или близкой к ней для получения ультратонких молибденовых листов толщиной 0,01-1 мм, пригодных для высокоточных электронных и микроэлектронных приложений. Для холодной прокатки используются высокоточные четырехвалковые или многовалковые станы, а величина деформации контролируется на уровне 10-20% каждый раз, чтобы предотвратить трещины, вызванные деформационным упрочнением. Холоднокатаные молибденовые листы имеют малую крупность зерна (5-20 мкм), высокую плотность дислокаций, прочность на разрыв до 900-1200 МПа, но низкую пластичность (относительное удлинение при разрыве 5-8%). С целью улучшения ударной вязкости после холодной прокатки проводится отжиг для снятия напряжений (800-1100°C), так что удлинение при разрыве увеличивается до 10-12%, а прочность немного снижается до 800-1000 МПа. Качество поверхности холоднокатаного молибденового листа отличное, шероховатость после полировки может достигать Ra 0,4 мкм, а допуск по толщине контролируется на уровне $\pm 0,005$ мм, что отвечает потребностям полупроводниковых мишеней и гибких подложек. Преимущество процесса холодной прокатки заключается в производстве ультратонких, высокопрочных молибденовых листов для высокоточных применений, но с высокими требованиями к оборудованию и строгим контролем смазочных материалов (обычно на масляной основе) во избежание поверхностных дефектов. Холоднокатаные молибденовые листы широко используются в осаждении тонких пленок, полупроводниковой упаковке и медицинских устройствах, таких как аноды рентгеновских трубок, где их высокая прочность и отличное качество поверхности значительно улучшают производительность устройства.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD
Molybdenum Sheet Introduction

1. Overview of Molybdenum Sheet

Molybdenum sheet is a thin metal sheet made from high-purity molybdenum through rolling processes. It features excellent high-temperature resistance, thermal conductivity, and mechanical strength. It is widely used in electronics, metallurgy, vacuum equipment, aerospace, and lighting industries as heating elements, thermal shields, or structural components. With a smooth surface and precise dimensions, molybdenum sheets can be customized in various specifications to meet the requirements of advanced manufacturing and scientific research equipment.

2. Features of Molybdenum Sheet

High Purity Material: Purity $\geq 99.95\%$, with extremely low impurity levels

High-Temperature Resistance: Melting point up to 2610°C , stable performance in extreme conditions

Excellent Workability: High flatness, smooth surface, easy to punch, shear, and weld

Customizable Specifications: Various sizes and thicknesses available to suit different processes

3. Specifications of Molybdenum Sheet

Parameter	Specification
Purity	$\geq 99.95\%$
Thickness	0.01 mm - 3.00 mm
Width	50 mm - 600 mm
Length	Custom lengths or supplied in coil
Surface Finish	Polished, Alkali-cleaned, Sandblasted
Thickness Tolerance	± 0.005 mm - ± 0.2 mm
Surface Roughness	Ra 0.8 μm – Ra 3.2 μm

4. Production Process

Molybdenum Ingot (Raw Material) $\rightarrow$ Inspection $\rightarrow$ Hot Rolling $\rightarrow$ Leveling & Annealing $\rightarrow$ Alkali Cleaning $\rightarrow$ Inspection $\rightarrow$ Warm Rolling $\rightarrow$ Vacuum Annealing $\rightarrow$ Inspection $\rightarrow$ Cold Rolling $\rightarrow$ Leveling $\rightarrow$ Shearing $\rightarrow$ Vacuum Annealing $\rightarrow$ Inspection $\rightarrow$ Packaging

5. Purchasing Information

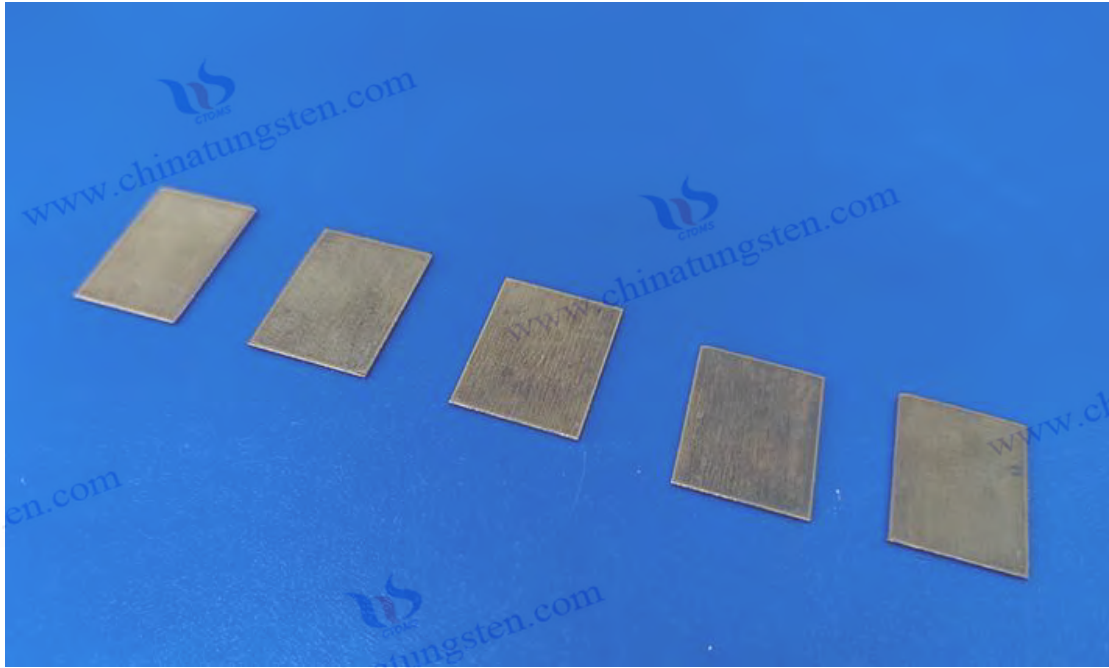
Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: molybdenum.com.cn

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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



Молибденовый лист CTIA GROUP LTD

Глава 5 Оборудование для производственных и эксплуатационных испытаний молибденовых листов

5.1 Горно-шахтное оборудование для добычи молибденовой руды

Добыча молибденовой руды является первым этапом производства молибденовых листов, и выбор оборудования напрямую влияет на эффективность и стоимость получения сырья. По геологическим условиям месторождения горнорудное оборудование делится на оборудование для открытых горных работ и оборудование для подземных горных работ, которые подходят для неглубоких крупных месторождений и глубоких сложных отложений. CTIA GROUP LTD [Молибденовые листы](#) полагаются на эффективное горнодобывающее оборудование, чтобы обеспечить высокое качество и стабильные поставки молибденитового сырья (MoS_2). Ниже подробно рассматриваются типы, функции и точки применения оборудования для открытых и подземных горных работ.

5.1.1 Оборудование для открытых горных работ по добыче молибденовой руды

Оборудование для открытых горных работ используется для переработки неглубоко залегающих молибденитовых месторождений, таких как Луаньчуань в Лояне в Китае или Клемас в США, и в основном включает в себя буровые установки, взрывное оборудование, экскаваторы, самосвалы и погрузчики. Буровые установки (например, роторные или погружные буровые установки) используются для предварительного взрывного бурения, как правило, с диаметром скважины 100-250 мм и скоростью проходки до 20-50 м/ч, оснащенные высокоточной системой позиционирования GPS для оптимизации схемы взрывных работ. В взрывном оборудовании

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

используется аммиачная селитра или эмульсионное взрывчатое вещество, а взрыв точно контролируется электронными детонаторами для дробления руды до размера частиц 0,1-1 метр, снижая скорость разбавления (целевой < 10%). Экскаваторы (например, электрические лопаты или гидравлические экскаваторы, емкостью 10-30 м³) отвечают за вскрышу пустой породы и извлечение руды с производственной мощностью 5 000-10 000 т/ч. Самосвалы (50-200 тонн, например, Caterpillar 797F) используются для транспортировки руды на обогатительные фабрики и оснащены автоматическими навигационными системами для повышения эффективности транспортировки. Погрузчики (например, колесные погрузчики, с объемом ковша 5-15 кубических метров) используются для штабелирования и перемещения руды и пустой породы. Основные выводы включают: высокую износостойкость для работы с твердостью молибденита (1-1,5 по шкале Мооса), взрывные работы и выемку грунта для снижения коэффициента вскрыши (от 3:1 до 10:1); Строго соблюдаются меры по охране окружающей среды, такие как подавление пыли распылением (концентрация пыли < 10 мг/м³) и рециркуляция сточных вод (> 80%). Эффективная синергия этих объектов обеспечивает добычу открытым способом руды с высоким содержанием молибдена (0,1-0,5% молибдена).

5.1.2 Оборудование для подземных горных работ для молибденовой руды

Оборудование для подземных горных работ подходит для залежей молибденита с глубокими или сложными геологическими условиями, таких как Цилинь, Китай или некоторые районы Канады, в основном включая проходческие комбайны, перфораторы, погрузчики, карьерные самосвалы и подъемные системы. ТПМК (например, полносекционные ТПМК или анкерные экскаваторы) используются для проходки тоннелей со скоростью около 5-10 м/сутки и оснащены лазерной навигацией для обеспечения точности дорожного полотна (отклонение < 5 см). Перфораторы (например, гидравлические буровые установки) используются для взрывных работ и бурения, с диаметром скважины 50-100 мм и эффективностью бурения 10-20 м/ч, подходят для комнатно-столбовой или засыпной добычи. Погрузчики (например, скрепки, объем ковша 2-5 м³) отвечают за погрузку дробленой руды (размером частиц 0,1-0,5 м) и оснащены цепями противоскольжения для работы на скользких дорогах. Вагонетки (10-30 тонн) транспортируют руду к подъемному стволу по рельсовой или безрельсовой системе, которая (например, лебедка или лебедка, 500-2000 кВт) поднимает руду на поверхность с производительностью 1000-5000 тонн/сутки. Основные выводы: оборудование должно быть достаточно компактным, чтобы помещаться в узких проходах (3-5 м в ширину и 3-4 м в высоту); Система вентиляции (объем воздуха ≥ 3 м³/с·чел.) для обеспечения безопасности эксплуатации; Автоматизированные системы управления, такие как дистанционно управляемые перфораторы, повышают эффективность и снижают трудовые риски. Оборудование для подземных горных работ требует регулярного технического обслуживания, чтобы справляться с высоким износом, обеспечивая извлечение руды (70-90%) и постоянство содержания, а также обеспечивая стабильное сырье для производства молибденового листа.

5.2 Оборудование для обогащения минералов молибденовой руды

Обогатительное оборудование используется для переработки низкосортной молибденовой руды

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(содержание молибдена 0,1-0,3%) в концентрат с высоким содержанием молибдена (содержание молибдена 50-60%), который является стержневым звеном при подготовке сырья для производства молибденового листа. Оборудование для обогащения полезных ископаемых включает в себя дробильное оборудование, измельчительное оборудование, классификационное оборудование и флотационное оборудование, которые отделяют молибденит от попутных минералов (таких как кварц и магнетит) физическими и химическими методами. Ниже приведен подробный анализ функций, производительности и ключевых моментов работы этих устройств.

5.2.1 Дробильное оборудование для молибденовой руды

Дробильная установка используется для дробления сырой руды (0,1-1 м) до подходящего размера частиц (10-50 мм) для обогащения, закладывая основу для последующего измельчения и флотации. Основное оборудование включает в себя щековую дробилку, конусную дробилку и роторную дробилку. Щековые дробилки (например, серия ПЭ, мощность 75-200 кВт) используются для первичного дробления, с производительностью переработки 100-1000 т/ч, дробления руды до 50-150 мм, пригодных для молибденита высокой твердости. Конусные дробилки (например, серия НР, 200-500 кВт) используются для вторичного дробления с размером частиц 10-50 мм и коэффициентом дробления до 4:1 и оснащены гидравлической системой регулировки для обеспечения равномерного размера частиц. Ударная дробилка используется для тонкого дробления, подходит для руд с большим содержанием пустой породы, и производит частицы размером 5-20 мм. Основные выводы включают в себя: оборудование должно быть оснащено износостойкими футеровками (например, сталью с высоким содержанием марганца), чтобы справляться с абразивной природой молибдена; Вибрационное сито (отверстие сита 10-50 мм) используется в сочетании с дробилкой для обеспечения соответствия размера частиц требованиям; Контроль пыли (распыление или удаление мешка, концентрация пыли <10 мг/м³) соответствует экологическим нормам. Эффективная работа дробильной установки обеспечивает полную диссоциацию руды и обеспечивает высококачественный вход для обогащения.

5.2.2 Оборудование для измельчения молибденовой руды

Измельчительное оборудование дополнительно измельчает измельченную руду до -200 меш (около 74 мкм), благодаря чему степень диссоциации мономера молибденита достигает более 80%, что соответствует требованиям флотации. Основным оборудованием является шаровая мельница и стержневая мельница. Шаровые мельницы (например, серия MQG, 200-1000 кВт) измельчаются с помощью стальных шаров (диаметр 20-100 мм) и столкновения руды, производительностью 50-500 т/ч и тонкостью помола 70-80%-200 меш, оснащены автоматической системой управления для оптимизации скорости подачи и скорости (20-30 об/мин). Стержневая мельница применяется для грубого измельчения или глинистых руд, а стальные пруты (длиной 2-3 м) измельчаются для переизмельчения и дают размер зерна 0,5-2 мм. Ключевые моменты включают в себя: необходимо регулярно менять мелющий материал для поддержания эффективности (расход шариков 0,5-1 кг/т); Мокрое измельчение (соотношение воды и руды 1:1-2:1) снижает запыленность и улучшает диссоциацию; Замкнутый цикл измельчения сочетается с классификаторами для обеспечения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

равномерного распределения частиц по размерам (D50 ок. 50-100 мкм). Высокий КПД измельчительного оборудования оказывает непосредственное влияние на коэффициент флотационного восстановления (85-95%).

5.2.3 Сортировочное оборудование для молибденовой руды

Классификаторы используются для разделения наземного шлама по размеру частиц и оптимизации эффективности флотации, а обычно используемое оборудование включает спиральные классификаторы и гидроциклоны. Спиральные классификаторы (например, серии FG, мощность 5-15 кВт) отделяют крупную ($>0,15$ мм) от мелкой ($<0,15$ мм) через спиральные лопасти, с производительностью 20-200 т/ч и эффективностью сортировки 70-85%. Гидроциклоны (например, серии FX, давление на входе 0,1-0,3 МПа) используют центробежную силу для классификации мелкозернистых шламов ($<0,1$ мм) с высокой точностью классификации (погрешность $<5\%$) и производительностью 10-100 м³/ч. Основные выводы включают в себя: классификатор должен иметь замкнутый цикл с мельницей, а коэффициент возврата (100-300%) должен быть оптимизирован для снижения переизмельчения; Футеровки оборудования (например, полиуретановые) для повышения износостойкости; Коэффициент рециркуляции сточных вод $> 80\%$ для снижения потребления воды. Сортировочное оборудование гарантирует, что размер частиц молибденита подходит для флотации и улучшает качество концентрата.

5.2.4 Флотационное оборудование для молибденовой руды

Флотационное оборудование использует гидрофобное разделение молибденита для отделения молибденового концентрата, а основным оборудованием является флотационная машина. Механические флотомашин с перемешиванием воздуха (например, серии SF или XCF, мощность 15-100 кВт) генерируют пузырьки (воздух или азот, расход 1-2 м³/мин) через рабочее колесо (скорость 200-400 об/мин), к которым молибденит прилипает к пузырькам, образуя слой пены для получения концентрата молибдена (содержание молибдена 50-60%). Флотомашин имеет объем 4-20 м³, оснащена автоматической системой дозирования (ксантогенат 0,1-0,3 кг/т, терпинеол 0,05-0,1 кг/т), и контролем pH на уровне 8-10. Ключевые моменты включают в себя: флотомашин требует нескольких резервуаров, соединенных последовательно (6-12 резервуаров) для грубой сепарации, отбора и подметания, с коэффициентом извлечения 85-95%; Необходимо точно контролировать размер пузырьков (0,5-2 мм) и концентрацию суспензии (20-30%); Хвосты и сточные воды нуждаются в очистке (уровень переработки $> 80\%$) в соответствии с экологическими нормами. Эффективная работа флотационного оборудования обеспечивает высокое качество и низкое содержание примесей молибденового концентрата, обеспечивая высококачественным сырьем для производства молибденового листа.

