

## Что такое молибденовый медный 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](http://www.ctia.com.cn)

电话/TEL: 0086 592 512 9696  
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V  
[sales@chinatungsten.com](mailto: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](http://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](http://www.ctia.com.cn)

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

## Оглавление

### Глава 1 Введение

- 1.1 Обзор медно-молибденового листа
- 1.2 Состав и структура композиционных материалов молибден-медь
- 1.3 Значение листа молибденовой меди в материаловедении

### Глава 2 Свойства материала листа молибденовой меди

- 2.1 Основные свойства молибдена и меди
- 2.2 Плотность медно-молибденового листа
- 2.3 Механические свойства молибденово-медного листа
  - 2.3.1 Твердость медно-молибденового листа
  - 2.3.2 Прочность медно-молибденового листа
  - 2.3.3 Пластичность листа Мо-Cu
  - 2.3.4 Механическая прочность молибденово-медного листа
  - 2.3.5 Усталостная прочность медно-молибденового листа
- 2.4 Химические свойства молибденово-медных листов
  - 2.4.1 Коррозионная стойкость молибденово-медного листа
  - 2.4.2 Антиокислительные свойства молибденово-медных листов
  - 2.4.3 Кислото- и щелочестойкость молибденово-медного листа
- 2.5 Тепловые свойства медно-молибденового листа
  - 2.5.1 Теплопроводность и температуропроводность
  - 2.5.2 Поведение и стабильность теплового расширения
  - 2.5.3 Устойчивость к высоким температурам
- 2.6 Электрические свойства молибденово-медных листов
  - 2.6.1 Характеристики проводимости и сопротивления
  - 2.6.2 Характеристики электрического контакта
  - 2.6.3 Электрохимическая стабильность
- 2.7 Сравнение медно-молибденового листа с другими материалами
- 2.8 CTIA GROUP LTD Листовая молибденовая медь Паспорт безопасности

### Глава 3 Классификация листов молибденовой меди

- 3.1 Классификация по марке (типичная) Медный молибденовый лист
  - 3.1.1 Mo85Cu15
  - 3.1.2 Mo80Cu20
  - 3.1.3 Mo70Cu30
  - 3.1.4 Mo60Cu40
  - 3.1.5 Mo50Cu50
- 3.2 Классификация листов молибденовой меди по способу производства
  - 3.2.1 Молибденово-медный лист, изготовленный методом порошковой металлургии
  - 3.2.2 Молибденово-медный лист, изготовленный методом инфильтрации расплава
- 3.3 Классификация листов молибденовой меди по области применения

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 3.3.1 Листовая медь с молибденом общего назначения
- 3.3.2 Высокочастотный молибденово-медный лист
- 3.3.3 Листовая молибденовая медь для аэрокосмической промышленности
- 3.3.4 Фотоэлектрическое устройство типа молибденово-медный лист

#### **Глава 4 Технология получения молибденово-медного листа**

- 4.1 Получение молибденово-медного листа методом порошковой металлургии
  - 4.1.1 Технологическая схема технологии порошковой металлургии
  - 4.1.2 Преимущества и ограничения технологии порошковой металлургии
- 4.2 Приготовление молибденово-медного листа методом инфильтрации
  - 4.2.1 Поток процесса инфильтрации расплава
  - 4.2.2 Преимущества и ограничения метода инфильтрации
- 4.3 Применение технологии 3D-печати при изготовлении листов молибденовой меди

#### **Глава 5 Основное оборудование для производства молибденово-медного листа**

- 5.1 Оборудование для производства порошковой металлургии листов из молибденовой меди
  - 5.1.1 Оборудование для приготовления порошка
    - 5.1.1.1 Шаровая мельница
    - 5.1.1.2 Оборудование для распыления
  - 5.1.2 Оборудование для формования порошков
    - 5.1.2.1 Гидравлический пресс (для холодной штамповки молибденово-медных заготовок)
    - 5.1.2.2 Изостатический пресс
  - 5.1.3 Оборудование для спекания
    - 5.1.3.1 Вакуумная печь для спекания
    - 5.1.3.2 Печь для горячего прессования и спекания
  - 5.1.4 Оборудование для постобработки
    - 5.1.4.1 Печь для термической обработки
    - 5.1.4.2 Прецизионный шлифовальный станок
- 5.2 Оборудование для производства инфильтрационного молибденово-медного листа
  - 5.2.1 Гидравлический пресс (для прессования молибденового порошка в форму)
  - 5.2.2 Вакуумная спекательная печь (для спекания молибденового скелета и инфильтрации меди)

#### **Глава 6 Методы и оборудование для испытаний эксплуатационных характеристик медно-молибденовых листов**

- 6.1 Испытание плотности медно-молибденового листа
  - 6.1.1 Принцип и действие метода архимедова дренажа
- 6.2 Испытание пористости листа молибденовой меди
  - 6.2.1 Наблюдение и расчет с помощью металлографического микроскопа
- 6.3 Испытание на растяжение листа молибденовой меди
  - 6.3.1 Использование универсальной испытательной машины для материалов
- 6.4 Испытание на изгиб листа молибденовой меди
  - 6.4.1 Метод трехточечного изгиба

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**



- 6.4.2 Метод четырехточечного изгиба
- 6.5 Испытание на ударную вязкость листа молибденовой меди
- 6.5.1 Ключевые моменты проведения испытания на удар маятником
- 6.6 Испытание теплопроводности листа молибденовой меди
- 6.6.1 Принцип и применение метода лазерной вспышки
- 6.7 Испытание коэффициента теплового расширения листа молибденовой меди
- 6.7.1 Использование термомеханического анализатора (ТМА)
- 6.8 Испытание удельного сопротивления листа молибденовой меди
- 6.8.1 Процесс измерения с четырьмя датчиками
- 6.9 Испытание контактного сопротивления листа молибденовой меди
- 6.9.1 Технические характеристики метода падения постоянного напряжения

## **Глава 7 Области применения молибденово-медных листов**

- 7.1 Применение молибденово-медного листа в электронной промышленности
  - 7.1.1 Упаковочные материалы
  - 7.1.2 Подложки интегральных схем
  - 7.1.3 Компоненты рассеивания тепла в микроволновых устройствах
  - 7.1.4 Компоненты структурной поддержки в микроволновых устройствах
  - 7.1.5 Материалы для радиатора
  - 7.1.6 Радиочастотный модуль
  - 7.1.7 Подложка для рассеивания тепла светодиода
- 7.2 Применение медно-молибденового листа в аэрокосмической отрасли
  - 7.2.1 Металлические компоненты самолета
  - 7.2.2 Теплозащитные материалы для космических аппаратов
  - 7.2.3 Компоненты ракет и космических аппаратов
  - 7.2.4 Излучатель радиолокационной системы
  - 7.2.5 Военная электронная упаковка
- 7.3 Применение листов молибденовой меди в энергетическом и тепловом менеджменте
  - 7.3.1 Силовые электронные устройства
  - 7.3.2 Ядерное энергетическое оборудование
  - 7.3.3 Системы возобновляемой энергии
  - 7.3.4 Управление температурным режимом аккумулятора электромобиля
- 7.4 Молибденово-медный лист в других новых областях применения
  - 7.4.1 Медицинское оборудование
  - 7.4.2 Базовая станция связи 7G
  - 7.4.3 Лазерная и оптическая система
  - 7.4.4 Аддитивное производство и индивидуальные компоненты

## **Глава 8. Состояние рынка и отрасли молибденово-медного листа**

- 8.1 Обзор мирового рынка молибденово-медных листов
- 8.2 Основные производители молибденово-медных листов - CTIA GROUP LTD
- 8.3 Рыночный спрос и тенденции развития молибденово-медного листа

### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

#### 8.4 Проблемы и возможности, стоящие перед рынком листов молибденовой меди

### Глава 9. Будущее развитие молибденово-медного листа

#### 9.1 Потенциал новой технологии подготовки молибденово-медного листа

#### 9.2 Направления исследований по оптимизации характеристик медно-молибденовых листов

#### 9.3 Расширение межотраслевого применения молибденово-медных листов

### Глава 10. Внутренние и международные стандарты для листов молибденовой меди

#### 10.1 Китайский национальный стандарт для листов молибденовой меди

#### 10.2 Международные стандарты для листов молибденовой меди

Стандарты медно-молибденовых листов в Европе, Америке, Японии, Южной Корее и других странах мира

#### приложение:

Молибденовый медный лист Глоссарий

Ссылки



CTIA GROUP LTD Молибденовый медный лист Фотография

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

## Глава 1 Введение

### 1.1 Обзор медно-молибденового листа

Молибденовый медный лист — это композитный материал, состоящий из молибдена и меди, обычно используемый в виде тонких листов или пластин в области электроники, аэрокосмической промышленности, энергетики и высокотемпературной промышленности. Он сочетает в себе высокую температуру плавления, коррозионную стойкость и превосходную термическую стабильность молибдена с высокой электропроводностью и теплопроводностью меди, образуя передовой материал с превосходными механическими свойствами и термоэлектрическими свойствами. Молибденовый медный лист в основном изготавливается методом порошковой металлургии, смешивая порошок молибдена и порошок меди в определенной пропорции, прессуя и спекая, или используя инфильтрацию расплава для инфильтрации жидкой меди в матрицу молибдена для формирования композитной структуры.

Лист из молибденовой меди обладает следующими замечательными характеристиками: высокая теплопроводность делает его превосходным в тепловом управлении и подходящим для радиаторов и теплоотводов; низкий коэффициент теплового расширения обеспечивает его размерную стабильность в условиях высоких температур; путем регулировки соотношения молибдена и меди теплопроводность, электропроводность и механическая прочность могут быть настроены в соответствии с различными требованиями к применению; высокая температура плавления молибдена (около 2623 °C) и коррозионная стойкость позволяют ему служить в течение длительного времени в экстремальных условиях. Типичные области применения включают в себя подложки для рассеивания тепла в электронной упаковке, силовые полупроводниковые приборы, микроволновые устройства и компоненты для теплового управления в аэрокосмической отрасли. С середины до конца 20-го века, с ростом спроса на высокопроизводительные электронные устройства и высокотемпературные приложения, исследования и разработки, а также технология производства листов из молибденовой меди были значительно улучшены.

### 1.2 Состав и структура композиционных материалов молибден-медь

Композитные материалы из молибдена и меди изготавливаются из молибдена и меди с помощью специального процесса, и их свойства напрямую зависят от соотношения состава и микроструктуры. Состав материала обычно выражается в весовых или объемных процентах, например, Mo70Cu30 (70% молибдена и 30% меди) или Mo85Cu15 и других распространенных марок. Увеличение содержания молибдена улучшает прочность материала, его устойчивость к высоким температурам и низкие характеристики теплового расширения, но может немного снизить теплопроводность и электропроводность; в то время как увеличение содержания меди значительно повышает теплопроводность и электропроводность, но ослабляет механическую прочность и устойчивость к высоким температурам. Следовые добавки (такие как никель или серебро) иногда используются для улучшения характеристик спекания или соединения интерфейса, но их содержание строго контролируется, чтобы избежать ухудшения характеристик.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

С точки зрения микроструктуры, композиционные материалы молибден-медь представляют собой двухфазную структуру: молибден образует непрерывный или полунепрерывный скелет, обеспечивая механическую прочность и высокую термостойкость, а размер частиц обычно составляет от 1 до 10 микрон; медь заполняет поры скелета молибдена, образуя непрерывную тепло- и электропроводящую сеть. Интерфейсное соединение двух фаз в основном зависит от физической интеркаляции и диффузии во время спекания. Хорошее интерфейсное соединение может эффективно снизить тепловое сопротивление и электрическое сопротивление. Анализ с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и рентгеновской дифракции (XRD) показывает, что частицы молибдена обычно равномерно обернуты медной матрицей, а непрерывность фазы меди увеличивается с увеличением содержания меди.

Процесс подготовки оказывает значительное влияние на структуру материала. Метод порошковой металлургии позволяет точно контролировать соотношение состава путем смешивания порошков молибдена и меди, прессования и спекания и подходит для производства листов молибденовой меди высокой плотности; метод пропитки расплава подходит для материалов с высоким содержанием меди путем пропитки жидкой меди в пористый молибденовый скелет, но требования к контролю процесса высоки; метод горячего прессования спекания напрямую формируется при высокой температуре и высоком давлении, что подходит для высоких требований к производительности, но имеет высокую стоимость. Различные процессы приводят к различиям в размере частиц, распределении фаз и прочности связи интерфейса, что влияет на свойства материала.

### 1.3 Значение листа молибденовой меди в материаловедении

молибденовой меди имеет важное значение в материаловедении и инженерных приложениях. Его производительность в области терморегулирования особенно выдающаяся. Поскольку электронные устройства развиваются в направлении высокой плотности мощности и миниатюризации, терморегулирование стало ключом к ограничению производительности и срока службы. Благодаря своей превосходной теплопроводности и коэффициенту теплового расширения, аналогичному коэффициенту керамических материалов (таких как оксид алюминия и нитрид кремния), лист из молибденовой меди стал идеальным материалом для электронной упаковки, силовых полупроводниковых приборов (таких как IGBT, MOSFET), микроволновых приборов и лазерных радиаторов. Он может эффективно проводить тепло и уменьшать растрескивание интерфейса, вызванное термическим напряжением, тем самым повышая надежность и срок службы устройства.

В области высокопроизводительных электронных устройств электро- и теплопроводность листов молибденовой меди делает их основными материалами для коммуникационного оборудования 5G и силовых модулей новых энергетических транспортных средств. Их регулируемые характеристики поддерживают различные требования к конструкции устройств и способствуют разработке электронных устройств в направлении более высокой производительности и миниатюризации. Кроме того, высокая температура плавления и коррозионная стойкость листов

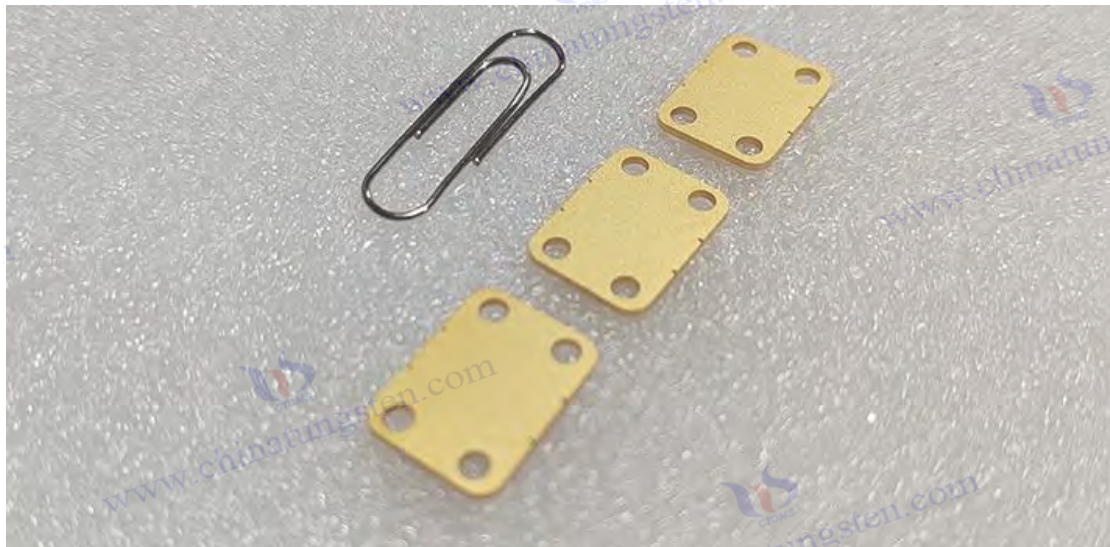
#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



молибденовой меди дают им значительные преимущества в экстремальных условиях, таких как компоненты теплообмена высокотемпературных реакторов в ядерной промышленности и высокотемпературные компоненты реактивных двигателей аэрокосмической отрасли, демонстрируя их надежность и стабильность в суровых условиях.

молибдена и меди также способствовали развитию технологии проектирования и подготовки композитных материалов. Исследование оптимизации интерфейса, регулирования микроструктуры и новых процессов подготовки не только улучшило эксплуатационные характеристики листов из молибдена и меди, но и предоставило теоретические и практические рекомендации для разработки других композитных материалов на основе металлов (таких как вольфрам-медь и алюминий-кремний), а также способствовало междисциплинарной интеграции концепций проектирования многофункциональных материалов. Кроме того, процесс подготовки листов из молибдена и меди является зрелым, сырьевые материалы молибден и медь широко распространены и подлежат вторичной переработке, стоимость относительно низкая, и он имеет высокую экономичность и устойчивость, что делает его пригодным для крупномасштабного производства и применения.

Подводя итог, можно сказать, что листы из молибденовой меди играют ключевую роль в терморегулировании, высокопроизводительных электронных устройствах и экстремальных условиях применения благодаря своим уникальным термоэлектрическим свойствам, механическим свойствам и регулируемости. Их исследование и применение не только удовлетворяют потребности современной промышленности в высокопроизводительных материалах, но и способствуют инновационному развитию материаловедения. С технологическим прогрессом области оптимизации производительности и применения листов из молибденовой меди будут и дальше расширяться, оказывая важную поддержку научному и промышленному прогрессу.



CTIA GROUP LTD Молибденовый медный лист Фотография

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## Глава 2 Свойства материала листа молибденовой меди

### 2.1 Основные свойства молибдена и меди

Молибден и медь являются основными компонентами композитов молибден-медь, и их соответствующие физические и химические свойства определяют эксплуатационные характеристики композитов. Молибден является тугоплавким переходным металлом с температурой плавления около 2623 °C. Он обладает превосходной устойчивостью к высоким температурам и коррозионной стойкостью. Его низкий коэффициент теплового расширения (около  $4,8 \times 10^{-6}$  /K при 25 °C) позволяет поддерживать размерную стабильность в высокотемпературных средах. Молибден обладает высокой прочностью, но его электропроводность (около 18% IACS) и теплопроводность (около 138 Вт/ м·К ) относительно низкие. Медь известна своей высокой электропроводностью (близкой к 100% IACS) и высокой теплопроводностью (около 401 Вт/ м·К ). Его температура плавления составляет 1085 °C, что делает его идеальным материалом для терморегулирования и передачи электроэнергии, однако его коэффициент теплового расширения высок (около  $16,5 \times 10^{-6}$  /K при 25 °C), а его прочность снижается при высоких температурах.

Молибден и медь не полностью растворимы друг в друге на атомном уровне, образуя двухфазную структуру: молибден образует скелет, обеспечивая структурную поддержку и высокую термостойкость; медь заполняет поры, образуя тепло- и электропроводящую сеть. Эта взаимодополняемость позволяет листам молибдена и меди достигать баланса между теплопроводностью, электропроводностью и механическими свойствами, что отвечает потребностям электроники, аэрокосмической промышленности и других областей.

### 2.2 Плотность медно-молибденового листа

Молибденово -медный лист является его ключевым физическим свойством, которое влияет на вес материала, эффективность теплопроводности и применимость сценария применения. Плотность зависит от соотношения молибдена к меди, которое находится между плотностью молибдена ( $10,28 \text{ г/см}^3$ ) и плотностью меди ( $8,96 \text{ г/см}^3$ ). Молибденово-медные листы с высоким содержанием молибдена имеют более высокую плотность и подходят для применений, требующих высокой прочности и высокой термостойкости, таких как высокотемпературные авиационные детали; молибденово-медные листы с высоким содержанием меди имеют более низкую плотность, что помогает снизить вес устройства и подходит для облегченной конструкции портативных электронных устройств и аэрокосмической отрасли. Процесс подготовки оказывает существенное влияние на плотность: метод порошковой металлургии позволяет получать материалы, близкие к теоретической плотности, посредством формования под высоким давлением и высокотемпературного спекания, обычно достигая более 98%; метод инфильтрации расплава может привести к несколько более низкой плотности из-за остаточных пор. Плотность также влияет на теплоемкость и теплопроводность. Низкая плотность обычно сопровождается высокой теплопроводностью, но может принести в жертву некоторую высокотемпературную стабильность.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Поэтому плотность является важным параметром, который необходимо учитывать при проектировании листов молибденовой меди.

## 2.3 Механические свойства молибденово-медного листа

Лист из молибденовой меди включает твердость, вязкость и прочность, которые определяют его эксплуатационные характеристики при механических нагрузках и деформационных условиях. Высокая прочность молибдена и пластичность меди вместе формируют механические свойства листа из молибденовой меди, а конкретные свойства изменяются в зависимости от соотношения состава и процесса приготовления.

### 2.3.1 Твердость медно-молибденового листа

Твердость отражает способность листов молибденовой меди противостоять локальной деформации и износу и обычно измеряется твердостью по Виккерсу (HV). Высокая твердость молибдена (около 230-250 HV) обеспечивает отличную износостойкость композитного материала, в то время как более низкая твердость меди (около 50-70 HV) делает материал с высоким содержанием меди более гибким.

Листы из молибденовой меди с высоким содержанием молибдена (например, Mo85Cu15) имеют более высокую твердость, близкую к твердости молибдена, и подходят для теплоотводящих подложек электронной упаковки, требующих износостойкости; листы из молибденовой меди с высоким содержанием меди имеют более низкую твердость, но лучшую пластичность и подходят для применений, требующих определенной степени гибкости. Метод горячего прессования спекания увеличивает плотность и твердость за счет высокой температуры и высокого давления; если метод порошковой металлургии недостаточно спечен, твердость может быть снижена из-за наличия пор. Твердость листов из молибденовой меди позволяет им выдерживать нагрузки при обработке и сборке и сохранять целостность поверхности при высоких температурах.

### 2.3.2 Прочность медно-молибденового листа

Прочность относится к способности листов молибденовой меди поглощать энергию и противостоять разрушению и является ключевым показателем при динамических нагрузках или ударных воздействиях. Чистый молибден имеет низкую прочность и является хрупким, в то время как медь обладает превосходной пластичностью и прочностью. Композиты молибден-медь улучшают общую прочность и позволяют избежать хрупкого разрушения за счет добавления меди. Листы молибденовой меди с высоким содержанием меди (например, Mo60Cu40) обладают хорошей прочностью и подходят для терморегулирования, где требуется ударопрочность; материалы с высоким содержанием молибдена (например, Mo85Cu15) обладают меньшей прочностью, но более высокой прочностью и подходят для высокопрочных применений.

молибденовой меди, полученный методом инфильтрации расплава, обычно имеет лучшую

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

прочность, чем продукт порошковой металлургии из-за равномерного распределения фазы меди. Качество связи интерфейса имеет решающее значение для прочности. Хороший интерфейс молибден-медь может эффективно передавать напряжение и уменьшать распространение трещин. Прочность листа из молибденовой меди позволяет ему выдерживать ударные и циклические нагрузки в аэрокосмической отрасли или в условиях высокой вибрации, что продлевает срок его службы.

### 2.3.3 Пластичность листа Mo-Cu

Пластичность отражает способность листов молибденовой меди подвергаться пластической деформации без разрушения при воздействии напряжения и является важной характеристикой для адаптации к сложным формам или требованиям к деформации при обработке и применении. Молибден имеет низкую пластичность и более хрупкий, в то время как медь имеет превосходную пластичность (удлинение может достигать 40%-50%) и может поглощать большое количество энергии деформации при растяжении или изгибе.

молибден -медь в основном зависят от содержания меди. Листы молибдена-меди с высоким содержанием меди (например, Mo60Cu40) обладают хорошей пластичностью и могут выдерживать большую пластическую деформацию. Они подходят для электронных корпусов или компонентов терморегулирования, требующих обработки литьем; листы молибдена-меди с высоким содержанием молибдена (например, Mo85Cu15) обладают более низкой пластичностью и, как правило, представляют собой более жесткие структуры, которые подходят для сценариев с высокими требованиями к прочности. Процесс подготовки также влияет на пластичность. Метод инфильтрации расплава может улучшить пластичность за счет равномерно распределенной фазы меди, в то время как метод порошковой металлургии может снизить пластичность, если есть поры или плохое соединение интерфейса. Пластичность листов молибдена-меди дает им преимущество при обработке при изготовлении подложек для рассеивания тепла сложной формы или компонентов аэрокосмической промышленности, одновременно снижая риск хрупкого разрушения при циклических нагрузках.

### 2.3.4 Механическая прочность молибденово-медного листа

Механическая прочность относится к способности листов молибденовой меди противостоять внешним повреждениям, обычно характеризуется пределом прочности на разрыв или пределом текучести, и является ключевым показателем в конструктивных применениях. Молибден имеет высокую прочность на разрыв (около 600-800 МПа, в зависимости от состояния обработки), что обеспечивает прочную механическую поддержку для композитных материалов, в то время как медь имеет более низкую прочность на разрыв (около 200-250 МПа), но это помогает улучшить пластичность материала. Листы молибденовой меди с высоким содержанием молибдена (например, Mo85Cu15) имеют высокую механическую прочность, близкую к уровню прочности молибдена, и подходят для высоконапряженных аэрокосмических высокотемпературных компонентов или подложек электронных устройств; листы молибденовой меди с высоким

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

содержанием меди (например, Mo60Cu40) имеют более низкую прочность, но более гибкие и подходят для применений, требующих определенной деформации. Метод горячего прессования спеканием может значительно повысить механическую прочность за счет увеличения плотности материала, в то время как метод порошковой металлургии может вызвать снижение прочности из-за пористости, если спекание недостаточно. Механическая прочность листов молибденовой меди позволяет им выдерживать монтажные напряжения в электронных корпусах, сохранять структурную стабильность в условиях высоких температур и соответствовать высоким требованиям надежности.

### 2.3.5 Усталостная прочность медно-молибденового листа

Усталостная прочность отражает способность листов молибденовой меди противостоять возникновению и расширению трещин при циклических нагрузках и является важной характеристикой в динамических или вибрационных средах. Чистый молибден имеет низкую усталостную прочность и склонен к микротрещинам при циклическом напряжении, в то время как превосходная пластичность и вязкость меди помогают поглощать циклическое напряжение и улучшать усталостную долговечность. Усталостная прочность композитов молибден-медь улучшается с увеличением содержания меди. Листы молибденовой меди с высоким содержанием меди (например, Mo60Cu40) показывают более длительный усталостный ресурс при циклических нагрузках и подходят для сред с высокой вибрацией, таких как компоненты терморегулирования аэрокосмических устройств; листы молибденовой меди с высоким содержанием молибдена (например, Mo85Cu15) имеют немного худшую усталостную прочность, но могут выдерживать более высокие амплитуды напряжений из-за высокой прочности. Процесс подготовки оказывает значительное влияние на усталостную долговечность.

Листы из молибденовой меди, полученные методом инфильтрации расплава, могут эффективно сдерживать расширение трещин благодаря равномерному распределению фазы меди и хорошему соединению интерфейса; методы порошковой металлургии могут ускорить усталостное разрушение при наличии микропор или дефектов интерфейса. Усталостная стойкость листов из молибденовой меди позволяет им выдерживать длительные циклические нагрузки в силовых полупроводниковых приборах или высокотемпературных компонентах аэрокосмической промышленности, обеспечивая долговременную надежность.

### 2.4 Химические свойства молибденово-медных листов

молибденовой меди, включая коррозионную стойкость, стойкость к окислению, кислото- и щелочестойкость, определяют их стабильность и срок службы в агрессивных химических средах. Химические свойства молибдена и меди существенно различаются. Молибден обладает превосходной стойкостью к коррозии и окислению, в то время как медь склонна к окислению или коррозии в определенных средах. Химические свойства композитов молибден-медь оптимизируются благодаря синергетическому эффекту двухфазной структуры, а на удельные характеристики влияют соотношение состава, микроструктура и процесс приготовления.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

#### 2.4.1 Коррозионная стойкость молибденово-медного листа

Коррозионная стойкость отражает способность листов молибденовой меди противостоять поверхностной эрозии и ухудшению характеристик при контакте с агрессивными средами (такими как влага, соляной туман или химические газы). Молибден обладает превосходной коррозионной стойкостью и может оставаться стабильным в различных химических средах, особенно в неокисляющих кислотах и солевых растворах; медь имеет слабую коррозионную стойкость, особенно во влажных или хлорсодержащих средах, и склонна к электрохимической коррозии. Коррозионная стойкость композитных материалов молибден-медь в основном определяется фазой молибдена. Листы молибденовой меди с высоким содержанием молибдена (такие как Mo85Cu15) показывают хорошую стабильность в агрессивных средах и подходят для компонентов терморегулирования в аэрокосмических устройствах или морских средах; листы молибденовой меди с высоким содержанием меди (такие как Mo60Cu40) имеют немного плохую коррозионную стойкость и могут подвергаться коррозии медной фазы в условиях высокой влажности или соляного тумана. Процесс подготовки оказывает определенное влияние на коррозионную стойкость. Метод горячего прессования и спекания может уменьшить проникновение коррозионных сред за счет увеличения плотности и уменьшения пор; метод порошковой металлургии может ускорить локальную коррозию, если существуют микропоры. Коррозионная стойкость листов молибденовой меди позволяет им сохранять производительность в течение длительного времени в электронной упаковке и высокотемпературных средах, продлевая срок службы устройства.

#### 2.4.2 Антиокислительные свойства молибденово-медных листов

Антиокислительные свойства относятся к способности листов молибденовой меди противостоять реакциям окисления и поверхностному окислению в условиях высокой температуры или кислородсодержащих сред. Молибден легко реагирует с кислородом, образуя летучие оксиды (такие как  $\text{MoO}_3$ ) при высоких температурах (выше примерно  $600^\circ\text{C}$ ), но скорость его окисления медная, и распределение фазы меди в композитах молибдена с медью может частично смягчить тенденцию к окислению молибдена. Медь образует плотный защитный слой оксида меди ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) при комнатной температуре, который имеет определенную стойкость к окислению, но он легко окисляется дальше, образуя рыхлые оксиды ( $\text{CuO}$ ) при высоких температурах (выше примерно  $300^\circ\text{C}$ ), что снижает производительность. Листы из молибденовой меди с высоким содержанием молибдена (например, Mo85Cu15) имеют хорошую стойкость к окислению при высоких температурах и подходят для высокотемпературных аэрокосмических компонентов или подложек для рассеивания тепла силовых полупроводников; листы из молибденовой меди с высоким содержанием меди (например, Mo60Cu40) имеют несколько худшие характеристики в высокотемпературных окислительных средах и должны избегать длительного воздействия высокотемпературных кислородсодержащих сред.

Обработка поверхности (например, никелирование или золочение) или оптимизация процесса подготовки (например, спекание при горячем прессовании для увеличения плотности) может

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

значительно улучшить стойкость к окислению и уменьшить образование оксидов. Стойкость к окислению листа молибденовой меди позволяет ему сохранять структурную и функциональную стабильность в высокотемпературных электронных устройствах или промышленных средах.

#### 2.4.3 Кислото- и щелочестойкость молибденово-медного листа

Кислото- и щелочестойкость отражает химическую стабильность листов молибденовой меди в кислых или щелочных средах и является важной характеристикой в химической обработке или определенных промышленных средах. Молибден обладает превосходной коррозионной стойкостью к неокисляющим кислотам (таким как соляная кислота и серная кислота), но легко корродирует в сильных окисляющих кислотах (таких как азотная кислота); медь чувствительна к большинству кислых сред, особенно растворима в окисляющих кислотах, но относительно стабильна в слабых щелочных средах. Кислото- и щелочестойкость молибденово-медных композитных материалов улучшается за счет высокого содержания молибдена. Листы молибденовой меди с высоким содержанием молибдена (например, Mo85Cu15) показывают хорошую стабильность в неокисляющих кислотных и слабощелочных средах и подходят для компонентов терморегулирования в химической промышленности; листы молибденовой меди с высоким содержанием меди (например, Mo60Cu40) имеют плохую коррозионную стойкость в кислых средах и должны избегать контакта с сильными кислотами.

Процесс подготовки влияет на кислото- и щелочестойкость. Метод инфильтрации расплава может снизить риск локальной коррозии за счет равномерного распределения фазы меди; если в методе порошковой металлургии есть поры, это может вызвать проникновение кислотной и щелочной среды и ускорить коррозию. Кислото- и щелочестойкость листа молибденовой меди позволяет ему сохранять свои эксплуатационные характеристики в производстве электронных устройств или химической среде для удовлетворения конкретных требований применения.

#### 2.5 Тепловые свойства медно-молибденового листа

молибденовой меди, включая теплопроводность и температуропроводность, поведение и стабильность теплового расширения, а также устойчивость к высоким температурам, являются его основными преимуществами в тепловом управлении, высокотемпературных применениях и электронных устройствах. Тепловые свойства молибдена и меди дополняют друг друга, причем медь обеспечивает высокую теплопроводность, а молибден способствует низкому тепловому расширению и высокой температурной стабильности, что делает листы из молибденовой меди идеальным материалом для теплового управления в области электронной упаковки, аэрокосмической промышленности и энергетики. Тепловые свойства в значительной степени зависят от соотношения молибдена и меди, микроструктуры и процесса подготовки.

##### 2.5.1 Теплопроводность и температуропроводность

Теплопроводность и температуропроводность являются ключевыми параметрами для измерения

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



способности листов молибденовой меди проводить тепло, которые напрямую влияют на их эффективность в рассеивании тепла и тепловом управлении. Медь имеет чрезвычайно высокую теплопроводность (около 401 Вт/м·К) и является отличным проводником тепла, в то время как молибден имеет более низкую теплопроводность.

Теплопроводность композитных материалов молибден-медь увеличивается с увеличением содержания меди. Листы молибден-медь с высоким содержанием меди (например, Mo60Cu40) имеют высокую теплопроводность, близкую к 200-250 Вт/м·К, что подходит для теплоотводящих подложек силовых полупроводниковых приборов и микроволновых устройств; листы молибден-медь с высоким содержанием молибдена имеют низкую теплопроводность, около 150-180 Вт/м·К, но все же лучше, чем многие традиционные материалы, и подходят для сценариев, требующих как прочности, так и теплопроводности. Температуропроводность отражает способность материала быстро проводить тепло, что связано с теплопроводностью и плотностью. Листы молибден-медь с высоким содержанием меди имеют высокую температуропроводность, что помогает быстро рассеивать тепло. Процесс подготовки оказывает значительное влияние на теплопроводность. Метод горячего прессования и спекания повышает эффективность теплопроводности за счет увеличения плотности; метод порошковой металлургии может снизить теплопроводность, если есть поры. Отличная теплопроводность и температуропроводность молибденово-медных листов позволяют им эффективно управлять теплом в мощных электронных устройствах и улучшать производительность и срок службы устройств.

### 2.5.2 Поведение и стабильность теплового расширения

Поведение и стабильность теплового расширения отражают степень изменения размеров листов молибденовой меди при изменении температуры и их структурную стабильность, которые являются ключевыми характеристиками для их применения в условиях термоциклирования. Молибден имеет низкий коэффициент теплового расширения (около  $4,8 \times 10^{-6}$  /К при 25 °C), что может эффективно противостоять деформации, вызванной температурой; медь имеет более высокий коэффициент теплового расширения (около  $16,5 \times 10^{-6}$  /К при 25 °C), что легко вызывает термическое напряжение. Коэффициент теплового расширения композитных материалов молибден-медь находится между этими двумя и уменьшается с увеличением содержания молибдена. Листы из молибденовой меди с высоким содержанием молибдена (например, Mo85Cu15) имеют коэффициент теплового расширения, близкий к  $5-7 \times 10^{-6}$  /К, что соответствует керамическим материалам (например, оксиду алюминия и нитриду кремния) и подходит для уменьшения растрескивания интерфейса, вызванного термическим напряжением в электронной упаковке; листы из молибденовой меди с высоким содержанием меди (например, Mo60Cu40) имеют более высокий коэффициент теплового расширения, примерно  $8-10 \times 10^{-6}$  /К, что подходит для приложений рассеивания тепла с менее строгими требованиями к термическому расширению. Стабильность термического расширения также зависит от микроструктуры.

Однородный интерфейс молибден-медь и плотная структура могут снизить концентрацию термического напряжения. Метод горячего прессования и спекания повышает стабильность

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

термического расширения за счет оптимизации связи интерфейса, в то время как метод порошковой металлургии может привести к локальной концентрации напряжения при наличии дефектов. Низкий коэффициент теплового расширения и высокая стабильность молибденово-медного листа позволяют ему сохранять структурную целостность в условиях высокотемпературного цикла и продлевают срок службы устройства.

### 2.5.3 Устойчивость к высоким температурам

Высокая термостойкость отражает способность листов молибденовой меди сохранять физическую и химическую стабильность в условиях высоких температур, что является важной характеристикой в аэрокосмической, ядерной промышленности и высокотемпературных электронных устройствах. Высокая температура плавления молибдена (около 2623 °C) придает композитным материалам отличную термостойкость, в то время как низкая температура плавления меди (1085 °C) ограничивает применение материалов с высоким содержанием меди при экстремально высоких температурах.

Листы молибденовой меди с высоким содержанием молибдена (например, Mo85Cu15) могут сохранять стабильную структуру и производительность при высоких температурах 600-800 °C, подходят для компонентов реактивных двигателей в аэрокосмической отрасли или компонентов теплообмена ядерных реакторов; листы молибденовой меди с высоким содержанием меди (например, Mo60Cu40) имеют немного худшую термостойкость, а рекомендуемая рабочая температура составляет ниже 400 °C, чтобы избежать размягчения или окисления фазы меди.

Процесс подготовки оказывает важное влияние на термостойкость. Метод горячего прессования и спекания повышает стабильность при высоких температурах за счет увеличения плотности и прочности интерфейса; если медная фаза неравномерно распределена в методе инфильтрации расплава, это может привести к ухудшению производительности при высоких температурах. Обработка поверхности (например, никелирование) может дополнительно улучшить стойкость к высоким температурам и снизить высокотемпературное окисление. Высокая термостойкость листов молибденовой меди позволяет им служить в течение длительного времени в суровых термических условиях и соответствовать высоким требованиям надежности.

### 2.6 Электрические свойства молибденово-медных листов

молибденовой меди, включая характеристики проводимости и сопротивления, электрические контактные характеристики и электрохимическую стабильность, являются ключом к их применению в электронных устройствах, силовых модулях и проводящих компонентах. Высокая проводимость меди в сочетании со структурной стабильностью молибдена дает листам из молибденовой меди уникальные преимущества в электрических свойствах, отвечая требованиям высокопроизводительных электронных устройств по проводимости и надежности. На электрические свойства влияют соотношение молибдена и меди, микроструктура и процесс подготовки.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 2.6.1 Характеристики проводимости и сопротивления

Свойства проводимости и сопротивления отражают способность листов молибденовой меди проводить ток и являются их основными характеристиками в проводящих приложениях. Медь имеет чрезвычайно высокую проводимость (близкую к 100% IACS, международного стандарта отожженной меди) и является превосходным проводящим материалом, в то время как молибден имеет более низкую проводимость (около 18% IACS). Проводимость композитных материалов молибден-медь увеличивается с увеличением содержания меди. Листы молибденовой меди с высоким содержанием меди (например, Mo60Cu40) имеют высокую проводимость, близкую к 30-40% IACS, что подходит для проводящих подложек силовых полупроводниковых приборов и микроволновых устройств; листы молибденовой меди с высоким содержанием молибдена (например, Mo85Cu15) имеют низкую проводимость, около 20-25% IACS, но ее все еще достаточно для удовлетворения потребностей многих электронных приложений.

Свойство сопротивления напрямую связано с проводимостью. Листы молибденовой меди с высоким содержанием меди имеют низкое сопротивление, что помогает снизить потери мощности и выделение тепла. Процесс подготовки оказывает значительное влияние на проводимость. Метод горячего прессования спекания может повысить проводимость за счет увеличения плотности и оптимизации интерфейса молибден-медь; метод порошковой металлургии может повысить сопротивление, если есть поры или дефекты интерфейса. Отличная проводимость и низкие характеристики сопротивления листов молибденовой меди позволяют им эффективно проводить ток в мощных электронных устройствах, снижать потери энергии и улучшать производительность устройств.

### 2.6.2 Характеристики электрического контакта

Характеристики электрического контакта относятся к способности листов молибденовой меди поддерживать низкое контактное сопротивление и стабильное электрическое соединение на электрических контактных интерфейсах (таких как разъемы или электроды). Низкое контактное сопротивление и высокая проводимость меди делают ее идеальным контактным материалом, в то время как высокая твердость и износостойкость молибдена помогают поддерживать механическую стабильность контактного интерфейса.

Эксплуатационные характеристики композитных материалов молибден-медь улучшаются с увеличением содержания меди. Листы молибден-медь с высоким содержанием меди (например, Mo60Cu40) имеют низкое контактное сопротивление и подходят для компонентов электрических соединений в силовых электронных устройствах, таких как проводящие подложки силовых модулей; Листы молибден-медь с высоким содержанием молибдена (например, Mo85Cu15) имеют немного более высокое контактное сопротивление, но из-за своей высокой твердости они могут противостоять износу контактов и подходят для применений, требующих долгосрочного стабильного контакта. Обработка поверхности (например, серебрение или золочение) может дополнительно снизить контактное сопротивление и улучшить износостойкость. Процесс

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

подготовки оказывает важное влияние на характеристики электрических контактов. Метод инфильтрации расплава может оптимизировать контактный интерфейс за счет равномерного распределения фазы меди; метод порошковой металлургии может привести к увеличению контактного сопротивления, если существуют микропоры. Электрические контактные характеристики листов молибдена и меди позволяют им обеспечивать надежные электрические соединения в электронных корпусах и силовых устройствах, снижая риск отказа контакта.

### 2.6.3 Электрохимическая стабильность

Электрохимическая стабильность отражает способность листов молибденовой меди противостоять электрохимической коррозии в электрохимических средах (таких как растворы электролитов или влажные соленые среды). Молибден обладает превосходной коррозионной стойкостью и хорошо работает в неокисляющих электролитах, но может подвергаться коррозии в сильных окислительных средах; медь имеет плохую электрохимическую стабильность и склонна к электрохимической коррозии во влажных или хлорсодержащих средах. Электрохимическая стабильность композитов молибден-медь в основном определяется фазой молибдена. Листы молибденовой меди с высоким содержанием молибдена (такие как Mo85Cu15) показывают хорошую стабильность в электрохимических средах и подходят для токопроводящих компонентов в морской среде или химической промышленности; листы молибденовой меди с высоким содержанием меди (такие как Mo60Cu40) имеют слабую электрохимическую стабильность и могут страдать от коррозии фазы меди в условиях высокой влажности или соляного тумана. Процесс подготовки влияет на электрохимическую стабильность. Метод горячего прессования и спекания может снизить риски проникновения электролита и коррозии за счет увеличения плотности и уменьшения пор; метод порошковой металлургии может ускорить локальную электрохимическую коррозию, если существуют микропоры. Поверхностные защитные слои (например, никелирование) могут значительно улучшить электрохимическую стабильность. Электрохимическая стабильность листов молибденовой меди позволяет им сохранять производительность в течение длительного времени в электрических контактах и проводящих приложениях, продлевая срок службы устройства.

### 2.7 Сравнение медно-молибденового листа с другими материалами

молибденовой меди обладает уникальными преимуществами в терморегулировании, электронике и высокотемпературных применениях. По сравнению с другими обычно используемыми материалами (такими как чистая медь, вольфрамовая медь, алюминий-кремний и керамические материалы) его характеристики сбалансированы с точки зрения теплопроводности, теплового расширения, механических свойств и стоимости. Чистая медь имеет чрезвычайно высокую теплопроводность (около 401 Вт/м·К) и электропроводность (100% IACS), но ее коэффициент теплового расширения высок (около  $16,5 \times 10^{-6}$  /К при 25 °C), а высокотемпературная прочность низкая (около 200-250 МПа), что не подходит для высокотемпературной или термоциклической среды; Лист из молибденовой меди (например, Mo60Cu40) имеет немного более низкую теплопроводность (около 200-250 Вт/м·К), но более низкий коэффициент теплового расширения

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



(около  $8-10 \times 10^{-6} / \text{K}$ ), лучшую высокотемпературную стабильность и подходит для электронной упаковки. Теплопроводность композитов из вольфрамовой меди сопоставима с теплопроводностью молибденовой меди (около  $180-220 \text{ Вт/м}\cdot\text{K}$ ), но плотность выше (около  $15-17 \text{ г/см}^3$  против  $9-10 \text{ г/см}^3$  молибденовой меди), стоимость выше, а обработка затруднена; листы из молибденовой меди имеют более низкую плотность, больше преимуществ по стоимости и подходят для легких применений. Алюминиево-кремниевые композиты (такие как  $\text{AlSiC}$ ) имеют немного более низкую теплопроводность (около  $150-200 \text{ Вт/м}\cdot\text{K}$ ), но коэффициент теплового расширения близок к коэффициенту молибденовой меди, а вес меньше, что подходит для аэрокосмической промышленности, но его механическая прочность и высокая термостойкость не так хороши, как у молибденово-медных листов. Керамические материалы (такие как оксид алюминия и нитрид кремния) имеют низкий коэффициент теплового расширения (около  $4-7 \times 10^{-6} / \text{K}$ ), но плохую тепло- и электропроводность (оксид алюминия составляет около  $20-30 \text{ Вт/м}\cdot\text{K}$ ), что не подходит для токопроводящих применений, в то время как молибденово-медные листы обладают как проводимостью, так и возможностями управления теплом. Процесс производства листов из молибдена и меди (например, порошковая металлургия или инфильтрация расплава) относительно отработан, сырьевые материалы молибден и медь имеют большие запасы, высокую пригодность к вторичной переработке и более низкую стоимость, чем вольфрам-медь и некоторые керамические материалы, что делает их весьма конкурентоспособными в области электроники, аэрокосмической промышленности и энергетики.

## 2.8 CTIA GROUP LTD Листовая молибденовая медь Паспорт безопасности

Молибденовый медный лист CTIA GROUP LTD — это руководящий документ, содержащий информацию по безопасности при производстве, транспортировке, хранении и использовании материала, призванный гарантировать, что рабочие, персонал аварийных служб и пользователи понимают его характеристики, потенциальные опасности и требования безопасной эксплуатации.

Молибденовый медный лист — это композитный металлический материал, состоящий из молибдена (CAS No.: 7439-98-7) и меди (CAS No.: 7440-50-8). Название продукта обычно дается по соотношению состава, например,  $\text{Mo85Cu15}$  (85% молибдена, 15% меди) или  $\text{Mo60Cu40}$  (60% молибдена, 40% меди). Его основные области применения включают в себя подложки для рассеивания тепла для электронной упаковки, компоненты терморегулирования в аэрокосмической отрасли и проводящие части силовых модулей. Рекомендуется избегать длительного использования в сильных окисляющих кислотах (например, азотной кислоте) или высокотемпературных кислородсодержащих средах, чтобы предотвратить коррозию или окисление фазы меди.

При нормальных условиях использования листы молибденовой меди представляют собой твердые пластины и не классифицируются как опасные химикаты, но в процессе обработки (например, резка, шлифовка и сварка) может образовываться пыль или металлические осколки, что представляет опасность для здоровья и безопасности. Вдыхание пыли может вызвать легкое раздражение дыхательных путей, а длительный контакт может вызвать дискомфорт в легких;

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



контакт кожи с металлическими осколками может вызвать механическое раздражение или порезы. С точки зрения окружающей среды листы молибденовой меди являются инертными материалами и не вызывают значительного загрязнения воды или почвы, но отходы должны обрабатываться в соответствии с местными правилами. Классификация GHS указывает, что это не опасный химикат, но во время обработки необходимо соблюдать защитные меры.

**Аварийная обработка** Для пыли или мусора, образующихся во время обработки, пораженную область необходимо изолировать и очистить с помощью пыленепроницаемого оборудования (например, пылесоса), чтобы избежать пыли. Собранные материалы следует поместить в герметичные контейнеры и обращаться с ними в соответствии с правилами. Персоналу, занимающемуся уборкой, необходимо носить пылезащитные маски и перчатки. Рекомендуется резать, шлифовать или сваривать в хорошо проветриваемом помещении во время работы, использовать локальное пылеудаляющее оборудование, а операторам следует носить защитные очки, перчатки и пылезащитные маски. При хранении листы молибденовой меди следует помещать в сухое и прохладное место, избегать контакта с сильными окисляющими кислотами или высокотемпературными кислородсодержащими средами и надлежащим образом упаковывать, чтобы предотвратить попадание влаги или механических повреждений.

Контроль воздействия требует установки локальных вытяжных систем в зонах обработки для поддержания концентрации пыли ниже пределов профессионального воздействия (например, ACGIH TLV: 10 мг/м<sup>3</sup> для пыли молибдена и 1 мг/м<sup>3</sup> для пыли меди). Средства индивидуальной защиты включают респираторы класса N95 или выше, защитные очки и износостойкие перчатки. Длительное воздействие требует регулярных медицинских осмотров. Физические и химические свойства листов молибденовой меди различаются в зависимости от соотношения состава. Например, плотность Mo85Cu15 составляет около 10,0 г/см<sup>3</sup>, теплопроводность составляет около 160-180 Вт/м·К, а коэффициент теплового расширения составляет около  $5-7 \times 10^{-6}$  /К; Плотность Mo60Cu40 составляет около 9,6 г/см<sup>3</sup>, теплопроводность составляет около 210-250 Вт/м·К, а коэффициент теплового расширения составляет около  $10-11 \times 10^{-6}$  /К. Материал представляет собой серебристо-серый металлический твердый материал, не имеющий запаха, нерастворимый в воде и химически стабильный.

В нормальных условиях листы молибденовой меди химически стабильны и не вступают в реакцию с водой, воздухом или обычными химикатами. Однако в высокотемпературной кислородсодержащей среде медная фаза может образовывать оксид меди, а молибденовая фаза может образовывать летучие оксиды. Следует избегать контакта с сильными окисляющими кислотами, чтобы предотвратить растворение медной фазы, а пыль от обработки следует хранить вдали от источников огня. С точки зрения токсикологии твердые листы молибденовой меди не обладают значительной токсичностью, а пыль может вызывать легкое раздражение дыхательных путей или кожи. Длительное вдыхание высококонцентрированной пыли может вызвать дискомфорт в легких. С экологической точки зрения листы молибденовой меди не вызывают биоаккумуляции или загрязнения окружающей среды, и отходы следует перерабатывать или утилизировать в соответствии с правилами, например, в соответствии с «Законом о

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

предотвращении и контроле загрязнения окружающей среды твердыми отходами» Китая.

При транспортировке листы молибденовой меди не являются опасным грузом и не требуют особых требований, но они должны быть надлежащим образом упакованы для предотвращения механических повреждений, используя прочные деревянные ящики или пластиковые контейнеры с прикрепленным MSDS. С точки зрения правил материалы соответствуют китайским «Правилам по управлению безопасностью опасных химических веществ» и международным стандартам GHS, а также должны соответствовать правилам охраны труда и техники безопасности. Экспорт соответствует требованиям EU REACH и RoHS.



CTIA GROUP LTD Молибденовый медный лист Фотография

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](http://www.ctia.com.cn)

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

CTIA GROUP LTD  
Molybdenum Copper Sheets Introduction

### 1. Overview of Molybdenum Copper Sheets

Molybdenum-copper (Mo-Cu) sheets are composite materials composed of molybdenum and copper. Thanks to their unique combination of thermal, electrical, and mechanical properties, as well as their tunability, Mo-Cu sheets are widely used in fields such as thermal management, high-performance electronic devices, semiconductors, and aerospace. They are commonly utilized as packaging materials, integrated circuit substrates, heat sinks, and LED thermal dissipation substrates. At CTIA GROUP LTD, we can customize molybdenum-copper products with specific dimensions and compositions according to customer requirements.

### 2. Features of Molybdenum Copper Sheets

**Excellent Electrical Conductivity:** Suitable for applications requiring efficient electrical connections.

**High Thermal Conductivity:** Capable of rapid heat transfer, ideal for electronic devices that require effective thermal dissipation.

**Low Coefficient of Thermal Expansion:** Highly compatible with semiconductor materials like silicon, helping to minimize thermal stress caused by temperature fluctuations and preventing deformation or damage to components.

**Good Workability:** Can be processed through cutting and other techniques into parts of various sizes and shapes to meet diverse application needs.

### 3. Typical Properties of Molybdenum-Copper Alloys

| Material Composition | Density (g/cm <sup>3</sup> ) | Thermal Conductivity (W/M·K at 25°C) | Thermal Expansion Coefficient (10 <sup>-6</sup> /°C) |
|----------------------|------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Mo85Cu15             | 10.00                        | 160-180                              | 6.8                                                  |
| Mo80Cu20             | 9.90                         | 170-190                              | 7.7                                                  |
| Mo70Cu30             | 9.80                         | 180-200                              | 9.1                                                  |
| Mo60Cu40             | 9.66                         | 210-250                              | 10.3                                                 |
| Mo50Cu50             | 9.54                         | 230-270                              | 11.5                                                 |

### 4. Production Method of Molybdenum Copper Sheets

The preparation of molybdenum-copper sheets is primarily carried out using the infiltration method, which takes advantage of molybdenum's high melting point and copper's excellent fluidity. In this process, copper is infiltrated into a molybdenum preform at high temperatures, resulting in the formation of a dense molybdenum-copper composite material.

### 5. Purchasing Information

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com); Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: [molybdenum-copper.com](http://molybdenum-copper.com)

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

## Глава 3 Классификация листов молибденовой меди

### 3.1 Классификация по марке (типичная) Медный молибденовый лист

Классификация листов молибденовой меди в основном основана на соотношении их состава, то есть массовом или объемном процентном содержании молибдена (Mo) и меди (Cu). Различные марки соответствуют определенным эксплуатационным характеристикам для удовлетворения разнообразных потребностей электроники, аэрокосмической промышленности, терморегулирования и проводящих приложений. Наименование марки обычно напрямую указывает на содержание молибдена и меди, например, Mo85Cu15 означает 85% молибдена и 15% меди. Регулируя соотношение молибдена и меди, можно оптимизировать теплопроводность, электропроводность, коэффициент теплового расширения и механические свойства.

#### 3.1.1 Mo85Cu15

Mo85Cu15 — это марка с высоким содержанием молибдена, с 85% молибдена и 15% меди. Она в основном характеризуется высокой прочностью, низким коэффициентом теплового расширения и высокой термостойкостью. Ее плотность составляет около 10,0 г/см<sup>3</sup>, что близко к плотности молибдена. Ее теплопроводность составляет около 160-180 Вт/м·К, ее электропроводность составляет около 20-25% IACS, а ее коэффициент теплового расширения составляет около 5-7×10<sup>-6</sup>/К, что хорошо сочетается с керамическими материалами. Mo85Cu15 обладает превосходными механическими свойствами, твердостью по Виккерсу около 180-220 HV и прочностью на разрыв около 600 МПа, что подходит для применений с высокой нагрузкой. Благодаря высокому содержанию молибдена он обладает превосходной устойчивостью к высоким температурам и может стабильно работать в среде с температурой 600-800 °C. Он обладает сильной коррозионной стойкостью и стойкостью к окислению и подходит для высокотемпературных компонентов в аэрокосмической промышленности (например, компонентов терморегулирования реактивных двигателей), теплообменников в ядерной промышленности и теплоотводящих подложек для силовых полупроводниковых приборов. Mo85Cu15 имеет низкую пластичность и вязкость и немного сложнее в обработке. Его часто производят методом горячего прессования и спекания для обеспечения высокой плотности. Он подходит для сценариев со строгими требованиями к контролю теплового расширения и высокотемпературной стабильности.