5.3 Формовочное оборудование для молибденовых листов

Формовочное оборудование для молибденового листа является основным инструментом для его переработки из молибденового порошка высокой чистоты или молибденовой заготовки в тонкий

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

листовой материал, что напрямую влияет на толщину, точность, качество поверхности и механические свойства молибденового листа. Формовочное оборудование в основном включает в себя оборудование порошковой металлургии и прокатное оборудование, из которых оборудование порошковой металлургии используется для получения молибденовых заготовок высокой чистоты и однородной структуры, что является основным звеном в производстве молибденовых листов. Опираясь на передовое формовочное оборудование, CTIA GROUP LTD Molybdenum Sheet обеспечивает высокую точность и однородность изделий, а также удовлетворяет потребности электронной, аэрокосмической и высокотемпературной промышленности. Ниже подробно рассматриваются функции, производительность и рабочие точки оборудования для прессования порошка и агломерационного оборудования в оборудовании для порошковой металлургии.

5.3.1 Оборудование для порошковой металлургии молибденовых листов

Оборудование порошковой металлургии используется для переработки молибденового порошка высокой чистоты (чистота $\geq 99,95\%$, размер частиц 1-10 мкм) в плотные молибденовые заготовки, что обеспечивает основу для последующей прокатки или прямого формования молибденовых листов. Процесс порошковой металлургии состоит из двух основных этапов: прессования порошка и спекания, в которых задействовано такое оборудование, как холодные изостатические прессы, гидравлические прессы и вакуумные печи для спекания. Эти машины обеспечивают основу для производства высокоэффективных молибденовых листов за счет точного контроля давления, температуры и атмосферы для обеспечения высокой плотности ($>98\%$) и низкого содержания примесей (железа, меди < 20 ppm).

5.3.1.1 Оборудование для прессования порошка для молибденовых листов

Оборудование для прессования порошка используется для прессования молибденового порошка в заготовку определенной формы и прочности, а общее оборудование включает в себя холодные изостатические прессы (CIP) и гидравлические прессы. Холодные изостатические прессы (например, серия CIP-400, давление 100-400 МПа) подают равномерное давление на молибденовый порошок через жидкую среду (например, воду или масло) и прессуют его в пластины или стержневые заготовки (размер 100-500 мм) плотностью 60-70%. Его преимущество в том, что давление распределяется равномерно, что позволяет избежать концентрации напряжений внутри заготовки, и он подходит для производства молибденовой заготовки большого размера или сложной формы. Гидравлические прессы (например, четырехколонные гидравлические прессы, мощность 200-1000 кВт) используются для одностороннего прессования, давление 50-200 МПа, подходят для небольших заготовок (толщина 10-50 мм), высокая производительность (1-3 штуки в минуту). В процессе прессования молибденовый порошок необходимо предварительно просеять (100-200 меш) и добавить небольшое количество связующего вещества (например, поливиниловый спирт, 0,1-0,5%) для повышения прочности заготовки. Основные выводы включают в себя: формы должны быть изготовлены из высокопрочной стали или карбида, чтобы выдерживать высокое давление; Параметры прессования (например, время выдержки под давлением 10-30 секунд) должны быть

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

оптимизированы для обеспечения однородности заготовки; Оборудование оснащено системой пылеподавления (концентрация пыли $< 5 \text{ мг/м}^3$) для защиты рабочей среды. Прессованная молибденовая заготовка обеспечивает высококачественный вход для спекания, обеспечивая стабильную производительность последующего молибденового листа.

5.3.1.2 Оборудование для спекания молибденовых листов

Агломерационное оборудование используется для консолидации прессованной молибденовой заготовки в заготовку высокой плотности при высокой температуре, что является основным этапом порошковой металлургии. К наиболее часто используемому оборудованию относятся вакуумные печи для спекания и печи для спекания с водородной защитой. Вакуумная печь для спекания (типа серии VSF, мощность 100-500 кВт) работает при степени вакуума 10^{-3} - 10^{-5} Па и температуре 1800-2000 °C, а время спекания составляет 2-6 часов, благодаря чему частицы молибденового порошка соединяются путем диффузии, размер зерна контролируется на уровне 10-50 мкм, а плотность достигает 98-99%. Вакуумная среда эффективно предотвращает окисление, а содержание кислорода снижается до $<50 \text{ ppm}$, что подходит для производства молибденовых листов высокой чистоты ($\geq 99,95\%$) сырья. Водородная защитная печь для спекания (температура 1600-1900°C, чистота водорода $\geq 99,99\%$, расход 1-2 м³/ч) удаляет следовые оксиды через восстановительную атмосферу, подходит для обычных молибденовых листов чистоты (99-99,9%). Прочность на разрыв спеченной молибденовой заготовки составляет около 500-700 МПа, а плотность близка к теоретическому значению (10,22 г/см³). Ключевые моменты включают в себя: точный контроль скорости наращивания ($5\text{-}10^\circ\text{C/мин}$) во избежание растрескивания заготовок; Мониторинг атмосферы в печи для обеспечения отсутствия утечек кислорода; Скорость охлаждения ($10\text{-}20^\circ\text{C/мин}$) оптимизирует структуру зерна. Высокая производительность агломерационного оборудования обеспечивает высокую плотность и низкое содержание примесей молибденовой заготовки, что обеспечивает качественную основу для последующей прокатки и удовлетворяет потребности электронных мишеней и высокотемпературных компонентов.

5.3.2 Прокатное оборудование для молибденовых листов

Прокатное оборудование является основным инструментом в процессе формовки молибденовых листов, который используется для переработки спеченных молибденовых заготовок в тонкие листы определенной толщины, размера и производительности и широко используется в электронной, аэрокосмической и высокотемпературной промышленности. Прокатное оборудование делится на стан горячей прокатки и стан холодной прокатки, которые используются для производства более толстых (0,5-3 мм) и ультратонких (0,01-0,1 мм) молибденовых листов соответственно, а также оптимизируют зернистую структуру, прочность и качество поверхности молибденовых листов за счет точного контроля величины деформации, температуры и атмосферы. Компания CTIA GROUP LTD Molybdenum Sheet использует передовое прокатное оборудование, чтобы обеспечить высокую точность и однородность продукции и удовлетворить потребности высокотехнологичных приложений. Ниже подробно рассмотрены функции, производительность

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

и ключевые моменты работы станов горячей и холодной прокатки молибденовых листов.

5.3.2.1 Станы горячей прокатки молибденовых листов

Стан горячей прокатки используется для многопроходной прокатки молибденовых заготовок при высоких температурах (1000-1400°C) для производства молибденовых листов толщиной 0,5-3 мм, пригодных для компонентов высокотемпературных печей и деталей конструкций аэрокосмической отрасли. Обычно используемым оборудованием является четырехканальный стан горячей прокатки или реверсивный стан горячей прокатки (например, оборудование SMS Group, 500-2000 кВт), оснащенный системой защиты от вакуума или инертного газа (например, аргона) для предотвращения окисления молибдена при высоких температурах с образованием летучего MoO_3 . Диаметр рабочего валка стана горячей прокатки составляет 300-600 мм, скорость прокатки 1-5 м/мин, а деформация контролируется на уровне 20-30% каждый раз во избежание трещин. Молибденовая заготовка (обычно приготовленная методом порошковой металлургии, толщина 10-50 мм) нагревается до 1100-1300 °C в печи предварительного нагрева и затем поступает на прокатный стан, где постепенно разбавляется в многократные проходы (6-10 проходов) с размером зерна 50-100 мкм, придавая молибденовому листу хорошую пластичность (удлинение при разрыве 10-15%) и высокотемпературную прочность (около 500 МПа при 1200 °C). Шероховатость поверхности обычно составляет Ra 1,0-2,0 микрон и может быть оптимизирована путем травления. Ключевые моменты включают в себя: точный контроль зазора между валками и температуры (отклонение < 10°C) для обеспечения допусков по толщине ($\pm 0,05$ мм); Защищает чистоту атмосферы ($\geq 99,99\%$) от окисления; Оснащен встроенным толщиномером и системой охлаждения (скорость охлаждения 10-20°C/мин) для оптимизации структуры зерна. Преимуществами стана горячей прокатки являются высокая эффективность производства (10-50 тонн в сутки), пригодность для крупносерийного производства, а также широкое применение при изготовлении футеровки химического оборудования и высокотемпературных нагревательных элементов печей.

5.3.2.2 Стан холодной прокатки молибденовых листов

Стан холодной прокатки дополнительно прокатывает горячекатаные молибденовые листы или спеченные молибденовые заготовки при комнатной температуре или близкой к ней для производства ультратонких молибденовых листов толщиной 0,01-1 мм, пригодных для полупроводниковых мишеней и микроэлектронных подложек. Обычно используемым оборудованием является высокоточный четырех- или многовалковый стан холодной прокатки (например, стан Сендзимира, 200-1000 кВт), оснащенный высокопрочными рабочими валками (диаметр 100-300 мм, твердость HRC 60-65) и автоматической системой контроля зазора валков (точность $\pm 0,001$ мм). Деформация холодной прокатки контролируется на уровне 10-20% каждый раз, а скорость прокатки составляет 0,5-3 м/мин, чтобы избежать трещин, вызванных деформационным упрочнением. Холоднокатаные молибденовые листы имеют малый размер зерна (5-20 мкм) и предел прочности на разрыв 900-1200 МПа, но низкую пластичность (удлинение при разрыве 5-8%) и ударную вязкость (удлинение при разрыве 10-12%) за счет отжига

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

для снятия напряжений (800-1100°C). Качество поверхности отличное, шероховатость после полировки может достигать Ra 0,4 мкм, а допуск по толщине контролируется на уровне $\pm 0,005$ мм.

Основные выводы включают: использование смазочных материалов на масляной основе (вязкость 10-20 сСт) для уменьшения поверхностных дефектов; Оснащен встроенной системой обнаружения дефектов (например, лазерным сканированием) для обеспечения качества поверхности; Печи для отжига должны быть защищены вакуумом или водородом (чистота $\geq 99,99\%$) для предотвращения окисления. Преимущество стана холодной прокатки заключается в том, что он производит ультратонкие, высокоточные молибденовые листы для сложных задач в электронной промышленности, таких как осаждение тонких пленок и сборки рентгеновских трубок, но при этом требует высоких затрат на оборудование и регулярного обслуживания поверхностей валков и систем управления.

5.4 Оборудование для эксплуатационных испытаний молибденовых листов

Оборудование для тестирования характеристик молибденовых листов используется для оценки их физических и химических свойств, чтобы гарантировать, что продукция соответствует строгим требованиям электроники, аэрокосмической и высокотемпературной промышленности. Испытательное оборудование охватывает ключевые параметры, такие как плотность, температура плавления, электро- и теплопроводность, и предоставляет надежные данные с помощью высокоточных приборов для проверки чистоты, структуры и функциональности молибденовых листов. Молибденовый лист CTIA GROUP LTD прошел передовое испытательное оборудование, чтобы убедиться, что эксплуатационные параметры соответствуют стандарту ASTM B386, такие как плотность 10,22 г/см³ и удельное сопротивление около $5,2 \times 10^{-8}$ Ω·м и теплопроводность около 138 Вт/м·К. Ниже подробно рассматриваются типы, функции и рабочие точки оборудования для измерения плотности, оборудования для измерения температуры плавления, оборудования для испытаний электропроводности и оборудования для испытаний теплопроводности молибденовых листов.

5.4.1 Оборудование для измерения плотности молибденовых листов

Для определения плотности молибденовых листов используется оборудование для измерения плотности молибденовых листов (теоретическое значение 10,22 г/см³) для оценки их плотности и чистоты, пригодности для контроля качества и сертификации материалов. Обычно используемое оборудование включает в себя дренажное устройство Архимеда и рентгеновский денситометр. Дренажные устройства Archimedes (например, плотномер Mettler Toledo, точность $\pm 0,001$ г/см³) рассчитывают плотность путем измерения массы молибденового листа в воздухе и жидкости (обычно деионизированной воде) с диапазоном испытаний 0,1-20 г/см³ и подходят для молибденовых листов толщиной 0,01-3 мм. В процессе эксплуатации молибденовый лист необходимо очищать (удаляется ультразвуковая очистка, удаление масла), следует избегать образования пузырьков воздуха при погружении в жидкость, а погрешность измерения должна

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

контролироваться на уровне $\pm 0,01$ г/см³. Рентгеновские денситометры (например, PANalytical X'Pert с точностью до $\pm 0,005$ г/см³) анализируют плотность материалов путем поглощения рентгеновского излучения без разрушения образца, что делает их пригодными для высокоточного детектирования. Основные выводы включают в себя: калибровочное оборудование для обеспечения точности (с использованием стандартных образцов, таких как блоки чистого молибдена); Испытательная среда должна поддерживаться при постоянной температуре ($20 \pm 1^\circ\text{C}$) для устранения эффекта теплового расширения; Для повышения надежности усредняются множественные измерения. Устройства для измерения плотности обнаруживают микроскопические дефекты (например, пористость $< 2\%$) в молибденовых листах, чтобы убедиться, что они подходят для полупроводниковых мишеней и высокотемпературных компонентов.

5.4.2 Оборудование для определения температуры плавления молибденовых листов

Оборудование для измерения температуры плавления используется для проверки температуры плавления молибденовых листов (около 2620°C) для подтверждения их высокотемпературных характеристик и чистоты, пригодных для аэрокосмической промышленности и высокотемпературных печей. Обычно используемым оборудованием является высокотемпературная дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) и оборудование для лазерного мгновенного плавления. Высокотемпературный ДСК (например, Netzsch STA 449, диапазон температур $25-2800^\circ\text{C}$, точность $\pm 5^\circ\text{C}$) определяет температуру плавления путем нагрева образца молибденового листа (масса $5-10$ мг) и регистрации эндотермических пиков, оснащен вольфрамовым тиглем и защитой аргона (чистота $\geq 99,99\%$) для предотвращения окисления. Оборудование для лазерного плавления (например, LFA 467, диапазон температур $1000-3000^\circ\text{C}$) нагревает поверхность молибденового листа с помощью лазерного импульса в сочетании с инфракрасным термометром для регистрации температуры плавления, а время испытания короткое (< 1 минута), что подходит для быстрого обнаружения. Основные выводы включают в себя: образцы должны быть высокой чистоты ($\geq 99,95\%$), чтобы избежать загрязнений и снизить температуру плавления; Испытательная атмосфера должна строго контролироваться (содержание кислорода < 10 ppm); Оборудование нуждается в регулярной калибровке (с использованием вольфрамовых стандартов, температура плавления 3422°C). Оборудование для определения температуры плавления обеспечивает стабильность молибденовых листов в высокотемпературных средах (например, в вакуумных печах), а погрешность контролируется в пределах $\pm 10^\circ\text{C}$.

5.4.3 Оборудование для испытаний на проводимость молибденовых листов

Оборудование для измерения проводимости используется для измерения удельного сопротивления молибденовых листов (около $5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$), для оценки его электрических свойств, пригодного для применения в электродах и мишенях в электронной промышленности. Обычно используемым оборудованием является четырехзондовый тестер и кондуктометр. Четырехзондовый тестер (например, Keithley 2635B, точность $\pm 0,01\%$) рассчитывает удельное

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

сопротивление молибденового листа путем подачи постоянного тока (1-100 мА) и измерения напряжения с помощью четырех эквидистантных щупов (на расстоянии 1-2 мм друг от друга) с диапазоном испытаний 10^{-9} - 10^{-6} $\Omega \cdot \text{м}$, подходящих для молибденовых листов толщиной 0,01-3 мм. Кондуктометры (например, Sigmascope SMP350, частота 10-100 кГц) бесконтактно измеряют проводимость (в См/м) вихретоковым методом и подходят для быстрого обнаружения больших площадей молибденовых листов. Ключевые моменты включают в себя: поверхность молибденового листа должна быть отполирована ($R_a \leq 0,4$ мкм) для снижения контактного сопротивления, а испытательная среда должна иметь постоянную температуру и влажность ($20 \pm 1^\circ\text{C}$, влажность $< 50\%$) во избежание помех; Многократные измерения (не менее 5 раз) усредняются для обеспечения точности. Четырехзондовый тестер обнаруживает граничное сопротивление зерен и примеси молибденовых листов, обеспечивая их стабильность проводимости при осаждении тонких пленок полупроводников.