#### 3.1.2 Mo80Cu20

Mo80Cu20 — это марка с относительно сбалансированным соотношением молибдена и меди, с 80% молибдена и 20% меди, что позволяет достичь хорошего компромисса между прочностью, теплопроводностью и характеристиками теплового расширения. Его плотность составляет около 9,9 г/см<sup>3</sup>, теплопроводность составляет около 170-200 Вт/м·К, электропроводность составляет около 25-30% IACS, а коэффициент теплового расширения составляет около 6-8×10<sup>-6</sup>/К, что по-прежнему соответствует керамическим материалам, но немного выше, чем у Mo85Cu15. Механические свойства Mo80Cu20 немного ниже, чем у Mo85Cu15, с твердостью по Виккерсу

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



около 160-200 HV и прочностью на разрыв около 500-600 МПа. Пластичность и ударная вязкость улучшены, что подходит для применений, требующих определенных характеристик обработки. Он обладает хорошей устойчивостью к высоким температурам и может стабильно работать в среде с температурой 500-700 °C. Он обладает превосходной коррозионной стойкостью и стойкостью к окислению и подходит для теплоотводящих подложек, радиаторов микроволновых устройств и аэрокосмических структурных деталей в электронной упаковке. Mo80Cu20 производится методом порошковой металлургии или инфильтрации расплава. Метод инфильтрации расплава может оптимизировать распределение фазы меди, улучшить теплопроводность и электропроводность и широко используется в сценариях со всесторонними требованиями к тепловому управлению и механическим свойствам.

### 3.1.3 Mo70Cu30

Mo70Cu30 — это марка с высоким содержанием меди, при этом молибден составляет 70%, а медь — 30%. Ее основными преимуществами являются высокая теплопроводность и высокая электропроводность, и она подходит для эффективного терморегулирования и проводящих применений. Ее плотность составляет около 9,6 г/см<sup>3</sup>, что близко к плотности меди (8,96 г/см<sup>3</sup>), ее теплопроводность составляет около 200-250 Вт/м·К, ее электропроводность составляет около 30-40% IACS, а ее коэффициент теплового расширения составляет около  $8-10 \times 10^{-6}$  /К, что выше, чем у двух предыдущих. Она подходит для сцен с менее строгими требованиями к тепловому расширению. Механические свойства Mo70Cu30 слабые, с твердостью по Виккерсу около 120-160 HV и пределом прочности около 400-500 МПа, но его пластичность и прочность значительно улучшены, и его легко обрабатывать и формовать, что делает его пригодным для изготовления радиаторов или проводящих деталей сложной формы. Его высокая термостойкость немного ниже, а рекомендуемая рабочая температура ниже 400 °C, чтобы избежать размягчения или окисления фазы меди. Его коррозионная стойкость и стойкость к окислению немного ниже, чем у Mo85Cu15 и Mo80Cu20. Он подходит для компонентов терморегулирования оборудования связи 5G, силовых модулей и новых энергетических транспортных средств. Mo70Cu30 часто производится путем инфильтрации расплава, чтобы обеспечить равномерное распределение фазы меди и оптимизировать теплопроводность и характеристики электрического контакта.

### 3.1.4 Mo60Cu40

Листовая молибденовая медь с высоким содержанием меди, с 60% молибдена и 40% меди. Он имеет превосходную теплопроводность и электропроводность в качестве основных характеристик и подходит для эффективного терморегулирования и проводящих применений. Его плотность составляет около 9,3 г/см<sup>3</sup>, что близко к плотности меди (8,96 г/см<sup>3</sup>), а его теплопроводность относительно высока, около 200-250 Вт/м·К, его электропроводность составляет около 30-40% IACS, а его коэффициент теплового расширения составляет около  $8-10 \times 10^{-6}$  /К, что подходит для сцен с относительно свободными требованиями к тепловому расширению. Mo60Cu40 имеет умеренные механические свойства, с твердостью по Виккерсу около 100-140 HV и прочностью на разрыв около 350-450 МПа. По сравнению с марками с

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



высоким содержанием молибдена его пластичность и прочность значительно улучшены, и он легко обрабатывается и формуется, подходит для изготовления радиаторов, проводящих подложек или разъемов со сложной формой. Его высокая термостойкость ограничена содержанием меди. Рекомендуемая рабочая температура составляет ниже 400 °C, чтобы избежать размягчения или окисления фазы меди. Его коррозионная стойкость и стойкость к окислению немного ниже, чем у марок с высоким содержанием молибдена, но он стабилен в неагрессивных химических средах. Mo60Cu40 широко используется в компонентах терморегулирования оборудования связи 5G, силовых полупроводниковых модулях и новых энергетических транспортных средствах, особенно в сценариях, требующих высокой теплопроводности и определенных характеристик обработки. Инфильтрация является его обычным процессом подготовки, который может обеспечить равномерное распределение фазы меди и дополнительно оптимизировать теплопроводность и характеристики электрического контакта. Порошковая металлургия также может использоваться для производства, но для поддержания производительности необходимо обеспечить высокую плотность.

### 3.1.5 Mo50Cu50

Молибденовая медная листовая марка с самым высоким содержанием меди, причем молибден и медь составляют по 50%. Ее основными преимуществами являются чрезвычайно высокая теплопроводность и электропроводность, которые близки к показателям чистой меди, при сохранении определенной механической прочности и термической стабильности. Ее плотность составляет около 9,1 г/см<sup>3</sup>, что очень близко к плотности меди.

Ее теплопроводность составляет около 220-270 Вт/м·К, ее электропроводность составляет около 35-45% IACS, а ее коэффициент теплового расширения составляет около  $10-12 \times 10^{-6}$  /К, что подходит для применений с низкими требованиями к контролю теплового расширения. Механические свойства Mo50Cu50, как правило, гибкие, с твердостью по Виккерсу около 80-120 HV и прочностью на разрыв около 300-400 МПа. Его пластичность и прочность близки к показателям чистой меди, что делает его пригодным для сложных методов обработки, таких как штамповка или гибка. Его высокая термостойкость слабая, а рекомендуемая рабочая температура составляет ниже 350 °C, чтобы предотвратить размягчение или окисление фазы меди при высоких температурах. Его коррозионная стойкость и стойкость к окислению еще больше снижены по сравнению с Mo60Cu40, и необходимо избегать длительного использования во влажных или хлорсодержащих средах. Mo50Cu50 в основном используется для теплоотводящих подложек мощных электронных устройств, проводящих компонентов микроволновых устройств и силовых модулей новых энергетических транспортных средств.

Он особенно подходит для сценариев, требующих эффективной теплопроводности и электропередачи. Метод инфильтрации расплава является предпочтительным процессом подготовки, который может оптимизировать непрерывность фазы меди и улучшить теплопроводность и электропроводность; также может использоваться порошковая металлургия, но поры необходимо строго контролировать, чтобы обеспечить стабильную производительность.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## Листы из молибденовой меди по способу производства

молибденовой меди оказывает значительное влияние на его производительность, микроструктуру и сценарии применения, в основном включая порошковую металлургию и инфильтрацию расплава. Различные процессы влияют на теплопроводность, электропроводность, механические свойства и химическую стабильность, контролируя режим связи молибдена и меди и плотность материала. Ниже подробно описаны характеристики и области применения листов из молибденовой меди, изготовленных методом порошковой металлургии и инфильтрации расплава.

### медный лист, изготовленный методом порошковой металлургии

Листы из молибденовой меди, изготовленные методом порошковой металлургии, изготавливаются путем смешивания порошка молибдена и порошка меди, прессования и высокотемпературного спекания. Они подходят для производства листов из молибденовой меди с различными соотношениями состава, такими как Mo85Cu15, Mo80Cu20 и Mo70Cu30. В этом процессе сначала смешивают порошки молибдена и меди в указанном соотношении, формируют заготовку путем холодного или горячего прессования, а затем спекают под защитой высокотемпературного инертного газа (такого как аргон или азот) для частичного расплавления фазы меди и заполнения пор между частицами молибдена с образованием плотной композитной структуры. Листы из молибденовой меди, изготовленные методом порошковой металлургии, обладают высокой механической прочностью. Прочность на растяжение Mo85Cu15 может достигать 500-600 МПа, а твердость по Виккерсу составляет около 180-220 HV. Они подходят для высокопрочных аэрокосмических высокотемпературных компонентов и электронных корпусных теплоотводящих подложек. Его теплопроводность увеличивается с увеличением содержания меди, например, Mo70Cu30 может достигать 200-250 Вт/м·К, а электропроводность составляет около 30-40% IACS. Порошковая металлургия может точно контролировать пропорцию ингредиентов и подходит для индивидуального производства, но если температура спекания или давление недостаточны, это может привести к наличию микропор, немного снижая теплопроводность и электропроводность. Листы из молибденовой меди, произведенные методом порошковой металлургии, широко используются в силовых полупроводниковых приборах, микроволновых устройствах и компонентах терморегулирования, особенно в сценариях, где требуются высокая прочность и точные размеры, но стоимость обработки высока, и она подходит для высокопроизводительных приложений.

### Лист из молибдена и меди, изготовленный методом инфильтрации расплава

молибденовой меди, изготовленный методом инфильтрации расплава, формируется путем подготовки пористого молибденового скелета, а затем инфильтрации расплавленной меди в поры молибденового скелета для формирования композитного материала. Он подходит для производства марок с высоким содержанием меди, таких как Mo60Cu40 и Mo50Cu50. Процесс сначала прессует и спекает порошок молибдена с помощью технологии порошковой металлургии для формирования пористого молибденового скелета, а затем инфильтрует расплавленную медь в

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

поры скелета при высокой температуре, образуя однородную двухфазную структуру после охлаждения. Лист из молибденовой меди, изготовленный методом инфильтрации расплава, обладает превосходной теплопроводностью и электропроводностью. Теплопроводность Mo60Cu40 может достигать 200-250 Вт/ м·К, а электропроводность составляет около 30-40% IACS. Mo50Cu50 близок к 220-270 Вт/ м·К и 35-45% IACS, что подходит для эффективного терморегулирования и проводящих приложений, таких как оборудование связи 5G и силовые модули новых энергетических транспортных средств. Его механические свойства немного ниже, чем у продуктов порошковой металлургии. Прочность на разрыв Mo60Cu40 составляет около 350-450 МПа, а твердость по Виккерсу составляет около 100-140 HV, но он имеет лучшую пластичность и вязкость, что упрощает обработку сложных форм. Метод инфильтрации расплава оптимизирует теплопроводность и электрические контактные характеристики за счет равномерного распределения фазы меди, но если пористость молибденового скелета не контролируется должным образом, это может привести к локальной неравномерности фазы меди и повлиять на стабильность характеристик. Стоимость листов молибденовой меди, полученных методом инфильтрации расплава, относительно низкая, подходит для массового производства и широко используется в электронных радиаторах и проводящих подложках.

### 3.3 Классификация листов молибденовой меди по области применения

Листы из молибденовой меди можно разделить на листы общего назначения и другие типы специального назначения (например, аэрокосмическая или электронная упаковка) в соответствии с различными потребностями в области применения. Классификация областей применения основана на сопоставлении свойств материала и сценариев использования. Листы из молибденовой меди общего назначения широко используются в различных отраслях промышленности благодаря своим сбалансированным характеристикам. Ниже подробно описаны характеристики и области применения листов из молибденовой меди общего назначения.

#### 3.3.1 Листовая медь с молибденом общего назначения

Лист из молибденовой меди общего назначения — это стандартизированный продукт для удовлетворения потребностей различных отраслей промышленности, обычно включающий такие марки, как Mo80Cu20, Mo70Cu30 и Mo60Cu40. Он имеет сбалансированную теплопроводность, электропроводность, механические свойства и характеристики теплового расширения и подходит для электроники, связи, энергетики и промышленных областей. Его диапазон плотности составляет 9,3-9,8 г/см<sup>3</sup>, теплопроводность составляет около 170-250 Вт/ м·К, электропроводность составляет около 25-40% IACS, а коэффициент теплового расширения составляет около  $6-10 \times 10^{-6}$  /К, что хорошо сочетается с керамикой и полупроводниковыми материалами (такими как оксид алюминия и нитрид кремния). Механические свойства листа из молибденовой меди общего назначения умеренные, с прочностью на растяжение около 350-600 МПа и твердостью по Виккерсу около 100-200 HV. Пластичность и прочность достаточны для поддержки традиционной обработки, такой как резка и штамповка. Его высокая термостойкость может выдерживать рабочие среды 400-700 °C, а его коррозионная стойкость и стойкость к

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

окислению стабильны в неагрессивных средах. Универсальный молибденовый медный лист производится методом порошковой металлургии или инфильтрации расплава. Метод инфильтрации расплава больше подходит для сортов с высоким содержанием меди для оптимизации теплопроводности, а метод порошковой металлургии подходит для высоких требований к прочности. Типичные области применения включают в себя подложки для рассеивания тепла в электронной упаковке, радиаторы в коммуникационном оборудовании, проводящие части силовых модулей и компоненты терморегулирования новых энергетических транспортных средств. Гибкость и экономическая эффективность универсального молибденового медного листа делают его материалом выбора для терморегулирования и токопроводящих применений, удовлетворяя потребности всего: от бытовой электроники до промышленного оборудования.

### 3.3.2 Высокочастотный молибденово-медный лист

Высокочастотные листы из молибденовой меди предназначены для высокочастотного электронного оборудования, уделяя особое внимание удовлетворению потребностей микроволнового, радиочастотного и коммуникационного оборудования в высокой проводимости, низком тепловом расширении и превосходном тепловом управлении.

Марки с более высоким содержанием меди, такие как Mo60Cu40 или Mo50Cu50, обычно выбираются для обеспечения эффективной электропередачи и теплопроводности. Его теплопроводность составляет около 200-270 Вт/м·К, а его электропроводность составляет около 30-45% IACS, что может эффективно снижать потери энергии и накопление тепла при передаче высокочастотного сигнала. Его коэффициент теплового расширения составляет около  $8-12 \times 10^{-6}$  /К, что подходит для керамики или полупроводниковых материалов (таких как нитрид алюминия) в высокочастотных устройствах.

Высокочастотные листы из молибденовой меди являются умеренными, с пределом прочности на разрыв около 300-450 МПа, твердостью по Виккерсу около 80-140 HV, хорошей пластичностью и поддержкой сложной обработки формы, такой как радиаторы микроволновых устройств или подложки антенн. Высокая термостойкость ограничена содержанием меди, а рекомендуемая рабочая температура составляет ниже 400 °C, чтобы избежать окисления фазы меди. Коррозионная стойкость и электрохимическая стабильность хороши в обычных условиях и подходят для базовых станций связи 5G, радиолокационных систем и оборудования спутниковой связи. Инфильтрация является основным процессом подготовки, который оптимизирует электропроводность и теплопроводность за счет равномерного распределения фазы меди. Порошковая металлургия также может использоваться для производства высокоточных компонентов. Обработка поверхности (например, серебрение) часто используется для дальнейшего снижения контактного сопротивления и улучшения высокочастотных характеристик. Высокочастотные листы из молибденовой меди широко используются в усилителях мощности ВЧ, интегральных схемах СВЧ и модулях связи для обеспечения целостности сигнала и термической стабильности.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



### 3.3.3 Листовая молибденовая медь для аэрокосмической промышленности

Лист из молибденовой меди аэрокосмического типа специально разработан для экстремальных условий в аэрокосмической отрасли, подчеркивая высокую прочность, низкое тепловое расширение и отличную устойчивость к высоким температурам. Обычно выбираются марки с более высоким содержанием молибдена, такие как Mo85Cu15 или Mo80Cu20, чтобы справляться с высокими температурами и условиями высокого напряжения. Его плотность составляет около 9,8-10,0 г/см<sup>3</sup>, теплопроводность составляет около 150-200 Вт/м·К, электропроводность составляет около 20-30% IACS, а коэффициент теплового расширения составляет около  $5-8 \times 10^{-6}$  /К, что хорошо сочетается с керамическими материалами и снижает межфазное напряжение в тепловых циклах. Листы из молибденовой меди аэрокосмического типа обладают превосходными механическими свойствами, прочностью на разрыв около 500-600 МПа, твердостью по Виккерсу около 160-220 HV, подходят для выдерживания механических нагрузок и вибраций, отличной стойкостью к высоким температурам, могут стабильно работать в среде 600-800 °С, имеют сильную стойкость к окислению и коррозионную стойкость, подходят для суровой химической среды аэрокосмических устройств. Горячее прессование и спекание являются основными процессами подготовки, обеспечивающими высокую плотность и прочность интерфейса, а инфильтрация расплава также может использоваться для определенных деталей, чтобы сбалансировать стоимость и производительность. Листы из молибденовой меди аэрокосмического типа широко используются в компонентах терморегулирования реактивных двигателей, спутниковых радиаторах и силовых модулях космических аппаратов. Они могут сохранять производительность в условиях высоких температур, высокой вибрации и вакуума, обеспечивая надежность оборудования и длительный срок службы.

### 3.3.4 Фотоэлектрическое устройство типа молибденово-медный лист

Лист из молибденовой меди типа оптоэлектронного устройства предназначен для оптоэлектронных устройств (таких как лазеры, светодиоды и оптические модули связи), уделяя особое внимание удовлетворению требований высокой теплопроводности, низкого теплового расширения и производительности электрических контактов. Марки Mo70Cu30 или Mo60Cu40 обычно выбираются для баланса теплопроводности и соответствия тепловому расширению. Его теплопроводность составляет около 200-250 Вт/м·К, а его электропроводность составляет около 30-40% IACS. Он может быстро рассеивать тепло и защищать оптоэлектронные устройства от термического повреждения. Его коэффициент теплового расширения составляет около  $8-10 \times 10^{-6}$  /К, что хорошо сочетается с оптоэлектронными материалами (такими как арсенид галлия и нитрид кремния), чтобы уменьшить отказ устройства, вызванный термическим напряжением. Механические свойства листа молибденовой меди для оптоэлектронных устройств умеренные, с пределом прочности на разрыв около 350-500 МПа и твердостью по Виккерсу около 100-160 HV. Пластичность поддерживает точную обработку и подходит для изготовления небольших теплорассеивающих подложек или электродов. Высокая термостойкость умеренная, а рекомендуемая рабочая температура ниже 400 °С. Коррозионная стойкость и электрохимическая стабильность отвечают потребностям оптоэлектронных устройств в обычных средах.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## Глава 4 Технология получения молибденово-медного листа

### 4.1 Получение молибденово-медного листа методом порошковой металлургии

Технология порошковой металлургии является одним из основных процессов для подготовки листов молибденовой меди. Она подходит для производства листов молибденовой меди с различными соотношениями состава, такими как Mo85Cu15, Mo80Cu20 и Mo70Cu30. Благодаря точному контролю процесса смешивания, прессования и спекания порошков молибдена и меди достигаются превосходные механические свойства, теплопроводность и электропроводность.

Эта технология перерабатывает металлические порошки в плотные композитные материалы для удовлетворения потребностей электронной упаковки, аэрокосмической промышленности и терморегулирования.

#### 4.1.1 Технологическая схема технологии порошковой металлургии

молибденово -медных листов методом порошковой металлургии включает этапы подготовки порошка, смешивания, прессования, спекания и последующей обработки.

Сначала отбирают и просеивают порошок молибдена высокой чистоты (чистота обычно  $\geq 99,95\%$ ) и порошок меди (чистота обычно  $\geq 99,9\%$ ), чтобы обеспечить однородный размер частиц для улучшения эффекта смешивания. Порошки равномерно смешивают в механическом смесительном устройстве в соответствии с целевым соотношением (например, Mo85Cu15 или Mo70Cu30), и часто добавляют небольшое количество смазки (например, стеариновой кислоты) для улучшения характеристик прессования. Смешанный порошок прессуют в форме с помощью технологии холодного прессования или изостатического прессования, а давление обычно составляет 100-300 МПа для формирования сырого тела с определенной прочностью. Затем сырое тело спекается в высокотемпературной печи для спекания (температурный диапазон 1000-1400 °C) под защитой инертного газа (например, аргона или азота) или водорода, а медная фаза частично расплавляется и заполняет поры между частицами молибдена, образуя плотную структуру композита молибден-медь. Время спекания обычно составляет 2-6 часов в зависимости от состава и условий оборудования.

Спеченный лист молибденовой меди может быть подвергнут последующей обработке, такой как горячее прессование для дальнейшего увеличения плотности или механическая обработка (например, резка, сверление) для соответствия требованиям к размеру. Конечный продукт может быть обработан поверхностью (например, никелированием или золочением) по мере необходимости для повышения стойкости к окислению и характеристик электрического контакта.

Весь процесс позволяет точно контролировать соотношение молибдена и меди, что делает его пригодным для высокопроизводительных применений, таких как высокотемпературные компоненты аэрокосмической отрасли и электронные подложки для рассеивания тепла.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

#### 4.1.2 Преимущества и ограничения технологии порошковой металлургии

Технология порошковой металлургии имеет значительные преимущества в изготовлении молибденово-медных листов, но она также имеет определенные ограничения. С точки зрения преимуществ, эта технология может точно контролировать соотношение молибдена и меди и производить разнообразные марки, такие как Mo85Cu15 и Mo80Cu20, чтобы соответствовать различным требованиям теплопроводности и электропроводности (20-40% IACS). Процесс очень гибкий, и свойства материала можно оптимизировать, регулируя размер частиц порошка, давление прессования и температуру спекания. Например, предел прочности Mo85Cu15 может достигать 500-600 МПа, что подходит для высокопрочных применений.

Порошковая металлургия также позволяет достичь высокой плотности (обычно  $\geq 98\%$  теоретической плотности), гарантируя превосходные механические свойства и эффективность теплопроводности, и подходит для корпусирования электронных компонентов и аэрокосмической отрасли.

Кроме того, эта технология подходит для мелкосерийного индивидуального производства и позволяет изготавливать детали сложной формы, такие как радиаторы для микроволновых устройств. С точки зрения ограничений, себестоимость производства порошковой металлургии относительно высока, включая подготовку высокочистых порошков, прецизионных форм и высокотемпературного оборудования для спекания, с высоким потреблением энергии и расходами на обслуживание оборудования. Если процесс спекания не контролируется должным образом, это может привести к плохому образованию микропор или плохому соединению интерфейсов, снижению теплопроводности и электропроводности, особенно в марках с высоким содержанием меди (таких как Mo60Cu40). Порошковая металлургия предъявляет строгие требования к качеству порошка, а примеси или неравномерный размер частиц могут повлиять на консистенцию материала. Кроме того, процесс спекания необходимо проводить в инертной или восстановительной атмосфере, что увеличивает сложность процесса. По сравнению с другими методами порошковая металлургия широко применяется при производстве высокопроизводительных листов молибденовой меди, но она необходима для баланса стоимости и производительности и подходит для сценариев, требующих высокой точности и высокой надежности.

#### 4.2.1 Поток процесса инфильтрации расплава

молибденовой меди методом инфильтрации расплава включает в себя несколько важных этапов. Первым является подготовка листа молибдена и источника меди. Лист молибдена обычно необходимо очистить перед использованием, чтобы удалить поверхностные оксиды и примеси, что помогает обеспечить хорошее сцепление меди и молибдена в процессе инфильтрации расплава. Источником меди обычно является медный порошок или порошок медного сплава. Выбранный медный порошок имеет соответствующий размер частиц, чтобы он мог лучше проникать в поры листа молибдена после плавления. Затем очищенный лист молибдена и

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

источник меди помещают в высокотемпературную печь и нагревают. Температура постепенно повышается до точки плавления меди (около 1083 °C), чтобы полностью расплавить медь. Расплавленная медная жидкость проникает в поры и микротрещины листа молибдена посредством капиллярного действия, образуя основу композиционного материала молибден-медь. В процессе инфильтрации расплава контроль температуры и времени имеет решающее значение, поскольку если температура слишком высокая или время инфильтрации слишком долгое, это может привести к чрезмерному проникновению меди и повлиять на физические свойства листа молибденовой меди. Поэтому в этом процессе очень важно контролировать температуру инфильтрации расплава в диапазоне от 1100°C до 1200°C и обеспечивать глубину проникновения и однородность меди.

Когда медная жидкость полностью проникнет в поры молибденового листа, вся система войдет в стадию охлаждения. В процессе охлаждения сочетание меди и молибдена постепенно стабилизируется, образуя твердый композитный материал. В это время также очень важен контроль скорости охлаждения, поскольку быстрое охлаждение может вызвать внутреннее напряжение в материале, влияющее на его механические свойства. После охлаждения до комнатной температуры форма и размер молибденового медного листа в основном фиксируются. Наконец, для обеспечения качества поверхности и точности размеров конечного молибденового медного листа обычно требуется постобработка. Этапы постобработки включают удаление излишков меди на поверхности, шлифовку и полировку материала и т. д. для улучшения гладкости и точности размеров молибденового медного листа. При необходимости также может быть выполнена термическая обработка для дальнейшего улучшения механических свойств и теплопроводности молибденового медного листа.

#### 4.2.2 Преимущества и ограничения метода инфильтрации

Метод инфильтрации расплава имеет значительные преимущества. Во-первых, эффективность процесса высока, и медь и молибден могут быть объединены за короткое время для образования стабильного композитного материала. Поскольку процесс инфильтрации расплава может точно контролировать глубину проникновения и распределение меди, различные свойства композитного материала могут быть эффективно оптимизированы, особенно с точки зрения теплопроводности, электропроводности и стойкости к высоким температурам. Метод инфильтрации расплава является высокоадаптируемым и может регулировать содержание меди в соответствии с различными промышленными потребностями для производства листов молибденовой меди с различными свойствами. Кроме того, метод инфильтрации расплава подходит для крупномасштабного производства и может соответствовать требованиям промышленного применения. Он особенно подходит для использования в высокочастотном электронном оборудовании, аэрокосмической отрасли и мощных электрических компонентах.

Однако метод инфильтрации также имеет некоторые ограничения. Во-первых, контроль температуры во время процесса инфильтрации очень важен. Слишком высокая температура или слишком длительное время инфильтрации могут привести к чрезмерному проникновению меди и

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



даже разрушить структуру молибденового листа, что повлияет на эксплуатационные характеристики материала. Во-вторых, если глубина проникновения меди не контролируется должным образом, может возникнуть неравномерность, что приведет к нестабильной работе композитного материала. Кроме того, во время процесса инфильтрации улетучивание и чрезмерное проникновение меди приведут к отходам материала и увеличению производственных затрат. Более того, процесс предъявляет высокие требования к оборудованию, требуя высокотемпературную печь и точную систему контроля температуры, что увеличивает инвестиции в оборудование и сложность эксплуатации. Поэтому, хотя метод инфильтрации имеет высокую эффективность производства, он предъявляет очень строгие требования к контролю процесса и оборудования.

#### 4.3 Применение технологии 3D-печати при изготовлении листов молибденовой меди

Технология 3D-печати предоставляет новые возможности для подготовки листов молибдена и меди, особенно сложных форм и индивидуального производства. В отличие от традиционного литья, спекания и других процессов, 3D-печать использует метод послойной укладки для точного расплавления порошка молибдена и меди и нанесения его слой за слоем с помощью таких технологий, как лазерная плавка или электронно-лучевая плавка для создания сложных геометрических форм и тонких структур. Этот процесс может точно контролировать состав материала и структуру каждого слоя в соответствии с требованиями проекта, гарантируя, что эксплуатационные характеристики композитных материалов молибдена и меди точно контролируются.

В процессе 3D-печати сначала необходимо смешать порошки молибдена и меди, обычно это композитный порошок из порошка молибдена и порошка меди. В процессе печати порошок нагревается до температуры плавления лазерным или электронным лучом, а расплавленная смесь молибдена и меди накапливается слой за слоем на печатной платформе, постепенно образуя трехмерную структуру. Благодаря высокой гибкости технологии 3D-печати можно изготавливать листы молибдена и меди со сложной формой и точными структурами, что особенно подходит для мелкосерийного производства, требующего высокой степени настройки.

Одним из основных преимуществ технологии 3D-печати является то, что она позволяет достичь точного контроля над распределением материалов, тем самым улучшая общую производительность материалов. По сравнению с традиционными методами, 3D-печать превосходит другие в плане экономии материалов, повышения эффективности производства и сокращения отходов и особенно подходит для приложений со сложными структурами и высокими требованиями к точности. Кроме того, технология 3D-печати также может корректировать состав и структуру материала в реальном времени в процессе производства, делая конструкцию листов молибденовой меди более гибкой.