5.4.4 Оборудование для испытаний на теплопроводность молибденовых листов

Оборудование для испытаний на теплопроводность используется для измерения теплопроводности молибденовых листов (около 138 Вт/м·К) и оценки их тепловых характеристик, а также подходит для подложек для рассеивания тепла и компонентов высокотемпературных печей. Обычно используемым оборудованием являются лазерный флэш-измеритель теплопроводности и стационарное оборудование для теплового потока. Лазерная вспышка теплопроводности (например, Netzsch LFA 467, точность $\pm 3\%$) нагревает одну сторону молибденового листа (размер образца $10 \times 10 \times 0,5$ -3 мм) с помощью лазерного импульса, инфракрасный термометр фиксирует повышение температуры с другой стороны, рассчитывает теплопроводность, тестирует диапазон температур 20-1500°C и оснащен защитой от аргона (чистота $\geq 99,99\%$) для предотвращения окисления. Стационарные устройства теплового потока (например, Hot Disk TPS 2500S с точностью до $\pm 2\%$) измеряют градиент температуры при постоянном тепловом потоке путем встраивания теплового зонда в молибденовый диск и подходят для больших образцов (20×20 мм). К ключевым моментам относятся плоская поверхность образца ($R_a \leq 0,4$ мкм) для обеспечения теплового контакта, испытания в вакууме или инертной атмосфере для предотвращения эффектов окисления, а также калибровка оборудования с использованием стандартных образцов (например, нержавеющей стали, теплопроводность 16 Вт/м·К). Оборудование для испытаний на теплопроводность проверяет теплопроводность молибденовых листов, обеспечивая их работоспособность в электронной упаковке и высокотемпературном тепловом экранировании с погрешностью ± 5 Вт/м·К.

5.5 Оборудование для испытания механических свойств молибденового листа

Оборудование для испытаний механических свойств используется для оценки прочности, твердости, ударной вязкости и усталостной прочности молибденовых листов, чтобы гарантировать, что они соответствуют строгим требованиям аэрокосмической, электронной и высокотемпературной промышленности. Эти устройства измеряют ключевые параметры, такие как прочность на разрыв, твердость и вязкость разрушения молибденовых листов, применяя

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

механические нагрузки или удары, обеспечивая поддержку данных для контроля качества и сертификации материалов. Молибденовый лист CTIA GROUP LTD соответствует стандарту ASTM B386 благодаря передовому оборудованию для испытаний механических свойств, чтобы гарантировать, что его прочность на разрыв (800-1200 МПа), твердость (220-250 HV) и ударная вязкость (вязкость разрушения $10-15 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$) соответствуют стандарту ASTM B386. Ниже подробно рассматриваются функции, производительность и принципы работы универсальных испытательных машин, твердомеров и ударных машин при испытании механических свойств молибденовых листов.

5.5.1 Универсальная машина для испытания материалов для проверки механических свойств молибденовых листов

Универсальная испытательная машина для материалов (UTM) является основным оборудованием для испытания механических свойств молибденовых листов, которое используется для измерения прочности на разрыв, предела текучести, удлинения при разрыве и модуля упругости, и подходит для молибденовых листов толщиной 0,01-3 мм. Обычно используемое оборудование, такое как Instron 5982 или MTS Criterion (диапазон нагрузок 1-100 кН с точностью $\pm 0,5\%$), оценивает характеристики молибденовых листов путем испытаний на растяжение, сжатие или изгиб. При испытании на растяжение образец молибденового листа (стандартный размер, такой как ASTM E8, ширина 5-10 мм) закрепляется между приспособлениями, растягивается до разрушения с постоянной скоростью (1-10 мм/мин), и записывается кривая зависимости напряжения от деформации для определения прочности на разрыв (800-1200 МПа), предела текучести (около 600-900 МПа) и удлинения при разрыве (5-15%). Испытание на растяжение при высокой температуре (1000-1500°C) должно быть оснащено высокотемпературной печью (защита аргоном, чистота $\geq 99,99\%$) для моделирования реальных условий работы и испытания высокотемпературной прочности (около 500-700 МПа при 1200°C). Ключевые моменты включают: полировку поверхности образца ($Ra \leq 0,4 \text{ мкм}$) для предотвращения концентраций напряжений, точность юстировки приспособления ($< 0,1 \text{ мм}$) для обеспечения стабильности испытаний; Испытательная среда должна иметь постоянную температуру ($20 \pm 1^\circ\text{C}$) или строго контролируемую высокотемпературную атмосферу (содержание кислорода $< 10 \text{ ppm}$). Универсальные испытательные машины для испытаний материалов точно оценивают механические свойства молибденовых листов и обеспечивают их надежность в аэрокосмических конструкциях и компонентах высокотемпературных печей.

5.5.2 Твердомер проверяет механические свойства молибденовых листов

Твердомер используется для измерения твердости молибденовых листов, отражающей их устойчивость к деформации и износу, и является важным инструментом для оценки их механических свойств. К обычно используемому оборудованию относятся твердомеры по Виккерсу (например, Wilson VH3300, 0,1-10 кгс, точность $\pm 1 \text{ HV}$) и твердомеры по Бринеллю (например, ZwickRoell ZHU250, 5-3000 кгс). При тесте на твердость по Виккерсу на поверхность молибденового листа (полированного до $Ra \leq 0,4 \text{ мкм}$) прикладывается нагрузка в 1-5 кгс, образец

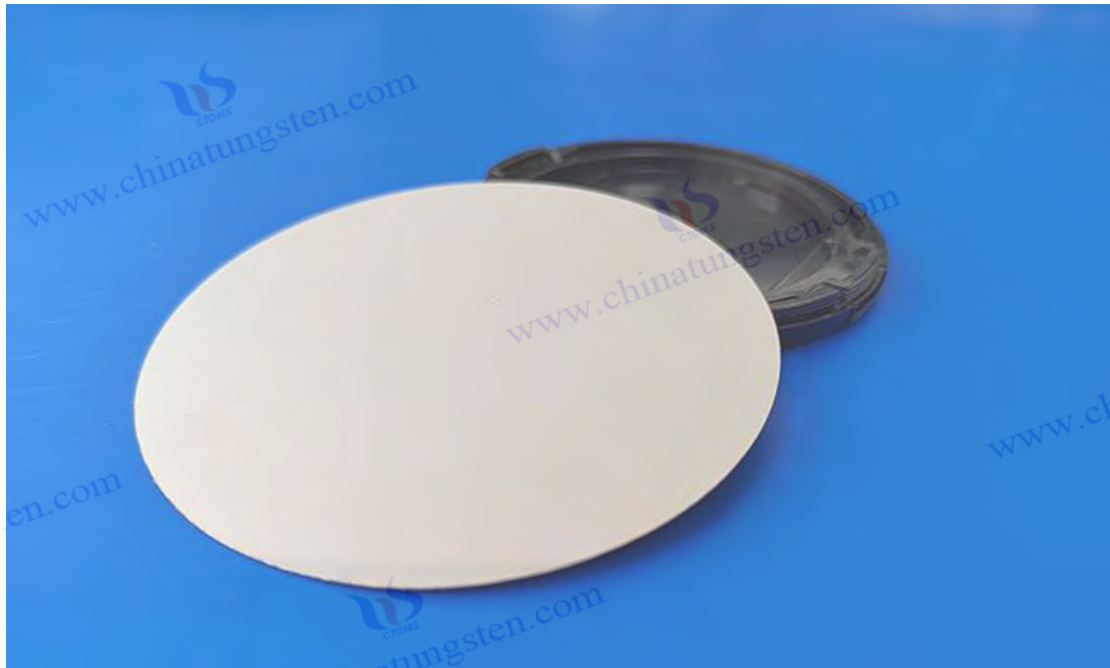
COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

продавливается через алмазный индентор (угол конуса 136°), измеряется длина диагонали вдавливания и вычисляется значение твердости (220-250 HV для листа молибдена высокой чистоты, 300-350 HV для сплава TZM). При тесте на твердость по Бринеллю для более толстых молибденовых листов (>1 мм) используется твердосплавный шариковый индентор (диаметр 2,5-10 мм) со значением твердости около 230-260 HB. Испытание должно проводиться при постоянной температуре окружающей среды ($20\pm 1^\circ\text{C}$) и усреднение не менее 5 баллов для снижения влияния неоднородности зерна. Ключевые моменты включают в себя: поверхность образца должна быть чистой и без оксидного слоя (травление или ультразвуковая очистка); Индентор и нагрузка подбираются в соответствии с толщиной (низкая нагрузка для тонкого листа $< 0,1$ мм); Оборудование нуждается в регулярной калибровке (с использованием стандартных блоков жесткости). Результаты испытаний твердомера могут подтвердить эффект деформационного упрочнения и износостойкость молибденовых листов и подходят для электронных мишеней и покрытий режущих инструментов.

5.5.3 Ударная испытательная машина для проверки механических свойств молибденовых листов

Машины для ударных испытаний используются для оценки ударной вязкости и ударопрочности молибденовых листов, проверки их эксплуатационных характеристик при динамических нагрузках путем измерения вязкости разрушения (K_{IC}) или энергии поглощения ударов. Обычно используемым оборудованием являются копры Charlest (например, серия ZwickRoell HIT, диапазон энергии 5-300 Дж, точность $\pm 0,1$ Дж) и копры с падающим грузом (например, Instron Dynatur, энергия 50-1000 Дж). При испытании на ударный изгиб по Шарлесту стандартный образец (например, ASTM E23, размер $10\times 10\times 55$ мм с V-образным вырезом) регистрируется энергия, поглощенная при разрыве (около 5-15 Дж для молибденовых листов), а также отражается его ударная вязкость (вязкость разрушения $10-15 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$). Испытание падающим грузом подходит для тонких молибденовых листов (толщиной 0,01-1 мм), измеряет ударопрочность при свободном падении (высота 0,5-2 м), а также подходит для моделирования вибрационной среды аэрокосмических компонентов. Испытание на ударный удар при высоких температурах (1000°C) должно быть оснащено печью для защиты от аргона (чистота $\geq 99,99\%$) для предотвращения окисления. Ключевые моменты включают в себя: вырезы образца должны быть точно обработаны (глубина 2 мм, угол 45°); Необходимо контролировать температуру испытания ($20\pm 1^\circ\text{C}$ или высокую температуру $\pm 10^\circ\text{C}$); Для обеспечения надежности усредняются многократные тесты (не менее 3 раз).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Молибденовый лист CTIA GROUP LTD

Глава 6 Методы испытаний на эксплуатационные характеристики молибденовых листов

Методы эксплуатационных испытаний молибденовых листов используются для точной оценки их физических и химических свойств, чтобы убедиться, что они соответствуют строгим требованиям электронной, аэрокосмической и высокотемпературной промышленности. Методы испытаний охватывают такие ключевые параметры, как плотность, температура плавления и термическая стабильность, и предоставляют надежные данные для проверки чистоты, структуры и функциональности молибденовых листов с помощью стандартизированных процессов и оборудования. Молибденовая крошка CTIA GROUP LTD тестируется с использованием международных стандартов (например, ASTM B386), чтобы убедиться, что такие эксплуатационные параметры, как плотность ($10,22 \text{ г/см}^3$), температура плавления (2620°C) и высокая температурная стабильность, соответствуют ожиданиям.

6.1 Метод определения плотности молибденового листа

Метод определения плотности молибденовых листов используется для измерения его плотности (теоретическое значение $10,22 \text{ г/см}^3$) для оценки плотности и чистоты материала, пригодного для контроля качества и сертификации. Наиболее часто используемыми методами являются метод дренажа Архимеда и рентгеновский анализ плотности.

Основанный на принципе плавучести, метод дренажа Архимеда измеряет разность масс молибденовых листов в воздухе и жидкости, рассчитывает плотность, а точность может достигать $\pm 0,01 \text{ г/см}^3$, что подходит для молибденовых листов толщиной 0,01-3 мм. Процесс испытаний включает в себя: 1) пробоподготовку, ультразвуковую очистку молибденовых листов (5 минут,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

удаление масла), сушку (60°C, 10 минут); 2) взвешивание, с помощью высокоточных электронных весов (например, Mettler Toledo XS205, с точностью до $\pm 0,1$ мг) для измерения массы в воздухе (m_1); 3) Погружное измерение, молибденовый лист суспензируется в деионизированной воде (плотность $\rho_0=1$ г/см³, 20 °C) для обеспечения отсутствия прикрепления пузырьков, и регистрируется масса в воде (m_2); 4) Рассчитайте плотность, формула $\rho=m_1/(m_1-m_2)\cdot\rho_0$, и повторите измерение 3-5 раз, чтобы взять среднее значение.

В рентгеновской денситометрии используется рентгеновский плотномер (например, PANalytical X'Pert) для расчета плотности по интенсивности поглощения рентгеновского излучения с точностью $\pm 0,005$ г/см³ без разрушения образца, что делает его пригодным для высокоточного обнаружения. Основные выводы включают в себя: испытательная среда должна поддерживаться при постоянной температуре (20 $\pm$ 1°C) для устранения эффектов теплового расширения; Поверхность образца должна быть плоской ($R_a \leq 0,4$ мкм) для уменьшения погрешностей, а в калибровочном оборудовании используются стандартные образцы (например, блоки чистого молибдена). При измерении плотности обнаруживается пористость (целевой показатель <2%) и примеси, чтобы гарантировать, что молибденовый лист подходит для полупроводниковых мишеней и высокотемпературных компонентов.

6.2 Метод определения температуры плавления молибденового листа

Метод определения температуры плавления молибденовых листов используется для проверки температуры плавления (около 2620 °C) для подтверждения высокотемпературных характеристик и чистоты и подходит для применения в аэрокосмической промышленности и высокотемпературных печах. Обычно используются методы дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и лазерного плавления. Метод ДСК измеряет эндотермический пик молибденового листа в процессе нагрева с помощью высокотемпературного дифференциального сканирующего калориметра (например, Netzsch STA 449, диапазон температур 25-2800°C, точность $\pm 5^\circ\text{C}$). Процесс испытаний состоял из: 1) подготовки образца, резки молибденовых листов (5-10 мг, толщина 0,1-1 мм), полировки ($R_a \leq 0,4$ мкм) и ультразвуковой очистки, 2) загрузки образца, помещения образца в вольфрамовый тигель и помещения его в защитную атмосферу аргона (чистота $\geq 99,99\%$, содержание кислорода <10 ppm); 3) Нагрев, нагрев до 2800°C со скоростью 5-10°C/мин, запись эндотермической пиковой температуры в качестве температуры плавления; 4) Анализ данных, повторите тест 3 раза, чтобы получить среднее значение. При лазерном методе плавления с помощью лазерного вспышек используется устройство для плавления с помощью лазерного вспышки (типа LFA 467, диапазон температур 1000-3000 °C) для быстрого нагрева поверхности молибденового листа (площадь 5 $\times$ 5 мм) с помощью лазерных импульсов, а инфракрасный термометр фиксирует температуру плавления, а время испытания составляет < 1 минуту. Основные выводы включают в себя: образцы должны быть высокой чистоты ($\geq 99,95\%$), чтобы избежать загрязнений и снизить температуру плавления; Испытательная атмосфера должна строго контролироваться для предотвращения окисления; Прибор калибруется с использованием стандартного образца (например, вольфрама, температура плавления 3422°C). Погрешность определения температуры плавления контролируется при $\pm 10^\circ\text{C}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

для обеспечения стабильности молибденовых листов в вакуумных печах или высокотемпературных компонентах.

6.3 Методы испытаний на термическую стабильность молибденовых листов

Метод испытаний на термическую стабильность молибденовых листов используется для оценки его структурной и эксплуатационной стабильности в высокотемпературных средах, особенно в окислительной или вакуумной атмосфере, и подходит для высокотемпературных печей и аэрокосмических применений. Испытание на термическую стабильность в основном проводится с помощью термогравиметрического анализа (ТГА) и метода испытаний на высокотемпературный отжиг. В методе ТГА используется термогравиметрический анализатор (например, TA Instruments Q500, диапазон температур 25-1500°C, точность $\pm 0,1\%$) для измерения изменения массы молибденового листа при высоких температурах, оценки склонности к окислению и потери летучести. Процесс испытаний включает в себя: 1) пробоподготовку, резку молибденовых листов (10-20 мг, толщина 0,1-1 мм), ультразвуковую очистку и сушку, 2) испытательную среду, аргон (чистота $\geq 99,99\%$) или воздушную атмосферу, скорость нагрева 5-10°C/мин до 600-1500°C; 3) записать данные и измерить скорость потери массы (целевой $< 0,1\%$ в аргоне при 1000 °C, а при температуре выше 600 °C в окислительной атмосфере может образоваться MoO_3); 4) Проанализируйте начальную температуру окисления и скорость испарения. Метод испытаний на высокотемпературный отжиг проводится в вакуумной печи отжига (например, Carbolite Gero, температура 1000-2000°C, степень вакуума 10^{-5}). Ра), молибденовые листы нагревали до 1200-1500 °C, инкубировали в течение 1-4 часов, проверяли рельеф поверхности (наблюдение СЭМ) и изменения зерен (рентгеновская дифракция). Ключевые моменты включают в себя: полировку поверхности образца ($R_a \leq 0,4$ мкм) для снижения температуры окисления и жестко контролируемую испытательную атмосферу (содержание кислорода < 10 ppm); Многократные тесты (3-5 раз) для проверки стабильности. Испытания на термическую стабильность подтверждают стойкость к окислению и структурную целостность молибденовых листов при высоких температурах, обеспечивая их надежность в тепловых экранах вакуумных печей или футеровках ракетных сопел.

6.4 Метод определения проводимости молибденового листа

Метод определения проводимости молибденового листа используется для измерения его удельного сопротивления (около $5,2 \times 10^{-8}$ Ω·м) для оценки электрических свойств и обеспечения их пригодности для электродов и мишеней для распыления в электронной промышленности. Наиболее часто используемыми методами являются метод с четырьмя щупами и вихретоковый метод. Четырехзондовый метод измеряет удельное сопротивление молибденовых листов с помощью четырехзондового тестера (например, Keithley 2635B, точность $\pm 0,01\%$), подходящего для образцов толщиной 0,01-3 мм. Процесс испытания включает в себя: 1) пробоподготовку, резку молибденовых листов (размер 10×10 мм), полировку до $R_a \leq 0,4$ мкм, ультразвуковую очистку для удаления поверхностного масла, 2) испытательную установку, равноудаленное расположение четырех зондов (расстояние 1-2 мм), применение постоянного тока (1-100 мА), измерение падения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

напряжения; 3) Рассчитайте удельное сопротивление по формуле $\rho = (V/I) \cdot (A/L)$, где V — напряжение, I — ток, A — площадь поперечного сечения образца, L — расстояние между зондом, а среднее значение берется путем повторения измерения 5 раз; 4) Калибровка данных с учетом влияния толщины и температуры образца ($20 \pm 1^\circ\text{C}$). В вихретоковом методе используется измеритель проводимости (например, Sigmascope SMP350, частота 10-100 кГц) для измерения проводимости в См/м с помощью бесконтактных вихревых токов, что делает его пригодным для быстрого обнаружения больших площадей молибденовых листов. Основные выводы включают в себя: отсутствие оксидного слоя на поверхности образца; В испытательной среде должна быть постоянная температура и влажность (влажность < 50%) для уменьшения помех; Прибор откалиброван с использованием стандартных проводников, таких как медь, удельное сопротивление $1,68 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$). Четырехзондовый метод обладает высокой точностью и подходит для высокоточных целей; Вихретоковый метод обладает высокой эффективностью и подходит для периодических испытаний. Испытание проводимостью обеспечивает электрическую стабильность молибденового листа при осаждении полупроводниковых тонких пленок.

6.5 Метод определения теплопроводности молибденового листа

Метод определения теплопроводности молибденовых листов используется для измерения его теплопроводности (около 138 Вт/м·К) и оценки эффективности терморегулирования, и подходит для подложек с рассеиванием тепла и компонентов высокотемпературных печей. Обычно используются методы лазерной вспышки и метод стационарного теплового потока. Метод лазерной вспышки измеряет теплопроводность с помощью лазерного флэш-измерителя теплопроводности (например, Netzsch LFA 467, с точностью до $\pm 3\%$) и подходит для молибденовых листов толщиной 0,5-3 мм. Процесс испытаний включает в себя: 1) подготовку образца, резку молибденового листа (10×10 мм), полировку до $Ra \leq 0,4$ мкм, ультразвуковую очистку, 2) испытательную установку, помещение образца в защищенную аргоном среду (чистота $\geq 99,99\%$, содержание кислорода <10 ppm), лазерный импульсный нагрев с одной стороны, инфракрасный термометр, фиксирующий повышение температуры с другой стороны; 3) Рассчитаем теплопроводность по формуле $k = \alpha \cdot \rho \cdot C_p$, где α — теплопроводность (измеренная прибором), ρ — плотность, а C_p — удельная теплоемкость (около 0,25 Дж/г·К); 4) Повторите испытание 3-5 раз, чтобы получить среднее значение. Метод стационарного теплового потока использует измеритель теплового потока (например, Hot Disk TPS 2500S с точностью до $\pm 2\%$) для измерения градиента температуры при постоянном тепловом потоке через термозонд и подходит для больших образцов (20×20 мм). Основные выводы включают в себя: равномерную толщину образца для обеспечения постоянного теплового потока; Температура испытания контролируется на уровне $20-1500^\circ\text{C}$; Калибровка проводилась с использованием стандартных образцов (например, нержавеющей стали, 16 Вт/м·К). Метод лазерной вспышки подходит для высокотемпературных испытаний, а стационарный метод подходит для больших образцов при комнатной температуре. Испытание на теплопроводность обеспечивает эффективность теплопроводности молибденового листа в электронной упаковке, а погрешность контролируется на уровне ± 5 Вт/м·К.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.6 Метод определения коэффициента теплового расширения молибденового листа

Метод определения коэффициента теплового расширения молибденовых листов используется для измерения коэффициента его линейного расширения (около $4,8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, $20-1000^{\circ}\text{C}$) для оценки характеристик теплового согласования и подходит для полупроводниковой упаковки и высокотемпературных компонентов. Наиболее часто используемыми методами являются метод термодилатометра и метод рентгеновского кристаллического анализа. При дилатометрическом методе используется термодилатометр (например, Netzsch DIL 402 с точностью до $\pm 0,1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$). Программа теплового расширения рассчитывается путем измерения изменения длины молибденового листа при нагревании. Процесс испытаний состоял из: 1) подготовки образца, резки молибденовых листов (длина 10-25 мм, толщина 0,1-1 мм), полировки до $Ra \leq 0,4$ мкм, 2) испытательной установки, воздействия образца на защищенную аргоном среду (чистота $\geq 99,99\%$), нагревание до 1000°C при $2-5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$, запись изменения длины (разрешение 0,1 мкм), 3) расчет коэффициента теплового расширения по формуле $\alpha = \Delta L / (L_0 \cdot \Delta T)$, где ΔL — изменение длины, L_0 — начальная длина, а ΔT — изменение температуры; 4) Повторите тест 3 раза, чтобы получить средний балл. Для рентгеноструктурного анализа используется рентгеновский дифрактометр (например, Bruker D8, с точностью $\pm 0,05 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) для оценки коэффициента теплового расширения путем измерения изменения постоянной решетки при высоких температурах, и подходит для небольших образцов. Основные выводы включают в себя: образцы не должны иметь поверхностных дефектов; Температура испытания должна точно контролироваться ($\pm 1^{\circ}\text{C}$); Калибровка выполняется с использованием стандартного образца (например, оксида алюминия, $7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$). Испытание на коэффициент теплового расширения обеспечивает тепловую совместимость молибденового листа с кремнием или керамикой, а погрешность контролируется при $\pm 0,2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$.

6.7 Метод испытаний на прочность молибденового листа

Метод определения прочности молибденовых листов используется для измерения его прочности на разрыв (800-1200 МПа) и предела текучести (600-900 МПа) для оценки механических свойств и подходит для аэрокосмических и высокотемпературных конструкционных деталей. Наиболее распространенным методом является метод испытаний на растяжение с использованием универсальной испытательной машины (например, Instron 5982, диапазон нагрузки 1-100 кН, точность $\pm 0,5\%$). Процесс испытаний включает в себя: 1) подготовку образца, резку молибденовых листов (стандарт ASTM E8, ширина 5-10 мм, толщина 0,01-3 мм), полировку до $Ra \leq 0,4$ мкм; 2) испытательная установка, образец закрепляется в приспособлениях, растягивается до разрушения со скоростью 1-10 мм/мин и регистрируется кривая напряжения-деформации; 3) Анализ данных для расчета прочности на разрыв (максимальное напряжение), предела текучести (0,2% смещенного напряжения) и удлинения при разрыве (5-15%); 4) Испытание при высоких температурах ($1000-1500^{\circ}\text{C}$) требует защиты аргона (чистота $\geq 99,99\%$). Ключевые моменты включают в себя: точность юстировки приспособления ($< 0,1$ мм) для предотвращения эксцентриковых нагрузок; В испытательной среде используется постоянная температура ($20 \pm 1^{\circ}\text{C}$) или высокая температура ($\pm 10^{\circ}\text{C}$); Повторите тест 3-5 раз до среднего. Метод испытаний на

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

растяжение позволяет оценить прочность молибденовых листов при комнатной температуре и высоких температурах, обеспечивая их надежность в футеровках ракетных сопел и компонентах высокотемпературных печей.

6.8 Метод определения твердости молибденового листа

Метод определения твердости молибденовых листов используется для измерения его твердости по Виккерсу (220-250 HV, сплав TZM 300-350 HV) для оценки устойчивости к деформации и износу, и подходит для электронных мишеней и подложек режущего инструмента. Наиболее распространенным методом является тест на твердость по Виккерсу, в котором используется твердомер по Виккерсу (например, Wilson VH3300, нагрузка 0,1-10 кгс, точность ± 1 HV). Процесс испытания состоял из: 1) подготовки образца, резки молибденовых листов (10×10 мм, толщина 0,1-3 мм), полировки до $Ra \leq 0,4$ мкм, ультразвуковой очистки, 2) испытательной установки, с помощью алмазного индентора (угол конуса 136°), приложения нагрузки 1-5 кгс (0,1-0,5 кгс для ламели < 0,1 мм), выдержки в течение 10-15 секунд; 3) Измерьте отступ, измерьте диагональную длину отступа с помощью микроскопа (увеличение 400x) и рассчитайте значение твердости ($HV = 1,8544 \cdot F/d^2$, F – нагрузка, d – средняя длина диагонали отступа); 4) Повторите тест 5-7 раз, чтобы получить среднее значение. Основные выводы включают в себя: поверхность образца должна быть свободна от оксидного слоя (травление); Выбор нагрузки должен соответствовать толщине, чтобы избежать эффекта основания; Калибровка производится с использованием стандартных блоков твердости (например, 200 HV). Тест на твердость по Виккерсу отличается высокой точностью и подходит для оценки деформационного упрочнения и износостойкости молибденовых листов, обеспечивая их стабильность при распылении.

6.9 Методы испытаний на ударную вязкость молибденовых листов

Метод определения ударной вязкости молибденовых листов используется для оценки их устойчивости к разрушению и способности поглощать энергию удара, а также для измерения вязкости разрушения (K_{IC} , около 10-15 МПа·м^{1/2}), которая подходит для аэрокосмической и электронной промышленности. Обычно используются методы испытания на удар по Шарнезу и метод определения вязкости разрушения. Для испытания на ударный изгиб по Шардену используется копер Шардена (например, ZwickRoell HIT, диапазон энергий 5-300 Дж, точность $\pm 0,1$ Дж). Процесс испытания включает в себя: 1) подготовку образца, резку молибденового листа (стандарт ASTM E23, 10×10×55 мм, глубина V-образного надреза 2 мм, угол 45°), полировку до $Ra \leq 0,4$ мкм), 2) испытательную установку, образец фиксируется в испытательной машине для удара маятником по надрезу, и регистрируется поглощенная энергия (около 5-15 Дж); 3) Анализ данных, расчет ударной вязкости, повторение теста 3-5 раз для получения среднего значения; 4) Испытание при высокой температуре (1000°C) требует защиты аргона (чистота $\geq 99,99\%$, содержание кислорода < 10 ppm). Для определения вязкости разрушения используется универсальная испытательная машина (например, Instron 5982, нагрузка 1-100 кН) с использованием образца с односторонним надрезом на растяжение (SENB) (ASTM E399, толщина 0,5-3 мм), нагруженного со скоростью 0,5-2 мм/мин, с регистрацией силы распространения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

трещины и расчетом K_{IC} . К ключевым моментам относятся: точность надреза ($\pm 0,01$ мм) для предотвращения концентрации напряжений; В испытательной среде используется постоянная температура ($20 \pm 1^\circ\text{C}$) или высокая температура ($\pm 10^\circ\text{C}$); Калибровка производится с использованием стандартных образцов (например, стали, K_{IC} около $50 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$). Испытание на ударную вязкость обеспечивает стойкость молибденового листа к разрушению при динамических нагрузках и подходит для высокотемпературных сопел и полупроводниковых подложек.

6.10 Метод испытаний на пластичность молибденовых листов

Метод определения пластичности молибденовых листов используется для измерения его удлинения при разрыве (5-15%) и пластической деформационной способности, а также для оценки его формовочных свойств, и подходит для осаждения тонкой пленки и гибких подложек. Наиболее распространенным методом является метод испытаний на растяжение, при котором используется универсальная машина для испытаний материалов (например, MTS Criterion, нагрузка 1-100 кН, точность $\pm 0,5\%$). Процесс испытаний включает в себя: 1) подготовку образца, резку молибденовых листов (стандарт ASTM E8, ширина 5-10 мм, толщина 0,01-3 мм), полировку до $R_a \leq 0,4$ мкм; 2) испытательная установка, образец фиксируется в приспособлениях, растягивается до разрушения со скоростью 1-10 мм/мин, и записывается кривая деформации; 3) Анализ данных, расчет удлинения при разрыве ($\Delta L/L_0 \times 100\%$) и скорости уменьшения площади, и повторение теста 3-5 раз для получения среднего значения; 4) Испытание на пластичность при высоких температурах ($1000-1200^\circ\text{C}$) требует защиты от вакуума или аргона (чистота $\geq 99,99\%$) для улучшения пластичности (до 20%). К ключевым моментам относятся: точность юстировки приспособления ($< 0,1$ мм) для обеспечения равномерного усилия; В испытательной среде используется постоянная температура ($20 \pm 1^\circ\text{C}$) или высокая температура ($\pm 10^\circ\text{C}$); Поверхность образца не имеет дефектов, что позволяет избежать преждевременного разрушения. Испытание на пластичность проверяет способность молибденовых листов обрабатывать пластик, обеспечивая их пригодность для штамповки и прецизионной обработки.

6.11 Методы испытаний на усталостные свойства молибденовых листов

Метод определения усталостных свойств молибденовых листов используется для оценки его прочности при циклических нагрузках, измерения предела усталости (около 400-500 МПа, 10^7 циклов) и подходит для аэрокосмической промышленности и высокотемпературных вибрационных сред. Наиболее распространенным методом является метод многоцикловых усталостных испытаний с использованием усталостной испытательной машины (например, MTS 810, нагрузка 1-100 кН, частота 10-100 Гц). Процесс испытаний включает в себя: 1) пробоподготовку, резку молибденовых листов (ASTM E466, ширина 5-10 мм, толщина 0,1-3 мм), полировку до $R_a \leq 0,4$ мкм; 2) испытательная установка, применение циклических напряжений (коэффициент напряжений $R=0,1-0,5$), частота 20-50 Гц, запись циклов до разрыва или до 10^7 раз; 3) Анализ данных, построение кривой S-N, определение предела усталости, защита аргона (чистота $\geq 99,99\%$) требуется для высокотемпературных испытаний (1000°C); 4) Повторите тест 5

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

раз, чтобы получить среднее значение. Ключевые моменты включают в себя: поверхность образца должна быть без царапин (очищена ультразвуком); Точность контроля напряжений (± 1 МПа) обеспечивает постоянство; Для калибровки используются стандартные материалы (например, нержавеющая сталь) с пределом усталости около 200 МПа. Усталостные испытания обеспечивают долговременную стабильность молибденового листа в опорах лопаток турбин и компонентах ядерных реакторов.

6.12 Метод испытаний на коррозионную стойкость молибденовых листов

Метод испытаний на коррозионную стойкость молибденовых листов используется для оценки его стабильности в химических средах (например, неокисляющих кислотах, основаниях) и для измерения скорости коррозии ($< 0,01$ мм/год в 10% соляной кислоте) и подходит для футеровки химического оборудования. Обычно используются методы испытаний на иммерсионную коррозию и электрохимические испытания. Метод испытаний на иммерсионную коррозию использует камеру для испытаний на коррозию (например, Q-FOG CCT, 20-80°C). Процесс испытаний включает в себя: 1) подготовку образца, резку молибденовых листов (20×20 мм, толщина 0,1-3 мм), полировку до $Ra \leq 0,4$ мкм, ультразвуковую очистку, 2) испытательную установку, погружение в агрессивные среды (такие как 10% соляная кислота, серная кислота или NaOH, pH 1-14) при температуре 20-60°C на 168-720 часов; 3) Анализ данных, взвешивание потери массы образца (точность $\pm 0,1$ мг), расчет скорости коррозии (мм/год) и повторение испытания 3 раза. В методе электрохимических испытаний используется электрохимическая рабочая станция (например, интерфейс Gamry 1010) с точностью $\pm 0,01$ мВ) для измерения коррозионного потенциала и плотности тока с помощью кривой Тафеля, а образец помещают в электролитическую ячейку (например, 3,5% NaCl). Ключевые выводы включают в себя: средства массовой информации необходимо регулярно менять для поддержания концентрации; На поверхности образца отсутствует оксидный слой; Калибровка выполняется с использованием стандартных электродов (например, Ag/AgCl). Испытания на коррозионную стойкость обеспечивают стабильность молибденовых листов в химических реакторах и электродных материалах.