Однако технология 3D-печати также имеет некоторые ограничения. Во-первых, хотя процесс печати отличается высокой гибкостью, скорость печати относительно низкая, особенно при

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

крупномасштабном производстве, и может быть несопоставима с традиционными производственными процессами. Во-вторых, оборудование, используемое для 3D-печати, является дорогостоящим и требует высоких навыков оператора. Поскольку печать композитных материалов из молибдена и меди требует высокой температуры и точно контролируемой среды, это требует от оборудования высокой производительности. Кроме того, поверхность листа из молибдена и меди после 3D-печати может быть шероховатой и требует последующей обработки, такой как шлифовка и полировка, для достижения идеальной отделки поверхности и точности размеров.



CTIA GROUP LTD Молибденовый медный лист Фотография

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Copper Sheets Introduction

1. Overview of Molybdenum Copper Sheets

Molybdenum-copper (Mo-Cu) sheets are composite materials composed of molybdenum and copper. Thanks to their unique combination of thermal, electrical, and mechanical properties, as well as their tunability, Mo-Cu sheets are widely used in fields such as thermal management, high-performance electronic devices, semiconductors, and aerospace. They are commonly utilized as packaging materials, integrated circuit substrates, heat sinks, and LED thermal dissipation substrates. At CTIA GROUP LTD, we can customize molybdenum-copper products with specific dimensions and compositions according to customer requirements.

2. Features of Molybdenum Copper Sheets

- Excellent Electrical Conductivity:** Suitable for applications requiring efficient electrical connections.
- High Thermal Conductivity:** Capable of rapid heat transfer, ideal for electronic devices that require effective thermal dissipation.
- Low Coefficient of Thermal Expansion:** Highly compatible with semiconductor materials like silicon, helping to minimize thermal stress caused by temperature fluctuations and preventing deformation or damage to components.
- Good Workability:** Can be processed through cutting and other techniques into parts of various sizes and shapes to meet diverse application needs.

3. Typical Properties of Molybdenum-Copper Alloys

| Material Composition | Density (g/cm³) | Thermal Conductivity (W/M·K at 25°C) | Thermal Expansion Coefficient (10 <sup>-6</sup> /°C) |
|----------------------|-----------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Mo85Cu15             | 10.00           | 160-180                              | 6.8                                                  |
| Mo80Cu20             | 9.90            | 170-190                              | 7.7                                                  |
| Mo70Cu30             | 9.80            | 180-200                              | 9.1                                                  |
| Mo60Cu40             | 9.66            | 210-250                              | 10.3                                                 |
| Mo50Cu50             | 9.54            | 230-270                              | 11.5                                                 |

4. Production Method of Molybdenum Copper Sheets

The preparation of molybdenum-copper sheets is primarily carried out using the infiltration method, which takes advantage of molybdenum's high melting point and copper's excellent fluidity. In this process, copper is infiltrated into a molybdenum preform at high temperatures, resulting in the formation of a dense molybdenum-copper composite material.

5. Purchasing Information

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com); Phone: +86 592 5129595; 592 5129696  
Website: [molybdenum-copper.com](http://molybdenum-copper.com)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## Глава 5 Основное оборудование для производства молибденово-медного листа

### 5.1 Оборудование для производства порошковой металлургии листов из молибденовой меди

Технология порошковой металлургии является широко используемым методом при изготовлении молибденово-медных листов. В основном она формирует конечный молибденово-медный композитный материал путем смешивания порошка молибдена и медного порошка, а затем прессования и спекания. В течение всего производственного процесса качество и однородность порошка имеют решающее значение для производительности молибденово-медного листа. Поэтому оборудование для приготовления порошка становится ключевым звеном в производственном процессе.

#### 5.1.1 Оборудование для приготовления порошка

Первым этапом технологии порошковой металлургии является подготовка порошка. Обычное оборудование включает шаровые мельницы и распылители, которые используются для переработки молибденового и медного сырья в тонкие, однородные порошки. Качество порошка напрямую влияет на эффект последующей подготовки молибденово-медных листов, поэтому очень важно выбрать правильное оборудование для подготовки порошка.

##### 5.1.1.1 Шаровая мельница

В области технологии порошковой металлургии шаровые мельницы, как оборудование для подготовки основного порошка, занимают важное место в производстве композитных материалов молибден-медь с их эффективной и стабильной работой. Композитные материалы молибден-медь сочетают в себе высокую температуру плавления и низкие характеристики расширения молибдена с высокой электропроводностью и хорошей теплопроводностью меди. Они широко используются в таких высокотехнологичных областях, как электронная упаковка и аэрокосмическая промышленность, а шаровые мельницы являются ключевым оборудованием для достижения тонкой обработки их сырьевых порошков. Принцип работы шаровой мельницы основан на динамике и механохимических эффектах. Когда оборудование работает, внутренние мелющие шары (в основном из нержавеющей стали, оксида циркония или карбида вольфрама) приводятся в движение высокоскоростным вращающимся цилиндром, образуя сложную траекторию движения, такую как падение, скольжение и качение. Когда шары для помола вступают в контакт с порошками молибденового и медного сырья, мгновенно возникающая ударная сила может измельчать крупные частицы, а трение между шарами для помола и стенкой цилиндра дополнительно измельчает порошок, достигая измельчения частиц. В этом процессе порошок не только претерпевает физические изменения размера, но и увеличивается его поверхностная активность и степень искажения решетки, что создает хорошие условия для последующего процесса спекания. Точный контроль параметров процесса является основой применения шаровой мельницы. Увеличивая время шаровой мельницы, можно уменьшить размер частиц порошка с начальных десятков микрон до субмикронного уровня, но слишком долгое

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



время может привести к холодной сварке агломерации; регулировка скорости вращения (обычно контролируемая на уровне 60% -80% от критической скорости) может изменить режим движения мелющих шаров, высокая скорость вращения усиливает ударное дробление, а низкая скорость вращения фокусируется на измельчении и измельчении; и выбор мелющих шаровых сред (например, соотношение размеров, твердость материала) напрямую влияет на эффективность дробления - стальные шары большого диаметра способствуют грубому дроблению, а циркониевые шары с малым размером частиц подходят для тонкого измельчения. Компания уменьшила средний размер частиц композитного порошка молибдена и меди с 15 мкм до 1,2 мкм за счет оптимизации параметров шаровой мельницы, значительно улучшив плотность и прочность связи между материалами. Преимущества самого оборудования еще больше способствуют его широкому применению. Крупногабаритные промышленные шаровые мельницы могут обрабатывать до нескольких тонн материала одновременно, а благодаря автоматической системе подачи они могут удовлетворить потребности крупномасштабного производства; их модульная конструкция позволяет легко заменять и обслуживать такие компоненты, как цилиндр, футеровка и мелющие шары, а также обеспечивает высокую стабильность работы.

На линии по производству электронных упаковочных материалов из молибдена и меди после непрерывной работы шаровой мельницы в течение 3000 часов колебания размера частиц порошка по-прежнему контролируются в пределах  $\pm 5\%$ , что эффективно обеспечивает однородность качества продукции. Кроме того, процесс шаровой мельницы очень толерантен к форме сырья. Будь то сыпучие отходы или порошок высокой чистоты, его можно перерабатывать или тонко обрабатывать с помощью этого оборудования, которое соответствует концепции зеленого производства и стало незаменимым базовым оборудованием для порошковой металлургии.

#### 5.1.1.2 Оборудование для распыления

Оборудование для распыления — еще один часто используемый инструмент для подготовки порошка, особенно подходящий для подготовки порошков из сплавов меди и молибдена. Метод распыления распыляет расплавленный металл на мельчайшие капли, которые охлаждаются и затвердевают, образуя мелкий металлический порошок. По сравнению с шаровыми мельницами оборудование для распыления может производить более однородные порошки, особенно с точки зрения распределения размера частиц и контроля морфологии. Распыленный порошок имеет более мелкий размер частиц и хорошую текучесть и диспергируемость, что очень подходит для точной обработки и высокопроизводительной подготовки материалов в порошковой металлургии.

Оборудование для распыления обычно включает в себя различные типы, такие как газовое распыление и центробежное распыление. Выбор правильного метода распыления может эффективно улучшить качество порошка. Оборудование для газового распыления использует газ высокого давления для распыления расплавленного металла в капли тумана и получения тонкого порошка после охлаждения. Этот метод особенно подходит для производства порошка из сплава

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

молибдена и меди, что может улучшить однородность и стабильность порошка, тем самым помогая улучшить характеристики последующих листов молибдена и меди.

Преимущество оборудования для распыления заключается в том, что оно может быстро и эффективно производить высококачественный металлический порошок, который подходит для крупномасштабного промышленного производства. Путем точной настройки параметров процесса распыления можно получить желаемые свойства порошка для удовлетворения производственных потребностей различных молибденово-медных листов.

### 5.1.2 Оборудование для формования порошков

Формование порошка является важнейшим этапом в процессе порошковой металлургии. Его цель — спрессовать смешанный порошок молибдена и меди в заготовку с требуемой формой и плотностью под действием внешней силы, заложив основу для последующего процесса спекания. Обычно используемое оборудование для формования порошка включает гидравлические прессы и изостатические прессы.

#### 5.1.2.1 Гидравлический пресс (для холодной штамповки молибденово-медных заготовок)

Гидравлические прессы широко используются при холодном прессовании в порошковой металлургии, особенно в процессе подготовки листов молибденовой меди. Гидравлический пресс обеспечивает равномерное давление через гидравлическую систему для прессования смешанного порошка молибденовой меди в заготовку желаемой формы. Оборудование способно обеспечить высокое давление для обеспечения хорошего контакта между порошками, тем самым улучшая плотность и однородность заготовки. В процессе холодного прессования порошок молибденовой меди помещается в форму, а гидравлический пресс прикладывает давление, и порошок сжимается и формируется в заготовку. Контроль давления и времени в процессе формования имеет решающее значение и может повлиять на плотность и прочность заготовки. Преимущество гидравлического прессы заключается в том, что он может обрабатывать большие количества порошка, обеспечивая при этом стабильное качество сформированной заготовки. Применение гидравлического прессы не ограничивается производством листов молибденовой меди, но также широко используется в порошковом формовании других металлов и сплавов. Оборудование просто в эксплуатации и обслуживании, подходит для непрерывного и серийного производства, может удовлетворить потребности промышленного производства.

#### 5.1.2.2 Изостатическое прессование

Изостатический пресс — это формовочное устройство, которое прикладывает равномерное статическое давление к порошковым материалам и может прикладывать одинаковое давление во всех направлениях, чтобы обеспечить однородность и плотность формованной заготовки. Самым большим преимуществом изостатического прессования является то, что оно может эффективно увеличить плотность заготовки и обеспечить равномерное распределение медного порошка и

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

молибденового порошка в композиционном материале молибден-медь, тем самым улучшая стабильность качества в ходе последующего процесса спекания.

Молибденово-медный порошок равномерно распределяется в закрытой форме. Применяя гидравлическое или пневматическое давление, порошок подвергается равномерному давлению во всех направлениях одновременно, чтобы сформировать заготовку высокой плотности. В отличие от гидравлических прессов, изостатические прессы могут применять более равномерное давление, делая физические свойства сформированной заготовки более последовательными во всех направлениях, что особенно подходит для производства листов молибдена и меди, требующих высокой плотности. Преимущество изостатического прессы заключается в том, что он может достигать более высокой плотности при более низком давлении, что особенно подходит для некоторых изделий, требующих высокой однородности и точности. Изостатический пресс может гарантировать, что порошок молибдена и меди полностью интегрируется в процессе формования, улучшить структуру композитного материала и, таким образом, улучшить качество сформированной заготовки. Хотя стоимость оборудования относительно высока, оно по-прежнему широко используется в производстве высококачественных изделий порошковой металлургии из-за его превосходного эффекта формования.

### 5.1.3 Оборудование для спекания

Спекание является последним этапом в процессе порошковой металлургии. Он объединяет металлические частицы в порошке вместе посредством высокой температуры, чтобы сформировать композиционный материал молибдена и меди с плотной структурой. Оборудование для спекания играет ключевую роль во всем процессе производства и влияет на конечные характеристики листа молибдена и меди. Обычно используемое оборудование для спекания включает в себя вакуумные печи для спекания, печи для спекания в атмосфере и т. д. В процессе спекания сформированная заготовка из молибдена и меди помещается в печь для спекания и нагревается до определенной температуры, чтобы обеспечить диффузию и связь между частицами порошка молибдена и меди. Контроль температуры спекания, времени и атмосферы имеет жизненно важное влияние на качество спекания. В условиях высокой температуры на границе раздела между молибденом и медью будет происходить физическая и химическая реакция, постепенно образуя прочную связь.

Вакуумная спекательная печь и атмосферная спекательная печь являются наиболее распространенным оборудованием для спекания в настоящее время. Вакуумная спекательная печь в основном используется для производства молибденовых медных листов, которые необходимо спекать в бескислородной среде, что позволяет избежать реакций окисления и улучшить качество материалов. Атмосферная спекательная печь подходит для спекания в условиях контролируемой атмосферы. Регулируя состав атмосферы в печи (такой как азот, водород и т. д.), можно эффективно контролировать процесс спекания материала и эксплуатационные характеристики материала после спекания. Выбор оборудования для спекания необходимо определять в соответствии с конкретными требованиями к молибденовому медному листу. Например,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

вакуумная спекательная печь подходит для продуктов со строгими требованиями к окислению и атмосфере, в то время как атмосферная спекательная печь подходит для производства крупномасштабных и эффективных молибденовых медных листов. В промышленном производстве стабильность и эффективность спекательного оборудования напрямую влияют на выход и себестоимость продукции. Поэтому разумный выбор оборудования для спекания является одним из ключей к обеспечению качества медно-молибденовых листов.

#### **5.1.3.1 Вакуумная печь для спекания (используется для высокотемпературного спекания, контролируемая атмосфера для предотвращения окисления)**

Вакуумные печи для спекания широко используются при производстве листов молибденовой меди, особенно когда спекание требуется в бескислородной или контролируемой атмосфере. Вакуумная печь для спекания создает среду, близкую к вакууму, путем откачки воздуха из печи, тем самым избегая реакции окисления, вызванной контактом металла с кислородом при высокой температуре. Молибденовые и медные материалы могут сохранять свои первоначальные физические и химические свойства в этой среде, избегать образования оксидной пленки и обеспечивать электропроводность, теплопроводность и высокую термостойкость листа молибденовой меди. В вакуумной печи для спекания температура, давление и время процесса спекания точно контролируются в соответствии со свойствами материала и требованиями к продукту. В вакуумной среде температура спекания обычно выше, что помогает диффузии и связыванию между частицами металла достичь идеальной плотности и прочности. Вакуумная печь для спекания также имеет функцию регулировки атмосферы. Регулируя состав газа в печи (например, азот, водород и т. д.), можно дополнительно контролировать реакцию во время процесса спекания, чтобы улучшить механические свойства и качество поверхности листа молибденовой меди. Преимущество вакуумной печи для спекания заключается в том, что она может эффективно предотвращать реакции окисления, улучшать чистоту и качество спекенных материалов и особенно подходит для производства листов молибденовой меди со строгими требованиями к окислению. Он широко используется в аэрокосмической промышленности, высокотехнологичном электронном оборудовании и при подготовке материалов в условиях высоких температур.

#### **5.1.3.2 Печь для горячего прессования и спекания**

Печь для спекания горячего прессования объединяет два процесса горячего прессования и спекания и подходит для процесса спекания листов молибденовой меди, требующих одновременного приложения давления при высоких температурах. В отличие от традиционных методов спекания, печь для спекания горячего прессования не только обеспечивает тепло во время процесса спекания, но и прикладывает определенное давление для содействия тесной связи между частицами порошка. Прикладывая давление, печь для спекания горячего прессования может улучшить плотность и механические свойства материала и особенно подходит для производства высокоплотных, высокопрочных композиционных материалов из молибдена и меди. Принцип работы печи для спекания горячего прессования заключается в том, чтобы поместить

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**



порошковую заготовку в форму, применить давление во время нагрева и заставить частицы порошка молибдена и меди деформироваться и сплавляться при температуре спекания.

Этот процесс может обеспечить более высокую плотность и более равномерное распределение частиц, тем самым улучшая общую производительность материала. Печь для спекания горячего прессования подходит для продуктов, которые требуют особенно плотных и высокопрочных требований, особенно в высокотехнологичных областях, таких как высокоомощные электронные компоненты и аэрокосмические материалы. Преимущество печи для спекания горячего прессования заключается в том, что она может достигать более высокой плотности за более короткое время и может точно контролировать эффект спекания, регулируя давление и температуру для улучшения физических свойств молибденово-медного листа. Ее недостатки заключаются в том, что оборудование является относительно сложным, а инвестиции высоки, но для производства высокопроизводительных молибденово-медных листов печь для спекания горячего прессования по-прежнему является незаменимым оборудованием.

#### 5.1.4 Оборудование для постобработки

Оборудование для последующей обработки играет важную роль в процессе производства молибденовых медных листов и в основном используется для улучшения механических свойств, качества поверхности и точности формы молибденовых медных листов.

Обычное оборудование для последующей обработки включает печи для термообработки и прецизионные шлифовальные станки, которые помогают улучшить конечные характеристики молибденовых медных листов.

##### 5.1.4.1 Печь для термической обработки

Печи для термообработки используются в процессе термообработки листов молибденовой меди, в основном путем нагрева и управления скоростью охлаждения для изменения кристаллической структуры материала, тем самым улучшая его твердость, прочность и износостойкость. Печи для термообработки обычно используют точные системы контроля температуры для отжига, старения или закалки листов молибденовой меди при определенной температуре для достижения требуемых физических свойств. Роль печей для термообработки в производстве листов молибденовой меди особенно важна, особенно для улучшения внутренней структуры материалов и устранения внутреннего напряжения. Процесс термообработки может эффективно изменять организационную структуру листов молибденовой меди, улучшать их механические свойства и повышать их устойчивость к тепловому расширению, окислению и коррозии путем регулирования температуры нагрева и времени выдержки. Благодаря термообработке можно значительно улучшить плотность, поверхностную твердость и усталостную прочность листов молибденовой меди. Существует множество типов печей для термообработки, включая камерные печи, шахтные печи, вращающиеся печи и т. д. Выбор подходящей печи для термообработки

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

может обеспечить стабильность и равномерность процесса термообработки, тем самым улучшая качество и эксплуатационные характеристики листов молибденовой меди.

#### 5.1.4.2 Прецизионные шлифовальные станки

Прецизионные шлифовальные станки используются для поверхностной обработки листов молибденовой меди, в основном для удаления неровностей на поверхности и улучшения отделки поверхности. Прецизионные шлифовальные станки используют высокоскоростные вращающиеся шлифовальные круги для тонкого шлифования поверхности листов молибденовой меди, что позволяет удалять грубые участки поверхности и позволяет листам молибденовой меди достигать требуемой точности размеров и качества поверхности. Прецизионные шлифовальные станки играют важную роль в последующей обработке листов молибденовой меди, особенно в приложениях с высокими требованиями к точности, где прецизионные шлифовальные станки могут обеспечить высококачественные эффекты обработки поверхности. Прецизионные шлифовальные станки могут не только гарантировать, что поверхность листов молибденовой меди будет гладкой и бездефектной, но и сделать их размеры более точными и соответствовать техническим требованиям. Прецизионные шлифовальные станки имеют широкий спектр применения, включая контурную отделку, шлифовку поверхности и регулировку размера листов молибденовой меди. Благодаря обработке прецизионных шлифовальных станков листы молибденовой меди могут достигать более высокой точности и адаптироваться к более требовательным рабочим средам и требованиям к применению.

### 5.2 Оборудование для производства инфильтрационного покрытия из молибденово-медного листа

Инфильтрация является важной технологией в производстве молибденово-медных листов. Она образует молибденово-медный композитный материал путем плавления меди и инфильтрации ее в поры молибденового листа. В этом процессе выбор соответствующего производственного оборудования имеет решающее влияние на производительность и качество конечного материала. Основное производственное оборудование метода инфильтрации включает гидравлические прессы и вакуумные спекательные печи, которые используются для формования порошка молибдена и спекания и инфильтрации молибденово-медных композитных материалов соответственно.

#### 5.2.1 Гидравлический пресс (для прессования молибденового порошка в форму)

Гидравлический пресс в методе инфильтрации медного листа молибдена в основном используется для прессования порошка молибдена в форму на начальном этапе. Формование порошка молибдена является первым шагом метода инфильтрации, который определяет качество последующей инфильтрации меди и конечного медного листа молибдена. Гидравлический пресс использует высокое давление для прессования порошка молибдена в заготовку определенной

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

формы и плотности. Оборудование может обеспечить стабильное давление, так что порошок молибдена равномерно распределяется в форме, тем самым получая плотный скелет молибдена.

Преимуществом гидравлических прессов является точность регулирования давления. Сила и время прессования могут быть отрегулированы по мере необходимости для обеспечения плотности и однородности заготовки из молибденового порошка. Сформированный молибденовый скелет будет отправлен на следующий этап процесса инфильтрации. Гидравлические прессы подходят не только для производства листов из молибденовой меди, но и широко используются для формования других металлических порошков. Они обладают такими преимуществами, как простота эксплуатации, высокая стабильность и высокая эффективность производства.

### **5.2.2 Вакуумная спекательная печь (для спекания молибденового скелета и инфильтрации меди)**

Вакуумная спекательная печь играет важную роль в методе инфильтрации молибденово-медного листа. Она в основном используется для спекания молибденового скелета и инфильтрации меди. После формирования молибденового скелета частицы молибденового порошка должны быть соединены в плотную молибденовую матрицу посредством процесса спекания в вакууме или определенной атмосфере, чтобы обеспечить механическую прочность и структурную устойчивость композиционного материала молибден-медь.

В вакуумной спекательной печи сформированный молибденовый скелет сначала помещается в печь и спекается при высокой температуре. Вакуумная среда может эффективно предотвратить реакцию молибденового материала с кислородом при высокой температуре, избежать процесса окисления и сохранить чистоту и стабильность молибдена. После спекания в печь добавляется источник меди (обычно медный порошок или порошок медного сплава), и медь плавится при нагревании в печи. Расплавленная медная жидкость начинает проникать в поры молибденового скелета, образуя композитную структуру молибден-медь.

Ключевым преимуществом вакуумной печи для спекания является то, что она может выполнять спекание и инфильтрацию в строго контролируемой вакуумной среде, что позволяет эффективно избегать реакций окисления и обеспечивать превосходные характеристики молибденово-медного листа. Вакуумная печь для спекания может точно контролировать процесс спекания, регулируя температуру и состав атмосферы, тем самым оптимизируя конечное качество молибденово-медного листа. Для молибденовых материалов, которые легко окисляются при высоких температурах, вакуумная печь для спекания является ключевым оборудованием для обеспечения производства высококачественных молибденово-медных композитных материалов.

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

## Глава 6 Методы и оборудование для испытаний эксплуатационных характеристик медно-молибденовых листов

### 6.1 Испытание плотности медно-молибденового листа

Плотность является одним из важных физических свойств для измерения качества молибденового медного листа, которое напрямую влияет на механические свойства, электропроводность и теплопроводность материала.

Обычно используемый метод испытания плотности - метод дренажа Архимеда, который является простым и высокоточным методом измерения, широко используемым в процессе производства молибденового медного листа.

#### 6.1.1 Принцип и действие метода архимедова дренажа

Метод архимедова вытеснения основан на принципе плавучести, который гласит, что когда объект полностью погружен в жидкость, он вытесняет объем жидкости, равный объему объекта. Измеряя объем, вытесненный объектом в жидкости, можно рассчитать плотность объекта. Для проведения этого теста вам сначала понадобятся электронные весы и достаточное количество жидкости (воды или другой подходящей жидкости). Плотность жидкости необходимо знать, обычно используется вода плотностью 1 г/см³. Убедитесь, что жидкость в емкости чистая и не содержит пузырьков.

Сначала используйте электронные весы для измерения сухого веса листа молибденовой меди (массы, не погруженной в жидкость) и запишите значение массы. Затем полностью погрузите лист молибденовой меди в жидкость, убедившись, что объект не находится во взвешенном состоянии и не имеет пузырьков.

Во время процесса погружения необходимо убедиться, что лист молибденовой меди полностью окружен жидкостью, чтобы избежать каких-либо ошибок. После погружения листа молибденовой меди измерьте плавающую массу, которую он создает в жидкости, и запишите ее как мокрый вес. Объем листа молибденовой меди можно рассчитать, используя следующую формулу:

$$V = \frac{m_1}{\rho_{\text{жидкость}}}$$

Среди них  $m_1$  — сухой вес листа молибденовой меди, а  $\rho_{\text{жидкость}}$  — плотность жидкости. Далее формула плотности:

$$\rho_{\text{молибден}} = \frac{m_1}{V}$$

Благодаря этому методу метод архимедова дренажа может точно измерить плотность листа молибденовой меди и избежать недостатка повреждения образца. Он особенно подходит для проверки плотности металлических материалов.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## 6.2 Испытание пористости листа молибденовой меди

Пористость является важным показателем для измерения внутренней микроструктуры листа молибденовой меди, которая напрямую влияет на механическую прочность, теплопроводность и электропроводность материала. Испытание пористости достигается путем наблюдения и расчета металлографического микроскопа, что может обеспечить высокоточные результаты измерений. Этот метод испытания наблюдает за микроструктурой поверхности листа молибденовой меди, определяет наличие и распределение пор и вычисляет пористость.

### 6.2.1 Наблюдение и расчет с помощью металлографического микроскопа

Металлографическая микроскопия — это метод микроскопического анализа с высоким разрешением, который может точно выявить микроструктуру листов молибденовой меди. Перед проведением испытания на пористость необходимо подготовить образцы листов молибденовой меди. Образцы сначала нарезаются для получения тестовых образцов подходящего размера. Затем тестовые образцы металлографически полируются, чтобы убедиться, что их поверхности гладкие и ровные без явных дефектов или царапин, чтобы их можно было четко наблюдать под микроскопом. В процессе полировки используется наждачная бумага различной зернистости для постепенной полировки поверхности образца для получения идеальной отделки.

Затем образец подвергается травлению. Цель травления — использовать химические реагенты для обработки поверхности образца, улучшения видимости пор и границ зерен, а также для облегчения идентификации пор. Обычно используемые растворы для травления включают аммиачную воду, хлорид железа и т. д. Конкретные используемые химические реагенты зависят от материала образца и микроструктурных характеристик, которые необходимо наблюдать.

После подготовки образца его помещают под металлографический микроскоп для наблюдения. Микроскоп обеспечивает получение изображений с высоким разрешением, которые могут увеличивать поверхность листа молибденовой меди в несколько сотен раз или даже больше, точно отображая морфологию и распределение пор. Регулируя увеличение микроскопа, можно наблюдать микроструктуру на разных уровнях, уделяя особое внимание выявлению дефектных участков, таких как поры и трещины. Поры обычно выглядят как черные или прозрачные области, демонстрируя физические свойства, отличные от свойств металлической матрицы.

Чтобы рассчитать пористость, сначала нужно сделать снимки под микроскопом. Эти снимки будут использоваться для последующего анализа и автоматизированной обработки с помощью программного обеспечения для анализа изображений. Программное обеспечение может автоматически идентифицировать области пор на изображении на основе различных алгоритмов и вычислять соотношение площадей пор. Обычно программное обеспечение для анализа изображений использует различные цвета, чтобы отличить область пор от области металла и вычислить соотношение площадей, занимаемых порами. Пористость рассчитывается по формуле:

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$$\text{孔隙率} = \frac{\text{孔隙区域的面积}}{\text{总面积}} \times 100\%$$

По этой формуле можно получить пористость образца. Для обеспечения точности результатов испытаний обычно необходимо провести несколько измерений в разных областях и взять среднее значение. Преимущество металлографического микроскопа в том, что он может обеспечить получение изображений с высоким разрешением, благодаря чему можно четко отобразить мельчайшие поры и дефекты, что позволяет точнее оценить пористость листов молибденовой меди. Внедрение программного обеспечения для анализа изображений делает весь процесс испытаний пористости более эффективным и точным, а также снижает человеческие ошибки.

### 6.3 Испытание на растяжение листа молибденовой меди

Испытание на растяжение является важным методом оценки механических свойств листов молибденовой меди. В основном оно используется для измерения характеристик напряжения-деформации материалов при растяжении, которые могут отражать их прочность, пластичность и вязкость.