6.13 Методы испытаний на стойкость к окислению молибденовых листов

Метод определения стойкости к окислению молибденового листа используется для оценки его стабильности в высокотемпературной среде окисления, измерения температуры начала окисления (около 600°C) и скорости потери массы, а также подходит для вакуумных печей и аэрокосмических компонентов. Обычно используются такие методы, как термогравиметрический анализ (ТГА) и высокотемпературные испытания на окисление. В методе ТГА используется термогравиметрический анализатор (например, TA Instruments Q500, 25-1500°C, точность $\pm 0,1\%$). Процесс испытаний включает в себя: 1) пробоподготовку, резку молибденовых листов (10-20 мг, толщина 0,1-1 мм), полировку до $Ra \leq 0,4$ мкм; 2) испытательная установка, повышение температуры до 600-1500°C при 5-10°C/мин в атмосфере воздуха или аргона (чистота $\geq 99,99\%$), фиксация изменения качества; 3) Анализ данных, определение начальной температуры окисления

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(увеличение массы или точка испарения MoO_3), повторение теста 3 раза. Метод испытаний на высокотемпературное окисление проводят в высокотемпературной печи (например, Carbolite Gero, температура 600-1500 °C), молибденовый лист подвергают воздействию воздуха, инкубируют в течение 1-4 часов, а толщину поверхностного оксидного слоя наблюдают с помощью SEM (целевой < 1 мкм при 600 °C). Основные выводы включают в себя: испытательная атмосфера должна быть точно контролируемой (содержание кислорода < 10 ppm в аргоне); Поверхность образца чистая и без дефектов; Для калибровки используются стандартные образцы (например, вольфрам). Испытания на стойкость к окислению проверяют стабильность молибденовых листов в высокотемпературных средах и обеспечивают их пригодность в вакууме или инертной атмосфере.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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



Молибденовый лист CTIA GROUP LTD

Глава 7 Области применения молибденовых листов

7.1 Применение молибденового листа в области электронной информации

Молибденовый лист обладает отличной электропроводностью (удельное сопротивление около $5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$), теплопроводностью (около 138 Вт/м·К), низким коэффициентом теплового расширения (около $4,8 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$) и высокой температурой плавления (2620°C) имеют широкий спектр применения в области электронной информации, особенно в производстве полупроводников, электродных материалов и свинцовых рамок. Молибденовые листы высокой чистоты ($\geq 99,95\%$) стали стержневыми материалами для высокоточных приборов в электронной промышленности благодаря низкому содержанию примесей и отличному качеству поверхности ($Ra \leq 0,4 \text{ мкм}$). Благодаря прецизионной обработке и строгому контролю качества, молибденовый лист CTIA GROUP LTD соответствует высоким стандартам полупроводниковой, микроэлектронной и оптоэлектронной промышленности.

7.1.1 Применение молибденовых листов в полупроводниках

Молибденовые чипы в основном используются в качестве мишеней для распыления и подложек для рассеивания тепла в полупроводниковой промышленности, а также широко используются в производстве тонкопленочных транзисторов (TFT), интегральных схем и солнечных батарей. Молибденовые листы (толщина 0,05-1 мм, чистота $\geq 99,95\%$) для распыления мишеней наносятся методом магнетронного напыления с образованием проводящего слоя или барьерного слоя, который используется в электродах жидкокристаллических дисплеев (ЖК), органических светоизлучающих диодах (ЛЛД) и фотоэлектрических элементах. Его низкое удельное

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

сопротивление и высокая однородность (размер зерна 5-20 мкм) обеспечивают электрическую стабильность пленки и возможность нанесения со скоростью 10-50 нм/мин.

Низкий коэффициент теплового расширения молибденовых листов аналогичен таковому у кремния ($2,6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$).) и керамические подложки термически согласованы для снижения термического напряжения и увеличения срока службы устройства. В качестве подложки для рассеивания тепла (толщиной 0,1-2 мм) молибденовые листы используются в силовых полупроводниках (например, модулях IGBT) для управления температурой, с высокой теплопроводностью для эффективного рассеивания тепла и рабочими температурами до 150-200°C. В производстве молибденовые листы подвергаются холодной прокатке и вакуумному отжигу (1100-1300°C) для оптимизации качества поверхности ($R_a \leq 0,4$ мкм) и точности размеров (допуск $\pm 0,005$ мм). К преимуществам относятся высокая чистота, сниженное граничное сопротивление зерна и низкая скорость выделения газа ($<10^{-8}$ мбар·L/s) обеспечивает стабильность вакуумной среды и широко используется в производстве микросхем и коммуникационном оборудовании 5G.

7.1.2 Применение молибденового листа в электродных материалах

Молибденовые листы в основном используются в высокотемпературных вакуумных печах, рентгеновских трубках и электрохимическом оборудовании в электродных материалах и хорошо зарекомендовали себя благодаря высокой температуре плавления и отличной электропроводности. Молибденовые листы высокой чистоты (толщина 0,1-2 мм, чистота $\geq 99,95\%$) используются в качестве нагревательных электродов или опорных электродов в вакуумных печах, выдерживая высокие температуры 1500-2000°C, а прочность на разрыв (ок. 500 МПа при 1200°C) обеспечивает долговременную стабильность. В рентгеновских трубках молибденовые листы используются в качестве анодных мишеней или вспомогательных материалов (толщиной 0,5-3 мм), их высокая проводимость и стойкость к бомбардировке электронами способствуют генерации высокоэнергетических рентгеновских лучей, а шероховатость поверхности ($R_a \leq 0,4$ мкм) обеспечивает однородность излучения. В области электрохимии молибденовые листы используются в качестве электродов для электролиза хлора или газообразного водорода благодаря их превосходной коррозионной стойкости в неокисляющих кислотах, таких как 10% соляная кислота со скоростью коррозии $<0,01$ мм/год). В производстве молибденовые листы подвергаются холодной прокатке и полировке для оптимизации качества поверхности, а водородный отжиг (800-1100°C) снижает внутренние напряжения. К преимуществам молибденовых электродов относятся низкое удельное сопротивление и высокая химическая стабильность, сниженные потери электродов, а также они подходят для использования в промышленных электролизерах и медицинском оборудовании для визуализации.

7.1.3 Применение молибденового листа в свинцовой раме

Молибденовые листы используются в качестве поддерживающих и проводящих деталей для полупроводниковых корпусов в выводных корпусах, а также широко используются в корпусах

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

интегральных схем (ИС) и корпусов светодиодов (LED). Молибденовые листы (толщина 0,1-0,5 мм, чистота $\geq 99,95\%$) за счет их соответствия коэффициента теплового расширения ($4,8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ кремнию и керамике), что позволяет эффективно снизить термическое напряжение в процессе упаковки и повысить надежность устройства. Его высокая проводимость обеспечивает низкоомное соединение подводящей рамы с потерями при передаче тока $<1\%$. Механическая прочность (прочность на разрыв 800-1000 МПа) и пластичность (удлинение при разрыве 5-10%) молибденовых листов способствуют штамповке сложных форм, а полировка поверхности ($Ra \leq 0,4$ мкм) улучшает сварочные характеристики. В производстве молибденовые листы подготавливаются процессами холодной прокатки и прецизионной резки с размерными допусками $\pm 0,005$ мм, вакуумным отжигом ($800-1100^{\circ}\text{C}$) для оптимизации структуры зерна (5-20 мкм). К преимуществам выводных рамок для молибденовых чипов относятся высокая теплопроводность ($138 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$), поддержка эффективного рассеивания тепла, устойчивость к высоким температурам и адаптивность к пайке оплавлением ($250-300^{\circ}\text{C}$), которые широко используются в силовых устройствах, микропроцессорах и корпусах светодиодных чипов.

7.2 Применение молибденовых листов в печи для выращивания кристаллов сапфира

Молибденовые листы широко используются в печах для выращивания кристаллов сапфира из-за их высокой температуры плавления (2620°C), отличной термической стабильности (прочность около 500 МПа при 1500°C), низкому коэффициенту теплового расширения (около $4,8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) и хорошей теплопроводности (около $138 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$), в основном используемых при производстве отражающих экранов, крышек и других ключевых компонентов. Печи для выращивания из сапфирового стекла (Al_2O_3) (например, печи Чайстера или печи теплообмена) должны работать при высоких температурах ($2050-2100^{\circ}\text{C}$) и в вакууме или инертной атмосфере, что делает молибденовые листы идеальными благодаря их высокотемпературным свойствам и сопротивлению ползучести (скорость ползучести $10^{-6}/\text{с}$). Благодаря высокой чистоте ($\geq 99,95\%$) и точному процессу обработки, молибденовый лист CTIA GROUP LTD отвечает высоким требованиям к высокой термостойкости, коррозионной стойкости и термоконтролю печи для выращивания сапфиров. Ниже подробно обсуждаются конкретные области применения, требования к эксплуатационным характеристикам и технические преимущества молибденовых листов в отражающих экранах и крышках.

7.2.1 Отражающий экран в печи для выращивания кристаллов сапфира для производства молибденовых листов

Молибденовые листы используются в качестве отражающих экранов в печах для выращивания кристаллов сапфира, в основном для управления тепловым полем, и оптимизируют распределение температуры в печи за счет отражения лучистого тепла для обеспечения равномерного роста кристаллов. Отражающие экраны обычно изготавливаются из листов молибдена высокой чистоты (чистота $\geq 99,95\%$, толщина 0,1-2 мм), полученных методом холодной прокатки и вакуумного отжига ($1100-1300^{\circ}\text{C}$), а размер зерна контролируется на уровне 5-20 микрон для баланса прочности и ударной вязкости. Поверхность отражающего экрана должна

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

быть отполирована до $Ra \leq 0,4$ мкм для улучшения отражательной способности теплового излучения (около 0,8-0,9) и снижения теплотерь. Низкий коэффициент теплового расширения молибденового листа хорошо согласуется с сапфировым тиглем (около $5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$), что снижает термическое напряжение при высоких температурах (< 50 МПа). Прочность на разрыв молибденового листа (около 400-500 МПа) обеспечивает структурную стабильность и стойкость к окислению в атмосфере вакуума или аргона (содержание кислорода < 10 ppm) без образования летучих MoO_3 в атмосфере вакуума или аргона. При производстве отражающий экран формируется путем прецизионной штамповки или лазерной резки, а допуск на размеры составляет $\pm 0,01$ мм для обеспечения равномерности теплового поля. К его преимуществам можно отнести высокую теплопроводность, эффективную теплопроводность, отличную устойчивость к высоким температурам, а также увеличенный срок службы (> 1000 часов), что широко используется в производстве кристаллов сапфира для светодиодных подложек и оптических окон.

7.2.2 Молибденовые листы для производства крышек печей для выращивания кристаллов сапфира

Молибденовые листы используются в качестве защитных пластин в печах для выращивания кристаллов сапфира для герметизации тиглей или защиты теплового поля внутри печи от утечки тепла и загрязнения примесями. Накладки обычно изготавливаются из листов молибдена высокой чистоты (чистота $\geq 99,95\%$, толщина 0,5-3 мм), полученных методом горячей или холодной прокатки, с пределом прочности на разрыв 800-1000 МПа, пластичностью (удлинение при разрыве 5-10%) для поддержки сложной обработки формы. Поверхность крышки должна быть протравлена или отполирована ($Ra \leq 0,4$ мкм) для снижения адсорбции газов и обеспечения вакуума в печи (10^{-5} Па). При высоких температурах 2050-2100 $^{\circ}\text{C}$ термическая стабильность (скорость потери массы $< 0,1\%$ в аргоне) и сопротивление ползучести (скорость ползучести $10^{-6}/\text{с}$) молибденового листа гарантируют, что покрытие не деформируется в течение длительного времени. В процессе производства накладка подвергается обработке на станке с ЧПУ или штамповке и формовке с точностью размеров $\pm 0,02$ мм, а края необходимо очищать от заусенцев, чтобы избежать концентрации напряжений.

К преимуществам крышки из молибденового листа относятся высокая теплопроводность (138 Вт/м·К), стабильность теплового поля и низкая скорость газовыделения ($< 10^{-8}$ мбар·L/s) для поддержания чистой окружающей среды в печи, подходит для метода Чай или метода теплообмена для выращивания печи. Он улучшает чистоту кристаллов (примеси < 10 ppm) и эффективность роста при производстве сапфирового стекла, а также широко используется в производстве сапфира для экранов смартфонов и лазерных подложек.

7.3 Применение молибденовых листов в вакуумных печах

Молибденовые листы широко используются в вакуумных печах из-за их высокой температуры плавления (2620 $^{\circ}\text{C}$), отличной высокотемпературной прочности (около 500 МПа при 1500 $^{\circ}\text{C}$),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

низкого коэффициента теплового расширения (около $4,8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) и хорошей теплопроводности (около $138 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$), в основном используемых при изготовлении отражающих экранов, нагревательных нагревателей и соединителей. Вакуумные печи (например, высокотемпературные печи для спекания, печи для термической обработки) должны эксплуатироваться в вакууме или инертной атмосфере (10^{-5} Па, содержание кислорода $<10 \text{ ppm}$), обычно при $1000\text{-}2000^{\circ}\text{C}$, а также при сопротивлении ползучести молибденовых листов (скорость ползучести $10^{-6}/\text{с}$) и низкой скорости газовой выделения ($<10^{-8}$ мбар $\cdot$ L/s) делает его идеальным материалом.

Благодаря высокой чистоте ($\geq 99,95\%$) и точному процессу обработки, молибденовый лист CTIA GROUP LTD соответствует высоким требованиям вакуумной печи к высокой термостойкости, коррозионной стойкости и термоуправлению. Ниже подробно обсуждаются конкретные области применения, требования к производительности и технические преимущества молибденовых листов в отражающем экране, тепловом нагреве и соединителях в вакуумной печи.

7.3.1 Отражающие экраны в вакуумных печах для производства молибденовых листов

Молибденовые листы используются в качестве отражающих экранов в вакуумных печах, в основном для управления тепловым полем, для оптимизации распределения температуры в печи за счет отражения лучистого тепла, а также для обеспечения равномерности спекания материала или термообработки. Отражающий экран изготовлен из листа молибдена высокой чистоты (чистота $\geq 99,95\%$, толщина $0,1\text{-}2 \text{ мм}$), полученного холодной прокаткой и вакуумным отжигом ($1100\text{-}1300^{\circ}\text{C}$), а размер зерна контролируется на уровне $5\text{-}20$ микрон для баланса прочности и ударной вязкости. Поверхность полируется до $R_a \leq 0,4 \text{ мкм}$, что улучшает отражательную способность теплового излучения (около $0,8\text{-}0,9$) и снижает теплопотери. Низкий коэффициент теплового расширения молибденового листа согласовывается с керамическими или металлическими деталями в печи, снижая термическое напряжение при высоких температурах ($<50 \text{ МПа}$). В вакуумной среде $1500\text{-}2000^{\circ}\text{C}$ прочность на разрыв молибденового листа (около $400\text{-}500 \text{ МПа}$) обеспечивает структурную стабильность, а стойкость к окислению предотвращает образование летучих MoO_3 . В производстве отражающий экран подвергается лазерной резке или штамповке и формованию, а допуск по размерам составляет $\pm 0,01 \text{ мм}$ для обеспечения однородности теплового поля. К его преимуществам относятся высокая теплопроводность, отличная термостойкость и длительный срок службы (> 1000 часов), которые широко используются в печах для спекания керамики и печах для термообработки полупроводниковых материалов.

7.3.2 Нагрев в вакуумной печи для производства молибденовых листов

Молибденовые листы используются в качестве нагревательных нагревателей в вакуумных печах для непосредственного получения резистивного тепла в качестве нагревательных элементов для поддержки процессов высокотемпературного спекания или термообработки. Волосной центр получают методом холодной прокатки из молибденового листа высокой чистоты (чистота $\geq 99,95\%$ и толщина $0,1\text{-}1 \text{ мм}$) с пределом прочности на разрыв $800\text{-}1000 \text{ МПа}$ и удельным сопротивлением

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

около $5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$ для обеспечения эффективного преобразования электрического тепла. Поверхность должна быть отполирована ($R_a \leq 0,4 \text{ мкм}$) или протравлена для снижения адсорбции газов и поддержания вакуума (10^{-5} Па). При $1500\text{-}1800^\circ\text{C}$ термическая стабильность (скорость потери массы $< 0,1\%$) и сопротивление ползучести (скорость ползучести 10^{-6}) молибденовых листов/с) гарантируют, что тепло не деформируется в течение длительного времени. В процессе производства тепло волос формируется путем прецизионной штамповки или резки проволокой, шириной 5-50 мм, длиной, настраиваемой в соответствии с типом печи, и допуском на размеры $\pm 0,02 \text{ мм}$. К преимуществам тепловыделения относятся высокая проводимость, поддержка быстрого повышения температуры ($10\text{-}20^\circ\text{C}/\text{мин}$), высокая термостойкость, адаптивность к атмосфере вакуума или аргона, а также пригодность для спекания металлических сплавов и печей для выращивания монокристаллических материалов. Его эффективная преобразователь тепла увеличивает коэффициент использования энергии в печи ($>90\%$).

7.3.3 Соединители в вакуумных печах для производства молибденовых листов

Молибденовые листы используются в качестве соединителей в вакуумных печах для фиксации или соединения отражающих экранов, тепловых нагревателей или других компонентов для обеспечения стабильности структуры теплового поля. Соединители изготавливаются из высокочистых молибденовых листов (чистота $\geq 99,95\%$, толщина 0,5-3 мм), подготовленных горячей прокаткой или холодной прокаткой, с пределом прочности на разрыв 800-1000 МПа, пластичностью (удлинение при разрыве 5-10%) для поддержки штамповки или гибки. Поверхностное травление или полировка ($R_a \leq 0,4 \text{ мкм}$) снижает скорость газовой выделенности и поддерживает чистоту окружающей среды в печи. При высоких температурах $1500\text{-}2000^\circ\text{C}$ сопротивление ползучести и низкий коэффициент теплового расширения молибденовых листов гарантируют, что соединители не деформируются и не ослабляются. В производстве соединители подготавливаются с помощью обработки с ЧПУ или лазерной резки с допуском $\pm 0,01 \text{ мм}$, а края удаляются с заусенцев, чтобы избежать концентрации напряжений. К его преимуществам относятся высокая прочность опоры для сложных конструкций, высокая теплопроводность ($138 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$) и однородность вспомогательного теплового поля, подходит для опорных рам и креплений для высокотемпературных вакуумных печей. Соединения повышают надежность конструкции и срок службы в печах для термообработки керамических, металлических и композитных материалов.

7.4 Применение молибденового листа в плазменном покрытии

Молибденовые листы используются в плазменных покрытиях благодаря своей высокой проводимости (удельное сопротивление ок. $5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$), отличной термической стабильности (температура плавления 2620°C), низкому коэффициенту теплового расширения (около $4,8 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$) и высокой чистоте ($\geq 99,95\%$), особенно в качестве мишени для распыления в процессе магнетронного распыления. Плазменное покрытие — это технология, которая бомбардирует поверхность мишени плазмой в вакуумной среде для нанесения тонких пленок и широко используется в производстве полупроводников, дисплеев и солнечных батарей. Благодаря

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

прецизионной обработке и строгому контролю качества, молибденовый лист CTIA GROUP LTD соответствует строгим требованиям плазменного покрытия по высокой чистоте, качеству поверхности и точности размеров. Ниже подробно обсуждаются конкретные области применения, требования к производительности и технические преимущества молибденового листа в качестве мишени для распыления.

7.4.1 Молибденовый лист в качестве мишени для распыления при нанесении плазменных покрытий

Молибденовые листы используются в качестве мишеней для распыления в плазменных покрытиях, а молибденовые пленки наносятся методом магнетронного напыления с образованием проводящих слоев, барьерных слоев или электродов, которые широко используются в тонкопленочных транзисторах (TFT), органических светодиодах (OLED), солнечных элементах и производстве интегральных схем. Мишень для напыления изготавливается из листов молибдена высокой чистоты (чистота $\geq 99,95\%$, толщина 0,05-1 мм), полученных методом холодной прокатки и вакуумного отжига ($1100-1300^{\circ}\text{C}$), а размер зерна контролируется на уровне 5-20 мкм для обеспечения однородности наплавляемой пленки. Полировка поверхности до $Ra \leq 0,4$ мкм, снижение струи частиц при распылении и улучшение качества пленки (плотность дефектов $< 10/\text{cm}^2$). Низкое удельное сопротивление и высокая теплопроводность ($138 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$) молибденовых листов обеспечивают высокоэффективную плазменную бомбардировку со скоростью осаждения 10-50 нм/мин, а его низкий коэффициент теплового расширения соответствует таковому у кремниевых подложек ($2,6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) для снижения термического напряжения ($< 50 \text{ МПа}$). В производстве мишени из молибденового листа формируются методом лазерной резки или обработки с ЧПУ с размерными допусками $\pm 0,005 \text{ мм}$, а примеси (железо, медь $< 20 \text{ ppm}$) и скорость газовой выделенности ($< 10^{-8}$ мбар·с) строго контролируются L/s для поддержания вакуумной среды (10^{-6} Па). К его преимуществам относятся высокая чистота, стабильные электрические свойства тонких пленок, отличная коррозионная стойкость (в атмосфере аргона), увеличенный срок службы мишени (> 1000 часов), а также широко используется для нанесения электродов на ЖК-дисплеи, OLED-дисплеи и фотоэлектрические элементы.

7.5 Применение молибденового листа в металлургической промышленности

Молибденовый лист широко используется в металлургической промышленности из-за его высокой температуры плавления (2620°C), отличной высокотемпературной прочности (около 500 МПа при 1500°C) и коррозионной стойкости (скорость коррозии $< 0,01 \text{ мм/год}$ в неокисляющих средах), в основном в качестве добавок для сталеплавления и компонентов высокотемпературных печей. Молибден может значительно улучшить прочность, ударную вязкость и коррозионную стойкость стали, а также подходит для производства высокопроизводительных легированных сталей. Благодаря порошковой металлургии и процессу прокатки, CTIA GROUP LTD Molybdenum Sheet поставляет высококачественные аддитивные материалы для удовлетворения потребностей металлургической промышленности в обеспечении баланса между производительностью и стоимостью. Ниже подробно обсуждается применение, требования к эксплуатационным

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

характеристикам и технические преимущества молибденовых листов в качестве добавок для производства стали.

7.5.1 Применение молибденовых листов в качестве добавок при производстве стали

Молибденовые листы используются в качестве добавок в сталеплавильном производстве для производства высокопрочных низколегированных сталей (HSLA), нержавеющей и инструментальных сталей для повышения прочности на разрыв (которая может быть увеличена на 20-30%), износостойкости и коррозионной стойкости. Молибденовые листы (толщиной 0,5-3 мм, чистотой 99-99,9%) получают методом горячей или холодной прокатки и обычно имеют ширину 10-50 мм и длину 100-500 мм, что удобно для плавки и добавления в сталеплавильные печи, такие как электродуговые печи или конвертеры. Добавка молибденовых листов обычно составляет 0,1-1% от массы стали, а ее механические свойства (например, предел прочности на разрыв 1000-1500 МПа) значительно улучшаются за счет увеличения тонкости зерен и упрочнения фазовых превращений стали (например, образование мартенсита). В условиях высокотемпературного производства стали (1500-1600°C) низкое содержание примесей в молибденовых листах (железо, медь < 100 ppm) обеспечивает отсутствие попадания вредных элементов, а травление поверхности (Ra 0,8-1,6 мкм) снижает газовые включения. В производстве молибденовые листы срезаются или измельчаются на мелкие кусочки с допуском по размерам $\pm 0,05$ мм для обеспечения равномерного плавления. Его преимущества включают высокую температуру плавления и химическую стабильность для стабильного процесса добавления, высокую теплопроводность (138 Вт/м·К) для быстрого плавления, а также широко используется в производстве высокопрочных сталей в автомобильной, морской и строительной промышленности, таких как стали сосудов высокого давления и коррозионностойкие легированные стали.

7.6 Применение молибденового листа в конструкции высокотемпературной печи

Молибденовый лист широко используется в деталях конструкций высокотемпературных печей из-за его высокой температуры плавления (2620°C), отличной высокотемпературной прочности (около 500 МПа при 1500°C), низкому коэффициенту теплового расширения (около $4,8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) и хорошей теплопроводности (около 138 Вт/м·К), в основном используется для тепловых экранов и нагревательных элементов. Молибденовые листы высокой чистоты ($\geq 99,95\%$) или молибденовые листы из сплава TZM известны своим сопротивлением ползучести (скорость ползучести $10^{-6}/\text{с}$) и низкой скоростью выделения газов ($< 10^{-8}$ мбар·L/s) в высокотемпературных печах (например, агломерационных печах, печах термической обработки) в вакуумной или инертной атмосфере (аргон, содержание кислорода < 10 ppm). Благодаря прецизионной обработке и строгому контролю качества, молибденовые листы CTIA GROUP LTD отвечают высоким требованиям высокотемпературных печей к высокой термостойкости, коррозионной стойкости и термометрии. Ниже подробно обсуждаются конкретные области применения, требования к эксплуатационным характеристикам и технические преимущества молибденовых листов в теплозащитных экранах и нагревательных элементах.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.6.1 Применение молибденового листа в теплозащитном экране

Молибденовые листы используются в качестве тепловых экранов в высокотемпературных печах для оптимизации распределения теплового поля в печи за счет отражения и экранирования лучистого тепла, снижения потерь энергии и улучшения однородности температуры. Теплозащитный экран изготовлен из молибденового листа высокой чистоты (чистота $\geq 99,95\%$, толщина 0,1-2 мм), полученного методом холодной прокатки и вакуумного отжига (1100-1300°C), а размер зерна контролируется на уровне 5-20 мкм для баланса прочности и ударной вязкости. Поверхность полируется до $Ra \leq 0,4$ мкм, что улучшает отражательную способность теплового излучения (около 0,8-0,9) и эффективно снижает теплотери. Низкий коэффициент теплового расширения молибденового листа согласуется с керамическими или вольфрамовыми деталями в печи, снижая термическое напряжение при высоких температурах (< 50 МПа). Прочность на разрыв (около 400-500 МПа) и стойкость к окислению молибденовых листов обеспечивают долговременную стабильность и предотвращают образование летучих MoO_3 в вакуумной или аргоновой среде при 1500-2000°C. В производстве теплозащитный экран вырезается лазером или штампуются по форме с допуском на размер $\pm 0,01$ мм и укладывается в несколько слоев (3-5 слоев) для усиления теплоизоляционного эффекта. К его преимуществам относятся высокая теплопроводность, поддержка стабильного теплового поля, отличная термостойкость и длительный срок службы (> 1000 часов), которые широко используются в печах для спекания керамики, печах для выращивания монокристаллов и печах для высокотемпературной термообработки.

7.6.2 Применение молибденового листа в нагревательном элементе

Молибденовые листы используются в качестве нагревательных элементов в высокотемпературных печах, обеспечивая стабильную высокотемпературную среду за счет резистентного нагрева для поддержки процессов спекания, отжига и термообработки. Нагревательный элемент изготовлен из листа молибдена высокой чистоты (чистота $\geq 99,95\%$, толщина 0,1-1 мм), подготовленного методом холодной прокатки, с пределом прочности на разрыв 800-1000 МПа и удельным сопротивлением около $5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ для обеспечения эффективного преобразования электрического тепла. Полировка поверхности или травление ($Ra \leq 0,4$ мкм) снижает адсорбцию газов и поддерживает вакуум (10^{-5} Па). При температуре 1500-1800°C термическая стабильность (скорость потери массы $< 0,1\%$) и сопротивление ползучести (скорость ползучести 10^{-6}) молибденовых листов/с) гарантируют, что он не деформируется. В производстве нагревательные элементы формируются путем прецизионной штамповки или резки проволоки, шириной 5-50 мм, длиной, изготовленной по индивидуальному заказу в соответствии с типом печи, и допуском на размеры $\pm 0,02$ мм. Его преимущества включают высокую электропроводность, быстрое повышение температуры (10-20 °C / мин), высокую термостойкость и устойчивость к вакууму или инертной атмосфере, что делает его пригодным для печей спекания металлических сплавов и печей термообработки полупроводниковых материалов. Коэффициент использования энергии нагревательного элемента молибденового листа высокий ($> 90\%$), что

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

значительно повышает эффективность нагрева в печи.

7.7 Применение молибденового листа в антикоррозионной защите химического оборудования

Молибденовые листы широко используются в химическом оборудовании благодаря своей превосходной коррозионной стойкости (скорость коррозии $<0,01$ мм/год в 10% соляной кислоте), высокой прочности (прочность на разрыв 800-1000 МПа) и химической стабильности, в основном используются в футеровке реакторов и элементах трубопроводов. Листы молибдена обычной чистоты (99-99,9%) широко используются в неокисляющих кислотах (например, соляной кислоте, серной кислоте) и щелочных средах из-за их экономической эффективности, но следует избегать окисляющих кислот (например, концентрированной азотной кислоты) для предотвращения образования MoO_3 . Молибденовый лист CTIA GROUP LTD соответствует требованиям химического оборудования по коррозионной стойкости и механическим свойствам за счет горячей или холодной прокатки. Ниже подробно обсуждается применение, требования к эксплуатационным характеристикам и технические преимущества молибденовых листов в футеровке реакторов и компонентах трубопроводов.

7.7.1 Применение молибденового листа в футеровке реактора

Молибденовый лист используется в качестве футеровочного материала в химических реакторах для защиты корпуса котла от агрессивных сред и продления срока службы оборудования. Внутренняя футеровка изготавливается из рядовых молибденовых листов чистоты (чистота 99-99,9%, толщина 0,5-3 мм), подготовленных методом горячей прокатки или холодной прокатки, поверхностного травления (R_a 0,8-1,6 мкм) для обеспечения чистоты и коррозионной стойкости. В соляной кислоте (10-20%, 20-60°C) или сернокислотной среде скорость коррозии молибденового листа $< 0,01$ мм/год, а его прочность на разрыв (700-900 МПа) удовлетворяют конструкционным требованиям автоклавов (давление 1-10 МПа). В процессе производства молибденовые вкладыши штампуются или свариваются с допусками по размерам $\pm 0,05$ мм и должны быть бесшовно соединены во избежание утечки из среды. К его преимуществам относятся отличная стойкость к неокисляемым кислотам, высокая теплопроводность (138 Вт/м·К) для помощи в терморегулировании реакторов, а также широкое использование в реакторах производства хлоридов и синтеза органических кислот. Футеровка из молибденового листа значительно повышает долговечность оборудования (срок службы >5 лет) и безопасность.

7.7.2 Применение молибденового листа в элементах трубопроводов

Молибденовые листы используются в качестве футеровки или опор в компонентах химических трубопроводов для защиты трубопроводов от агрессивных жидкостей или газов и подходят для трубопроводных систем, в которых транспортируются кислотные или щелочные среды. Детали труб изготавливаются из листов молибдена обычной чистоты (чистота 99-99,9%, толщина 0,2-2 мм), подготовленных методом холодной прокатки, пластичности (удлинение при разрыве 5-10%)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

для поддержки формообразования на изгиб, травления поверхности (R_a 0,8-1,6 мкм) для обеспечения коррозионной стойкости. В неокисляющих средах (например, 20% соляной кислоты, скорость коррозии $<0,01$ мм/год) молибденовый лист химически более стабилен, чем нержавеющая сталь. На производстве молибденовые листы штампуются или раскатываются в трубчатые футеровки с размерными допусками $\pm 0,02$ мм, а сварные соединения полируются во избежание коррозионных пятен. К его преимуществам можно отнести высокую прочность (700-900 МПа) для поддержки конструкции трубы, низкий коэффициент теплового расширения для снижения тепловых искажений, а также подходит для использования в трубопроводных системах в производстве удобрений и нефтехимической промышленности. Компоненты трубопроводов из молибденового листа повышают коррозионную стойкость системы и эксплуатационную стабильность, а также увеличивают интервалы технического обслуживания (> 3 года).