Испытание на растяжение обычно проводится с использованием универсальной испытательной машины для материалов, которая может точно контролировать приложение нагрузок и регистрировать деформацию листов молибденовой меди в процессе растяжения.

#### 6.3.1 Использование универсальной испытательной машины для материалов

Универсальная испытательная машина для материалов — это широко используемое механическое испытательное оборудование, которое широко используется для испытаний механических свойств, таких как растяжение, сжатие и изгиб материалов. При испытании на растяжение образец листа молибденовой меди помещается между двумя зажимами испытательной машины. Испытательная машина деформирует образец во время приложения силы, прикладывая постепенно увеличивающееся растягивающее усилие до тех пор, пока материал не разорвется или не достигнет максимальной несущей способности. Во время работы сначала зажмите два конца листа молибденовой меди в зажиме испытательной машины, чтобы гарантировать, что положение зажима зафиксировано, чтобы избежать ошибок испытания, вызванных нестабильным зажимом. Затем испытательная машина прикладывает растягивающее усилие с постоянной скоростью, контролируя удлинение образца.

Во время процесса растяжения испытательная машина автоматически регистрирует данные о нагрузке и деформации и получает важные параметры, такие как предел прочности на растяжение, предел текучести и удлинение материала посредством анализа данных. Универсальная испытательная машина для материалов может обеспечить надежную основу для оценки производительности листов молибденовой меди, контролируя скорость растяжения и регистрируя точные механические данные. Он широко используется при контроле качества, а также в

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

исследованиях и разработках листов молибденовой меди, что помогает оптимизировать эксплуатационные характеристики материалов.

#### 6.4 Испытание на изгиб листа молибденовой меди

Испытание на изгиб используется для определения способности материалов к деформации под нагрузкой изгиба и оценки их прочности на изгиб и вязкости. Испытание на изгиб обычно использует метод трехточечного изгиба и метод четырехточечного изгиба, которые широко используются при испытании производительности листов молибденовой меди и других металлических материалов.

##### 6.4.1 Метод трехточечного изгиба

Метод трехточечного изгиба является одним из наиболее распространенных методов испытания на изгиб. Он прикладывает сосредоточенную нагрузку перпендикулярно поверхности листа молибденовой меди в середине, чтобы вызвать деформацию изгиба при поддержке с обоих концов. Во время испытания лист молибденовой меди помещается между двумя опорными точками, а равномерная нагрузка прикладывается посередине. По мере увеличения нагрузки лист молибденовой меди будет изгибаться до предела текучести или точки разрыва материала.

Этот метод позволяет интуитивно измерить прочность на изгиб и жесткость на изгиб листов молибденовой меди. Наблюдая за разрушением или пластической деформацией образца во время процесса изгиба, можно оценить сопротивление материала изгибу. При производстве листов молибденовой меди метод трехточечного изгиба особенно подходит для испытания характеристик материала при воздействии сосредоточенных нагрузок во время фактического использования. Преимущества метода трехточечного изгиба заключаются в том, что процесс испытания прост, подходит для образцов разных размеров и толщины, прост в эксплуатации и позволяет быстро получить надежные данные о характеристиках изгиба.

##### 6.4.2 Метод четырехточечного изгиба

Метод четырехточечного изгиба — еще один часто используемый метод испытания на изгиб. Разница между ним и методом трехточечного изгиба заключается в способе приложения нагрузки. Метод четырехточечного изгиба формирует равномерное изгибающее напряжение на листе молибденовой меди путем приложения равномерной нагрузки между двумя точками образца и приложения дополнительного двухточечного давления между опорными точками. По сравнению с методом трехточечного изгиба, метод четырехточечного изгиба может обеспечить более равномерное распределение напряжения на образце, избежать влияния концентрированного напряжения и более точно отразить сопротивление материала изгибу.

Во время испытания образец листа молибденовой меди помещается между двумя опорными точками, а приложенная нагрузка прикладывается к центральной области образца посредством двухточечного давления. По мере увеличения нагрузки деформация изгиба листа молибденовой

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

меди постепенно увеличивается до тех пор, пока не будет достигнут предел текучести или разрыв материала. Метод четырехточечного изгиба позволяет эффективно избегать локального избыточного напряжения, которое возникает при методе трехточечного изгиба, и подходит для испытания свойств изгиба тонких пластинчатых материалов или крупногабаритных образцов.

Преимущество метода четырехточечного изгиба заключается в том, что он позволяет более точно моделировать поведение материалов под равномерной нагрузкой и подходит для испытательных сценариев с высокими требованиями к характеристикам изгиба высокопроизводительных листов молибденовой меди.

## 6.5 Испытание на ударную вязкость листа молибденовой меди

Испытание на ударную вязкость проводится для оценки способности листа молибденовой меди противостоять распространению трещин и повреждению под действием внезапной внешней силы, обычно проводится с помощью испытания на удар маятником. Ударная вязкость отражает хрупкость или вязкость материала в экстремальных условиях, что особенно важно для характеристик листа молибденовой меди в условиях сильных ударов или высоких напряжений.

### 6.5.1 Ключевые моменты проведения испытания на удар маятником

Испытание на удар маятником является одним из наиболее распространенных методов испытания ударной вязкости материалов. Во время испытания образец помещают на неподвижную опору и подвергают удару маятника. Маятник качается под определенным углом и скоростью, ударяя образец, заставляя его ломаться или пластически деформироваться. Испытательная машина регистрирует энергию, поглощенную образцом после удара, что отражает его ударную вязкость.

Во время работы стандартный размер образца листа молибденовой меди сначала разрезается на небольшие образцы для испытания, и поверхность обеспечивается без дефектов. Затем образец закрепляется на опорном столе испытательной машины, а положение опорной точки должно обеспечивать равномерное напряжение обоих концов образца. После того, как маятник готов в исходном положении, его отпускают, и маятник ударяет по образцу и разбивает его. Во время испытания кинетическая энергия маятника передается образцу через удар, и регистрируется изменение высоты маятника до и после удара, чтобы рассчитать энергию удара, поглощенную образцом. Маятниковый ударный тест может эффективно проверить производительность листов молибденовой меди в экстремальных механических условиях, особенно в случае больших перепадов температур или быстрой нагрузки. Ударная вязкость материала является важным показателем для оценки его надежности.

## 6.6 Испытание теплопроводности листа молибденовой меди

Теплопроводность является важным параметром для измерения способности теплопроводности листа молибденовой меди, которая напрямую влияет на его производительность в условиях

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



высоких температур. Испытание теплопроводности может помочь оценить способность листа молибденовой меди к теплопроводности и тепловому регулированию, что особенно важно для применения в электронике, аэрокосмической промышленности и других областях.

#### 6.6.1 Принцип и применение метода лазерной вспышки

Метод лазерной вспышки — это бесконтактный метод, который обычно используется для измерения теплопроводности материалов. Его принцип заключается в облучении лазерным лучом поверхности материала, быстром нагреве небольшого участка его поверхности, а затем вычислении теплопроводности материала путем измерения изменения температуры поверхности. При испытании лазерной вспышки лазерный импульс облучает поверхность листа молибденовой меди, мгновенно нагревая поверхность. После того, как поверхность материала поглощает энергию лазера, температура быстро повышается и расширяется вниз за счет внутренней проводимости. Используя высокоточный тепловизор или инфракрасный датчик, проверяется изменение температуры поверхности материала с течением времени. На основе временной кривой изменения температуры можно рассчитать температуропроводность и теплопроводность материала. Преимущество метода лазерной вспышки заключается в том, что это бесконтактный, неразрушающий метод испытаний, который позволяет быстро и точно измерять теплопроводность материалов. Благодаря высокой скорости измерения и высокой точности метод лазерной вспышки часто используется для оценки тепловых свойств листов молибденовой меди и других высокопроизводительных материалов, особенно для испытаний теплопроводности тонких листовых материалов. Этот метод широко используется в высокотемпературных материалах, электронных компонентах, аэрокосмических материалах и т. д. и имеет важное значение для оптимизации характеристик терморегулирования листов молибденовой меди. При проектировании и применении листов молибденовой меди понимание их теплопроводности имеет важное значение для обеспечения их стабильности и эффективности в сложных тепловых средах.

#### 6.7 Испытание коэффициента теплового расширения листа молибденовой меди

Коэффициент теплового расширения — это отношение изменения размеров материала при изменении температуры. Характеристики теплового расширения медных листов молибдена в условиях высоких температур особенно важны для их применения, особенно в электронных и электрических областях, требующих высокой температурной стабильности. Испытание коэффициента теплового расширения обычно выполняется с использованием термомеханического анализатора (ТМА).

##### 6.7.1 Использование термомеханического анализатора (ТМА)

Термомеханический анализатор (ТМА) — это прибор термического анализа, используемый для измерения размерных изменений материалов в контролируемых температурных программах в зависимости от температуры, времени и приложенной силы. Основной принцип заключается в

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

характеристике термомеханических свойств материалов путем приложения постоянной или динамической механической нагрузки к образцу при контроле изменения температуры и мониторинге расширения, сжатия, размягчения или другого деформационного поведения образца. ТМА широко используется в материаловедении, машиностроении и производстве для изучения теплового расширения, температуры размягчения и характеристик фазового перехода металлов, керамики, полимеров и композитных материалов (таких как листы молибденовой меди).

Например, при испытании листов молибденовой меди ТМА можно использовать для оценки соответствия его коэффициента теплового расширения (КТР) керамическим или полупроводниковым материалам для обеспечения надежности электронной упаковки или аэрокосмических приложений. ТМА обычно оснащен зондом, системой зажима образца, нагревательной печью и датчиком смещения (таким как линейный переменный дифференциальный трансформатор, LVDT), который может точно регистрировать размерные изменения образцов в режиме сжатия, растяжения или изгиба. Некоторые современные приборы ТМА также поддерживают одновременную дифференциальную сканирующую калориметрию (SDTA), которая позволяет одновременно измерять тепловые эффекты (например, плавление или кристаллизацию) для получения более полной информации о поведении материала.

## Процедура ТМА

Использование ТМА включает в себя ряд стандартизированных шагов для обеспечения точных и повторяемых результатов испытаний. Сначала подготовьте образец. Убедитесь, что образец имеет правильную форму (например, тонкая пластина или цилиндрический образец листа молибденовой меди), чтобы соответствовать зажимной системе. Размер образца обычно определяется типом приспособления, например, высота и диаметр образца в режиме сжатия должны соответствовать приспособлению. Затем выберите подходящий тип зонда (например, зонд сжатия, приспособление для растяжения или приспособление для трехточечного изгиба) и настройте его в соответствии с целями испытания (например, тепловое расширение или температура размягчения). Например, при испытании коэффициента теплового расширения листа молибденовой меди зонд сжатия обычно используется для измерения линейного расширения.

Калибровка прибора является ключевым шагом. Датчик температуры и датчик смещения должны быть откалиброваны для обеспечения точности измерений. После калибровки образец помещается в печь рядом с датчиком температуры, чтобы обеспечить точный контроль температуры. Установите условия испытания, включая температурную программу (нагрев, охлаждение или изотермический), приложенную силу (постоянную или динамическую) и атмосферу (например, инертный газ или воздух). Во время испытания зонд регистрирует изменения размеров образца с помощью датчика смещения, а данные собираются и анализируются в режиме реального времени программным обеспечением прибора. После завершения испытания приспособление очищается, а состояние образца проверяется, чтобы избежать загрязнения или повреждения оборудования. Весь процесс должен строго

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

соответствовать рабочим процедурам, таким как ссылка на стандарт ASTM E831, чтобы гарантировать, что результаты испытания соответствуют отраслевым спецификациям.

### Применение ТМА при испытании листов молибденовой меди

ТМА широко используется в испытаниях листов молибденовой меди, особенно при оценке ее термомеханических свойств для удовлетворения потребностей электроники, аэрокосмической и оптоэлектронной промышленности. Листы молибденовой меди (такие как Mo85Cu15, Mo70Cu30) часто используются в теплорассеивающих подложках и компонентах терморегулирования из-за их высокой теплопроводности и низких свойств теплового расширения.

молибденовой меди в режиме сжатия для проверки их термической совместимости с керамическими материалами (например, нитридом алюминия) и предотвращения отказа от термического напряжения в электронной упаковке. Например, в оборудовании связи 5G тестирование ТМА гарантирует, что коэффициент теплового расширения Mo60Cu40 соответствует материалу подложки для оптимизации стабильности передачи сигнала. Кроме того, ТМА можно использовать для определения температуры размягчения листов молибденовой меди и оценки их стабильности в условиях высоких температур (например, в реактивных двигателях аэрокосмической техники). Испытание в режиме растяжения может характеризовать механическое поведение листов молибденовой меди, такое как предел прочности на разрыв и пластичность, и подходит для проверки конструкции листов молибденовой меди аэрокосмического типа. ТМА также может анализировать сопротивление изгибу листов молибденовой меди с помощью испытаний на трехточечный изгиб, чтобы гарантировать их надежность в условиях сложных напряжений. Синхронная функция SDTA дополнительно расширяет возможности тестирования. Например, при испытании Mo50Cu50 можно одновременно обнаружить тепловое расширение и потенциальные фазовые изменения или химические реакции, что позволяет получить исчерпывающую информацию о свойствах материала.

### Меры предосторожности при использовании ТМА

При использовании ТМА необходимо обратить внимание на несколько аспектов, чтобы обеспечить надежность результатов испытаний и безопасность прибора. Во-первых, форма и размер образца должны строго контролироваться, чтобы избежать нерегулярных образцов, вызывающих плохой контакт приспособления или ошибки измерения. Выбор окружающей среды также имеет решающее значение. Например, при испытании листов молибденовой меди следует использовать инертные газы (такие как азот или аргон) для предотвращения окисления фазы меди при высоких температурах. Настройка температурной программы должна быть разумно выбрана в соответствии со свойствами материала. Например, диапазон температур испытания листов молибденовой меди обычно охватывает фактическую среду применения (такую как -50°C до 800°C), чтобы избежать превышения предела допуска материала. Контроль приложенной силы должен быть точным. Чрезмерная сила может вызвать деформацию или повреждение образца, в

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

то время как слишком малая сила может неточно определять изменения размеров. Кроме того, регулярная калибровка приборов (таких как датчики температуры и смещения) является необходимым шагом для обеспечения точности данных. Рекомендуется ссылаться на стандарты ASTM E2113 и E1363 для калибровки. Операторы должны быть знакомы с программным обеспечением прибора и методами анализа данных, чтобы правильно интерпретировать результаты испытаний, например, различать изменения размеров, вызванные тепловым расширением и размягчением. Наконец, остатки образца должны быть надлежащим образом очищены после испытания, чтобы предотвратить загрязнение приспособления или корпуса печи для обеспечения долгосрочной стабильной работы прибора.

## 6.8 Испытание удельного сопротивления листа молибденовой меди

Удельное сопротивление является ключевым параметром для измерения проводимости материалов. Для металлических материалов, таких как листы молибденовой меди, их удельное сопротивление напрямую влияет на их применение в высокочастотном оборудовании и передаче электроэнергии. Испытание на удельное сопротивление часто выполняется с использованием метода четырех зондов.

### 6.8.1 Процесс измерения с четырьмя датчиками

Метод четырех зондов точно вычисляет удельное сопротивление материала путем подачи тока на поверхность материала и измерения падения напряжения. Во время испытания четыре зонда равномерно располагаются на поверхности образца, при этом два внешних зонда используются для подачи постоянного тока, а два внутренних зонда используются для измерения падения напряжения. Таким образом, соотношение между током и падением напряжения может быть использовано для расчета значения сопротивления материала. Поверхность образца должна быть ровной и чистой, и любая грязь или оксидный слой могут повлиять на результаты измерения. Во время испытания четыре зонда пропускают ток и измеряют напряжение, контактируя с поверхностью образца. Оборудование регистрирует изменения напряжения и тока для расчета удельного сопротивления. Этот метод может устранить влияние контактного сопротивления и обеспечить точность измерения. Он подходит для испытания удельного сопротивления высокопроводящих материалов, таких как листы молибденовой меди.

Четырехзондовый метод очень подходит для измерения удельного сопротивления тонкопленочных материалов. Он обеспечивает высокоточные данные удельного сопротивления, что имеет решающее значение для применения листов молибденовой меди в электронике, полупроводниках и других областях.

## 6.9 Испытание контактного сопротивления листа молибденовой меди

Контактное сопротивление относится к сопротивлению, создаваемому контактной поверхностью двух материалов из-за шероховатости поверхности, окисления или других факторов. При

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



применении листов молибденовой меди контактное сопротивление влияет на эффективность проводимости тока, особенно в высокочастотных электронных компонентах, размер контактного сопротивления напрямую влияет на производительность и стабильность работы оборудования.

#### 6.9.1 Технические характеристики метода падения постоянного напряжения

Метод падения напряжения постоянного тока является широко используемым методом испытания контактного сопротивления. Контактное сопротивление рассчитывается путем подачи постоянного тока и измерения падения напряжения на контактной поверхности. Во время испытания образец листа молибденовой меди сначала приводится в тесный контакт с другим электродом, и обеспечивается, чтобы поверхность точки контакта была свободна от грязи и окислов, а обработка поверхности должна достигать требуемой плоскостности.

Во время испытания ток подается на контактную поверхность через внешний источник питания, и измеряется падение напряжения в точке контакта. Контактное сопротивление можно получить из соотношения между током и напряжением. Этот метод позволяет эффективно измерять характеристики сопротивления листов молибденовой меди, когда они контактируют с другими металлами, и особенно подходит для контроля качества высокочастотных электрических разъемов. Преимущества метода падения напряжения постоянного тока заключаются в том, что он прост в эксплуатации, данные надежны и не требуется специального оборудования. Он очень подходит для ежедневного контроля качества и обнаружения контактного сопротивления в процессе производства. Для листов молибденовой меди поддержание низкого контактного сопротивления является ключом к обеспечению их хорошей производительности в электротехнических приложениях, поэтому регулярное тестирование контактного сопротивления очень важно для обеспечения качества и стабильности материала.



CTIA GROUP LTD Молибденовый медный лист Фотография

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD  
Molybdenum Copper Sheets Introduction

### 1. Overview of Molybdenum Copper Sheets

Molybdenum-copper (Mo-Cu) sheets are composite materials composed of molybdenum and copper. Thanks to their unique combination of thermal, electrical, and mechanical properties, as well as their tunability, Mo-Cu sheets are widely used in fields such as thermal management, high-performance electronic devices, semiconductors, and aerospace. They are commonly utilized as packaging materials, integrated circuit substrates, heat sinks, and LED thermal dissipation substrates. At CTIA GROUP LTD, we can customize molybdenum-copper products with specific dimensions and compositions according to customer requirements.

### 2. Features of Molybdenum Copper Sheets

**Excellent Electrical Conductivity:** Suitable for applications requiring efficient electrical connections.

**High Thermal Conductivity:** Capable of rapid heat transfer, ideal for electronic devices that require effective thermal dissipation.

**Low Coefficient of Thermal Expansion:** Highly compatible with semiconductor materials like silicon, helping to minimize thermal stress caused by temperature fluctuations and preventing deformation or damage to components.

**Good Workability:** Can be processed through cutting and other techniques into parts of various sizes and shapes to meet diverse application needs.

### 3. Typical Properties of Molybdenum-Copper Alloys

| Material Composition | Density (g/cm <sup>3</sup> ) | Thermal Conductivity (W/M·K at 25°C) | Thermal Expansion Coefficient (10 <sup>-6</sup> /°C) |
|----------------------|------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Mo85Cu15             | 10.00                        | 160-180                              | 6.8                                                  |
| Mo80Cu20             | 9.90                         | 170-190                              | 7.7                                                  |
| Mo70Cu30             | 9.80                         | 180-200                              | 9.1                                                  |
| Mo60Cu40             | 9.66                         | 210-250                              | 10.3                                                 |
| Mo50Cu50             | 9.54                         | 230-270                              | 11.5                                                 |

### 4. Production Method of Molybdenum Copper Sheets

The preparation of molybdenum-copper sheets is primarily carried out using the infiltration method, which takes advantage of molybdenum's high melting point and copper's excellent fluidity. In this process, copper is infiltrated into a molybdenum preform at high temperatures, resulting in the formation of a dense molybdenum-copper composite material.

### 5. Purchasing Information

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com); Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: [molybdenum-copper.com](http://molybdenum-copper.com)

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

## Глава 7 Области применения молибденово-медных листов

Листовая молибденовая медь широко используется во многих высокотехнологичных областях благодаря своим уникальным преимуществам в теплопроводности, электропроводности, высокой термостойкости и т. д. Особенно в электронной промышленности листовая молибденовая медь стала незаменимым материалом во многих мощных и высокочастотных устройствах благодаря своим превосходным характеристикам. Ниже приведены три основных применения листовой молибденовой меди в электронной промышленности: упаковочные материалы, подложки интегральных схем и компоненты рассеивания тепла в микроволновых устройствах.

### 7.1.1 Упаковочные материалы

В технологии электронной упаковки применение листа молибденовой меди имеет решающее значение. Электронные компоненты генерируют много тепла во время работы, особенно высокомошные полупроводниковые компоненты и микроэлектронные устройства. Если тепло не рассеивается эффективно, это может привести к перегреву, повреждению или выходу из строя электронных компонентов. Поэтому эффективные решения по рассеиванию тепла необходимы для электронной упаковки. Лист молибденовой меди стал идеальным выбором для электронных упаковочных материалов благодаря своим уникальным физическим свойствам.

молибденовой меди отличается высокой теплопроводностью и высокой температурной стабильностью. Как металл с высокой температурой плавления (около 3262°C), молибден может сохранять структурную стабильность в условиях высоких температур и избегать деформации или выхода из строя материалов из-за высоких температур. Медь является хорошим электрическим и тепловым проводником, который может эффективно отводить тепло, выделяемое электронными компонентами, из корпуса во внешнюю среду. Объединяя эти два материала, лист из молибденовой меди обладает превосходными характеристиками рассеивания тепла и хорошей механической прочностью, что делает его предпочтительным материалом для эффективного рассеивания тепла в электронной упаковке.

В корпусировании полупроводников листы молибденовой меди могут не только обеспечивать эффективное рассеивание тепла, но и выдерживать изменения температуры при длительной работе с высокой мощностью. Для высокочастотных мощных устройств стабильность листов молибденовой меди особенно важна. Они могут выдерживать резкие колебания температуры без термической усталости, тем самым обеспечивая долгосрочную надежность электронного оборудования. Кроме того, коэффициент теплового расширения листов молибденовой меди относительно однороден, что имеет решающее значение для предотвращения напряжений, вызванных различиями в тепловом расширении в корпусе, и может эффективно предотвращать отказ корпуса, вызванный термическим напряжением.

Молибденовый медный лист также обладает высокой коррозионной стойкостью. Многие высокочастотные схемы и силовые электронные устройства должны работать в жестких условиях,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

таких как высокая температура, высокая влажность и высокое напряжение, что предъявляет строгие требования к производительности упаковочных материалов. Молибденовый медный лист может поддерживать стабильную производительность в этих экстремальных условиях и продлевать срок службы электронного оборудования.

В корпусировании интегральных схем листы молибденовой меди все чаще используются в качестве материалов подложки. Они могут выдерживать тепловую нагрузку мощных сигналов, избегая при этом ухудшения производительности интегральных схем из-за перегрева. С непрерывным совершенствованием интеграции электронных устройств требования к рассеиванию тепла также становятся все выше и выше. Появление листов молибденовой меди эффективно решает эту проблему и становится незаменимым ключевым материалом в корпусировании с высокой плотностью мощности.

### 7.1.2 Подложки интегральных схем

молибденовой меди в подложке интегральной схемы (ИС) также очень важен. Интегральные схемы широко используются в компьютерах, коммуникационном оборудовании, бытовой электронике и других областях. Эти устройства обычно работают на высокой мощности и высокой частоте, поэтому проблема рассеивания тепла интегральных схем особенно критична. В качестве материала подложки ИС лист молибденовой меди может соответствовать требованиям рассеивания тепла высокомошных и высокочастотных схем и поддерживать низкий коэффициент теплового расширения, тем самым повышая надежность и долговременную стабильность ИС. Основная функция подложки интегральной схемы - поддерживать кристалл интегральной схемы и обеспечивать необходимые электрические соединения. Поскольку функции интегральных схем становятся все более сложными, а интеграция становится все выше и выше, их тепловая нагрузка также увеличивается. Традиционные материалы подложки ИС часто не могут эффективно рассеивать тепло, что приводит к снижению производительности или даже выходу из строя интегральных схем при работе при высоких температурах. Лист молибденовой меди имеет чрезвычайно высокую теплопроводность и может эффективно проводить тепло, выделяемое чипом, чтобы предотвратить перегрев и повреждение чипа.

Молибденовый медный лист имеет множество преимуществ в качестве подложки интегральной схемы. Во-первых, теплопроводность молибденового медного листа чрезвычайно высока, что позволяет быстро передавать тепло от кристалла интегральной схемы во внешнюю среду, чтобы избежать повреждений, вызванных перегревом. Во-вторых, коэффициент теплового расширения молибденового медного листа относительно близок к коэффициенту теплового расширения материалов интегральной схемы (таких как кремниевые чипы), что снижает тепловое напряжение, вызванное изменениями температуры, тем самым повышая надежность и срок службы интегральной схемы. Наконец, молибденовый медный лист обладает высокой стойкостью к окислению и коррозионной стойкостью и может сохранять хорошую производительность в суровых рабочих условиях, продлевая срок службы электронного оборудования. Требования к материалам для подложек интегральных схем постепенно растут. Для высокочастотных и мощных

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



устройств листы молибденовой меди стали идеальным выбором. Особенно в областях, где требуется эффективное рассеивание тепла, передача высокочастотных сигналов и высокая выходная мощность, преимущества листов молибденовой меди становятся все более и более значимыми. В высокотехнологичных областях, таких как радиолокационные системы, спутниковая связь и оптоволоконная связь, листы молибденовой меди в качестве подложек интегральных схем могут эффективно повысить эффективность и стабильность работы системы и обеспечить долгосрочную работу электронного оборудования в сложных условиях.

### 7.1.3 Компоненты рассеивания тепла в микроволновых устройствах

Микроволновые устройства являются важными компонентами в коммуникационном, радиолокационном и дистанционном зондирующем оборудовании, используемом в диапазоне микроволновых частот (обычно в диапазоне от 300 МГц до 300 ГГц), и широко используются в спутниковой связи, радиосвязи, медицинской диагностике и военных радарх. Эти устройства обычно должны выдерживать мощные сигналы и высокочастотные рабочие среды, поэтому требования к системе рассеивания тепла очень высоки. Листы молибденовой меди стали важными компонентами рассеивания тепла в микроволновых устройствах из-за их превосходной теплопроводности и высокой термостойкости.

В микроволновых устройствах особенно критично рассеивание тепла листами молибденовой меди. Микроволновые устройства обычно работают на высоких частотах и генерируют много тепла во время передачи сигнала. Если тепло не рассеивается своевременно и эффективно, устройство выйдет из строя или его производительность ухудшится из-за перегрева. Как компонент рассеивания тепла, лист молибденовой меди может быстро поглощать тепло, выделяемое устройством, и отводить его во внешнюю среду благодаря своей высокой теплопроводности, тем самым эффективно снижая рабочую температуру устройства и обеспечивая стабильность и надежность устройства.

Лист молибденовой меди в микроволновых устройствах не ограничивается рассеиванием тепла, но также включает использование в качестве структурного материала поддержки. Высокая прочность и высокая жесткость листа молибденовой меди позволяют ему играть вспомогательную роль в структуре микроволновых устройств и выдерживать высокие температуры и механические нагрузки внутри микроволновых устройств. В то же время коэффициент теплового расширения листа молибденовой меди соответствует коэффициенту теплового расширения других материалов в микроволновых устройствах, избегая накопления напряжений, вызванных разницей в тепловом расширении, тем самым улучшая стабильность устройства.

В радиолокационных системах теплоотдача медных молибденовых листов также имеет решающее значение. Радиолокационные системы должны работать на высокой мощности в течение длительного времени, а радиолокационные волны генерируют много тепла во время передачи и приема. Как компонент теплоотдачи медные молибденовые листы могут обеспечить

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



долгосрочную стабильную работу радиолокационного оборудования в условиях высоких температур. В системах спутниковой связи превосходные характеристики теплоотдачи медных молибденовых листов обеспечивают надежную работу спутникового оборудования в экстремальных условиях и продлевают срок службы спутников.

#### 7.1.4 Компоненты структурной поддержки в микроволновых устройствах

Микроволновые устройства обычно работают в высокочастотных и мощных средах, поэтому они должны иметь хорошее рассеивание тепла, структурную устойчивость и устойчивость к тепловому расширению. Листы молибденовой меди играют важную роль в качестве структурных опорных компонентов в микроволновых устройствах. Микроволновые устройства, такие как микроволновые усилители, радиолокационное оборудование, модули связи и т. д., будут генерировать много тепла во время работы. Если их не рассеять вовремя, это приведет к перегреву оборудования, что повлияет на его стабильность и срок службы. Высокая теплопроводность листов молибденовой меди позволяет им эффективно поглощать и проводить тепло в микроволновых устройствах, избегая повреждения цепей или компонентов из-за чрезмерных температур. Кроме того, высокая термостойкость листов молибденовой меди позволяет им стабильно работать в мощных средах и выдерживать тепло и механическое напряжение, возникающее при работе микроволновых устройств. В микроволновых устройствах листы молибденовой меди не только играют роль в рассеивании тепла, но и несут функцию поддержки и фиксации устройств. Высокая жесткость и прочность молибденовой меди позволяют ей поддерживать компоненты внутри микроволнового устройства и сохранять структурную устойчивость. Поскольку коэффициент теплового расширения листов молибденовой меди относительно близок к коэффициенту других распространенных микроволновых материалов (таких как керамика, кремний и т. д.), он может эффективно избегать напряжения материала, вызванного разницей в тепловом расширении, тем самым повышая надежность работы микроволновых устройств.

Кроме того, антиокислительные свойства медного листа молибдена также дают ему преимущество при долгосрочном использовании микроволновых устройств. Микроволновые устройства часто подвергаются воздействию суровых рабочих сред, таких как высокая температура, высокая влажность и электромагнитное излучение. Медный лист молибдена может сохранять стабильную производительность в этих экстремальных условиях и продлевать срок службы микроволновых устройств.

#### 7.1.5 Материалы для радиатора

Радиаторы являются ключевыми компонентами, используемыми для рассеивания тепла в электронных устройствах, особенно в областях мощных электронных устройств, лазеров и радиочастотного оборудования. Конструкция и выбор материала радиаторов имеют решающее значение для долгосрочной стабильной работы оборудования. Листы молибденовой меди, как

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

материалы для радиаторов, широко используются в области рассеивания тепла благодаря их превосходной теплопроводности и свойствам теплового расширения.

В электронных устройствах, особенно в устройствах высокой мощности, таких как силовые полупроводники и лазерные диоды, листы молибденовой меди могут эффективно проводить тепло, вырабатываемое компонентами изнутри, к внешней системе охлаждения, тем самым избегая выхода из строя компонента или ухудшения производительности из-за перегрева. Высокая теплопроводность листов молибденовой меди дает им значительное преимущество в миниатюрных приложениях с высокой плотностью мощности. Они могут быстро рассеивать тепло и обеспечивать стабильную работу устройства при высоких температурах.

Кроме того, коэффициент теплового расширения листа молибденовой меди относительно однороден, что соответствует коэффициенту теплового расширения многих материалов электронных устройств, что снижает напряжение, вызванное разницей в тепловом расширении. Особенно в сценариях применения, требующих частого нагрева и охлаждения, лист молибденовой меди в качестве материала для теплоотвода может эффективно выдерживать эти изменения температуры и избегать деформации материала или повреждения, вызванного тепловым напряжением.

молибденовой меди также делает его идеальным материалом для теплоотвода, особенно в экстремальных условиях, таких как высокая влажность или агрессивные газовые среды, он может работать стабильно в течение длительного времени, не подвергаясь воздействию внешней среды. Он играет важную роль в качестве материала для теплоотвода в высокотехнологичных приложениях, таких как лазеры, радиочастотные модули, полупроводниковые лазеры и спутниковое коммуникационное оборудование.

#### 7.1.6 Радиочастотный модуль

Радиочастотные (РЧ) модули широко используются в беспроводной связи, радарх, спутниковой связи и других областях. Они работают в высокочастотных и мощных средах, поэтому требования к материалам очень высоки. Материалы в РЧ модулях должны иметь не только отличную электропроводность, но и хорошие возможности терморегулирования. Листы молибденовой меди, как основной материал в РЧ модулях, широко используются в этой области благодаря своим уникальным свойствам.

Тепло, выделяемое радиочастотным модулем во время работы, должно рассеиваться быстро и эффективно, в противном случае это повлияет на стабильность работы устройства и качество сигнала. Высокая теплопроводность листа молибденовой меди позволяет ему быстро отводить тепло, выделяемое радиочастотным модулем, во внешнюю систему отвода тепла, тем самым поддерживая температуру устройства в безопасном диапазоне и предотвращая ухудшение производительности или отказ, вызванный перегревом. По сравнению с традиционными медными или алюминиевыми материалами теплопроводность листа молибденовой меди значительно

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

улучшена, и он может переносить более высокую плотность мощности в небольшом объеме, адаптируясь к потребностям мощных радиочастотных модулей. Электрическое соединение и проводимость сигнала в радиочастотном модуле предъявляют высокие требования к проводимости материала. Лист молибденовой меди сочетает в себе высокую температурную стабильность молибдена и превосходную проводимость меди и может обеспечить эффективное электрическое соединение в радиочастотном модуле, обеспечивая стабильную передачу и точное управление сигналом. Поскольку лист молибденовой меди имеет низкие потери при передаче высокочастотного сигнала, он может уменьшить затухание сигнала и обеспечить эффективную работу радиочастотного модуля.

Кроме того, высокая термостойкость листа молибденовой меди позволяет ему стабильно работать в условиях высокой мощности и высоких температур. Обычно радиочастотные модули должны работать стабильно в течение длительного времени. Лист молибденовой меди может сохранять превосходную производительность в этих экстремальных условиях и не выйдет из строя из-за длительного воздействия высоких температур. Это делает лист молибденовой меди незаменимым ключевым материалом в высокопроизводительных радиочастотных модулях.

#### 7.1.7 Подложка для рассеивания тепла светодиода

С непрерывным развитием светодиодных технологий светодиодные источники света широко используются в освещении, отображении, обработке сигналов и других областях. Хотя светодиодные источники света обладают такими преимуществами, как высокая энергоэффективность и длительный срок службы, они также будут генерировать много тепла при работе на высокой мощности. Если тепло не рассеивается своевременно и эффективно, это приведет к ухудшению характеристик светодиода и сокращению срока его службы. Поэтому рассеивание тепла стало важной проблемой при применении светодиодных источников света. Листы из молибденовой меди являются идеальным выбором для решения этой проблемы благодаря своей высокой теплопроводности, хорошей механической прочности и высокой термостойкости. Листы из молибденовой меди сочетают в себе высокую температуру плавления молибдена (около 3262°C) и отличную теплопроводность меди. Когда светодиодный источник света работает, он может быстро и эффективно передавать тепло, выделяемое кристаллом источника света, на радиатор или во внешнюю среду, тем самым эффективно избегая неблагоприятных последствий накопления тепла. По сравнению с традиционными алюминиевыми подложками или другими материалами для рассеивания тепла, листы из молибденовой меди обладают более высокой теплопроводностью и выдерживают большую плотность мощности. Это позволяет им поддерживать более низкие температуры в системах рассеивания тепла мощных светодиодных источников света, таких как мощные светодиодные лампы, высокояркие дисплеи и лазерные диоды, тем самым повышая эффективность работы и срок службы светодиодных источников света. Кроме того, коэффициент теплового расширения листа молибденовой меди относительно однороден, что соответствует коэффициенту теплового расширения светодиодных чипов и других упаковочных материалов, что снижает напряжение, вызванное разницей в тепловом расширении, тем самым повышая стабильность и долгосрочную

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

надежность светодиодных источников света. В упаковке светодиодных модулей и интегральных схем листы молибденовой меди не только служат в качестве подложек для рассеивания тепла, но и обеспечивают долгосрочное и эффективное рассеивание тепла, избегая ухудшения характеристик светодиодных источников света из-за перегрева.

## 7.2 Применение молибденово-медного листа в аэрокосмической отрасли

В аэрокосмической отрасли предъявляются чрезвычайно строгие требования к материалам, особенно в условиях высоких температур, высокого давления, сильной радиации и других условиях, материалы должны обладать превосходной высокотемпературной стабильностью, прочностью, теплопроводностью и радиационной стойкостью. Листы из молибденовой меди широко используются в аэрокосмической отрасли благодаря своим превосходным характеристикам, особенно в металлических компонентах самолетов, теплозащитных материалах для космических аппаратов, а также в компонентах ракет и космических аппаратов, что показывает их незаменимую роль.

### 7.2.1 Металлические компоненты самолета

Листы из молибденовой меди играют важную роль в качестве металлических компонентов в аэрокосмической отрасли, особенно в конструктивных элементах самолетов. Во время полета самолеты испытывают высокоскоростной полет, сильное давление воздушного потока и сложные изменения температуры, что требует от металлических компонентов самолета не только высокой прочности, но и хорошей устойчивости к тепловому расширению и рассеиванию тепла. Среди этих металлических компонентов листы из молибденовой меди используются для компонентов в конструкциях самолетов, таких как компоненты двигателя, компоненты аэродинамической формы и другие места, которые должны выдерживать высокие температуры и высокие напряжения. Высокая температура плавления молибдена и теплопроводность меди позволяют листам из молибденовой меди сохранять отличную структурную стабильность в высокотемпературных средах и избегать эффектов теплового расширения. В то же время листы из молибденовой меди могут эффективно проводить тепло, вырабатываемое двигателем и другими компонентами, предотвращать локальный перегрев и обеспечивать стабильную работу самолета в экстремальных условиях. Листы из молибденовой меди в металлических компонентах самолетов также отражаются на их коррозионной стойкости. Самолеты подвергаются воздействию различных климатических условий, особенно в средах с высокой влажностью и содержанием соли. Коррозионная стойкость листов из молибденовой меди позволяет им работать в этих средах в течение длительного времени без сбоев.

### 7.2.2 Теплозащитные материалы для космических аппаратов

Космические аппараты будут испытывать экстремальные перепады температур во время запуска, полета и возвращения в атмосферу. Особенно при входе в атмосферу космические аппараты будут подвергаться воздействию очень высоких температур, даже достигающих нескольких тысяч

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



градусов по Цельсию. Поэтому космические аппараты должны иметь мощную систему тепловой защиты, чтобы обеспечить безопасную эксплуатацию космического аппарата и его внутреннего оборудования. Применение листа молибденовой меди в системе тепловой защиты космических аппаратов в основном отражается в его использовании в качестве теплозащитного материала. Высокая температура плавления молибдена позволяет ему оставаться стабильным в условиях высоких температур, в то время как теплопроводность меди позволяет ему быстро переносить тепло с поверхности космического аппарата к другим частям, эффективно избегая локального перегрева. Это позволяет листам молибденовой меди эффективно предотвращать повреждения, вызванные высокими температурами в системе тепловой защиты космических аппаратов.

Во время возвращения космических аппаратов листы молибденовой меди часто используются в слоях теплоизоляции, тепловых экранах и системах отвода тепла. Высокая теплопроводность медно-молибденовых листов обеспечивает быструю передачу тепла к другим компонентам теплоотвода, а их высокая устойчивость к тепловому расширению эффективно снижает тепловое напряжение, вызванное чрезмерными перепадами температур, гарантируя, что космический аппарат сможет сохранить структурную целостность во время высокотемпературного возвращения в атмосферу.

Кроме того, коррозионная стойкость медно-молибденовых листов также весьма подходит для использования в космической среде, особенно в условиях высокой радиации и экстремальных температур, медно-молибденовые листы могут стабильно работать в течение длительного времени.

### 7.2.3 Компоненты ракет и космических аппаратов

Молибденовые медные листы также используются в различных компонентах ракет и космических аппаратов. В ракетных системах молибденовые медные листы часто используются в системе рассеивания тепла ракетных двигателей и других высокотемпературных компонентов. Ракетные двигатели генерируют много тепла во время высокоскоростного полета. Если это тепло не рассеивается вовремя, это может привести к снижению производительности двигателя или даже к его отказу. Молибденовые медные листы могут быстро и эффективно рассеивать тепло в этих компонентах, обеспечивая эффективную работу ракеты.

Молибденовые медные листы также широко используются в электрических системах космических аппаратов. В электронном оборудовании космических аппаратов молибденовые медные листы служат в качестве проводящих и теплоотводящих компонентов, помогая эффективно проводить ток и поддерживать стабильную температуру оборудования, избегая выхода оборудования из строя из-за перегрева. Кроме того, стабильность и высокая прочность молибденовых медных листов также позволяют использовать их в конструктивных элементах космических аппаратов, особенно в ключевых элементах, которые подвергаются огромным механическим нагрузкам и высоким перепадам температур, молибденовые медные листы обеспечивают дополнительную прочность и долговечность.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

#### 7.2.4 Излучатель радиолокационной системы

Радарные системы, особенно в военной и авиационной областях, должны работать стабильно в условиях высокой мощности и высокой частоты в течение длительного времени. В этой среде теплоотдача радарных систем становится важным вопросом при проектировании. Применение листов молибденовой меди в радиаторах радарных систем дает полную свободу их высокой теплопроводности и высокой температурной стабильности, становясь незаменимым основным компонентом высокопроизводительных радарных систем. Передающие и принимающие блоки в радиолокационной системе генерируют много тепла, и эффективное рассеивание тепла является ключом к обеспечению надежной работы радиолокационной системы. Листы молибденовой меди широко используются в конструкции рассеивания тепла радиолокационных систем из-за их высокой теплопроводности (лучше, чем у большинства традиционных металлов). Композитные материалы из молибденовой меди могут быстро передавать тепло от тепловыделяющих компонентов (таких как передатчики, приемники и т. д.) к внешней системе рассеивания тепла, чтобы предотвратить перегрев, приводящий к ухудшению производительности или отказу радиолокационной системы.

Лист из молибденовой меди позволяет ему сохранять хорошую термическую стабильность в условиях высоких температур, а также сохранять структурную целостность и стабильность при экстремальных колебаниях температуры и сильном тепловом ударе. Кроме того, коэффициент теплового расширения листа из молибденовой меди аналогичен коэффициенту теплового расширения других материалов в радиолокационной системе (таких как керамика, кремниевые чипы и т. д.), что может эффективно снижать напряжение, вызванное разницей в тепловом расширении, и избегать механической деформации или структурного отказа, вызванного разницей температур. В военной радиолокационной системе применение листа из молибденовой меди в качестве устройства рассеивания тепла, особенно в мощных и высокочастотных радарх, может обеспечить долгосрочную эффективную и стабильную работу радиолокационного оборудования и избежать повреждений или ухудшения производительности, вызванных перегревом. Это делает лист из молибденовой меди важной ролью в современной радиолокационной технологии.

#### 7.2.5 Военная электронная упаковка

Военная электронная упаковка предъявляет очень высокие требования к материалам, особенно для оборудования, работающего в суровых условиях, такого как ракеты, спутники и беспилотники. Военная электронная упаковка должна соответствовать многочисленным требованиям, таким как высокая термостойкость, ударопрочность, радиационная стойкость, водонепроницаемость и пыленепроницаемость. Как новый тип упаковочного материала, лист молибденовой меди широко используется в военной электронной упаковке благодаря своим превосходным физическим свойствам. Одним из главных преимуществ листа молибденовой меди в военной электронной упаковке является его высокая теплопроводность. Электронные компоненты генерируют много тепла во время работы, особенно в мощных и высокочастотных рабочих средах, где особенно

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

важно управление тепловым режимом. Лист молибденовой меди может эффективно передавать тепло от электронных компонентов во внешнюю систему отвода тепла, чтобы избежать выхода оборудования из строя из-за перегрева. Это имеет решающее значение для надежности военной техники, особенно в экстремальных условиях, таких как высокая температура, высокое давление и радиация. Лист молибденовой меди может обеспечить долгосрочную стабильность электронной упаковки.

Листы из молибденовой меди также делают их идеальным выбором для военной электронной упаковки. Военному оборудованию часто приходится работать в жестких условиях, таких как резкие перепады температур, удары и вибрация. Листы из молибденовой меди выдерживают эти условия без ухудшения производительности или повреждения. Их высокая прочность и жесткость гарантируют, что упаковочный материал может выдерживать внешние нагрузки. В то же время его коэффициент теплового расширения соответствует коэффициенту многих других военных материалов (таких как керамика и металлы), что снижает воздействие теплового напряжения на структуру упаковки.

В военной электронной упаковке листы молибденовой меди не только используются для рассеивания тепла, но и обеспечивают лучшие электрические характеристики. Отличная проводимость позволяет использовать листы молибденовой меди в качестве несущих материалов для электронных компонентов, чтобы гарантировать стабильные электрические соединения и передачу сигнала. Применение листов молибденовой меди в военной упаковке может эффективно улучшить производительность, надежность и долговечность оборудования, гарантируя его стабильную работу в экстремальных условиях.

### 7.3 Применение молибденово-медного листа в энергетическом и тепловом менеджменте

молибденовой меди в сфере энергетики, особенно в силовой электронике и системах терморегулирования, продемонстрировали свои уникальные преимущества. С учетом глобального внимания к энергоэффективности и устойчивому развитию листы из молибденовой меди все чаще используются в сфере энергетики, особенно в силовой электронике и системах терморегулирования, становясь важным материалом для решения проблемы рассеивания тепла в мощном электронном оборудовании.

#### 7.3.1 Силовые электронные устройства

Силовые электронные устройства играют важную роль в современных энергетических системах. Будь то преобразование энергии, системы управления аккумуляторными батареями или электромобили и системы возобновляемой энергии, силовые электронные устройства широко используются для регулирования, управления и преобразования энергии. Однако эти мощные электронные устройства генерируют много тепла во время работы. Если тепло не может быть эффективно рассеяно, это приведет к перегреву оборудования, снижению производительности или даже отказу. Поэтому для надежной работы силовых электронных устройств необходимы

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

отличные материалы для терморегулирования. Листы из молибденовой меди играют незаменимую роль в качестве материалов для терморегулирования в силовых электронных устройствах. Листы из молибденовой меди обладают чрезвычайно высокой теплопроводностью и могут быстро отводить тепло, выделяемое силовыми электронными устройствами, изнутри устройства, поддерживая стабильную температуру устройства, тем самым повышая его рабочую эффективность и срок службы. Высокая теплопроводность и высокая температурная стабильность листов из молибденовой меди делают их идеальным материалом для рассеивания тепла в силовых электронных устройствах, особенно для мощных, долго работающих устройств. Кроме того, высокая прочность и сопротивление тепловому расширению листов молибденовой меди позволяют им выдерживать высокие перепады температур и механические нагрузки в силовых электронных устройствах. В электромобилях и оборудовании для преобразования энергии листы молибденовой меди могут эффективно поддерживать и защищать электронные компоненты, обеспечивая при этом хорошую производительность рассеивания тепла, чтобы избежать повреждения компонентов, вызванного чрезмерной температурой.

молибденовой меди в силовых электронных устройствах не только улучшают характеристики терморегулирования оборудования, но и повышают общую эффективность и снижают потери энергии. С развитием электромобилей, солнечной энергетики и систем хранения энергии важность листов молибденовой меди как материалов для терморегулирования будет продолжать расти, становясь ключевым техническим материалом для повышения энергоэффективности и устойчивого развития.

### 7.3.2 Ядерное энергетическое оборудование

Ядерное энергетическое оборудование, особенно ядерные реакторы и их связанные компоненты, требуют материалов с чрезвычайно высокой термической стабильностью, прочностью и радиационной стойкостью. Ядерные реакторы генерируют огромное количество тепла во время работы, а также подвергаются воздействию сильной радиационной среды. Поэтому управление рассеиванием тепла в ядерном энергетическом оборудовании имеет решающее значение. Листы из молибденовой меди, как материалы для терморегулирования в ядерном энергетическом оборудовании, стали идеальным выбором для решения проблем терморегулирования при высоких температурах и большой мощности благодаря своей превосходной теплопроводности и высокотемпературной стабильности.

В ядерном энергетическом оборудовании основное применение молибденовых медных листов — это теплообменники, системы охлаждения и радиаторы. Большое количество тепла вырабатывается в активной зоне ядерного реактора, и молибденовые медные листы могут быстро проводить это тепло и эффективно рассеивать его, обеспечивая нормальную работу оборудования при высоких температурах. Высокая температура плавления молибдена позволяет молибденовым медным листам выдерживать чрезвычайно высокие температуры, в то время как хорошая теплопроводность меди обеспечивает быструю передачу тепла от активной зоны ядерного реактора к системе охлаждения. Кроме того, высокая механическая прочность и коррозионная

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



стойкость молибденовых медных листов позволяют им стабильно и долгосрочно работать в ядерном энергетическом оборудовании. Некоторые важные компоненты ядерно-энергетического оборудования, такие как стержни управления ядерным реактором, охлаждающие насосы и теплообменники, сталкиваются с длительным воздействием высоких температур и высокой радиационной обстановки. Стабильность и коррозионная стойкость молибденовых медных листов позволяют им противостоять радиационному повреждению и обеспечивать долгосрочную надежность и стабильность оборудования.

В будущем, с дальнейшим развитием технологий ядерной энергетики, применение листов молибденовой меди в новых ядерных реакторах, таких как высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы и реакторы на быстрых нейтронах, будет еще больше возрастать. Листы молибденовой меди обеспечат более эффективные и надежные решения по терморегулированию для оборудования ядерной энергетики, гарантируя устойчивость и безопасность технологий ядерной энергетики в будущих энергетических системах.

### 7.3.3 Системы возобновляемой энергии

С ростом мирового спроса на экологически чистую и устойчивую энергию возобновляемая энергия (например, солнечная энергия, энергия ветра, гидроэнергия и т. д.) стала важной формой энергии. В системах возобновляемой энергии, особенно в системах генерации солнечной энергии и ветровой энергии, эффективное управление температурой имеет важное значение для повышения эффективности системы, продления срока службы и обеспечения стабильности оборудования. Листы из молибденовой меди, как материалы для управления температурой в системах возобновляемой энергии, стали ключевыми материалами для повышения эффективности преобразования энергии и стабильности оборудования благодаря их превосходной теплопроводности и высокой термостойкости. В системах солнечной энергии листы из молибденовой меди в основном используются в теплообменниках и компонентах рассеивания тепла в системах генерации солнечной тепловой энергии. Солнечные коллекторы генерируют много тепла во время работы. Если тепло не может быть эффективно рассеяно, эффективность системы может снизиться или даже повредить солнечный коллектор. Листы из молибденовой меди могут быстро передавать тепло в коллекторе во внешнюю систему охлаждения, обеспечивая эффективную работу системы генерации тепловой энергии. В системах ветрогенерации листы молибденовой меди, как материалы для рассеивания тепла для двигателей вентиляторов и другого мощного электронного оборудования, могут эффективно переносить тепло, выделяемое во время работы двигателя, изнутри вентилятора наружу, чтобы избежать перегрева и выхода оборудования из строя. Электронные компоненты и преобразователи мощности в системах ветрогенерации обычно генерируют много тепла во время высокоскоростной работы. Листы молибденовой меди, благодаря своей высокой теплопроводности, могут эффективно улучшить характеристики рассеивания тепла системы и обеспечить стабильность ветровой турбины при работе на высокой мощности. Молибденовый медный лист не ограничивается теплообменниками и компонентами рассеивания тепла, он также играет важную роль в системе управления аккумуляторными батареями в системах

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

возобновляемой энергии. В системах солнечной и ветровой энергии системы хранения энергии (например, аккумуляторные батареи) являются незаменимым компонентом. Молибденовый медный лист как материал для терморегулирования может эффективно снижать тепло, выделяемое аккумулятором во время процесса зарядки и разрядки, и предотвращать перегрев аккумулятора и ухудшение его производительности или повреждение. С непрерывным развитием технологий возобновляемой энергии применение молибденового медного листа в этих системах станет более обширным, предоставляя ключевые решения по терморегулированию для эффективного использования и стабильной работы возобновляемой энергии.

### 7.3.4 Управление температурным режимом аккумулятора электромобиля

Электромобили (ЭМ) стали важным альтернативным источником энергии в современных транспортных системах. Одним из основных компонентов электромобилей является аккумуляторная система, особенно система силовой батареи. Аккумуляторы выделяют много тепла во время зарядки и разрядки. Если тепло не будет эффективно управляться, температура батареи будет слишком высокой, что повлияет на производительность, срок службы и даже безопасность батареи. Поэтому система терморегулирования батареи стала важной частью конструкции электромобиля, которую нельзя игнорировать.

Как ключевой материал в системе терморегулирования аккумуляторов электромобилей, лист молибденовой меди является идеальным выбором для терморегулирования аккумуляторов благодаря своей высокой теплопроводности и высокой термостойкости. В электромобилях лист молибденовой меди может использоваться в системе рассеивания тепла аккумуляторных батарей, особенно во время мощной зарядки и разрядки. Лист молибденовой меди может быстро передавать тепло, вырабатываемое аккумулятором, от аккумуляторного элемента к радиатору или внешней системе охлаждения, чтобы предотвратить слишком высокую температуру аккумулятора, что приводит к снижению производительности или проблемам с безопасностью. Отличная теплопроводность листа молибденовой меди гарантирует, что аккумуляторная система может поддерживаться в оптимальном диапазоне рабочих температур, улучшает эффективность зарядки и разрядки аккумулятора, а также продлевает срок службы аккумулятора. Аккумуляторная система электромобилей столкнется с различными проблемами в условиях высоких и низких температур. Лист молибденовой меди может адаптироваться к этим экстремальным условиям и обеспечивать стабильную поддержку терморегулирования. Улучшая теплоотдачу аккумуляторной системы, лист из молибденовой меди не только оптимизирует эффективность работы аккумуляторной системы, но и повышает общую производительность и безопасность электромобилей. Лист из молибденовой меди также может использоваться в структурном проектировании аккумуляторных модулей и аккумуляторных батарей электромобилей. Высокая прочность и хорошая устойчивость к тепловому расширению листа из молибденовой меди позволяют ему обеспечивать стабильную структурную поддержку в аккумуляторном модуле для предотвращения механической деформации, вызванной изменениями температуры. Превосходные характеристики листов из молибденовой меди гарантируют, что аккумуляторная система может стабильно работать в течение длительного времени в условиях высокой

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

температуры и высокой мощности, отвечая строгим требованиям электромобилей к запасу хода, скорости зарядки и безопасности.

#### 7.4 Молибденово-медный лист в других новых областях применения

молибденовой меди в новых областях продемонстрировали свои уникальные преимущества в условиях высокой точности и сложных условий работы, особенно в тех технических областях, где предъявляются чрезвычайно высокие требования к эксплуатационным характеристикам материала.

##### 7.4.1 Медицинское оборудование

молибденовой меди в медицинском оборудовании в основном нашли свое отражение в областях медицинского оборудования для визуализации, оборудования для радиотерапии и оборудования для диагностики *in vitro*. С развитием медицинских технологий, особенно с развитием радиологии, ядерной медицины и высокоточного диагностического оборудования, листы из молибденовой меди стали одним из ключевых материалов в медицинском оборудовании из-за их превосходной теплопроводности, прочности и биосовместимости. В медицинском оборудовании для визуализации, особенно в оборудовании КТ (компьютерная томография) и МРТ (магнитно-резонансная томография), листы из молибденовой меди обычно используются в качестве материалов для рассеивания тепла в системе терморегулирования электронных компонентов и мощного оборудования. Сканеры КТ и оборудование МРТ генерируют много тепла во время работы, особенно в мощных радиочастотных системах и электронных компонентах. Если тепло не может быть эффективно рассеяно, оборудование может перегреться и повлиять на качество изображения. Высокая теплопроводность листов из молибденовой меди может быстро передавать выделяемое тепло от этих компонентов в систему рассеивания тепла, тем самым обеспечивая долгосрочную стабильную работу оборудования. Кроме того, листы молибденовой меди также используются в тепловом управлении радиотерапевтическим оборудованием. Во время радиотерапии источник излучения оборудования обычно генерирует много тепла. Роль листов молибденовой меди в этих устройствах заключается в эффективном переносе тепла из области источника излучения, чтобы избежать отказа оборудования или снижения точности лечения из-за накопления тепла. Высокая прочность, высокая термостойкость и стабильность листов молибденовой меди делают их очень надежными материалами в высокоточных медицинских устройствах. Применение листов молибденовой меди в диагностическом оборудовании *in vitro* также очень важно. В этих устройствах листы молибденовой меди не только обеспечивают эффективное тепловое управление, но и служат в качестве вспомогательных материалов для компонентов, обеспечивая стабильность и точность оборудования при длительном использовании.

##### 7.4.2 Базовая станция связи 7G

С популяризацией технологии 5G исследования и разработки технологии связи 7G идут полным ходом. Связь 7G будет и дальше способствовать сверхскоростной передаче, широкомасштабному

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

подключению и сетевым приложениям с малой задержкой. Как основная инфраструктура будущих сетей связи, базовые станции 7G предъявляют более высокие требования к терморегулированию, помехоустойчивости и стабильности оборудования. Как эффективный материал для терморегулирования, медный лист молибдена постепенно становится важным компонентом базовых станций связи 7G.

В базовых станциях связи 7G основная функция листов молибденовой меди заключается в том, чтобы служить в качестве теплоотводящих материалов, помогающих справиться с огромным количеством тепла, выделяемого на базовых станциях. Технология связи 7G будет поддерживать передачу данных с более высокой частотой и большей емкостью, а энергопотребление и тепловая нагрузка базовых станций будут выше, чем в эпоху 5G. Высокая теплопроводность листов молибденовой меди позволяет им быстро рассеивать тепло, выделяемое электронными компонентами на базовой станции, предотвращая перегрев, приводящий к отказу оборудования базовой станции или снижению производительности. Помимо рассеивания тепла, способность листов молибденовой меди противостоять электромагнитным помехам также является одним из преимуществ их применения в базовых станциях связи 7G. Базовые станции связи 7G столкнутся с более сложной электромагнитной средой. В качестве структурного опорного материала листы молибденовой меди могут эффективно изолировать электромагнитные помехи и обеспечивать стабильную работу электронных компонентов базовой станции. Применение листов молибденовой меди в базовых станциях эффективно повысит надежность и качество связи оборудования и будет соответствовать строгим требованиям будущей сверхскоростной сетевой передачи.

#### 7.4.3 Лазерная и оптическая система

Лазеры и оптические системы широко используются в научных исследованиях, медицинском лечении, промышленной обработке, лазерной печати и других областях. С непрерывным развитием лазерных технологий мощность лазеров и оптических систем становится все выше и выше, а требования к рассеиванию тепла и контролю температуры также становятся все выше и выше. Листы молибденовой меди играют важную роль в лазерах и оптических системах как эффективные материалы для рассеивания тепла. В лазерах, особенно в мощных лазерах, во время работы выделяется много тепла. Если это тепло не рассеивается эффективно, эффективность лазера будет значительно снижена, и даже оборудование будет повреждено. Высокая теплопроводность листа молибденовой меди делает его идеальным материалом для системы рассеивания тепла в лазере. Он может быстро переносить тепло, выделяемое лазером, изнутри лазера к внешнему устройству рассеивания тепла, поддерживать стабильную рабочую температуру лазера и улучшать выходную мощность и эффективность работы оборудования.

Листы из молибденовой меди также широко используются в оптических системах, особенно в системах лазерного сканирования, системах оптической связи и прецизионном измерительном оборудовании. Лазерные передатчики и приемники в оптических системах обычно должны работать в условиях чрезвычайно точного контроля температуры. Листы из молибденовой меди

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

могут не только обеспечить стабильное рассеивание тепла, но и эффективно предотвратить деформацию оптических компонентов, вызванную разницей в тепловом расширении, обеспечивая стабильность и точность оптической системы. Применение листов из молибденовой меди в лазерах и оптических системах может не только улучшить способность рассеивания тепла системы, но и улучшить качество луча и стабильность лазера, обеспечивая его эффективную работу в различных сценариях применения.

#### 7.4.4 Аддитивное производство и индивидуальные компоненты

Технология аддитивного производства (3D-печать) является одной из производственных технологий, которая быстро развивалась в последние годы. Особенно в областях аэрокосмической, медицинской и автомобильной промышленности аддитивное производство постепенно стало производственным решением для индивидуальных высокоточных компонентов. Как один из материалов в аддитивном производстве, листы молибденовой меди широко используются в производстве высокотемпературных, мощных и высокоточных индивидуальных компонентов.

Технология аддитивного производства позволяет изготавливать детали сложной формы путем укладки материалов слой за слоем, что очень эффективно для производства сложных геометрий, которые невозможно получить традиционными методами обработки. Превосходные свойства листа молибденовой меди делают его идеальным материалом для аддитивного производства, особенно в приложениях, требующих высокой теплопроводности, высокой прочности и хорошей стойкости к высоким температурам, таких как аэрокосмические компоненты, компоненты автомобильных двигателей и индивидуальные детали для медицинских приборов.

В процессе аддитивного производства лист из молибденовой меди может сохранять хорошую структурную стабильность во время лазерной плавки и сохранять свои превосходные физические свойства в условиях высоких температур. Индивидуальное производство листов из молибденовой меди обеспечивает лучшее управление температурой в сложных структурных компонентах и достигает эффективного производства компонентов за счет снижения термического напряжения и повышения производительности.

Кроме того, аддитивное производство листов из молибденовой меди также может точно регулировать производительность в соответствии с различными требованиями к применению, удовлетворяя различные требования различных промышленных продуктов к тепловому управлению, механической прочности, стойкости к высоким температурам и коррозионной стойкости. Это делает листы из молибденовой меди перспективными для широкого применения в новых областях и делает их ключевым материалом в производстве индивидуальных компонентов.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## Глава 8. Состояние рынка и отрасли молибденово-медного листа

### 8.1 Обзор мирового рынка молибденово-медных листов

Будучи важной отраслью рынка молибденовых сплавов, мировой рынок молибденовых медных листов в последние годы демонстрирует устойчивую тенденцию к росту благодаря своим уникальным преимуществам в высокопроизводительных сценариях применения. Молибденовые медные листы представляют собой композитный материал, состоящий из молибдена (Mo) и меди (Cu), который обладает характеристиками высокой теплопроводности, регулируемого коэффициента теплового расширения и высокой прочности. Он широко используется в электронике, аэрокосмической промышленности, коммуникациях и новой энергетике. Рост его рынка в основном обусловлен мировым спросом на высокопроизводительные материалы, особенно в области связи 5G, электромобилей (EV) и оборудования для возобновляемых источников энергии. С общим рынком молибдена темпы роста рынка молибденовых медных листов более заметны. Тенденция роста общего рынка молибдена относительно медная, в то время как важность молибденовых медных листов в областях с высокой добавленной стоимостью (таких как электронная упаковка и компоненты терморегулирования) становится все более заметной, что еще больше способствует расширению его размера рынка.

молибденовой меди в основном обусловлен следующими ключевыми факторами. Во-первых, растет спрос на материалы с высокой теплопроводностью и низким тепловым расширением. Теплопроводность листов молибденовой меди составляет от 150 до 270 Вт/м·К, а регулируемый коэффициент теплового расширения составляет  $5-12 \times 10^{-6}$  /К, что делает его идеальным материалом для электронной упаковки и приложений терморегулирования. Например, в базовых станциях 5G листы молибденовой меди Mo60Cu40 широко используются в качестве подложек для рассеивания тепла благодаря их превосходной теплопроводности и тепловому расширению, соответствующему керамическим подложкам, что обеспечивает стабильность работы оборудования при высокочастотной работе. Во-вторых, быстрый рост рынка электромобилей (ЭМ) обусловил спрос на листы молибденовой меди.

Системы управления аккумуляторными батареями и силовые полупроводники электромобилей требуют эффективных материалов для терморегулирования, и листы из молибденовой меди являются первым выбором из-за их высокой теплопроводности и надежности. Кроме того, расширение областей возобновляемой энергии, таких как оборудование для ветровой и солнечной энергетики, увеличило спрос на листы из молибденовой меди. Например, листы из молибденовой меди используются в проводящем слое солнечных тонкопленочных элементов для поддержки эффективной работы оборудования для чистой энергии. Наконец, спрос на высокопроизводительные сплавы в аэрокосмической и оборонной областях продолжает расти, а легкие свойства и высокотемпературная стабильность листов из молибденовой меди привели к их использованию в реактивных двигателях и компонентах ракет. Например, листы из молибденовой меди Mo85Cu15 подходят для компонентов терморегулирования в аэрокосмической

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

промышленности из-за их низкого коэффициента теплового расширения и превосходных механических свойств.

Глобальный рынок листов из молибденовой меди сегментирован на электронику, аэрокосмическую промышленность, оптоэлектронику и новую энергетику по применению. В секторе электроники листы из молибденовой меди широко используются в теплоотводящих подложках для силовых полупроводников, радиочастотных усилителей и базовых станций 5G из-за их высокой теплопроводности и низкого коэффициента теплового расширения. Например, Mo60Cu40 подходит для высокочастотного коммуникационного оборудования из-за его проводимости около 30-40% IACS (Международный стандарт отожженной меди). Аэрокосмический сектор является еще одним важным рынком, где листы из молибденовой меди используются для производства компонентов терморегулирования реактивных двигателей и компонентов ракет, а Mo85Cu15 предпочитают из-за его высокой температурной стабильности (устойчивость к 600-800 °C) и легких характеристик. В секторе оптоэлектроники листы молибденовой меди используются в качестве носителей для лазерных и светодиодных чипов, а Mo70Cu30 имеет превосходное тепловое расширение, соответствующее таким материалам, как арсенид галлия, что обеспечивает долгосрочную стабильность устройства. С быстрым ростом спроса в новом энергетическом секторе листы молибденовой меди играют ключевую роль в системах управления аккумуляторами для электромобилей и солнечных тонкопленочных аккумуляторах. Например, листы молибденовой меди поддерживают производство солнечных элементов из селенида меди и индия-галлия (CIGS) в качестве проводящего слоя. Разнообразные требования этих секторов применения привели к постоянному расширению рынка листов молибденовой меди. Рынок листов молибденовой меди делится на сплавы молибденовой меди с различными пропорциями в зависимости от марки, такие как Mo85Cu15, Mo70Cu30, Mo60Cu40 и Mo50Cu50. Mo85Cu15 в основном содержит большое количество молибдена и имеет низкий коэффициент теплового расширения (около  $5-7 \times 10^{-6} / \text{K}$ ), что подходит для аэрокосмических и оптоэлектронных приложений и требует высокой степени соответствия керамическим или полупроводниковым материалам. Mo70Cu30 уравнивает теплопроводность и механические свойства и широко используется в базовых станциях 5G и подложках для рассеивания тепла электромобилей. Mo60Cu40 и Mo50Cu50 имеют высокое содержание меди и теплопроводность 220-270 Вт/м·К, что подходит для высокочастотного электронного оборудования и новых энергетических областей. Различия в производительности разных марок позволяют листам из молибденовой меди удовлетворять разнообразные потребности приложений и повышать конкурентоспособность на рынке.

молибденовых медных листов в основном делится на прямое производство и дистрибуцию. Прямое производство — это прямые поставки от производителей конечным пользователям, что распространено в крупных электронных и аэрокосмических компаниях. Канал дистрибуции распространяет продукцию малым и средним предприятиям через посредников, охватывая более широкий рынок. Дистрибьюторы фокусируются на конкурентоспособности цен и надежности цепочки поставок для обеспечения своевременной доставки. Например, дистрибьюторы в Северной Америке и Европе поставляют индивидуальные молибденовые медные листы для

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

автомобильной и новой энергетической отраслей промышленности для удовлетворения различных потребностей. Сочетание прямых каналов производства и дистрибуции оптимизирует охват рынка и способствует популяризации молибденовых медных листов. На мировом рынке молибденовых медных листов доминируют Китай, США и Чили, а поставщики укрепили свои позиции на рынке за счет технологических инноваций и стратегического сотрудничества. Например, China Molybdenum усилила свой контроль над цепочкой поставок, инвестируя в зарубежные минералы и последующую переработку. Американские компании производят листы из молибденовой меди высокой чистоты посредством добычи сопутствующих медно-молибденовых минералов для обслуживания рынков аэрокосмической и электронной промышленности. Кроме того, поставщики повысили свою конкурентоспособность на рынке, разработав новые композитные материалы из молибдена и меди (например, Mo70Cu30 с добавлением графена) для улучшения теплопроводности и прочности интерфейса.

## 8.2 Основные производители молибденово-медных листов - CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD является дочерней компанией China Tungsten Online Technology Co., Ltd. Основанная в 1997 году, CTIA начала с [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com), первого в Китае веб-сайта с лучшими вольфрамовыми продуктами, и является первой компанией электронной коммерции в Китае, сосредоточенной на вольфрамовой, молибденовой и редкоземельной промышленности. Опираясь на почти три десятилетия глубокого технического накопления и глобальной деловой репутации в области вольфрама и молибдена, CTIA стала одним из основных производителей на мировом рынке листов из молибденовой меди и стремится продвигать интеллектуальное, интегрированное и гибкое проектирование и производство материалов из молибденовой меди в эпоху промышленного Интернета. Компания производит различные марки листов молибденовой меди, такие как Mo85Cu15, Mo80Cu20, Mo60Cu40 и Mo50Cu50, которые широко используются в электронных подложках для рассеивания тепла, компонентах терморегулирования в аэрокосмической отрасли, оборудовании связи 5G и оптоэлектронных устройствах.

Компания CTIA GROUP LTD наследует технологии и опыт China Tungsten Online, фокусируется на индивидуальных потребностях клиентов, использует технологию искусственного интеллекта и промышленную интернет-платформу для сотрудничества с клиентами в целях проектирования и производства листов из молибденовой меди, которые соответствуют определенному химическому составу и физическим свойствам (таким как плотность около 9,1–10,0 г/см<sup>3</sup>, теплопроводность 150–270 Вт/м·К, электропроводность 20–45% IACS, коэффициент теплового расширения 5–12×10<sup>-6</sup> / К), предоставляя комплексные услуги по всему процессу, от открытия формы, опытного производства до отделки, упаковки и логистики.

Например, лист из молибденовой меди Mo60Cu40, который она производит, широко используется в радиаторах для радиочастотных модулей базовых станций 5G благодаря своей высокой теплопроводности и хорошей пластичности; Mo85Cu15 используется в компонентах терморегулирования реактивных двигателей аэрокосмической отрасли благодаря своему низкому тепловому расширению и высокой прочности. CTIA GROUP LTD производит листы из

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

молибденовой меди с помощью порошковой металлургии и инфильтрации расплава. Порошковая металлургия обеспечивает высокую плотность и механические свойства (например, прочность на разрыв Mo85Cu15 достигает 500-600 МПа), а метод инфильтрации расплава оптимизирует теплопроводность и электропроводность марок с высоким содержанием меди.

За последние 30 лет компания China Tungsten Online предоставила услуги по НИОКР, проектированию и производству более 500 000 наименований вольфрамовой и молибденовой продукции более чем 130 000 клиентов по всему миру, охватывая Европу, Америку, Азию, Маврикий, Кипр и другие регионы, заложив основу для индивидуального, гибкого и интеллектуального производства.

Исходя из этого, CTIA GROUP LTD еще больше углубила интеллектуальное производство в эпоху промышленного Интернета, разработала интеллектуальные системы управления производством, улучшила однородность продукции за счет автоматизированной технологии спекания и обработки и выполнила высокоточные требования электронной, коммуникационной и новой энергетической отраслей. Компания активно реагирует на мировые стандарты ESG (экологические, социальные и управленческие) и внедряет устойчивые технологии добычи и переработки, такие как сокращение потребления ресурсов путем переработки отходов молибдена и меди, что соответствует требованиям «14-го пятилетнего плана» Китая по зеленому производству. Ее сеть поставок охватывает Северную Америку, Европу и Азию и достигает эффективной глобальной доставки за счет стратегического сотрудничества и платформ электронной коммерции (таких как [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)).

Конкурентоспособность компании CTIA GROUP LTD также отражается в контроле затрат и крупномасштабном производстве, особенно с учетом богатых ресурсов молибдена в Китае и государственной поддержки; компания продолжает наращивать производственные мощности для удовлетворения растущих потребностей рынков инфраструктуры, 5G и электромобилей.

### 8.3 Рыночный спрос и тенденции развития молибденово-медного листа

листовой молибденовой меди обусловлен глобальной индустриализацией и технологическим прогрессом, особенно в области электроники, связи, аэрокосмической промышленности и новой энергетики. Электронная промышленность является основным источником спроса. Листовая молибденовая медь широко используется в силовых полупроводниковых приборах, микроволновых устройствах и радиаторах благодаря своей высокой теплопроводности и низкому коэффициенту теплового расширения. В 2023 году спрос мировой электронной промышленности на листовую молибденовую медь составляет значительную долю от общего объема рынка. Быстрое развитие связи 5G обусловило спрос на высокочастотную листовую молибденовую медь, которая используется для усилителей мощности ВЧ и подложек антенн для обеспечения целостности сигнала и термической стабильности. Быстрый рост индустрии электромобилей также значительно стимулировал спрос. Листовая молибденовая медь используется для компонентов рассеивания тепла систем управления аккумуляторными батареями и силовых

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



модулей. Рост мировых продаж электромобилей в 2023 году обусловил спрос на сопутствующие материалы. Ожидается, что области возобновляемой энергии, такие как ветровая и солнечная энергия, к 2050 году будут потреблять большое количество сплавов молибдена и меди для поглощающего слоя солнечных элементов и коррозионно-стойких компонентов ветряных турбин. Antaïke China прогнозирует, что ветроэнергетическая промышленность будет потреблять около 300 000 тонн молибдена. В аэрокосмической отрасли существует стабильный спрос на высокопрочные листы молибденовой меди с низким тепловым расширением, а такие марки, как Mo85Cu15, используются в реактивных двигателях и компонентах терморегулирования спутников. С точки зрения тенденций развития, рост технологий 3D-печати и аддитивного производства открыл новые области применения для листов молибденовой меди, такие как прецизионные аэрокосмические компоненты и медицинское оборудование. Кроме того, интеллектуальное производство и технологии зеленого производства способствовали оптимизации процессов производства листов молибденовой меди, таких как улучшение однородности продукции за счет автоматизированного управления процессом спекания. Азиатско-Тихоокеанский регион продолжит доминировать в росте спроса, а «14-й пятилетний план» Китая, поддерживающий высокотехнологичное производство и строительство инфраструктуры, как ожидается, еще больше увеличит потребление молибденово-медных листов.

#### 8.4 Проблемы и возможности рынка молибденово-медных листов

##### Испытание

Молибденовые медные листы зависят от двух основных видов сырья, молибдена и меди, цены на которые зависят от мировой экономики, баланса спроса и предложения и геополитических факторов и являются значительно нестабильными. Молибден обычно добывают как побочный продукт медных и вольфрамовых рудников, а колебания цен на медь напрямую влияют на поставки молибдена. Такие колебания цен увеличивают давление на производителей молибденовых медных листов, особенно в электронной и аэрокосмической промышленности, где требуется стабильная цепочка поставок, что может привести к сокращению маржи прибыли или снижению конкурентоспособности рынка. Глобальные опасения по поводу защиты окружающей среды побудили страны усилить надзор за добычей и переработкой, особенно в Китае и Северной Америке. В 2023 году производство молибдена в Северной Америке снизилось из-за снижения содержания медно-молибденовой руды и строгих экологических норм (таких как стандарты выбросов в США и Канаде), ограничивающих производственные мощности молибденовых медных листов. В Китае строгий надзор правительства за разрешениями на добычу полезных ископаемых (например, пересмотр Закона об охране окружающей среды) привел к увеличению эксплуатационных расходов, например, из-за необходимости использования оборудования с низким уровнем выбросов и технологий очистки сточных вод. Хотя эти правила повысили уровень экологического управления, они увеличили расходы на соблюдение требований производителей листов молибденовой меди, что может привести к уходу с рынка малых и средних предприятий. Молибденовый медный лист с высокой теплопроводностью и низким коэффициентом теплового расширения делает его уникальным в области электроники и

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



аэрокосмической промышленности, но другие материалы, такие как ванадий, вольфрам и хром, имеют конкурентоспособный потенциал в определенных областях применения. Например, вольфрам может частично заменить молибденовый медный лист в высокотемпературных средах из-за его более высокой температуры плавления (около 3422 °C), особенно в аэрокосмических компонентах. Использование ванадия в высокопрочных стальных сплавах может ослабить косвенный спрос на молибденовый медный лист в области стальной арматуры, в то время как использование хрома в коррозионно-стойких покрытиях может заменить спрос на молибденовый медный лист в определенных областях химической промышленности. Преимущества в стоимости или оптимизация производительности этих альтернативных материалов в определенных сценариях могут привести к частичной потере доли рынка молибденового медного листа. Например, применение листа молибденовой меди в теплоотводящих подложках базовой станции 5G может быть оспорено композитами на основе вольфрама, особенно на чувствительных к стоимости рынках. Кроме того, растущее применение керамических материалов (таких как нитрид алюминия) в электронной упаковке может представлять угрозу для спроса на такие марки, как Mo70Cu30. В некоторых регионах, особенно на развивающихся рынках, таких как Ближний Восток и Африка, недостаточная осведомленность о преимуществах листа молибденовой меди ограничила проникновение на рынок. Многие потенциальные пользователи (такие как малые и средние производители электроники) не понимают теплопроводности (150-270 Вт/м·К) и регулируемого коэффициента теплового расширения ( $5-12 \times 10^{-6}$  /K) листов молибденовой меди, что заставляет их отдавать предпочтение традиционным материалам, таким как чистая медь или алюминий. Кроме того, нестабильность цепочки поставок является еще одной серьезной проблемой. Геополитическая напряженность и проблемы с логистикой (могут привести к перебоям в поставках молибдена и меди, что повлияет на производство молибденово-медных листов). Задержки в транспортировке и узкие места в портах могут еще больше усугубить риски в цепочке поставок, что может привести к задержкам в поставках молибденово-медных листов и повлиять на производственные планы в аэрокосмической и электронной промышленности.

### **Возможность**

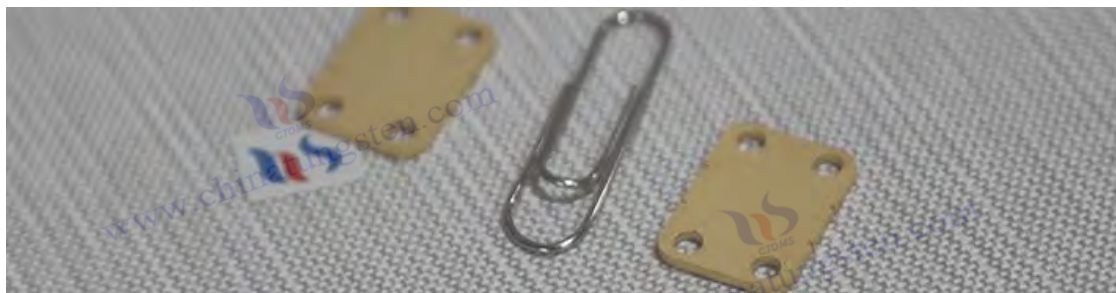
Быстрое развитие мировой новой энергетики и электронной промышленности открывает широкие перспективы для рынка молибденовых медных листов. Молибденовые медные листы широко используются в электромобилях (ЭМ), оборудовании связи 5G и оборудовании возобновляемой энергии благодаря своей высокой теплопроводности и низкому коэффициенту теплового расширения. Например, в области электромобилей молибденовые медные листы Mo60Cu40 используются для теплоотводящих подложек в системах управления батареями для обеспечения стабильности батарей при работе на высокой мощности. В области связи 5G молибденовые медные листы (например, Mo70Cu30) широко используются в радиочастотных усилителях базовых станций и силовых полупроводниках благодаря своей электропроводности (около 30-40% IACS) и тепловому расширению, соответствующему керамическим подложкам для обеспечения стабильности передачи высокочастотного сигнала. Спрос на оборудование для возобновляемой энергии также стимулирует рост рынка, например, листы молибденовой меди используются в качестве проводящего слоя тонкопленочных солнечных элементов на основе

### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

селенида меди, индия и галлия (CIGS) для поддержки повышения эффективности генерации солнечной энергии. Быстрый рост этих новых областей применения обеспечивает стабильный источник спроса на рынке листов молибденовой меди. Технологические инновации открыли новые точки роста для рынка листов молибденовой меди. Передовые технологии извлечения (такие как гидрометаллургия) повысили скорость извлечения молибдена и снизили производственные затраты. Достижения в области технологии аддитивного производства (3D-печати) сделали возможным производство деталей сложной формы из листов молибденовой меди, особенно в аэрокосмической и медицинской областях. Например, композиты молибден-медь, полученные с помощью технологии 3D-печати электронно-лучевой плавки (EBM), имеют высокую плотность и трещиностойкость и подходят для высокотемпературных деталей аэрокосмической отрасли, таких как лопатки турбин из Mo85Cu15.

Кроме того, применение нанокompозитной технологии (например, добавление графена к Mo70Cu30) улучшает теплопроводность и прочность интерфейса, расширяя применение листов молибденовой меди в прецизионном производстве. Например, растет спрос на высокопроизводительные листы молибденовой меди в рентгеновских мишенях и компонентах радиаторов в медицинской сфере. Эти технологические инновации не только улучшают характеристики листов молибденовой меди, но и сокращают отходы материала в процессе производства и повышают конкурентоспособность на рынке.

В 14-м пятилетнем плане Китая особое внимание уделяется модернизации производства и развитию новой энергетики, что увеличивает спрос на листы из молибденовой меди. Например, в проектах по созданию интеллектуальных сетей и высокоскоростных железных дорог Mo60Cu40 используется для изготовления эффективных проводящих компонентов. Кроме того, быстрая урбанизация и расширение электронной промышленности в странах Азиатско-Тихоокеанского региона, таких как Индия и Япония, еще больше расширили рынок. Эти региональные требования предоставляют поставщикам диверсифицированные рыночные возможности, особенно в приложениях с высокой добавленной стоимостью. Тенденция к зеленому производству по переработке отходов молибденовой меди также открывает новые возможности для рынка. Использование листов из молибденовой меди в оборудовании для возобновляемых источников энергии соответствует глобальным целям по сокращению выбросов углерода. Например, в ветряных турбинах и солнечных батареях коррозионная стойкость и теплопроводность листов из молибденовой меди продлевают срок службы оборудования.



CTIA GROUP LTD Молибденовый медный лист Фотография

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Copper Sheets Introduction

1. Overview of Molybdenum Copper Sheets

Molybdenum-copper (Mo-Cu) sheets are composite materials composed of molybdenum and copper. Thanks to their unique combination of thermal, electrical, and mechanical properties, as well as their tunability, Mo-Cu sheets are widely used in fields such as thermal management, high-performance electronic devices, semiconductors, and aerospace. They are commonly utilized as packaging materials, integrated circuit substrates, heat sinks, and LED thermal dissipation substrates. At CTIA GROUP LTD, we can customize molybdenum-copper products with specific dimensions and compositions according to customer requirements.

2. Features of Molybdenum Copper Sheets

- Excellent Electrical Conductivity:** Suitable for applications requiring efficient electrical connections.
- High Thermal Conductivity:** Capable of rapid heat transfer, ideal for electronic devices that require effective thermal dissipation.
- Low Coefficient of Thermal Expansion:** Highly compatible with semiconductor materials like silicon, helping to minimize thermal stress caused by temperature fluctuations and preventing deformation or damage to components.
- Good Workability:** Can be processed through cutting and other techniques into parts of various sizes and shapes to meet diverse application needs.

3. Typical Properties of Molybdenum-Copper Alloys

| Material Composition | Density (g/cm³) | Thermal Conductivity (W/M·K at 25°C) | Thermal Expansion Coefficient (10 <sup>-6</sup> /°C) |
|----------------------|-----------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Mo85Cu15             | 10.00           | 160-180                              | 6.8                                                  |
| Mo80Cu20             | 9.90            | 170-190                              | 7.7                                                  |
| Mo70Cu30             | 9.80            | 180-200                              | 9.1                                                  |
| Mo60Cu40             | 9.66            | 210-250                              | 10.3                                                 |
| Mo50Cu50             | 9.54            | 230-270                              | 11.5                                                 |

4. Production Method of Molybdenum Copper Sheets

The preparation of molybdenum-copper sheets is primarily carried out using the infiltration method, which takes advantage of molybdenum's high melting point and copper's excellent fluidity. In this process, copper is infiltrated into a molybdenum preform at high temperatures, resulting in the formation of a dense molybdenum-copper composite material.

5. Purchasing Information

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com); Phone: +86 592 5129595; 592 5129696  
Website: [molybdenum-copper.com](http://molybdenum-copper.com)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## Глава 9. Будущее развитие молибденово-медного листа

### 9.1 Потенциал новой технологии подготовки молибденово-медного листа

Технология подготовки листов молибденовой меди, основанная на традиционных методах порошковой металлургии и инфильтрации расплава, развивается в сторону интеллекта, экологичности и высокой эффективности. С развитием материаловедения и производственных технологий новые технологии подготовки продемонстрировали большой потенциал. Технология аддитивного производства (3D-печать) является важным направлением. С помощью технологии плавления лазерным порошком или электронно-лучевой плавки можно напрямую печатать сложные детали из листов молибденовой меди, такие как компоненты терморегулирования в аэрокосмической отрасли или радиаторы микроволновых устройств.

Технология 3D-печати позволяет точно контролировать соотношение молибдена и меди и микроструктуру, оптимизирует теплопроводность ( $150-270 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ ) и электропроводность, а также сокращает отходы материала. Например, путем плавления порошка  $\text{Mo60Cu40}$  слой за слоем можно изготовить радиатор со сложными внутренними каналами, чтобы соответствовать требованиям высокой тепловой нагрузки оборудования 5G.

Нанокompозитная технология — еще одна потенциальная область. Вводя фазы армирования в наномасштабе (например, графен или углеродные нанотрубки) на границе раздела молибден-медь, можно улучшить прочность связи и эффективность теплопроводности. Например, добавление графена к  $\text{Mo70Cu30}$  может повысить теплопроводность до  $260 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$  при сохранении низкого коэффициента теплового расширения ( $8-10 \times 10^{-6} / \text{К}$ ).

Кроме того, интеллектуальные производственные технологии, такие как оптимизация процесса с помощью ИИ и автоматизированное управление спеканием, улучшают плотность и постоянство характеристик листов молибден-медь за счет мониторинга параметров температуры и давления в реальном времени и подходят для крупномасштабного производства марок с высоким содержанием меди, таких как  $\text{Mo50Cu50}$ . Большое внимание также привлекают экологически чистые производственные технологии, такие как использование в качестве сырья перерабатываемых молибденово-медных отходов и снижение потребления энергии за счет технологии низкотемпературного спекания или плазменного спекания, которая соответствует мировым стандартам ESG (экологические, социальные и управленческие).

Компания CTIA GROUP LTD начала изучать эти технологии и использовать промышленную интернет-платформу для достижения интеллекта полного процесса от проектирования до производства, например, используя ИИ для совместного проектирования листов молибденовой меди  $\text{Mo85Cu15}$  для удовлетворения индивидуальных потребностей высокотемпературных аэрокосмических компонентов. Ожидается, что эти новые технологии снизят производственные затраты, сократят циклы и улучшат эксплуатационные характеристики продукции, открывая новые возможности для листов молибденовой меди в высокопроизводительных приложениях.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## 9.2 Направления исследований по оптимизации характеристик медно-молибденовых листов

Лист из молибденовой меди фокусируется на улучшении теплопроводности, электропроводности, механических свойств и экологической адаптивности для соответствия строгим требованиям электроники, аэрокосмической промышленности и новых энергетических областей. Оптимизация интерфейса является основным направлением. За счет улучшения качества связи интерфейса молибден-медь снижается тепловое сопротивление и электрическое контактное сопротивление. Например, химическое осаждение из паровой фазы (CVD) используется для нанесения переходного слоя на поверхность частиц молибдена для повышения теплопроводности Mo60Cu40 до более чем 250 Вт/м·К, одновременно увеличивая прочность на разрыв до 400 МПа. Проектирование легирования является еще одним важным направлением. Добавление микроэлементов (таких как рений или титан) может повысить высокую термостойкость и стойкость к окислению листа из молибденовой меди. Например, добавление небольшого количества рения к Mo85Cu15 может сохранить его структурную стабильность при 800 °C, что подходит для компонентов реактивных двигателей в аэрокосмической отрасли. Регулирование микроструктуры также получило внимание. Контролируя равномерность распределения фаз молибдена и меди, коэффициент теплового расширения ( $5-12 \times 10^{-6}$  /K) оптимизируется для соответствия керамическому материалу. Например, микроструктура Mo80Cu20 регулируется технологией плазменного спекания для снижения термического напряжения и продления срока службы электронных корпусных устройств. Технология модификации поверхности, такая как магнетронное распыление для нанесения тонкопленочных покрытий медь-молибден, может улучшить характеристики электрических контактов и коррозионную стойкость и подходит для применения высокочастотных листов молибдена-меди в модулях 5G RF.

Применение вычислительного материаловедения открывает новый путь к оптимизации производительности. Путем моделирования термических и механических свойств сплавов молибдена и меди прогнозируется оптимальное соотношение состава. Например, моделирование молекулярной динамики используется для оптимизации распределения фазы меди Mo50Cu50 и повышения проводимости до 45% IACS. Кроме того, оптимизация зеленой производительности также находится в центре внимания, изучая низкоэнергетические процессы подготовки и перерабатываемые материалы для снижения воздействия на окружающую среду. Например, путем переработки отходов молибдена и меди для производства Mo70Cu30 снижаются производственные затраты и улучшается устойчивость. Эти направления исследований способствуют применению листов молибдена и меди в высокопроизводительных областях за счет технологических инноваций и междисциплинарной интеграции.

## 9.3 Расширение межотраслевого применения молибденово-медных листов

Листы из молибденовой меди набирают обороты. Благодаря своей высокой теплопроводности, низкому тепловому расширению и превосходным механическим свойствам они постепенно распространились из традиционных областей электроники и аэрокосмической отрасли в новые энергетические, медицинские и оборонные области. В области новой энергетики листы из

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

молибденовой меди широко используются в системах управления аккумуляторными батареями электромобилей и оборудовании для возобновляемых источников энергии благодаря своей высокой теплопроводности и коррозионной стойкости. Например, Mo60Cu40 используется для теплоотводящих подложек силовых модулей электромобилей для эффективного управления высокими тепловыми нагрузками; Mo70Cu30 используется для поглощающих слоев солнечных батарей и коррозионно-стойких компонентов ветряных турбин. Ожидается, что к 2050 году ветроэнергетическая промышленность будет потреблять большое количество сплавов молибденовой меди.

В медицинской сфере биосовместимость и высокая прочность листов молибденовой меди сделали их выдающимися в производстве медицинского оборудования. Например, Mo85Cu15 используется в компонентах рассеивания тепла рентгеновского оборудования для обеспечения стабильности оборудования в условиях высокой радиации; листы молибденовой меди, напечатанные на 3D-принтере, могут использоваться для изготовления компонентов терморегулирования для прецизионных имплантируемых медицинских устройств. Листы молибденовой меди в оборонном секторе также растут. Mo80Cu20 подходит для радиаторов в ракетных и радиолокационных системах благодаря своему низкому тепловому расширению и высокой прочности, что соответствует требованиям условий высоких температур и высокой вибрации. Высокопроизводительные вычисления и искусственный интеллект открыли новые рынки для листов молибденовой меди. Высокая теплопроводность и электропроводность Mo50Cu50 делают его идеальным выбором для подложек рассеивания тепла для чипов серверов центров обработки данных, поддерживая технологию высокоплотной 3D-упаковки. Кроме того, новые области применения листов молибденовой меди в оптоэлектронной области продолжают расширяться, например, Mo70Cu30 для мощных лазеров и светодиодных чипов для оптимизации терморегулирования и производительности электрических контактов. Расширение межотраслевого охвата также выигрывает от новых технологий подготовки, таких как 3D-печать и нанокompозитная технология, которые позволяют листам молибденовой меди настраивать сложные структуры для удовлетворения точных потребностей в медицинской и оборонной областях. В будущем, с глобальным фокусом на эффективную энергию и интеллектуальное производство, потенциал применения листов молибденовой меди в ядерных теплообменниках, топливных элементах и интеллектуальных терминалах будет еще больше раскрываться, что приведет к росту размера его рынка.



CTIA GROUP LTD Молибденовый медный лист Фотография

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## Глава 10. Внутренние и международные стандарты для листов молибденовой меди

### 10.1 Китайский национальный стандарт для листов молибденовой меди

Национальные стандарты Китая предоставляют нормативные указания по производству, испытаниям и применению листов из молибденовой меди для обеспечения качества продукции и согласованности в отрасли. В настоящее время основным стандартом, связанным с листами из молибденовой меди, является отраслевой стандарт YS/T 1546-2022 «Пластина из молибденового медного сплава», который находится в ведении Министерства промышленности и информационных технологий, выпущен 30 сентября 2022 года и введен в действие 1 апреля 2023 года. Регистрационный номер — 88796-2023. Этот стандарт применим к пластинам из молибденового медного сплава в деформированном отожженном и пропитанном состояниях, охватывая такие распространенные марки, как Mo85Cu15, Mo80Cu20 и Mo70Cu30. Он определяет химический состав, физические свойства (такие как плотность, теплопроводность) и требования к обработке и подходит для теплопроводящих подложек и проводящих компонентов в областях электронной упаковки, аэрокосмической промышленности и связи.

Например, стандарт требует, чтобы плотность Mo70Cu30 составляла около 9,6 г/см<sup>3</sup>, теплопроводность около 200-250 Вт/м·К, а коэффициент теплового расширения около  $8-10 \times 10^{-6}$  /К для обеспечения соответствия керамическим материалам. Кроме того, YS/T 660-2022 «Марки и химический состав продуктов обработки молибдена и молибденовых сплавов» также содержит ссылку на химический состав листов молибденовой меди, уточняя диапазон содержания молибдена и меди и требования к контролю примесей. Другие соответствующие стандарты включают YS/T 1562.1-2022 «Методы химического анализа сплавов вольфрама и меди. Часть 1: Определение содержания меди с помощью оцифровки йода и атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой», который обеспечивает методическую поддержку для определения состава листов молибденовой меди. Эти стандарты контролируются Китайской ассоциацией цветной металлургии и Национальным техническим комитетом по стандартизации цветных металлов (TC243) для обеспечения соответствия требованиям высококласной обрабатывающей промышленности в «14-м пятилетнем плане» страны. Такие компании, как CTIA GROUP LTD, строго следуют этим стандартам для производства листов молибденовой меди, которые отвечают потребностям электроники и аэрокосмической промышленности.

### 10.2 Международные стандарты для листов молибденовой меди

Международные стандарты предоставляют единые спецификации для производства и торговли молибденовыми медными листами на мировом рынке, но Международная организация по стандартизации (ISO) и Международная электротехническая комиссия (IEC) еще не выпустили независимых стандартов специально для молибденовых медных листов. Соответствующие требования обычно интегрированы в стандарты молибденовых сплавов или композитных материалов. ISO 1554:1976 и ISO 1553:1976 (Методы химического анализа обработанных и литых

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

медных сплавов и чистой меди) предоставляют ссылки для определения содержания меди в молибденовых медных листах. Содержание меди анализируется электролизом для обеспечения точности химического состава. Эти стандарты частично приняты китайским стандартом YS/T 1562.1-2022 для определения содержания меди в таких марках, как Mo60Cu40. Кроме того, стандарт системы менеджмента качества ISO 9001 широко используется при контроле качества производителей молибденовых медных листов для обеспечения постоянства характеристик продукции. Например, CTIA GROUP LTD прошла сертификацию ISO 9001 и оптимизировала процесс производства Mo50Cu50 для удовлетворения потребностей оборудования связи 5G. Международные стандарты также включают требования по охране окружающей среды и безопасности, такие как система экологического менеджмента ISO 14001, которая требует сокращения отходов и потребления энергии в процессе производства в соответствии с мировыми стандартами ESG. Несмотря на отсутствие специальных международных стандартов для листов из молибденовой меди, производители листов из молибденовой меди обычно ссылаются на стандарты ISO/TC 119 (порошковая металлургия) и ISO/TC 26 (медь и медные сплавы) в сочетании с требованиями контрактов с клиентами для настройки параметров производительности, таких как теплопроводность ( $150-270 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ ) и коэффициент теплового расширения ( $5-12 \times 10^{-6} / \text{К}$ ). В будущем, по мере расширения применения листов из молибденовой меди в новой энергетике и электронике, ISO может сформулировать более конкретные стандарты для регулирования мирового рынка.

### **Стандарты медно-молибденовых листов в Европе, Америке, Японии, Южной Корее и других странах мира**

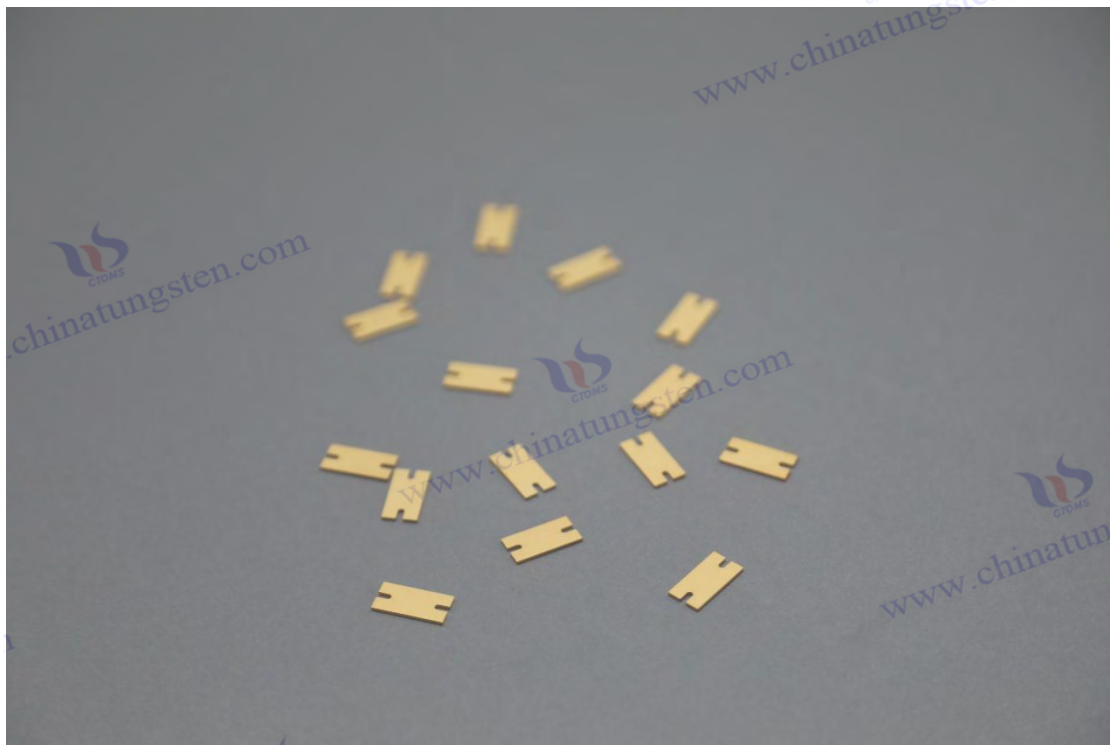
на молибденовые медные листы в Европе, Америке, Японии, Южной Корее и других странах обычно основаны на их собственных системах стандартов на материалы или отраслевых спецификациях. Поскольку молибденовые медные листы являются материалами специального назначения, существует немного специальных стандартов, и соответствующие требования интегрированы в стандарты медных сплавов, молибденовых сплавов или композитных материалов. В Соединенных Штатах стандарты Американского общества по испытаниям и материалам (ASTM), такие как ASTM B777 (стандарт на вольфрамовый сплав высокой плотности), предоставляют косвенные ссылки на тестирование производительности молибденовых медных листов. Хотя они не нацелены напрямую на молибденовые медные листы, их методы испытаний (такие как плотность и прочность на разрыв) применимы к контролю качества таких марок, как Mo85Cu15. Американские компании часто объединяют требования по настройке клиентов для производства листов молибденовой меди, которые соответствуют потребностям аэрокосмической отрасли, например, Mo80Cu20 для компонентов терморегулирования спутников с теплопроводностью около  $170-200 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ . В Европе Европейский комитет по стандартизации (CEN) косвенно регулирует требования к обработке листов молибденовой меди через EN 13599 (пластины и полосы из меди и медных сплавов), подчеркивая химический состав и механические свойства (например, прочность на разрыв 400-600 МПа). Немецкий институт стандартизации (DIN) также предоставляет аналогичные рекомендации. Некоторые компании ссылаются на DIN EN ISO 6892-1 для проведения испытаний

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**



на растяжение листов молибденовой меди, чтобы убедиться, что прочность и пластичность Mo70Cu30 соответствуют требованиям электронной упаковки.

В Японии японские промышленные стандарты (JIS), такие как JIS H 3100 (листы и полосы из меди и медных сплавов), содержат ссылки на производство молибденовых медных листов, подчеркивая электропроводность и теплопроводность. Молибденовые медные листы Mo60Cu40, производимые японскими компаниями, широко используются в высокочастотном коммуникационном оборудовании с электропроводностью около 30-40% IACS. Корейское агентство по технологиям и стандартам (KATS) производит молибденовые медные листы, которые отвечают потребностям новой энергии, такие как Mo50Cu50 для силовых модулей электромобилей, в соответствии с международными стандартами и контрактами с клиентами. Эти страны обычно настраивают эксплуатационные параметры молибденовых медных листов в сочетании со стандартами ISO и отраслевой практикой и обеспечивают качество и соответствие экологическим нормам с помощью сертификации ISO 9001 и ISO 14001. Европейские, американские, японские и корейские компании также сотрудничают с китайскими производителями, такими как CTIA GROUP LTD, используя китайский стандарт YS/T 1546-2022 в качестве эталона для обеспечения единообразия продукции на мировом рынке.



CTIA GROUP LTD Молибденовый медный лист Фотография

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

Приложение: Глоссарий терминов по молибденово-медным листам

| термин                           | определение                                                                                                                                                                                                                             | Примеры применения                                                                                                                                                   |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Молибденовый медный лист         | Молибден (Mo) и медь (Cu ) в определенном соотношении изготавливаются методом порошковой металлургии или инфильтрации расплава и обладают высокой теплопроводностью, низким коэффициентом термического расширения и высокой прочностью. | Лист молибденовой меди Mo70Cu30 используется в качестве подложки для рассеивания тепла базовой станции 5G, а его теплопроводность составляет около 200-250 Вт/ м·К . |
| молибден                         | Переходный металл с высокой температурой плавления, обладающий превосходной устойчивостью к высоким температурам и коррозии, низким коэффициентом теплового расширения, а также обеспечивающий структурную поддержку.                   | структурный каркас листов молибденовой меди в высокотемпературных компонентах аэрокосмической техники.                                                               |
| медь                             | Высокопроводящие и теплопроводящие металлы, образующие тепло- и электропроводящую сеть и улучшающие пластичность.                                                                                                                       | Медная фаза в Mo60Cu40 улучшает электропроводность и подходит для радиаторов в коммуникационном оборудовании.                                                        |
| Бренд                            | Указывает массовую или объемную долю молибдена и меди в листах молибдена-меди, например Mo85Cu15 (85% молибдена, 15% меди).                                                                                                             | Mo85Cu15 используется в аэрокосмической промышленности, а Mo50Cu50 — в высокочастотном электронном оборудовании.                                                     |
| Теплопроводность                 | Мера способности листов молибденовой меди проводить тепло, измеряемая в Вт/ м·К , которая увеличивается с содержанием меди .                                                                                                            | Теплопроводность Mo50Cu50 составляет 220-270 Вт/ м·К и используется в качестве подложек для рассеивания тепла в силовых полупроводниках.                             |
| Коэффициент теплового расширения | Он показывает скорость расширения листа молибденовой меди при изменении температуры, единица измерения — 10 <sup>-6</sup> /К, которая                                                                                                   | КТР Mo85Cu15 составляет около 5-7×10 <sup>-6</sup> /К, что соответствует керамическому материалу и снижает термическую нагрузку.                                     |

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

|                                          |                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                             |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                          | уменьшается с увеличением содержания молибдена.                                                                                                       |                                                                                                                                                             |
| <b>Проводимость</b>                      | Мера способности листа молибденовой меди проводить ток, выраженная в процентах от IACS, которая увеличивается с содержанием меди.                     | Проводимость Mo60Cu40 составляет около 30-40% IACS, что подходит для высокочастотного коммуникационного оборудования.                                       |
| <b>Механические свойства</b>             | молибденовой меди под действием трехосной нагрузки или термоциклирования демонстрирует усталостную прочность.                                         | Mo70Cu30 обладает хорошей прочностью благодаря высокому содержанию меди и подходит для использования в условиях высокой вибрации в аэрокосмической отрасли. |
| <b>Устойчивость к коррозии</b>           | В листах молибденовой меди, устойчивых к коррозии под воздействием агрессивных сред (таких как влага и солевой туман), преобладает молибденовая фаза. | Mo85Cu15 хорошо себя зарекомендовал в морской среде и подходит для компонентов терморегулирования в аэрокосмической отрасли.                                |
| <b>Антиоксидантные свойства</b>          | Лист из молибденовой меди устойчив к реакциям окисления в высокотемпературной среде, содержащей кислород.                                             | Mo80Cu20 сохраняет структурную стабильность при температуре 600°C и подходит для высокотемпературных электронных устройств.                                 |
| <b>Устойчивость к кислотам и щелочам</b> | молибденовой меди в кислых или щелочных средах.                                                                                                       | Mo85Cu15 хорошо себя проявляет в неокисляющих кислотах, таких как соляная кислота, и подходит для деталей химической промышленности.                        |
| <b>Порошковая металлургия</b>            | молибдена и меди получают путем смешивания порошка молибдена и порошка меди, прессования и спекания при высокой температуре (1000-1400°C).            | Mo85Cu15 производится методом порошковой металлургии и имеет предел прочности на разрыв 500-600 МПа.                                                        |
| <b>Метод инфильтрации</b>                | молибдена и меди, полученные путем инфильтрации расплавленной меди в пористый молибденовый каркас,                                                    | Mo50Cu50 оптимизирует теплопроводность за счет инфильтрации расплава и                                                                                      |

## COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

|                                                               |                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                               | подходят для сортов с высоким содержанием меди.                                                                                                                                     | подходит для радиаторов в оборудовании связи 5G.                                                                                                                               |
| Горячее прессование спеканием                                 | Разновидность порошковой металлургии, которая улучшает плотность и механические свойства листов молибденовой меди посредством спекания при высокой температуре и высоком давлении . | Твердость по Виккерсу Mo80Cu20 достигает 160–200 HV, что подходит для высокотемпературных компонентов аэрокосмической промышленности.                                          |
| Высокочастотный молибденово-медный лист                       | Листы из молибденовой меди специально разработаны для высокочастотного электронного оборудования и обладают высокой электро- и теплопроводностью.                                   | Mo60Cu40 используется в усилителях мощности ВЧ и имеет проводимость около 30-40% IACS.                                                                                         |
| Листовая медь из молибдена для аэрокосмической промышленности | Листы из молибденовой меди, предназначенные для аэрокосмической промышленности, имеют низкий коэффициент теплового расширения и высокую прочность.                                  | Mo85Cu15 используется в компонентах терморегулирования реактивных двигателей и может стабильно работать при температуре 600-800°C.                                             |
| Фотоэлектрическое устройство типа молибденово-медный лист     | Листы молибденовой меди, предназначенные для оптоэлектронных приборов, обладают высокой теплопроводностью и соответствующим коэффициентом теплового расширения.                     | Mo70Cu30 используется для подложки рассеивания тепла лазеров высокой мощности и соответствует арсениду галлия.                                                                 |
| Паспорта безопасности материалов                              | Документ, содержащий информацию о безопасности для листов молибденовой меди, описывающий химический состав, потенциальные опасности и рекомендации по обращению.                    | В паспорте безопасности материала (MSDS) компании China Tungsten Intelligence рекомендуется надевать противопылевую маску для предотвращения вдыхания пыли во время обработки. |
| Интеллектуальное производство                                 | Используйте технологию искусственного интеллекта и промышленный Интернет для оптимизации производства листов молибденовой меди и повышения стабильности и эффективности.            | Компания CTIA GROUP LTD производит Mo50Cu50 с помощью автоматизированного управления спеканием для удовлетворения потребностей оборудования 5G.                                |

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



|                            |                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                   |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Аддитивное производство    | Листы из молибдена и меди с помощью технологии 3D-печати позволяют изготавливать детали сложной формы и сокращать отходы материала.                                    | Из Mo60Cu40 методом 3D-печати изготавливаются сложные радиаторы, которые подходят для аэрокосмической отрасли.                    |
| Нанокompозитные технологии | Введение наноукрепляющих фаз (например, графена) на границе раздела молибдена и меди может улучшить теплопроводность и прочность интерфейса.                           | достигает 260 Вт/ м·К после добавления графена.                                                                                   |
| Стандарты ESG              | Глобальные экологические, социальные и управленческие нормы требуют, чтобы производство листов молибденовой меди обеспечивало снижение потребления энергии и отходов.  | Переработка молибденово-медных отходов для производства Mo70Cu30.                                                                 |
| ЯС/Т 1546-2022             | Китайский промышленный стандарт «Пластина из молибденово-медного сплава» определяет химический состав и физические свойства.                                           | Mo70Cu30 имеет плотность около 9,6 г/см³ и подходит для корпусирования электронных компонентов и аэрокосмической промышленности.  |
| ИСО 9001                   | Международные стандарты систем менеджмента качества, применяемые для контроля качества предприятий по производству молибденово-медных листов.                          | Компания прошла сертификацию ISO 9001 и оптимизировала процесс производства Mo50Cu50.                                             |
| ИСО 14001                  | Международные стандарты системы экологического менеджмента требуют, чтобы производство листов молибденовой меди обеспечивало снижение воздействия на окружающую среду. | Технология низкотемпературного спекания применяется для производства листов молибденовой меди с целью снижения энергопотребления. |

проиллюстрировать :

- В таблице четко представлены термины, определения и примеры применения, охватывающие свойства материала, процесс подготовки, рыночный статус и стандарты листа молибденовой меди, объединяющие информацию из предыдущих глав и результаты поиска.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## Ссылки

- [1] Международная организация по стандартизации. (1976). ISO 1553:1976: Нелегированная медь, содержащая не менее 99,90 % меди – Определение содержания меди – Электролитический метод. Женева, Швейцария: ISO.
- [2] Международная организация по стандартизации. (1976). ISO 1554:1976: Деформируемые и литейные медные сплавы. Определение содержания меди. Электролитический метод. Женева, Швейцария: ISO.
- [3] Международная организация по стандартизации. (2015). ISO 9001:2015: Системы менеджмента качества – Требования. Женева, Швейцария: ISO.
- [4] Международная организация по стандартизации. (2015). ISO 14001:2015: Системы экологического менеджмента — Требования и руководство по применению. Женева, Швейцария: ISO.
- [5] Каллистер, У. Д. и Ретвиш, Д. Г. (2020). Материаловедение и инженерия: Введение (10-е изд.). Хобокен, Нью-Джерси: Wiley.ASM International. (1990). Справочник ASM, Том 2: Свойства и выбор: цветные сплавы и материалы специального назначения. Materials Park, Огайо: ASM International.



CTIA GROUP LTD Молибденовый медный лист Фотография

## 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](http://www.ctia.com.cn)

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