7.8 Применение молибденового листа в компонентах спутников

Молибденовые листы широко используются в компонентах спутников из-за их высокой прочности (предел прочности на разрыв 800-1200 МПа), низкого коэффициента теплового расширения (около $4,8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$), отличной теплопроводности (около 138 Вт/м·К) и высокой термостойкости (температура плавления 2620°C), особенно в компонентах антенн и радиаторах систем терморегулирования. Спутники работают в экстремальных космических условиях (от -150°C до 150°C , вакуум 10^{-7} Па), требуя материалов с высокой надежностью и низкой скоростью газовыделения ($<10^{-8}$ мбар·L/s) и радиационной стойкости. Молибденовые листы высокой чистоты ($\geq 99,95\%$) или молибденовые листы из сплава TZM подвергаются холодной прокатке и вакуумному отжигу ($1100-1300^{\circ}\text{C}$) для удовлетворения потребностей спутников в облегчении, термоуправлении и механических свойствах. Обладая высокой точностью и стабильностью, молибденовые листы CTIA GROUP LTD широко используются в качестве ключевых компонентов спутников связи, спутников дистанционного зондирования и зондов дальнего космоса. Ниже подробно описаны конкретные области применения, требования к производительности и технические преимущества молибденовых чипов в антенных компонентах и радиаторах для систем терморегулирования.

7.8.1 Применение молибденового листа в деталях антенн

Молибденовые листы в основном используются в качестве опорных конструкций или проводящих слоев в компонентах антенн для поддержания структурной стабильности и эффективности передачи сигнала антенн спутниковой связи (таких как параболические антенны или фазированные антенные решетки). Молибденовые листы (толщина 0,1-1 мм, чистота $\geq 99,95\%$) получают методом холодной прокатки и полируют поверхность до $R_a \leq 0,4$ мкм, обеспечивая высокую электропроводность (удельное сопротивление ок. $5,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$) и малые потери сигнала ($<0,1$ дБ). Его низкий коэффициент теплового расширения согласуется с подложками антенн, такими как композиты из углеродного волокна, ок. $2-5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ для уменьшения деформации (деформация $< 0,01\%$), вызванной термоциклированием. В условиях космического вакуума низкая скорость газовыделения и прочность на разрыв (800-1000 МПа) молибденовых

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

листов обеспечивают долговременную стабильность и устойчивость к радиации и воздействию микрометеоритов. В производстве молибденовые листы формируются методом лазерной резки или штамповки на станках с ЧПУ с размерными допусками $\pm 0,005$ мм, а края удаляются заусенцами во избежание концентрации напряжений. Его преимущества включают высокую проводимость для поддержки эффективной передачи сигнала, отличную усталостную стойкость (предел усталости около 400 МПа, 10^7 циклов) для адаптации к вибрационной среде, а также широко используется в волноводе и опорной раме антенн спутниковой связи для повышения точности и надежности передачи сигнала.

7.8.2 Применение молибденового листа в радиаторе системы терморегулирования

Молибденовые листы используются в качестве поглотителей тепла или поверхностей теплового излучения в радиаторах систем терморегулирования спутников для поддержания рабочей температуры (от -50°C до 100°C) электронного оборудования спутника за счет эффективной теплопроводности и рассеивания излучаемого тепла. Молибденовые листы (толщина 0,05-0,5 мм, чистота $\geq 99,95\%$) получают методом холодной прокатки и полировки, с шероховатостью поверхности $Ra \leq 0,4$ мкм и увеличением теплоизлучающей способности (около 0,8-0,9). Его высокая теплопроводность ($138 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$) эффективно отдает тепло, выделяемое электроникой, а низкий коэффициент теплового расширения снижает термическое напряжение и обеспечивает тепловую совместимость с алюминиевыми или керамическими подложками. Прочность на разрыв (900-1200 МПа) и сопротивление ползучести (скорость ползучести $10^{-6}/\text{с}$) молибденового листа обеспечивают структурную стабильность при циклах разницы температур в пространстве, а радиационная стойкость позволяет избежать деградации материала. В производстве молибденовые листы формируются путем прецизионной штамповки или гибки с допуском по размерам $\pm 0,005$ мм и могут быть покрыты высокоэмиссионным покрытием (например, оксидом алюминия) для повышения эффективности рассеивания тепла. К его преимуществам можно отнести небольшой вес (плотность $10,22 \text{ г/см}^3$, лучше, чем у вольфрама $19,25 \text{ г/см}^3$), высокую теплопроводность для поддержки быстрого рассеивания тепла, широко используется в системах терморегулирования спутников связи и научных зондов, а также обеспечивает стабильную работу оборудования в экстремальных космических условиях.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Молибденовый лист CTIA GROUP LTD

Глава 8 Проблемы безопасности и охраны окружающей среды при производстве молибденовых листов

Производство молибденовых листов включает в себя ряд сложных процессов, от добычи молибденовой руды до обогащения, рафинирования, порошковой металлургии и прокатки, каждый из которых может представлять проблемы с безопасностью и окружающей средой. Проблемы безопасности включают риски взрывных работ, взрывов пыли и опасности работы при высоких температурах, в то время как проблемы окружающей среды связаны с выхлопными газами, сточными водами, твердыми отходами и потреблением энергии. Молибденовые листы CTIA GROUP LTD могут эффективно снизить риски и воздействие на окружающую среду за счет внедрения передовых технологий управления безопасностью и защиты окружающей среды, таких как высокоэффективная система удаления пыли (концентрация пыли $< 10 \text{ мг/м}^3$), рециркуляция сточных вод ($> 80\%$) и устройство очистки выхлопных газов (скорость удаления $\text{SO}_2 > 95\%$).

8.1 Вопросы безопасности при производстве молибденовых листов

Проблемы безопасности при производстве молибденовых листов в первую очередь связаны с операциями с высоким риском при добыче, обогащении и переработке, которые могут привести к травмам, повреждению оборудования или перерывам в производстве. Ниже анализируются основные вопросы безопасности и меры противодействия на трех стадиях: добычи, обогащения и формования.

А. Вопросы безопасности на этапе добычи

О **Опасность взрывных работ:** Использование аммиачной селитры или

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

эмульсионных взрывчатых веществ в открытых и подземных горных работах сопряжено с риском неконтролируемых взрывов или разлетающихся камней. Неправильное взрывное производство может привести к обрушению рудного тела, особенно при подземных горных работах (3-5 м в ширину и 3-4 м в высоту).

- о **Опасность пыли:** При дроблении и транспортировке молибденита (MoS_2) образуется большое количество пыли (размер частиц < 10 микрон), которая может вызвать респираторные заболевания или взрыв пыли (минимальная взрывоопасная концентрация около $30\text{-}50 \text{ г/м}^3$).
- о **Меры противодействия:** Внедрение технологии прецизионных взрывных работ (например, электронный детонатор, погрешность управления $< 0,1$ секунды) для снижения риска летящих камней и оползней; Оснащен высокоэффективной системой распыления пыли (концентрация пыли $< 10 \text{ мг/м}^3$) и рукавным фильтром; Обязательное ношение защитных средств (респираторов, защитных очков) и внедрение системы вентиляции (объем воздуха подземных горных работ $\geq 3 \text{ м}^3/\text{с} \cdot \text{чел.}$).

Б. Вопросы безопасности на этапе обогащения

- о **Химические риски:** Ксантогенат (бутилксантогенат, $0,1\text{-}0,3 \text{ кг/т}$) и пенообразователи (например, терпинеол), используемые в процессе флотации, токсичны и летучи и могут вызвать отравление или повреждение кожи при вдыхании или контакте.
- о **Механические повреждения:** Дробилки ($75\text{-}500 \text{ кВт}$) и шаровые мельницы ($20\text{-}30 \text{ об/мин}$) работают с риском заземления или удара, особенно во время технического обслуживания и очистки.
- о **Меры противодействия:** флотационный агент хранится в закрытой емкости, оборудованной системой вентиляции и очистки выхлопных газов (адсорбция активированным углем); Операторы носят химическую защитную одежду и респираторы; Оборудование оснащено защитными экранами и устройствами аварийной остановки, а также проводится регулярное обучение для обеспечения стандартизированной работы.

В. Вопросы безопасности в процессе формования

- о **Риск работы при высоких температурах:** При спекании в порошковой металлургии ($1800\text{-}2000^\circ\text{C}$) и горячей прокатке ($1000\text{-}1400^\circ\text{C}$) используется высокотемпературное оборудование, что может привести к ожогам или возгоранию. Утечки в вакуумных печах или печах для спекания водорода (чистота водорода $\geq 99,99\%$) могут стать причиной взрыва.
- о **Опасность взрыва пыли:** Молибденовый порошок (размер частиц $1\text{-}10$ микрон) склонен к образованию облаков пыли высокой концентрации в процессе прессования, что может привести к взрыву в случае возникновения искр.
- о **Меры противодействия:** Агломерационное и прокатное оборудование оснащено автоматической системой контроля температуры (точность $\pm 10^\circ\text{C}$) и обнаружения утечек газа (концентрация водорода $< 4\%$); На установке порошкового прессования используется взрывозащищенный пылеуловитель

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(концентрация пыли $< 5 \text{ мг/м}^3$) и защита от инертного газа; Операторы проходят обучение огневым работам и обеспечиваются утепленной защитной одеждой.

8.2 Экологические проблемы при производстве молибденовых листов

Экологические проблемы в процессе производства молибденовых листов в основном связаны с отходящими газами, сточными водами, твердыми отходами и потреблением энергии, что может привести к загрязнению воздуха, воды и почвы. Ниже анализируются основные экологические проблемы и меры противодействия на трех стадиях: добычи, обогащения и переработки.

А. Экологические проблемы на стадии добычи полезных ископаемых

- **Загрязнение пустой породы и хвостов:** При вскрышных работах открытым способом (от 3:1 до 10:1) образуется большое количество пустой породы и хвостов, что может привести к эрозии почвы и утечке тяжелых металлов (меди и железа).
- **Выбросы пыли и выхлопных газов:** При взрывных работах и транспортировке образуется пыль (концентрация $\text{PM}_{10} > 100 \text{ мг/м}^3$) и механические выхлопные газы (NO_x , CO), загрязняющие атмосферу.
- **Меры противодействия:** пустая порода и хвосты укладываются отдельно, а для сокращения занимаемости земель используется технология обратной засыпки хвостов (коэффициент обратной засыпки $> 50\%$); Оснащен системой пылеподавления и удаления пыли из мешков (скорость удаления пыли $> 95\%$); Используйте установку очистки топлива и выхлопных газов с низким содержанием серы (коэффициент удаления $\text{NO}_x > 80\%$).

Б. Экологические проблемы на этапе обогащения

- **Загрязнение сточных вод:** В процессе флотации образуются сточные воды, содержащие ксантогенат и тяжелые металлы (свинец, медь), pH 8-10, которые могут загрязнять водоем ($\text{ХПК} > 100 \text{ мг/л}$) при прямом сбросе.
- **Переработка хвостов:** обогащающие хвосты (содержание молибдена $< 0,05\%$) содержат сульфиды, которые могут окисляться с образованием кислотного фильтрата ($\text{pH} < 4$) и загрязнять почву и грунтовые воды после длительного накопления.
- **Меры противодействия:** Сточные воды очищаются методом флокуляции и нейтрализации (корректировка pH до 6-8), а коэффициент переработки составляет $> 80\%$; Хвосты хранятся в сухом или влажном состоянии путем сухого штабелирования или мокрого штабелирования и покрываются непроницаемыми мембранами для предотвращения утечки; Рекуперация обогащающих реагентов (коэффициент извлечения ксантогената $> 90\%$) снижает выбросы.

В. Экологические проблемы на этапах переработки и переработки

- **Выбросы выхлопных газов:** При окислительном обжиге ($550-650^\circ\text{C}$) образуются SO_2 (концентрация $> 1000 \text{ мг/м}^3$) и летучие MoO_3 , загрязняющие

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

атмосферу. При восстановлении водорода (900-1100°C) может выделяться аммиак (разложение из молибдата аммония).

- о **Энергопотребление:** Порошковая металлургия и прокатка имеют высокое энергопотребление (например, мощность печи спекания 100-500 кВт) и высокие выбросы углекислого газа (около 5-10 тонн CO₂ на тонну молибденовых листов).
- о **Меры противодействия:** Оснащен устройством мокрой десульфурации (коэффициент удаления SO₂ >95%) и системой адсорбции активированным углем для очистки аммиака; Оптимизация процесса спекания и прокатки (например, снижение температуры спекания до 1700°C) и повышение энергоэффективности (снижение энергопотребления на 20%); Работает на возобновляемых источниках энергии (например, фотовольтаике) для снижения углеродного следа.

Благодаря внедрению строгого управления безопасностью (например, автоматизированное оборудование для мониторинга и защиты) и экологических технологий (например, очистка отходящих газов и сточных вод и переработка ресурсов), производство молибденовых листов может эффективно снизить риски для безопасности и воздействие на окружающую среду, гарантируя, что производственный процесс соответствует международным стандартам безопасности (например, ISO 45001) и экологическим нормам (например, Закону Китая об охране окружающей среды).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD
Molybdenum Sheet Introduction

1. Overview of Molybdenum Sheet

Molybdenum sheet is a thin metal sheet made from high-purity molybdenum through rolling processes. It features excellent high-temperature resistance, thermal conductivity, and mechanical strength. It is widely used in electronics, metallurgy, vacuum equipment, aerospace, and lighting industries as heating elements, thermal shields, or structural components. With a smooth surface and precise dimensions, molybdenum sheets can be customized in various specifications to meet the requirements of advanced manufacturing and scientific research equipment.

2. Features of Molybdenum Sheet

High Purity Material: Purity $\geq 99.95\%$, with extremely low impurity levels

High-Temperature Resistance: Melting point up to 2610°C , stable performance in extreme conditions

Excellent Workability: High flatness, smooth surface, easy to punch, shear, and weld

Customizable Specifications: Various sizes and thicknesses available to suit different processes

3. Specifications of Molybdenum Sheet

Parameter	Specification
Purity	$\geq 99.95\%$
Thickness	0.01 mm - 3.00 mm
Width	50 mm - 600 mm
Length	Custom lengths or supplied in coil
Surface Finish	Polished, Alkali-cleaned, Sandblasted
Thickness Tolerance	± 0.005 mm - ± 0.2 mm
Surface Roughness	Ra 0.8 μm – Ra 3.2 μm

4. Production Process

Molybdenum Ingot (Raw Material) $\rightarrow$ Inspection $\rightarrow$ Hot Rolling $\rightarrow$ Leveling & Annealing $\rightarrow$ Alkali Cleaning $\rightarrow$ Inspection $\rightarrow$ Warm Rolling $\rightarrow$ Vacuum Annealing $\rightarrow$ Inspection $\rightarrow$ Cold Rolling $\rightarrow$ Leveling $\rightarrow$ Shearing $\rightarrow$ Vacuum Annealing $\rightarrow$ Inspection $\rightarrow$ Packaging

5. Purchasing Information

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

Website: molybdenum.com.cn

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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



Молибденовый лист CTIA GROUP LTD

Глава 9 Отечественные и зарубежные стандарты на молибденовые листы

Являясь высокоэффективным материалом, молибденовый лист широко используется в электронике, аэрокосмической промышленности, высокотемпературных печах и химической промышленности, а его требования к качеству и производительности соответствуют строгим отечественным и зарубежным стандартам. Стандарт определяет ключевые параметры, такие как химический состав, механические свойства, допуски по размерам и качество поверхности молибденовых листов, чтобы обеспечить однородность и надежность продукта.

Молибденовый лист CTIA GROUP LTD строго следует китайскому национальному стандарту (GB) и международным стандартам (таким как ASTM, ISO) для удовлетворения спроса на мировом рынке. В данной главе подробно рассматриваются китайские национальные стандарты, международные стандарты и соответствующие стандарты Европы, Америки, Японии, Южной Кореи и других стран для молибденовых листов, а также анализируются их требования и сценарии применения.

9.1 Китайский национальный стандарт на молибденовые листы

Китайский национальный стандарт (GB) содержит четкие положения о химическом составе, механических свойствах, размере и требованиях к обработке молибденовых листов, которые в основном изданы Администрацией по стандартизации Китайской Народной Республики и применимы к производству и применению молибденовых листов в Китае. Ниже приведены основные релевантные критерии:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

A. GB/T 3462-2017

- **Сфера применения:** Покрывает молибденовый лист (толщина 0,01-3 мм), молибденовую пластину и молибденовый брусок, подходит для электроники, аэрокосмической промышленности и компонентов высокотемпературных печей.
- **Химический состав:** листы молибдена высокой чистоты (Mo1) требуют содержания молибдена $\geq 99,95\%$ и содержания примесей (таких как Fe, Ni, Cu) < 50 ppm; Содержание молибдена в обычных чистых молибденовых листах (Mo2) $\geq 99,9\%$.
- **Механические свойства:** прочность на разрыв ≥ 700 МПа (холоднокатаный), относительное удлинение при разрыве $\geq 5\%$, твердость по Виккерсу 220-250 ВН.
- **Допуски по размерам:** допуски по толщине (0,01-0,1 мм $\pm 0,005$ мм, 0,1-3 мм $\pm 0,02$ мм), шероховатость поверхности $Ra \leq 0,8$ мкм.
- **Метод обнаружения:** Химический состав соответствует ICP-MS, механические свойства соответствуют GB/T 228.1 (испытание на растяжение), а качество поверхности проверяется с помощью микроскопа.
- **Применение:** Подходит для полупроводниковых мишеней, нагрева вакуумных печей и футеровки химического оборудования.

B. GB/T 3876-1983

- **Сфера применения:** Акцент на тонком молибденовом листе (толщина 0,01-0,1 мм) для электронных и оптических полей.
- **Химический состав:** содержание молибдена $\geq 99,95\%$, содержание кислорода < 50 ppm.
- **Требования к эксплуатационным характеристикам:** прочность на разрыв ≥ 800 МПа, относительное удлинение при разрыве $\geq 3\%$, отсутствие трещин и оксидных слоев на поверхности.
- **Допуски по размерам:** допуски по ширине $\pm 0,05$ мм, допуски по длине ± 1 мм, допуски по толщине $\pm 0,003$ мм.
- **Применение:** Для распыления мишеней и свинцовых рамок.

Китайский национальный стандарт делает акцент на высокой чистоте и высокой точности, что подходит для нужд отечественной электроники и высокотемпературных производств, а также гарантирует, что эксплуатационные характеристики молибденовых листов соответствуют международным стандартам.

9.2 Международные стандарты на молибденовые листы

Международные стандарты разрабатываются, в частности, Международной организацией по стандартизации (ISO) и Американским обществом по испытаниям и материалам (ASTM) и широко используются в производстве и торговле молибденовыми листами по всему миру. Ниже приведены основные международные стандарты:

A. ASTM B386-03 (2011)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Сфера применения:** Покрывает молибденовый лист (толщина 0,01-3 мм), молибденовую пластину и молибденовый брусок, подходит для аэрокосмической, электронной и высокотемпературной промышленности.
- **Химический состав:** содержание молибдена $\geq 99,95\%$ (Тип 360/361), сплав ТЗМ (Тип 364) содержит титан 0,4-0,55%, цирконий 0,06-0,12%. Примеси (например, Fe, Ni) < 100 ppm.
- **Механические свойства:** прочность на разрыв ≥ 620 МПа (отожженный), ≥ 760 МПа (холоднообработанный), удлинение при разрыве $\geq 2-10\%$ (в зависимости от толщины).
- **Допуски по размерам:** $\pm 5\%$ при толщине 0,01-0,1 мм, $\pm 0,025$ мм при 0,1-3 мм, шероховатость поверхности $Ra \leq 0,4$ мкм (полированная).
- **Метод тестирования:** Химический состав соответствует ICP-OES, механические свойства соответствуют стандарту ASTM E8, а качество поверхности проверяется путем визуального и микроскопического контроля.
- **Применение:** Подходит для полупроводниковых мишеней, теплозащитных экранов вакуумных печей и компонентов спутников.

Б. ISO 5832-1:2016 Металлические имплантаты - Часть 1: Кованный молибден

- **Сфера применения:** для молибденовых листов (например, анодов рентгеновских трубок) в медицинской сфере толщина составляет 0,1-2 мм.
- **Химический состав:** содержание молибдена $\geq 99,9\%$, содержание углерода < 100 ppm, содержание кислорода < 50 ppm.
- **Требования к эксплуатационным характеристикам:** прочность на разрыв ≥ 700 МПа, твердость 220-240 HV, отсутствие дефектов на поверхности.
- **Применение:** Используется в медицинском оборудовании для визуализации и высокоточных электронных компонентах.

Международный стандарт акцентирует внимание на универсальности и транснациональном применении молибденовых листов, подчеркивая высокую чистоту, низкое содержание примесей и строгий контроль размера, что подходит для мирового рынка высокого класса.

9.3 Стандарты молибденового листа в Европе, Америке, Японии, Южной Корее и других странах мира

Европа, Америка, Япония, Южная Корея и другие страны сформулировали стандарты молибденового листа в соответствии со своими промышленными потребностями и техническими характеристиками, которые в значительной степени соответствуют международным стандартам, но имеют подробные требования в конкретных областях. Ниже приведены основные национальные стандарты:

А. США

- **Стандарты:** ASTM B386-03 (2011) является основным стандартом, а MIL-M-16420 (военный стандарт) также доступен для аэрокосмической промышленности.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Особенности:** Акцент на высокую чистоту ($\geq 99,95\%$) и высокие температурные характеристики (например, прочность на разрыв ≥ 400 МПа при 1500°C), требующие низкой скорости газовой выделения ($< 10^{-8}$ мбар·с). Л/с)。
- **Области применения:** аэрокосмическая промышленность (спутниковые системы терморегулирования), полупроводниковые мишени и компоненты атомной промышленности.
- **Обнаружение:** Химический состав соответствует GDMS (масс-спектрометрия с тлеющим разрядом), а механические свойства соответствуют ASTM E8/E399.

Б. Европа

- **Стандарт:** EN 10276-1 «Материалы для холодной обработки молибдена и молибденовых сплавов» соответствует стандарту ISO 5832-1.
- **Особенности:** Молибденовый лист должен иметь высокое качество поверхности ($Ra \leq 0,4$ мкм), строгие допуски по размерам (толщина $\pm 0,003$ мм) и подходит для работы в вакуумных условиях.
- **Применение:** Используется в теплозащитных экранах печей для выращивания сапфира и мишенях для плазменного покрытия.
- **Проверка:** Качество поверхности проверяется с помощью лазерного микроскопа, а коррозионная стойкость соответствует EN ISO 9227 (испытание в солевом тумане).

В. Япония

- **Стандарт:** JIS H 4641 «Пластины, листы и полосы из молибдена и молибденового сплава» аналогичен ASTM B386.
- **Особенности:** Акцент на высокой точности ультратонкого молибденового листа (толщина $0,01-0,1$ мм), прочность на разрыв ≥ 800 МПа, удлинение при разрыве $\geq 5\%$, шероховатость поверхности $Ra \leq 0,2$ мкм.
- **Применение:** электронная промышленность (например, мишени TFT-LCD) и оптические устройства.
- **Проверка:** Точность размеров измеряется бесконтактным лазером, а проводимость соответствует JIS K 7194.

Г. Корея

- **Стандарт:** KS D 9502 "Молибден и материалы из молибденовых сплавов", со ссылкой на стандарты ASTM и JIS.
- **Характеристики:** Теплопроводность (≥ 130 Вт/м·К) и коррозионная стойкость (скорость коррозии $< 0,01$ мм/год в 10% соляной кислоте) необходимы, подходят для применения в химической и электронной промышленности.
- **Применение:** Свинцовые рамы для полупроводниковой упаковки и футеровки химического оборудования.
- **Обнаружение:** Теплопроводность методом лазерной вспышки, химический состав согласно KS D 2042.

Европейские, американские, японские и корейские стандарты согласуются с международными стандартами по химическому составу и механическим свойствам, но ориентируются на разные

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

сценарии применения в соответствии с региональными промышленными особенностями (например, США делают упор на аэрокосмическую промышленность, а Япония — на электронную промышленность).

Приложение: Глоссарий многоязычных молибденовых листов

Ниже приведена сравнительная таблица терминов, связанных с молибденом, на китайском, английском, японском и корейском языках, охватывающая общие термины в области производства, производительности и применения, что удобно для трансграничного технического обмена и стандартизированного применения. Молибденовый лист CTIA GROUP LTD должен быть унифицирован на мировом рынке для обеспечения технической документации и согласованности торговли.

Китайский	Английский	Японский	Корейский	интерпретация
钼片	Молибденовая фольга	モリブデン箔	몰리브덴 포일	Относится к тонкому молибденовому материалу, полученному методом порошковой металлургии или прокатки, с высокой температурой плавления, высокой прочностью и электро- и теплопроводностью, который широко используется в электронике, аэрокосмической промышленности и высокотемпературных печах.
辉钼矿	Молибденит	モリブ덴ナイト	몰리브테나이트	Основная рудная форма молибдена, содержащая 50-60% молибдена, является исходным сырьем для производства молибденовых листов, которые превращаются в молибденовые соединения или металлы путем обогащения и рафинирования.
地下开采	Подземная добыча полезных ископаемых	地下採掘	지하 채굴	Метод добычи молибденовой руды путем проходки тоннелей и взрывных работ в глубоких рудных месторождениях с использованием такого оборудования, как проходческие комбайны и перфораторы, подходит для сложных геологических условий.
浮选法	Метод флотации	浮選法	부유선광법	Используя гидрофобность молибденита, молибденовая руда отделяется от пустой породы с помощью флотационной машины и реагентов для получения концентрата молибдена с высоким содержанием золота.
氧化焙烧	Окислительная обжарка	酸化焙焼	산화 배소	Молибденит (MoS ₂) окисляется до оксида молибдена (MoO ₃) в атмосфере воздуха 550-650°C для удаления серы и предоставления сырья для последующей переработки.
氨浸法	Выщелачивание аммиака	アンモニア浸出法	암모니아 침출법	Оксид молибдена растворяют с аммиаком для получения раствора молибдата аммония, а примеси, такие как железо и медь, отделяют для

				получения соединений молибдена высокой чистоты.
粉末冶金	Порошковая металлургия	粉末冶金	분말 야금	Метод подготовки молибденовых заготовок или молибденовых листов методом прессования и спекания молибденового порошка высокой чистоты подходит для высокоточных деталей сложной формы.
热轧工艺	Процесс горячей прокатки	熱間圧延プロセス	열간 압연 공정	Молибденовая заготовка прокатывается в несколько проходов при высокой температуре 1000-1400 °C для подготовки молибденовых листов толщиной 0,5-3 мм, которые подходят для деталей высокотемпературных печей.
冷轧工艺	Процесс Холодной прокатки	冷間圧延プロセス	냉간 압연 공정	Молибденовые листы прокатываются при комнатной температуре для обеспечения высокой точности и качества поверхности, подходят для полупроводниковых мишеней.
密度	Плотность	密度	밀도	Отношение массы к объему молибденовых листов, отражающих плотность и чистоту, измеряется методом Архимеда или рентгеновским денситометром.
熔点	Точка плавления	融点	용융점	Температура, при которой молибденовый лист начинает плавиться, проверяется с помощью дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) для отражения высокотемпературных характеристик.
导电性	Электропроводность	電氣伝導率	전기전도율	Способность молибденового листа пропускать ток, измеренная четырехзондовым методом, подходит для электродов и мишеней.
导热性	Теплопроводность	熱伝導率	열전도율	Способность молибденовых листов проводить тепло измеряется методом лазерной вспышки и подходит для теплоотводящих подложек.
热膨胀系数	Коэффициент теплового расширения	熱膨張係數	열팽창 계수	Скорость размерного расширения молибденового листа в зависимости от температуры проверяется тепловым dilatометром и отражает тепловое согласование.
抗拉强度	Прочность на разрыв	引張強度	인장 강도	Стойкость молибденовых листов к разрыву при растяжении, измеренная методом испытаний на растяжение, подходит для конструкционных деталей.
硬度	Твёрдость	硬度	경도	Сопротивление деформации молибденового листа (220-250 HV), испытано твердомером по

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

				Виккерсу и отражает износостойкость.
韧性	Прочность	韌性	인성	Способность молибденового листа поглощать энергию удара измеряется с помощью испытания на удар по Шарне.
耐腐蚀性	Коррозионная стойкость	耐食性	내식성	Коррозионная стойкость молибденовых листов в химических средах, оцененная методом иммерсионных испытаний.
抗氧化性	Стойкость к окислению	耐酸化性	내산화성	Устойчивость молибденового листа в среде высокотемпературного окисления проверяется методом термогравиметрического анализа.
溅射靶材	Мишень для распыления	スパッタリングターゲット	스퍼터링 타겟	Молибденовые листы используются в плазменных покрытиях, где тонкие пленки наносятся методом магнетронного напыления, а также используются в производстве полупроводников и дисплеев.
反射屏	Отражающий щит	反射シールド	반사 쉴드	Молибденовые листы отражают тепловое излучение в высокотемпературных печах или печах для выращивания сапфира для оптимизации распределения теплового поля, требующих высокой отражательной способности (0,8-0,9).
发热带	Нагревательная лента	発熱帯	발열 띠	В качестве нагревательного элемента в вакуумной печи молибденовые листы нагреваются за счет устойчивости к высоким температурам (1500-1800°C), требующим высокой проводимости.
引线框架	Свинцовая рама	リードフレーム	리드 프레임	Молибденовые листы используются в проводящих компонентах для полупроводниковых корпусов, требующих низкого коэффициента теплового расширения и высококачественной поверхности.
反应釜内衬	Футеровка реактора	反応釜ライニング	반응로 라이닝	Являясь материалом внутренней стенки химического реактора, молибденовый лист противостоит коррозии неокисляющих кислот и продлевает срок службы оборудования.
热控系统	Система терморегулирования	熱制御システム	열제어 시스템	Молибденовые листы используются в спутниках для рассеивания тепла и управления тепловым излучением, что требует высокой теплопроводности и радиационной стойкости.

иллюстрировать

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- A. **Выбор терминов:** Терминология охватывает производство молибденовых листов (добыча, обогащение, рафинирование, формовка), эксплуатационные испытания (плотность, температура плавления, проводимость и т. д.) и области применения (электроника, печи для выращивания сапфиров, вакуумные печи) на основе глав с 4 по 9.
- Б. **Пояснение на китайском языке:** Каждый термин поясняется кратко, подчеркивая его техническое определение и опыт применения, а также указывая конкретные параметры (такие как толщина, эксплуатационные характеристики) в сочетании с содержанием главы (например, производственный процесс, метод испытаний и сценарий применения).
- В. **Многоязычный перевод:** английская, японская и корейская терминология основана на отраслевых стандартах и технической литературе, что обеспечивает точность и универсальность для международного технического обмена.
- Г. **Цель:** Данный глоссарий может быть использован для технической документации, трансграничной торговли и академических исследований для поддержки стандартизированного применения молибденовых чипов CTIA GROUP LTD на мировом рынке.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Английская литература:

- А. ASTM International. ASTM B386-03 (2011) Стандартные технические условия на пластины, листы, полосы и фольгу из молибдена и молибденовых сплавов. Вест Коншохокен, Пенсильвания: ASTM International, 2011.
- Б. ISO 5832-1:2016 Имплантаты для хирургии - Металлические материалы - Часть 1: Деформируемый молибден[S]. Женева: Международная организация по стандартизации, 2016.
- В. Шилдс, Д. А. Применение металлического молибдена и его сплавов[M]. Лондон: Международная молибденовая ассоциация (ИМОА), 2013.
- Г. Князев А. В., Крушенко Г. Г. Получение молибденовой фольги методом порошковой металлургии и прокатки[J]. Журнал технологий обработки материалов, 2018, 255: 123-130.
- Д. Смит, Р. Дж., и Джонсон, Т. Е. Термические и электрические свойства тонких пленок молибдена[J]. Материаловедение и инженерия: А, 2019, 742: 456-462.
- Е. Ли, К. Х., и Парк, С. Д. Молибден в распылении мишеней для осаждения тонких пленок[J]. Тонкие твердые пленки, 2020, 698: 137856.
- Ж. Чжан, Л., и Ван, Ю. Экологические проблемы при добыче и переработке молибдена[J]. Журнал чистого производства, 2021, 312: 127645.
- З. Ким, Х. С., и Ли, Д. Х. Молибденовая фольга в системах термоконтроля спутников[J]. Аэрокосмическая наука и техника, 2022, 120: 107234.
- И. Танака, Т., и Ватанабе, К. Механические испытания молибденовой фольги для применения при высоких температурах[J]. Журнал сплавов и соединений, 2017, 696: 234-240.
- К. Парк, Д. В., и Чой, С. Й. Коррозионная стойкость молибдена в химическом технологическом оборудовании[J]. Наука о коррозии, 2019, 149: 89-97.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT