

Полное руководство по молибденовому тиглю

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
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

ЗНАКОМСТВО С CTIA GROUP

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

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

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

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



Copyright and Legal Liability Statement

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

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

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Crucible Introduction

1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model
Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.				

5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Copyright and Legal Liability Statement

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

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

Содержание

Глава 1 Введение

- 1.1 Определение и важность молибденового тигля
- 1.2 Историческое развитие и технологическая эволюция
- 1.3 Роль молибденового тигля в современной промышленности и научных исследованиях

Глава 2 Основные принципы молибденового тигля

- 2.1 Физико-химические свойства металлического молибдена
- 2.2 Рабочий механизм в условиях высоких температур
- 2.3 Сравнение с другими материалами, устойчивыми к высоким температурам
- 2.4 Термодинамические и механические свойства

Глава 3 Производительность молибденового тигля

- 3.1 Физические и химические свойства молибденового тигля
 - 3.1.1 Температура плавления и термическая стабильность молибденового тигля
 - 3.1.2 Плотность и теплопроводность молибденового тигля
 - 3.1.3 Молибденовый тигель с антиокислительными и антикоррозионными характеристиками
 - 3.1.4 Механическая прочность и ударная вязкость молибденового тигля
- 3.2 Термические и механические свойства молибденового тигля
 - 3.2.1 Тепловое расширение и высокотемпературная деформация молибденового тигля
 - 3.2.2 Стойкость к тепловому удару молибденового тигля
 - 3.2.3 Ползучесть и долговременная стабильность молибденового тигля
 - 3.2.4 Усталость молибденового тигля и циклическое использование
- 3.3 Взаимосвязь между микроструктурой молибденового тигля и производительностью
 - 3.3.1 Структура и ориентация зерен
 - 3.3.2 Действие легирующих элементов
 - 3.3.3 Морфология поверхности и высокотемпературные характеристики
- 3.4 Срок службы и надежность молибденового тигля
 - 3.4.1 Факторы, влияющие на продолжительность жизни
 - 3.4.2 Анализ режима отказа
 - 3.4.3 Метод испытания надежности
- 3.5 Китайский вольфрамовый интеллектуальный молибденовый тигель MSDS

Глава 4 Использование молибденового тигля

- 4.1 Рост кристаллов
 - 4.1.1 Сапфировое стекло (метод Чохральского, метод теплообмена)
 - 4.1.2 Монокристалл кремния (метод Чохральского)
 - 4.1.3 Другие кристаллические материалы
- 4.2 Высокотемпературная плавка и плавка

Copyright and Legal Liability Statement

- 4.2.1 Редкоземельные металлы
- 4.2.2 Цветные металлы и сплавы
- 4.2.3 Очистка драгоценных металлов
- 4.3 Вакуумная и высокотемпературная термическая обработка
 - 4.3.1 Вакуумная печь для термообработки
 - 4.3.2 Порошковая металлургия и спекание
 - 4.3.3 Высокотемпературный отжиг
- 4.4 Научные исследования и лабораторные приложения
 - 4.4.1 Оборудование для высокотемпературных испытаний
 - 4.4.2 Испытание на эксплуатационные характеристики материала
 - 4.4.3 Ядерные материалы и исследования плазмы
- 4.5 Новые приложения
 - 4.5.1 Аддитивное производство
 - 4.5.2 Аэрокосмическая промышленность
 - 4.5.3 Устройство для ядерного синтеза

Глава 5 Процесс и технология подготовки молибденового тигля

- 5.1 Выбор и подготовка сырья
 - 5.1.1 Очистка молибденовых руд
 - 5.1.2 Требования к качеству молибденового порошка
 - 5.1.3 Легирование и легирование
 - 5.1.4 Тестирование сырья
- 5.2 Металлургический процесс
 - 5.2.1 Прессование и спекание
 - 5.2.1.1 Изостатическое прессование
 - 5.2.1.2 Печь для спекания и атмосфера
 - 5.2.2 Ковка и прокатка
 - 5.2.2.1 Горячая штамповка и холодная штамповка
 - 5.2.2.2 Процесс прокатки
 - 5.2.3 Вращение и растяжка
 - 5.2.3.1 Вращающаяся матрица
 - 5.2.3.2 Температура растяжения и смазки
- 5.3 Обработка и отделка
 - 5.3.1 Токарная и фрезерная обработка
 - 5.3.1.1 Обработка с ЧПУ
 - 5.3.1.2 Точность и шероховатость
 - 5.3.2 Сварочные технологии
 - 5.3.2.1 Электронно-лучевая сварка
 - 5.3.2.2 Лазерная сварка и пайка
 - 5.3.3 Обработка поверхности
 - 5.3.3.1 Чистка и полировка
 - 5.3.3.2 Антиокислительное покрытие

Copyright and Legal Liability Statement

5.3.4 Термическая обработка и отжиг

5.3.4.1 Контроль зерна

5.3.4.2 Снятие стресса

5.4 Производственное оборудование и автоматизация

5.4.1 Основное оборудование

5.4.1.1 Вакуумная печь для спекания

5.4.1.2 Прядильные и токарные станки

5.4.1.3 Оборудование для обработки поверхностей

5.4.2 Автоматизация и интеллект

5.4.3 Требования к чистым помещениям

Глава 6 Контроль качества и инспекция молибденового тигля

6.1 Онлайн-обнаружение

6.1.1 Размеры и точность

6.1.2 Дефекты поверхности

6.2 Тестирование производительности

6.2.1 Устойчивость к высоким температурам

6.2.2 Коррозионная стойкость

6.3 Анализ отказов

6.3.1 Трещины и деформации

6.3.2 Усталость и срок службы

Глава 7 Меры предосторожности при использовании молибденового тигля

7.1 Технические характеристики установки и эксплуатации

7.2 Требования к высокотемпературной рабочей среде

7.3 Совместимость с расплавленными материалами

7.4 Методы обслуживания и очистки

7.5 Безопасная эксплуатация и меры защиты

Глава 8 Транспортировка и хранение молибденового тигля

8.1 Требования к упаковке

8.2 Ударопрочность и влагостойкость

8.3 Среда и условия хранения

8.4 Управление запасами и отслеживание качества

Глава 9 Экологичность и переработка молибденовых тиглей

9.1 Энергосбережение и сокращение выбросов

9.2 Технология переработки отходов

9.3 Экономические и экологические выгоды от переработки

9.4 Тенденции и практика «зеленого» производства

Глава 10 Молибденовый тигель: технические проблемы и будущее развитие

Copyright and Legal Liability Statement

- 10.1 Технические проблемы
 - 10.1.1 Антиоксидантные свойства
 - 10.1.2 Изготовление сложных форм
 - 10.1.3 Контроль затрат
- 10.2 Новые материалы и технологии
 - 10.2.1 Композиционные материалы на основе молибдена
 - 10.2.2 Наноструктуры
 - 10.2.3 Альтернативные материалы
- 10.3 Интеллектуальное и экологичное производство
 - 10.3.1 Интеллектуальный мониторинг
 - 10.3.2 Энергосбережение и охрана окружающей среды
 - 10.3.3 Переработка отходов
- 10.4 Будущие тенденции
 - 10.4.1 Высокопроизводительное проектирование
 - 10.4.2 Междоменные приложения
 - 10.4.3 Экстремальные условия

Глава 11 Стандарты и спецификации молибденового тигля

- 11.1 Национальные стандарты (GB)
 - 11.1.1 GB/T Молибденовый материал стандарт
 - 11.1.2 Тестирование и оценка
 - 11.1.3 Технические характеристики оборудования
- 11.2 Международные стандарты (ISO)
 - 11.2.1 ISO 6892 Испытание на растяжение
 - 11.2.2 ISO 14001 Экологический менеджмент
 - 11.2.3 ISO 3452 Неразрушающий контроль
- 11.3 Американский стандарт (Американский стандарт)
 - 11.3.1 ASTM B386 Молибденовый сплав
 - 11.3.2 Испытание на твердость по стандарту ASTM E384
 - 11.3.3 Высокотемпературные сосуды ASME
- 11.4 Другие международные и отраслевые стандарты
 - 11.4.1 JIS G 0571
 - 11.4.2 DIN EN 10228
 - 11.4.3 ГОСТ 17431
- 11.5 Внедрение и сертификация стандартов
 - 11.5.1 Производство и тестирование
 - 11.5.2 Сертификация качества
 - 11.5.3 Соблюдение экспортных норм

Приложение

А. Глоссарий

В. Ссылки

Copyright and Legal Liability Statement

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

Глава 1 Введение

1.1 Определение и важность молибденового тигля

Молибденовый тигель представляет собой устойчивый к высоким температурам контейнер, изготовленный из металла молибдена высокой чистоты в качестве основного сырья, который широко используется в высокотемпературной плавке, синтезе материалов и научных исследованиях. Его основными особенностями являются высокая температура плавления (около 2623°C), отличная коррозионная стойкость и высокая термостойкость, а также хорошая теплопроводность и низкий коэффициент теплового расширения. Эти характеристики позволяют молибденовому тиглю сохранять структурную стабильность и химическую инертность в экстремальных условиях, что делает его незаменимым инструментом во многих отраслях промышленности и научных исследовательских процессах.

Молибденовый тигель можно объяснить двумя аспектами: его материалом и назначением. С точки зрения материала, молибденовый тигель обычно изготавливается из металла молибдена или молибденового сплава с чистотой более 99,95% и формируется в результате таких процессов, как порошковая металлургия, ковка, механическая обработка или сварка. С точки зрения назначения, молибденовый тигель в основном используется для таких процессов, как плавление материала, испарение, спекание и выращивание кристаллов в высокотемпературных средах, таких как выплавка редкоземельных металлов, выращивание кристаллов сапфира, подготовка полупроводниковых материалов и синтез высокотемпературных сплавов.

Важность

Молибденовые тигли в современной промышленности и научных исследованиях находят свое отражение в следующих аспектах:

Высокая температурная стабильность: высокая температура плавления молибдена и отличная прочность при высоких температурах позволяют ему стабильно работать при температурах от 1100°C до 1700°C или даже выше, значительно превосходя многие другие металлические тигли (такие как тигли из алюминия, меди или сплавов с низкой температурой плавления). Это делает молибденовые тигли предпочтительным контейнером для высокотемпературной плавки и синтеза материалов. Например, при выплавке редкоземельных металлов молибденовые тигли могут выдерживать экстремально высокие температуры и сохранять химическую стабильность, чтобы избежать загрязнения примесями.

Коррозионная стойкость: молибденовые тигли обладают хорошей коррозионной стойкостью к различным кислотам, щелочам и расплавленным металлам, особенно при контакте с редкоземельными металлами, оксидами или некоторыми коррозионными химическими веществами. Напротив, вольфрамовые тигли, хотя и имеют более высокую температуру плавления, могут быть не такими коррозионностойкими, как молибденовые тигли в

Copyright and Legal Liability Statement

определенных химических средах.

Подготовка материалов высокой чистоты: Высокая чистота и низкий уровень выделения примесей делают тигли из молибдена особенно подходящими для производства материалов высокой чистоты. Например, в процессе выращивания кристаллов сапфира молибденовые тигли могут обеспечить экологически чистую высокотемпературную среду, чтобы обеспечить качество и оптические свойства кристалла. Точно так же в полупроводниковой промышленности молибденовые тигли используются для получения кремния высокой чистоты и других сложных материалов.

Гибкость процесса: В соответствии с различными требованиями к применению, молибденовые тигли могут быть подготовлены различными методами обработки, включая механическую обработку, сварку, клепку и штамповку. Эти методы обработки придают молибденовым тиглям различные размеры, формы и характеристики, удовлетворяя различные потребности от небольших лабораторных экспериментов до крупномасштабного промышленного производства.

Экономичность и срок службы: Несмотря на то, что стоимость производства молибденового тигля относительно высока, его длительный срок службы и надежность в условиях высоких температур делают его очень экономичным. По сравнению с другими материалами тигля (такими как танталовый тигель), молибденовый тигель имеет более длительный срок службы при плавке редкоземельных элементов и других областях, что снижает частоту замены и затраты на техническое обслуживание в производственном процессе.

Движущая сила научных исследований: В области научных исследований молибденовые тигли широко используются в экспериментах в области материаловедения, физики и химии. Например, при разработке высокотемпературных сверхпроводящих материалов, наноматериалов и новых сплавов молибденовые тигли обеспечивают стабильную экспериментальную платформу и способствуют развитию передовых технологий.

1.2 Историческое развитие и технологическая эволюция

Молибден был открыт и применен относительно поздно, но его развитие в производстве тиглей оказало глубокое влияние на современную промышленность и научные исследования. Далее подробно обсуждается его историческое развитие, начиная с открытия молибдена, раннего применения молибденовых тиглей и заканчивая эволюцией современных технологий.

Открытие и раннее применение молибдена

Молибден был впервые открыт шведским химиком Карлом Вильгельмом Шееле в 1778 году, который отделил молибденовую кислоту от молибденита и подтвердил ее как новый элемент. В 1792 году другой шведский химик успешно извлек металлический молибден путем восстановления молибденовой кислоты. Из-за высокой температуры плавления и сложности

Copyright and Legal Liability Statement

в обработке раннее применение молибдена в основном ограничивалось производством химических реагентов и пигментов.

В конце 19 века, с развитием металлургической техники, молибден стал использоваться в качестве легирующего элемента в сталелитейной промышленности. Например, сплав молибдена и стали значительно улучшил высокотемпературную прочность и коррозионную стойкость стали, широко использовался в производстве оружия и машиностроении. Однако разработка молибденовых тиглей все еще была ограничена чистотой материала и технологией обработки. Только в начале 20-го века развитие технологии порошковой металлургии положило начало производству молибденовых тиглей.

Молибденовые тигли

В начале 20-го века молибденовые тигли начали появляться в лабораториях и небольших промышленных приложениях. Ранние молибденовые тигли в основном получались методом порошковой металлургии, то есть молибденовый порошок прессовался в форму, а затем спекался при высокой температуре. Хотя этот метод позволяет получать молибденовые тигли высокой чистоты, плотность и механическая прочность тиглей низкие, что ограничивает их применение в условиях высоких температур и высокого давления.

Во время Второй мировой войны спрос на молибденовые тигли резко возрос в связи с бурным развитием военной и авиационной промышленности. Например, молибденовые тигли использовались при выплавке жаропрочных сплавов и специальных материалов, обеспечивая поддержку при изготовлении авиационных двигателей и броневых материалов. В этот период технология обработки молибденовых тиглей была значительно усовершенствована, а процессы механической обработки иковки стали применяться к изготовлению тиглей, улучшая плотность и долговечность изделия.

Эволюция современных технологий

Во второй половине 20-го века, с развитием редкоземельных металлов, полупроводников и производства сапфировых кристаллов, области применения молибденовых тиглей быстро расширились, а производственные технологии также совершили революционный прогресс. Ниже приведены несколько ключевых аспектов эволюции технологии молибденовых тиглей:

Материал из молибдена высокой чистоты: в современных молибденовых тиглях обычно используется металлический молибден с чистотой более 99,95%, а примеси удаляются с помощью передовых технологий очистки, таких как электронно-лучевое плавление и зональное плавление. Это значительно улучшает химическую стабильность и высокотемпературные характеристики тигля, удовлетворяя потребности в подготовке материала высокой чистоты.

Copyright and Legal Liability Statement

Диверсифицированная технология обработки: В соответствии с требованиями применения, процесс производства молибденового тигля подразделяется на различные типы, в том числе:

Механически обработанный тигель: обрабатывается из молибденовых стержней или молибденовых пластин путем токарной обработки, фрезерования и других процессов, подходит для тиглей с высокой точностью и сложной формой.

Сварочный тигель: он изготавливается путем резки и скручивания молибденовых пластин, а затем вакуумной сварки. Он имеет низкую стоимость, но качество сварного шва необходимо строго контролировать.

Клепанный тигель: изготавливается путем механического соединения молибденовых пластин, подходит для изготовления больших тиглей.

Штампованный тигель: он формируется путем штамповки молибденовой пластины через форму, подходит для массового производства небольших тиглей.

Легирование и легирование: Чтобы повысить высокую термостойкость и коррозионную стойкость молибденовых тиглей, современные производственные процессы часто добавляют микроэлементы (такие как оксид церия, гидрид титана или редкоземельные элементы) в молибден. Например, добавление оксида церия может значительно продлить срок службы молибденовых тиглей при выплавке редкоземельных элементов.

Передовая технология спекания: Процесс спекания современных молибденовых тиглей обычно осуществляется в вакууме или водородной защитной атмосфере для предотвращения окисления и увеличения плотности тигля. Применение технологии изостатического прессования еще больше улучшает однородность и механические свойства тигля.

Индивидуальный дизайн: С учетом диверсификации потребностей в промышленных и научных исследованиях, размер, форма и производительность молибденовых тиглей могут быть настроены в соответствии с потребностями заказчика. Например, для выращивания кристаллов сапфира требуются большие толстостенные молибденовые тигли, в то время как для полупроводниковой промышленности требуются небольшие высокоточные тигли.

Охрана окружающей среды и устойчивое развитие: В последние годы процесс производства молибденовых тиглей стал сосредоточен на защите окружающей среды и переработке ресурсов. Например, отходы молибденовых тиглей могут быть переработаны путем химической обработки и переплавки для извлечения металлического молибдена, что снижает производственные затраты и воздействие на окружающую среду.

CTIA GROUP LTD играет важную роль в исследованиях и разработках и производстве молибденовых тиглей. На ее веб-сайте представлено множество технической информации и

Copyright and Legal Liability Statement

рыночных тенденций по молибденовым тиглям. Например, разработанные компанией молибденовые тигли высокой чистоты широко используются при выплавке редкоземельных элементов и выращивании кристаллов сапфира. Ее продукция известна своей высокой плотностью ($\geq 9,8 \text{ г / см}^3$) и длительным сроком службы.

1.3 Роль молибденового тигля в современной промышленности и научных исследованиях

В современной промышленности и научных исследованиях молибденовый тигель играет жизненно важную роль благодаря своей превосходной производительности и широкому спектру сценариев применения. Ниже подробно рассматривается его роль с трех аспектов: промышленное применение, вклад в научные исследования и будущие тенденции.

Промышленное применение

Выплавка редкоземельных металлов: молибденовый тигель является основной емкостью для выплавки редкоземельных металлов и их оксидов. Редкоземельные металлы (такие как неодим, диспрозий и тербий) обладают высокой коррозионной стойкостью при высоких температурах, а молибденовые тигли могут эффективно противостоять эрозии этих коррозионных веществ, обеспечивая чистоту и эффективность процесса плавки. Например, при производстве магнитов NdFeB молибденовые тигли используются для плавления металлического неодима высокой чистоты.

Рост сапфирового стекла: Сапфировые стекла широко используются в светодиодных подложках, оптических окнах и зеркалах часов. Их выращивание нужно проводить при высоких температурах (около 2050°C). Молибденовые тигли являются идеальными емкостями для выращивания кристаллов по методу Чохральского и методу теплообменника благодаря их высокой температурной стабильности и низкому выделению примесей.

Полупроводниковая промышленность: При получении полупроводниковых материалов (таких как кремний и арсенид галлия) молибденовые тигли используются в процессах высокотемпературного испарения и осаждения. Его высокая чистота и коррозионная стойкость обеспечивают качество полупроводниковых материалов и отвечают строгим требованиям производства микросхем к чистоте материалов.

Жаропрочные сплавы и специальные материалы: молибденовые тигли используются для спекания и плавки жаропрочных сплавов (таких как сплавы на основе никеля, титановые сплавы) и специальной керамики. Эти материалы широко используются в аэрокосмической, энергетической и медицинской сферах. Например, при изготовлении лопаток турбин авиационных двигателей молибденовые тигли используются для плавки жаропрочного сырья из сплавов.

Фотоэлектрические и новые источники энергии: Молибденовые тигли используются в фотоэлектрической промышленности для производства поликремния и монокристаллического кремния. Их высокие температурные характеристики способствуют

Copyright and Legal Liability Statement

плавке и очистке кремниевых слитков. Кроме того, молибденовые тигли также используются в исследованиях и разработках твердотельных аккумуляторов и материалов топливных элементов.

Вклад в научные исследования

Материаловедение: Молибденовые тигли представляют собой надежную экспериментальную платформу для синтеза новых материалов. Например, при приготовлении высокотемпературных сверхпроводящих материалов (таких как оксид меди иттрия бария) молибденовые тигли могут обеспечивать стабильную высокотемпературную среду для поддержки сложных химических реакций.

Физические и химические эксперименты: В экспериментах при высоких температурах и высоком давлении молибденовые тигли используются для изучения фазовых переходов, термодинамических свойств и кинетики химических реакций материалов. Например, молибденовые тигли используются для изучения спекаемости металлокерамических композитов при спекании.

Нанотехнологии: молибденовые тигли играют роль в подготовке наноматериалов (таких как углеродные нанотрубки и графен). Их высокая температурная стабильность и химическая инертность поддерживают такие процессы, как осаждение из газовой фазы и пиролиз.

Исследования в области энергетики: В области ядерной энергетики и возобновляемых источников энергии молибденовые тигли используются для изучения характеристик материалов высокотемпературных топливных элементов и ядерных реакторов. Например, молибденовые тигли используются для проверки совместимости материалов в высокотемпературных реакторах на расплавленных солях.

Будущие тренды

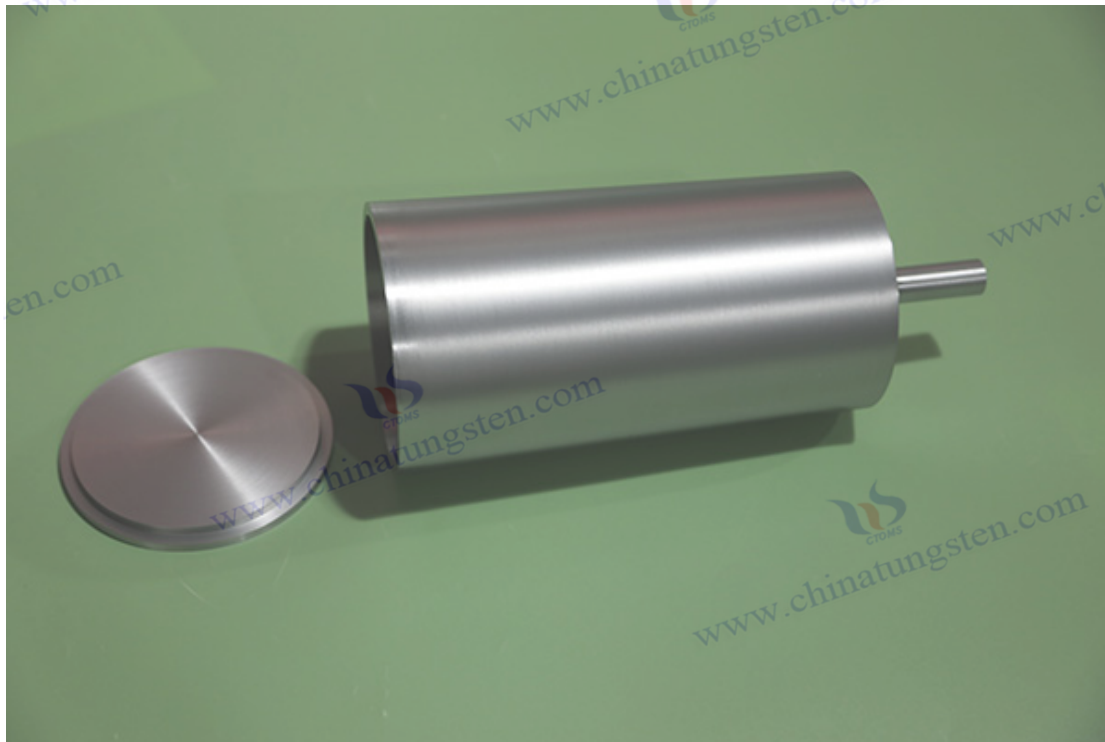
Интеллектуальное производство: С развитием Индустрии 4.0 производство молибденовых тиглей станет более интеллектуальным. Например, датчики и анализ данных могут быть использованы для оптимизации процесса спекания и улучшения плотности и консистенции тигля.

Экологичное производство: Ужесточение экологических норм способствовало экологизации производства молибденовых тиглей. В будущем при производстве молибденовых тиглей будет уделяться больше внимания энергоэффективности и переработке отходов для снижения воздействия на окружающую среду.

Разработка новых материалов: молибденовые тигли будут играть более важную роль в подготовке новых областей, таких как графен, двумерные материалы и квантовые материалы. Например, молибденовые тигли могут быть использованы для высокотемпературного синтеза двумерных сульфидов переходных металлов (таких как MoS_2).

Copyright and Legal Liability Statement

Межотраслевое применение: С развитием биомедицины и освоения космоса, молибденовые тигли могут использоваться для высокотемпературного синтеза биоматериалов или подготовки материалов в космической среде.



CTIA GROUP LTD Молибденовый тигель

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Crucible Introduction

1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model
Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.				

5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Copyright and Legal Liability Statement

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

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

Глава 2 Основные принципы молибденового тигля

2.1 Физико-химические свойства металлического молибдена

Молибден — переходный металл с символом элемента Мо и атомным номером 42, относящийся к шестой группе периодической таблицы. Он известен своей высокой температурой плавления, коррозионной стойкостью и отличными механическими свойствами, а также является основным материалом для изготовления молибденовых тиглей. Ниже подробно рассматриваются свойства металлического молибдена и его влияние на производительность молибденовых тиглей с двух аспектов: физических и химических свойств.

Физические свойства

Температура плавления и кипения:

Молибден имеет температуру 2623°C (около 2896K), уступая только некоторым металлам, таким как вольфрам и рений. Это позволяет молибденовому тиглю сохранять структурную стабильность в условиях экстремально высоких температур (например, при плавке редкоземельных металлов и выращивании кристаллов сапфира).

Температура кипения составляет около 4639°C , что указывает на то, что молибден обладает низкой летучестью при высоких температурах и подходит для длительных высокотемпературных операций.

Плотность:

Содержание молибдена составляет $10,28\text{ г/см}^3$, что ниже, чем у вольфрама ($19,25\text{ г/см}^3$), но выше, чем у многих других металлов (например, алюминия — $2,7\text{ г/см}^3$). Это придает молибденовому тиглю высокую прочность и относительно небольшой вес, что облегчает его обработку и транспортировку.

Теплопроводность и коэффициент теплового расширения:

Молибден имеет теплопроводность $138\text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$ при комнатной температуре, что указывает на то, что он обладает хорошей теплопроводностью и может быстро передавать тепло для обеспечения равномерного распределения температуры внутри тигля. Это имеет решающее значение для таких процессов, как выращивание сапфирового стекла, которые требуют точного контроля температуры.

Низкий коэффициент теплового расширения составляет $4,8\times 10^{-6}/\text{K}$ ($20\text{-}1000^{\circ}\text{C}$), что означает, что размер молибденового тигля мало изменяется при высоких температурах, снижая риск растрескивания, вызванного термическим напряжением.

Проводимость:

Copyright and Legal Liability Statement

Молибден имеет электропроводность $1,9 \times 10^{-7}$ См/м, что свидетельствует о хорошей электропроводности. Это делает молибденовые тигли предпочтительными в определенных условиях электрического нагрева или плазмы, например, в процессах нанесения покрытий вакуумным испарением.

Механические свойства:

Молибден обладает высокой твердостью (твердость по шкале Мооса около 5,5) и прочностью на разрыв (около 600-700 МПа) при комнатной температуре. Хотя прочность молибдена снижается при высоких температурах, его высокотемпературная прочность может быть значительно улучшена с помощью легирования (например, путем добавления оксида церия или редкоземельных элементов).

Молибден обладает хорошей пластичностью и может перерабатываться в тонкие пластины или сложные формы путемковки, прокатки или растяжения. Он подходит для изготовления тиглей различных спецификаций.

Химические свойства

Коррозионная стойкость:

Молибден обладает хорошей коррозионной стойкостью к большинству кислот (таких как соляная кислота, серная кислота) и щелочам при комнатных и умеренных температурах, но может реагировать с сильными окисляющими кислотами (например, азотной кислотой) или расплавленными щелочами при высоких температурах.

В высокотемпературных неокисляющих атмосферах (таких как вакуум или инертный газ) молибден проявляет отличную химическую устойчивость к расплавленным металлам (таким как редкоземельные металлы, алюминий, магний) и оксидам, а также подходит для выплавки материалов высокой чистоты.

Молибден легко реагирует с кислородом и образует триоксид молибдена при нагревании на воздухе до температуры выше 600°C. Поэтому молибденовые тигли обычно используются в вакууме или инертной атмосфере (например, аргоне или азоте).

Окислительные свойства:

При низких температурах (<400°C) на поверхности молибдена образуется плотный оксидный защитный слой, замедляющий дальнейшее окисление. Однако при высоких температурах оксид улетучивается и вызывает быстрое окисление молибдена, что требует защитной атмосферы или поверхностного покрытия (например, силицидного покрытия) для продления срока службы тигля.

Реакционная способность с другими элементами:

Молибден медленно реагирует с неметаллами, такими как углерод, азот и сера, при высоких

Copyright and Legal Liability Statement

температурах, но может образовывать карбид молибдена (Mo_2C) или нитрид молибдена (MoN) при экстремально высоких температурах ($>1500^\circ\text{C}$), что влияет на производительность тигля. Поэтому следует соблюдать осторожность при его использовании в материалах на основе углерода или азотсодержащих атмосферах.

Молибден обладает хорошей коррозионной стойкостью к некоторым расплавленным металлам (таким как литий и натрий), но при контакте с расплавленными никелевыми или железными сплавами может возникнуть незначительная коррозия.

Производительность молибденового тигля

Молибден напрямую определяет производительность молибденовых тиглей в условиях высоких температур. Например, высокая температура плавления и низкий коэффициент теплового расширения обеспечивают структурную стабильность тигля в условиях выше 1700°C ; хорошая теплопроводность обеспечивает равномерную температуру внутри тигля и уменьшает дефекты роста кристаллов; Коррозионная стойкость снижает реакцию между тиглем и расплавленным материалом, обеспечивая чистоту продукта.

2.2 Рабочий механизм в условиях высоких температур

Молибденовый тигель в высокотемпературной среде включает в себя сложные взаимодействия теплопроводности, теплового излучения, химической реакции и механической реакции. Ниже приведен подробный анализ принципа его работы с трех аспектов: теплового, химического и механического.

Тепловой механизм

Теплопроводность:

Высокая теплопроводность молибденового тигля позволяет ему быстро передавать энергию от внешнего источника тепла (например, резистивного нагрева или индукционного нагрева) внутрь тигля, обеспечивая равномерный нагрев расплавленного материала или реагентов. Например, при выращивании кристаллов сапфира молибденовый тигель способствует стабильной кристаллизации расплава глинозема за счет равномерного нагрева.

В условиях неравномерного нагрева низкий коэффициент теплового расширения молибденового тигля снижает термическое напряжение и позволяет избежать растрескивания или деформации тигля.

Тепловое излучение:

При высоких температурах ($>1000^\circ\text{C}$) поверхность молибденового тигля излучает энергию в окружающую среду за счет теплового излучения. Излучательная способность молибдена составляет около 0,1-0,3 (изменяется в зависимости от температуры и состояния поверхности). Более низкая излучательная способность помогает снизить потери тепла и повысить энергоэффективность.

Copyright and Legal Liability Statement

Для дальнейшего повышения тепловой эффективности современные молибденовые тигли часто имеют полированную поверхность или добавляют отражающее покрытие (например, покрытие из оксида циркония) для снижения потерь излучения.

Управление температурным градиентом:

Во время роста кристаллов или плавки молибденовый тигель должен поддерживать определенный температурный градиент. Например, для роста кристаллов Чохральского необходимо, чтобы температура в нижней части тигля была немного ниже, чем в верхней, чтобы способствовать направленному росту кристаллов. Теплопроводность и геометрическая конструкция молибденового тигля (например, толщина стенки и форма) могут быть оптимизированы с помощью моделирования для обеспечения идеального распределения температуры.

Химический механизм

Химическая стабильность:

В вакууме или инертной атмосфере молибденовые тигли не вступают в существенную реакцию с большинством расплавленных металлов и оксидов. Например, при выплавке редкоземельных металлов молибденовые тигли могут выдерживать высокотемпературную коррозию неодима или церия и сохранять чистоту материала.

В атмосфере, содержащей кислород, молибденовые тигли должны быть защищены от окисления защитной атмосферой или поверхностным покрытием. Например, покрытие из силицида молибдена (MoSi_2) может образовывать стабильный защитный слой SiO_2 при высоких температурах, значительно продлевая срок службы тигля.

Контроль примесей:

Молибденовые тигли высокой чистоты (содержание примесей $<0,05\%$) минимизируют реакции с расплавленными материалами и предотвращают загрязнение. Например, при производстве полупроводниковых кремниевых слитков низкое выделение примесей в молибденовых тиглях обеспечивает высокую чистоту кремния ($>99,9999\%$).

Механика

Высокая термостойкость:

Молибден при высокой температуре уменьшается с повышением температуры, но после легирования оксидами редкоземельных элементов (такими как La_2O_3 или CeO_2) его высокотемпературная прочность может быть значительно улучшена. Например, молибденовый тигель, легированный церием, может поддерживать прочность на разрыв около 200 МПа при 1700°C , что подходит для длительной работы при высоких температурах.

Молибденовые тигли (т.е. медленная деформация при высоких температурах) также оптимизируются за счет измельчения зерна и легирования, продлевая срок службы тигля.

Copyright and Legal Liability Statement

Термическая усталостная прочность:

В молибденовых тиглях могут образовываться микротрещины из-за термического напряжения во время повторяющихся циклов нагрева и охлаждения. Современные производственные процессы повышают термическую усталостную стойкость тиглей за счет контроля размера зерна и добавления упрочняющих фаз, таких как оксидные частицы.

Ударопрочность:

Молибденовые тигли по-прежнему сохраняют определенную ударную вязкость при высоких температурах и могут противостоять механическим ударам во время загрузки или разгрузки. Например, в большой плавильной печи редкоземельных элементов молибденовый тигель должен выдерживать удары расплавленного металла и не ломаться.

2.3 Сравнение с другими материалами, устойчивыми к высоким температурам

Молибденовые тигли с другими материалами, устойчивыми к высоким температурам, такими как вольфрам, тантал, графит, глинозем и диоксид циркония, помогают понять их уникальные преимущества и ограничения. Ниже приведено подробное сравнение по четырем аспектам: физические свойства, химическая стабильность, стоимость и сценарии применения.

1. Вольфрам

Физические свойства:

Температура плавления вольфрама (3422°C) выше, чем у молибдена, и он подходит для более высоких температур окружающей среды ($>2000^{\circ}\text{C}$). Тем не менее, плотность вольфрама ($19,25 \text{ г/см}^3$) почти в два раза выше, чем у молибдена, что делает вольфрамовый тигель тяжелым и сложным для обработки.

Теплопроводность вольфрама ($173 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$) немного выше, чем у молибдена, но его коэффициент теплового расширения ($4,5 \times 10^{-6} / \text{K}$) аналогичен коэффициенту молибдена, а его характеристики по термическому напряжению аналогичны.

Химическая стабильность:

Вольфрам более устойчив к коррозии расплавленными металлами, чем молибден, особенно при контакте с расплавленным железом или никелем. Однако вольфрам быстрее окисляется в атмосфере, содержащей кислород, и требует более строгой защитной атмосферы.

Стоить:

Вольфрам обычно дороже молибдена, а стоимость обработки выше из-за его высокой твердости и хрупкости. Молибденовые тигли более экономичны при температуре ниже 1700°C .

Сценарии применения:

Вольфрамовые тигли в основном используются в сверхвысокотемпературных средах

(например, в процессах $>2000\text{ }^{\circ}\text{C}$, которые молибден не выдерживает), в то время как молибденовые тигли чаще используются при плавке редкоземельных элементов и выращивании кристаллов сапфира.

2. Тантал

Физические свойства:

Температура плавления тантала (3017°C) находится между молибденом и вольфрамом, а его плотность ($16,6\text{ г/см}^3$) выше, чем у молибдена, но ниже, чем у вольфрама. Теплопроводность тантала ($57\text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$) намного ниже, чем у молибдена, что приводит к неравномерному распределению тепла.

Химическая стабильность:

Тантал обладает отличной коррозионной стойкостью к кислотам и расплавленным металлам, особенно лучше, чем молибден в сильных кислотных средах. Однако тантал легко окисляется в высокотемпературных кислородсодержащих атмосферах и требует строгой вакуумной среды.

Стоить:

Цена тантала значительно выше, чем у молибдена и вольфрама, а его ресурс ограничен, что приводит к крайне высоким затратам на производство танталовых тиглей. Обычно он используется только в специальных химических процессах.

Сценарии применения:

Танталовые тигли в основном используются в высокочрезвычайно коррозионных химических реакциях (таких как плавка фтора), в то время как молибденовые тигли доминируют в более обширной высокотемпературной плавке и выращивании кристаллов.

3. Графит

Физические свойства:

Графит имеет чрезвычайно высокую температуру плавления ($>3500^{\circ}\text{C}$), но его плотность ($1,8\text{--}2,2\text{ г/см}^3$) намного ниже, чем у молибдена, что делает его легким и легким в обработке. Теплопроводность графита ($100\text{--}200\text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$) сравнима с теплопроводностью молибдена, но его коэффициент теплового расширения выше, что делает его подверженным термическим нагрузкам.

Химическая стабильность:

Графит обладает хорошей химической стабильностью в неокисляющих средах, но легко окисляется в кислородсодержащих средах, что ограничивает его использование на воздухе. Графит также может вступать в реакцию с некоторыми расплавленными металлами и загрязнять продукт.

Copyright and Legal Liability Statement

Стоить:

Себестоимость изготовления графитового тигля намного ниже, чем у молибдена, который подходит для крупносерийного и недорогого производства. Тем не менее, его срок службы короткий и требует частой замены.

Сценарии применения:

Графитовые тигли широко используются при выплавке цветных металлов (таких как алюминий и медь), в то время как молибденовые тигли больше подходят для высокочистых и высокотемпературных процессов (таких как производство полупроводникового кремния).

4. Глинозем (Al_2O_3) и оксид циркония (ZrO_2)

Физические свойства:

Температура плавления оксида алюминия составляет около 2072°C , а оксида циркония — около 2715°C , что ниже, чем у молибдена. Теплопроводность обоих ($20\text{--}30\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$) намного ниже, чем у молибдена, что приводит к неравномерному распределению тепла.

Плотность керамических материалов (около $3,9\text{ г/см}^3$ для глинозема и около $5,8\text{ г/см}^3$ для диоксида циркония) ниже, чем у молибдена, но они очень хрупкие и подвержены растрескиванию из-за теплового удара.

Химическая стабильность:

Глинозем и диоксид циркония хорошо работают в окисляющих средах, но могут вступать в реакцию при контакте с определенными расплавленными металлами, такими как редкоземельные металлы, загрязняя продукт.

Стоить:

Керамические тигли стоят дешевле, чем молибденовые, но имеют более короткий срок службы при высоких температурах и давлении, а также более высокие затраты на техническое обслуживание.

Сценарии применения:

Керамические тигли в основном используются для небольших лабораторных экспериментов или спекания неметаллических материалов, в то время как молибденовые тигли больше подходят для высокотемпературной плавки в промышленных масштабах.

Суммировать

Молибденовые тигли имеют наилучшее соотношение производительности и стоимости в диапазоне температур ниже 1700°C , сочетая в себе высокую температуру плавления, коррозионную стойкость и гибкость обработки. По сравнению с вольфрамовыми и танталовыми, молибденовые тигли более экономичны и проще в обработке; По сравнению с

графитом и керамикой, молибденовые тигли превосходят их по высокой чистоте и стабильности при высоких температурах. По данным Chinatungsten Online (news.chinatungsten.com), рыночная доля молибденовых тиглей в редкоземельной и полупроводниковой промышленности продолжает расти, что отражает его широкую применимость.

2.4 Термодинамические и механические свойства

Молибденовые тигли в условиях высоких температур определяют их эффективность работы и срок службы. Ниже приведен подробный анализ двух аспектов термодинамики и механики.

Термодинамические свойства

Теплоемкость и удельная теплоемкость:

молибден составляет около 0,25 Дж/(г· К) (комнатная температура), которая немного увеличивается с повышением температуры. Более низкая удельная теплоемкость означает, что молибденовый тигель требует меньше энергии при нагреве и подходит для быстрых процессов нагрева.

Теплоемкость напрямую связана с массой и размерами тигля. Большие молибденовые тигли требуют более длительного времени нагрева, но их высокая теплопроводность может эффективно сократить этот процесс.

Тепловое расширение и термическое напряжение:

молибден ($4,8 \times 10^{-6}$ /K) уменьшает изменения объема при высоких температурах и снижает риск растрескивания, вызванного термическими нагрузками. Например, при выращивании кристаллов сапфира молибденовые тигли могут сохранять стабильную форму при температуре 2050 °C.

Термические напряжения могут быть дополнительно снижены за счет оптимизации толщины и геометрии стенок тигля (например, закругленные углы).

Фазовая стабильность:

Молибден не имеет фазового изменения в диапазоне твердого состояния (<2623°C) и обладает высокой термодинамической стабильностью, что позволяет избежать изменения объема или ухудшения характеристик, вызванного фазовым переходом.

При температурах, близких к температуре плавления, молибден имеет низкое давление пара (около 10^{-5} Па при 2000 °C), что снижает потери материала.

Тепловое излучение и потери энергии:

Молибденовый тигель снижает потери теплового излучения и улучшает использование энергии. Современные молибденовые тигли часто дополнительно оптимизируются для

Copyright and Legal Liability Statement

работы с тепловым излучением путем полировки поверхности или нанесения покрытия.

Механические свойства

Высокая термостойкость и ползучести:

молибден при 1700°C составляет около 100-200 МПа, что значительно выше, чем у многих металлов. Путем легирования оксидами (такими как CeO_2 или La_2O_3) высокая термостойкость может быть увеличена до более чем 300 МПа.

Молибден ускоряется с увеличением напряжения при высокой температуре, но ползучесть может быть значительно снижена за счет измельчения зерна и легирования. Например, скорость ползучести молибденового тигля, легированного церием, при температуре 1700°C может контролироваться ниже $10^{-5}/\text{с}$.

Усталость и тепловой удар:

В молибденовых тиглях могут образовываться микротрещины из-за усталости во время повторяющихся термических циклов. Современные производственные процессы повышают усталостную прочность за счет контроля размера зерна (обычно <50 мкм) и добавления упрочняющих фаз.

Ударная вязкость молибдена позволяет ему выдерживать определенные тепловые удары, такие как быстрое охлаждение, сохраняя при этом свою целостность.

Твердость и износостойкость:

Твердость молибдена по Виккерсу при комнатной температуре составляет около 200-250 HV, которая немного снижается при высоких температурах. Твердость тигля, легированного молибденом, может быть увеличена до 300 HV, что повышает его износостойкость и подходит для длительного использования.

Производительность обработки:

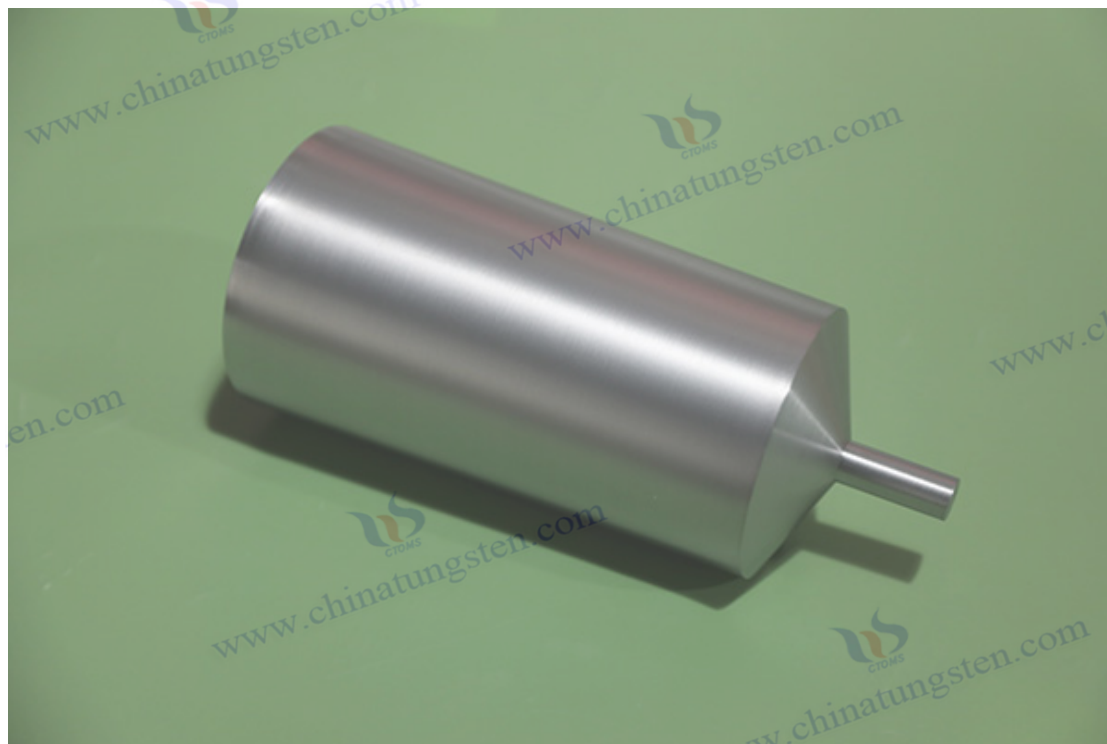
Молибден позволяет изготавливать из него тигли сложной формы путемковки, прокатки или механической обработки. Однако молибден является хрупким при комнатной температуре и нуждается в горячей обработке при высоких температурах (>1000 °C), чтобы избежать растрескивания.

Производительность в практических приложениях

При выплавке редкоземельных элементов термодинамические и механические свойства молибденовых тиглей обеспечивают их долговременную стабильность при температуре 1700 °C. Например, молибденовые тигли могут выдерживать коррозию и механическое воздействие расплавленного неодима, сохраняя при этом равномерное распределение температуры. При выращивании кристаллов сапфира низкое тепловое расширение и высокая термостойкость молибденовых тиглей обеспечивают непрерывную работу в течение

Copyright and Legal Liability Statement

нескольких недель.



CTIA GROUP LTD Молибденовый тигель

Глава 3 Производительность молибденового тигля

3.1 Физико-химические свойства молибденового тигля

Молибденовый тигель в основном обусловлен физическими и химическими свойствами его основного материала, молибдена. Эти свойства определяют производительность молибденового тигля при высоких температурах и высокой коррозионной среде. Ниже приведено подробное обсуждение четырех аспектов: температура плавления и термическая стабильность, плотность и теплопроводность, стойкость к окислению и коррозионная стойкость, механическая прочность и ударная вязкость.

3.1.1 Температура плавления и термическая стабильность молибденового тигля

Молибден имеет температуру 2623°C , что является одним из материалов с более высокой температурой плавления среди известных металлов, уступая только вольфраму и рению. Высокая температура плавления придает молибденовым тиглям превосходную стабильность в условиях экстремально высоких температур, что делает их широко используемыми в процессах выплавки редкоземельных металлов, выращивания кристаллов сапфира и подготовки полупроводниковых материалов.

Характеристики термической стабильности:

Молибденовые тигли могут стабильно работать в течение длительного времени при

Copyright and Legal Liability Statement

температурах ниже 1700°C, и даже выдерживать температуру выше 2000°C в течение короткого времени. Например, во время роста кристаллов сапфира молибденовые тигли должны непрерывно работать при температуре 2050 °C в течение нескольких недель, сохраняя при этом структурную целостность и химическую стабильность.

низкое давление паров молибдена (около 10^{-5} Па при 2000 °C) обеспечивает минимальные потери материала при высоких температурах, продлевая срок службы тигля.

Молибденовый тигель также отражается на его характеристиках отсутствия фазового перехода. Молибден не претерпевает изменений кристаллической структуры в твердом состоянии (<2623°C), что позволяет избежать объемного расширения или ухудшения характеристик, вызванного изменением фазы.

Влияющие факторы:

Содержание примесей: Тигли из молибдена высокой чистоты ($\geq 99,95\%$) имеют лучшую термическую стабильность, чем продукты низкой чистоты, поскольку примеси (такие как углерод, кислород) могут вызывать локальное плавление или ослабление границ зерен при высоких температурах.

Молибденовые тигли, изготовленные методом порошковой металлургии, могут иметь микропоры, снижающие термическую стабильность; Кованные или механически обработанные тигли имеют более высокую плотность и лучшую термическую стабильность.

Защитная атмосфера: Молибден легко окисляется в кислородсодержащей среде и должен использоваться в вакууме или инертной атмосфере (например, аргон, азот) для поддержания термической стабильности.

3.1.2 Плотность и теплопроводность молибденового тигля

Плотность:

Содержание молибдена составляет 10,28 г/см³, что ниже, чем у вольфрама (19,25 г/см³), но выше, чем у алюминия (2,7 г/см³). Такая плотность придает молибденовому тиглю высокую прочность и относительно небольшой вес, что упрощает его обработку, транспортировку и установку.

Молибденовые тигли высокой плотности (близкие к 99,5% от теоретической плотности) производятся методом изостатического прессования и высокотемпературного спекания, что обеспечивает механическую прочность и коррозионную стойкость тигля. Напротив, тигли с низкой плотностью (теоретическая плотность <95%) могут быть недостаточно прочными из-за пор.

Теплопроводность:

Теплопроводность молибдена составляет 138 Вт/(м·K) при комнатной температуре, которая незначительно уменьшается с повышением температуры (около 100 Вт/(м·K) при 1000°C). Высокая теплопроводность позволяет молибденовому тиглю быстро передавать тепло,

Copyright and Legal Liability Statement

обеспечивая равномерное распределение температуры внутри.

При выращивании сапфирового стекла равномерное распределение температуры имеет решающее значение для качества кристалла. Высокая теплопроводность молибденовых тиглей уменьшает кристаллические дефекты, вызванные температурными градиентами.

Напротив, теплопроводность керамических тиглей (таких как оксид алюминия, с теплопроводностью около 20-30 Вт/(м·К)) намного ниже, чем у молибдена, что приводит к неравномерному распределению тепла, что ограничивает его применение в высокоточных процессах.

Практическое применение:

При плавке редкоземельных элементов высокая теплопроводность молибденового тигля способствует быстрому нагреву и равномерному плавлению, повышая эффективность производства.

3.1.3 Молибденовый тигель с антиокислительными и антикоррозионными характеристиками

Антиоксидантные свойства:

Молибден при низких температурах (<400°C) образует на поверхности плотный оксидный слой, который замедляет дальнейшее окисление. Однако при высоких температурах (>600°C) оксид улетучивается, что приводит к быстрому окислению.

Для повышения стойкости к окислению молибденовые тигли обычно используются в вакууме или инертной атмосфере. Например, при производстве полупроводниковых кремниевых слитков молибденовые тигли работают в среде с высоким вакуумом (<10⁻⁴ Па) во избежание окисления.

Технология поверхностного покрытия (например, покрытие из силицида молибдена MoSi₂ или покрытия из оксида циркония ZrO₂) позволяет значительно повысить стойкость к окислению. Покрытие из силицида молибдена образует стабильный защитный слой SiO₂ при высоких температурах, продлевая срок службы тигля.

Коррозионная стойкость:

Молибденовые тигли обладают отличной коррозионной стойкостью к различным расплавленным металлам (таким как редкоземельные металлы, алюминий, магний) и оксидам. Например, при производстве магнитов NdFeB молибденовые тигли способны выдерживать коррозию расплавленного неодима и сохранять чистоту продукта.

Молибден обладает хорошей коррозионной стойкостью к кислотам (таким как соляная кислота и серная кислота) и щелочам, но может реагировать с сильными окисляющими

Copyright and Legal Liability Statement

кислотами (такими как азотная кислота) или расплавленными щелочами.

При контакте с некоторыми высокотемпературными материалами (такими как никелевые и железные сплавы) молибден может подвергаться незначительной коррозии, что необходимо контролировать путем модификации поверхности или выбора соответствующих условий эксплуатации.

Меры по благоустройству:

Легирование оксидами редкоземельных элементов (такими как CeO_2 , La_2O_3) может повысить коррозионную стойкость молибденовых тиглей, особенно при контакте с расплавленными редкоземельными металлами.

3.1.4 Механическая прочность и ударная вязкость молибденового тигля

Механическая прочность:

Молибден при комнатной температуре составляет около 600-700 МПа, который падает до 100-200 МПа при высокой температуре (1700°C). С помощью легирования (например, CeO_2) высокотемпературная прочность может быть увеличена до 300 МПа.

молибденовый тигель составляет около 200-250 ВН, которое после легирования может достигать 300 ВН, что повышает износостойкость и ударопрочность.

Кованные молибденовые тигли выше, чем тигли порошковой металлургии, потому что процессковки устраняет поры и очищает зерна.

Прочность:

Молибден является хрупким (ограниченная пластичность) при комнатной температуре, но демонстрирует хорошую ударную вязкость при высоких температурах ($>1000^\circ\text{C}$), что делает его пригодным для горячей обработки и высокотемпературных операций.

Молибденовый тигель позволяет ему выдерживать механические удары при погрузке или разгрузке. Например, при плавке редкоземельных элементов молибденовый тигель должен выдерживать удары расплавленного металла и не ломаться.

Легирование оксидами или контроль размера зерна (<50 мкм) может еще больше повысить ударную вязкость и уменьшить рост трещин во время термоциклирования.

Практическое применение:

В больших плавильных печах редкоземельных металлов механическая прочность и ударная вязкость молибденовых тиглей обеспечивают их надежность при высоких температурах и высоком давлении.

Copyright and Legal Liability Statement

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Crucible Introduction

1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model
Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.				

5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Copyright and Legal Liability Statement

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

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

3.2 Тепломеханические свойства молибденового тигля

Молибденовые тигли определяют их производительность в высокотемпературных средах, особенно с точки зрения теплового расширения, термоударостойкости, ползучести и усталостных характеристик. Ниже приведен подробный анализ.

3.2.1 Тепловое расширение и высокотемпературная деформация молибденового тигля

Тепловое расширение:

молибден составляет $4,8 \times 10^{-6}$ /K (20-1000 °C), что намного ниже, чем у многих металлов (таких как алюминий: 23×10^{-6} /K) и керамики (например, глинозема: 8×10^{-6} /K). Низкий коэффициент теплового расширения уменьшает изменения объема при высоких температурах и снижает риск образования трещин, вызванных термическими нагрузками.

При росте кристаллов сапфира низкое тепловое расширение молибденового тигля гарантирует, что форма тигля остается стабильной при температуре 2050 °C, что позволяет избежать дефектов роста кристаллов.

Высокотемпературная деформация:

При высоких температурах молибденовые тигли могут незначительно деформироваться из-за термического напряжения или внешних сил. Степень деформации связана с толщиной стенки тигля, геометрией и скоростью нагрева.

Оптимизация конструкции (например, увеличение толщины стенки или использование закругленных углов) может уменьшить деформацию. Например, толщина стенок больших молибденовых тиглей обычно составляет 10-20 мм для улучшения способности противостоять деформации.

Легирование оксидами редкоземельных элементов может повысить жесткость при высоких температурах и уменьшить деформацию. Например, деформация молибденового тигля, легированного церием, при температуре 1700 °C примерно на 20% ниже, чем у тигля из чистого молибдена.

3.2.2 Стойкость к тепловому удару молибденового тигля

Устойчивость к тепловому удару:

Молибденовые тигли обусловлены их высокой теплопроводностью, низким коэффициентом теплового расширения и определенной ударной вязкостью. Эти характеристики позволяют им выдерживать термические нагрузки, вызванные быстрым нагревом или охлаждением.

При плавке редкоземельных элементов молибденовый тигель должен подвергаться быстрому повышению температуры от комнатной до 1700 °C. Его устойчивость к тепловому удару гарантирует, что тигель не треснет.

Влияющие факторы:

Copyright and Legal Liability Statement

Размер зерна: Мелкие зерна (<50 мкм) могут рассеивать термическое напряжение и повышать устойчивость к тепловому удару.

Качество поверхности: Полированные поверхности или покрытия могут уменьшить распространение трещин, вызванных поверхностными дефектами.

Условия эксплуатации: Медленная скорость нагрева и охлаждения (например, <10°C/мин) может еще больше повысить устойчивость к тепловому удару.

Меры по благоустройству:

Добавление оксидов (таких как La_2O_3) может повысить ударную вязкость молибдена и повысить его стойкость к тепловому удару.

3.2.3 Ползучесть и долговременная стабильность молибденового тигля

Свойства ползучести:

Ползучесть — это медленная деформация молибденового тигля при непрерывном напряжении при высокой температуре. Скорость ползучести молибдена при 1700°C составляет около 10^{-5} /с (напряжение 100 МПа), которая может быть снижена до 10^{-6} /с путем легирования.

Скорость ползучести тесно связана с температурой, напряжением и размером зерна. Высокая температура и крупные зерна ускоряют ползучесть; в то время как допинг и мелкие зерна замедляют его.

Долговременная стабильность:

Молибденовый тигель зависит от его сопротивления ползучести и стойкости к окислению. В вакууме или инертной атмосфере молибденовый тигель, легированный церием, может работать при температуре 1700 °C в течение тысяч часов без существенной деформации.

Меры по благоустройству:

Контролируемый размер зерна (<30 мкм) для повышения сопротивления ползучести.

Добавьте оксидные или карбидные упрочняющие фазы (такие как ZrO_2 , TiC) для повышения жесткости при высоких температурах.

3.2.4 Усталостная и цикличная эксплуатация молибденового тигля

Усталостные характеристики:

Молибденовые тигли могут образовывать микротрещины из-за усталости во время повторяющихся термических циклов. Усталостные характеристики связаны с размером зерна, поверхностными дефектами и легирующими элементами.

Мелкозернистые и легированные оксидами молибденовые тигли обладают более высокой усталостной прочностью. Например, молибденовые тигли, легированные церием, могут выдерживать более 200 тепловых циклов при температуре 1500 °C.

Copyright and Legal Liability Statement

Рециркуляция:

Молибденовый тигель зависит от условий эксплуатации и мер по техническому обслуживанию. В условиях надлежащей защитной атмосферы и медленного повышения и понижения температуры молибденовый тигель может быть использован сотни раз.

Поверхностные покрытия (такие как MoSi_2) могут уменьшить рост усталостных трещин и продлить срок службы.

Практическое применение:

В полупроводниковой промышленности молибденовые тигли должны проходить несколько циклов нагрева-охлаждения, и их усталостная прочность напрямую влияет на производственные затраты.

3.3 Взаимосвязь между микроструктурой молибденового тигля и производительностью

Молибденовый тигель тесно связан с его микроструктурой, включая структуру зерна, легирующие элементы и морфологию поверхности. Ниже приведен подробный анализ.

3.3.1 Структура и ориентация зерен

Структура зерна:

Молибденовый тигель обычно составляет от 10 до 100 мкм. Мелкие зерна (<50 мкм) повышают прочность, ударную вязкость и сопротивление ползучести за счет увеличения граничной плотности зерен.

Крупные зерна (>100 мкм) могут привести к снижению прочности при высоких температурах и ускоренному росту трещин, поэтому современные молибденовые тигли, как правило, имеют мелкозернистую структуру.

Ориентация зерна:

Молибденовый тигель оказывает существенное влияние на механические свойства. Процессыковки или прокатки могут вызывать текстуру (например, ориентацию <110>), улучшая прочность на разрыв и устойчивость к тепловому удару.

Хаотично ориентированные зерновые структуры, такие как тигли порошковой металлургии, более распространены в изотропных приложениях, но немного слабее, чем текстурированные тигли.

Практическое применение:

Молибденовый тигель обеспечивает равномерное распределение температуры и уменьшает дефекты кристаллов во время роста кристаллов сапфира.

Copyright and Legal Liability Statement

3.3.2 Действие легирующих элементов

Легирующие элементы:

Обычно используемые легирующие элементы включают оксид церия (CeO_2), оксид лантана (La_2O_3), оксид иттрия (Y_2O_3) и карбид титана (TiC). Эти элементы улучшают производительность молибденовых тиглей за счет упрочнения твердым раствором или упрочнения второй фазы.

Оксид церия (0,5-2 мас.%) может измельчать зерна, улучшать высокотемпературную прочность и сопротивление ползучести, а также повышать коррозионную стойкость.

Оксид лантана повышает ударную вязкость и устойчивость к тепловому удару, что делает его особенно подходящим для сценариев переработки.

Механизм действия:

Легирующие элементы создают прикалывающий эффект на границах зерен, препятствуя росту и ползучести зерна.

Оксидные частицы могут рассеивать термическое напряжение и уменьшать рост трещин.

Легирование также может улучшить стойкость молибдена к окислению. Например, оксид церия может способствовать образованию стабильного защитного слоя.

3.3.3 Морфология поверхности и высокие температурные характеристики

Морфология поверхности:

Молибденовый тигель оказывает важное влияние на его высокие температурные характеристики. Полированная поверхность ($R_a < 0,8$ мкм) может уменьшить начальную точку трещины и повысить термостойкость и коррозионную стойкость.

Шероховатые поверхности ($R_a > 2$ мкм) могут вызывать образование трещин из-за концентрации напряжений, что снижает срок службы.

Модификация поверхности:

Покрытия (такие как MoSi_2 , ZrO_2) могут повысить стойкость поверхности к окислению и коррозионную стойкость. Например, покрытие MoSi_2 образует защитный слой SiO_2 при температуре 1700°C , значительно продлевая срок службы тигля.

Плазменное напыление или химическое осаждение из газовой фазы (CVD) позволяет получить однородные поверхностные покрытия для улучшения характеристик при высоких температурах.

Практическое применение:

В полупроводниковой промышленности малые дефекты поверхности полированных молибденовых тиглей обеспечивают получение кремния высокой чистоты.

Copyright and Legal Liability Statement

3.4 Срок службы и надежность молибденового тигля

Молибденовые тигли являются ключевыми показателями для их промышленного применения. Ниже приведен анализ с трех аспектов: факторы, влияющие на срок службы, режимы отказов и методы тестирования надежности.

3.4.1 Факторы, влияющие на продолжительность жизни

Условия эксплуатации:

Температура: Рабочие температуры выше 1700°C ускоряют ползучесть и окисление, сокращая срок службы.

Атмосфера: Кислородсодержащая атмосфера приводит к быстрому окислению и требует защиты от вакуума или инертного газа.

Термические циклы: Частые циклы нагрева-охлаждения увеличивают риск образования усталостных трещин.

Качество материала:

тигли Мо высокой чистоты ($\geq 99,95\%$) и легированные Мо тигли значительно длиннее, чем продукты более низкой чистоты.

Мелкие зерна и однородная микроструктура обеспечивают более длительный срок службы.

Технология обработки:

Плотность и механические свойства кованных или механически обработанных тиглей лучше, чем у тиглей порошковой металлургии, а их срок службы больше.

Качество сварного шва сварочного тигля оказывает важное влияние на срок службы и требует строгого контроля.

3.4.2 Анализ режима отказа

Окислительная недостаточность:

В кислородсодержащей атмосфере MoO_3 образуется на поверхности молибденового тигля и улетучивается, что приводит к потере материала и образованию пор.

Решение: Используйте защитную атмосферу или антиокислительное покрытие.

Провал при ползучести:

При высоких температурах непрерывное напряжение приводит к тому, что тигель медленно деформируется и в конечном итоге выходит из строя.

Решение: легирование оксидами или оптимизация структуры зерна.

Термическое усталостное разрушение:

Повторяющиеся термические циклы вызвали рост микротрещин, приводящий к разрыву тигля.

Решение: Отполируйте поверхность, измельчите текстуру и медленно повышайте и понижайте температуру.

Коррозионное разрушение:

Copyright and Legal Liability Statement

Реакция с расплавленным металлом или оксидами приводит к истончению или перфорации стенок тигля.

Решение: Выбирайте коррозионностойкие легированные материалы или добавляйте защитные покрытия.

3.4.3 Метод испытания на надежность

Испытание на ползучесть при высоких температурах:

Постоянное напряжение прикладывалось при 1700 °C, а скорость ползучести и деформация измерялись для оценки долговременной стабильности.

Стандарт: ASTM E139 (Спецификация испытаний на ползучесть).

Испытание на тепловой цикл:

Для моделирования реальных условий эксплуатации было выполнено несколько циклов нагрева-охлаждения для наблюдения за образованием и ростом трещин.

Стандарт: ISO 1893 (Испытания огнеупорных материалов на тепловой удар).

Тест на антиоксиданты:

Нагрев до 600-1000°C в кислородсодержащей атмосфере, измерение окислительного прироста массы или потерь материала.

Стандарт: ASTM G54 (испытание на высокотемпературное окисление).

Коррозионные испытания:

Тигель подвергается воздействию расплавленного металла или оксида, при этом измеряются потери толщины стенок и изменения поверхности.

Стандарт: ASTM G31 (Спецификация испытаний на коррозию).

3.5 Китайский вольфрамовый интеллектуальный молибденовый тигель MSDS

Паспорт безопасности материалов (MSDS) содержит рекомендации по технике безопасности при использовании, хранении и обращении с молибденовыми тиглями. Ниже приведена краткая информация о паспорте безопасности для [интеллектуальных молибденовых тиглей Chinatungsten](#), основанная на отраслевых стандартах и информации Chinatungsten Online.

1. Идентификация продукта

Название продукта: Молибденовый тигель

Химическое название: Молибден (Mo)

Номер CAS: 7439-98-7

2. Идентификация опасностей

Физическое состояние: твердый металл, серебристо-белый, без запаха.

Основные опасности:

Пары оксида молибдена (MoO_3) могут выделяться при высоких температурах, что может вызвать раздражение дыхательных путей при вдыхании.

Copyright and Legal Liability Statement

Пыль или режущая стружка могут вызвать раздражение кожи или глаз.

Воздействие на окружающую среду: Молибден является малотоксичным металлом, но с отходами необходимо обращаться в соответствии с нормативными требованиями.

3. Информация об ингредиентах

Основной ингредиент: Молибден ($\geq 99,95\%$)

Примеси: углерод ($< 0,01\%$), кислород ($< 0,005\%$), азот ($< 0,003\%$)

Легирующие элементы: оксид лантана (La_2O_3 , 0,5-1%)

4. Меры первой помощи

Ингаляция: Перенесите пострадавшего на свежий воздух и обратитесь за медицинской помощью, если симптомы не исчезают.

Контакт с кожей: промойте открытый участок водой с мылом, обратитесь к врачу при возникновении раздражения.

Попадание в глаза: Промойте большим количеством воды в течение не менее 15 минут и при необходимости обратитесь за медицинской помощью.

Прием внутрь: Редко, если это происходит, немедленно обратитесь за медицинской помощью.

5. Меры пожаротушения

Способ тушения пожара: Используйте сухой порошковый или углекислотный огнетушитель, не используйте воду.

Пары оксида молибдена могут выделяться при высоких температурах. Пожарные должны носить средства защиты органов дыхания.

6. Устранение утечек

Метод очистки: Соберите вытекшую молибденовую пыль или фрагменты и положите их в герметичный контейнер, чтобы избежать попадания пыли.

Меры защиты: Наденьте пылезащитную маску, перчатки и защитные очки.

7. Обращение и хранение

Примечания к операции:

Используйте в хорошо проветриваемом помещении, чтобы избежать образования пыли.

Высокотемпературные операции необходимо проводить в вакууме или инертной атмосфере для предотвращения окисления.

Условия хранения:

Хранить в сухом, прохладном месте, избегать контакта с сильными окислителями.

Используйте влагонепроницаемую упаковку для предотвращения окисления поверхности.

8. Контроль воздействия и личная защита

Инженерные средства управления: Используйте местную вытяжную вентиляцию для борьбы

Copyright and Legal Liability Statement

с пылью и паром.

Средства индивидуальной защиты:

Защита органов дыхания: пылезащитная маска, сертифицированная NIOSH.

Защита рук: перчатки, устойчивые к высоким температурам.

Защита глаз: защитные очки.

Пределы воздействия: OSHA PEL (молибден): 5 мг/м³ (вдыхаемая пыль).

9. Физико-химические свойства

Температура плавления: 2623°C

Плотность: 10,28 г/см³

Теплопроводность: 138 Вт/(м·К)

Растворимость: Нерастворим в воде, растворим в азотной кислоте и расплавленной щелочи.

10. Стабильность и реакционная способность

Стабильность: Стабильный при комнатной температуре, легко окисляется при высокой температуре.

Условия, которых следует избегать: кислородсодержащая атмосфера, сильные окислители, высокотемпературное открытое пламя.

Несовместимые материалы: сильные кислоты, сильные основания, окислители.

11. Токсикологическая информация

Острая токсичность: Низкая токсичность. Вдыхание высокой концентрации молибденовой пыли может вызвать легкое раздражение дыхательных путей.

Хроническая токсичность: длительное воздействие может вызвать раздражение легких, поэтому необходимо регулярно проходить медицинские осмотры.

Канцерогенность: Не классифицируется МАИР как канцероген.

12. Экологическая информация

Воздействие на окружающую среду: Молибден является малотоксичным металлом, но с отходами необходимо правильно обращаться, чтобы избежать загрязнения воды.

Биоаккумуляция: Отсутствует значительная биоаккумуляция.

13. Утилизация отходов

Способ утилизации: Утилизировать в соответствии с местными нормами или доверить работу с ним профессиональной организации.

Примечание: Избегайте прямого сброса, чтобы предотвратить распространение пыли.

14. Информация о доставке

Транспортная классификация: неопасные грузы.

Требования к упаковке: Используйте влагонепроницаемую и ударопрочную упаковку для обеспечения безопасности транспортировки.

Copyright and Legal Liability Statement

15. Нормативная информация

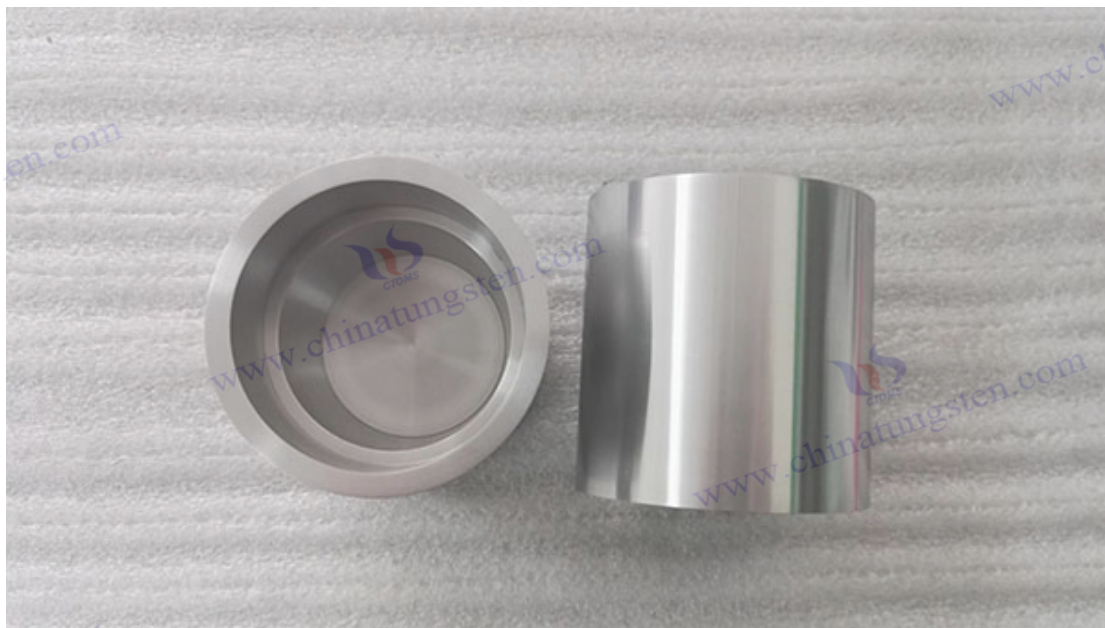
Международные нормы: Соответствует требованиям OSHA, REACH и RoHS.

Китайские правила: Соблюдайте Правила управления безопасностью опасных химических веществ.

16. Прочая информация

Поставщик: CTIA GROUP LTD

Тел.: 0592-5129696/5129595



CTIA GROUP LTD Молибденовый тигель

Глава 4 Использование молибденового тигля

Молибденовые тигли широко используются во многих отраслях промышленности и научных исследованиях благодаря высокой температуре плавления (2623°C), отличной коррозионной стойкости и высокой температурной стабильности. В этой главе подробно обсуждаются конкретные области применения молибденовых тиглей в выращивании кристаллов, высокотемпературной плавке и плавлении, вакуумной и высокотемпературной термообработке, научных исследованиях и лабораторных приложениях, а также в новых областях, включая детали процесса, требования к производительности и мировую отраслевую практику.

4.1 Рост кристаллов

Молибденовые тигли играют ключевую роль в области роста кристаллов, особенно при получении сапфиров, монокристаллов кремния и других кристаллических материалов. Его высокая чистота ($\geq 99,95\%$), низкое выделение примесей и высокая температурная стабильность обеспечивают высокое качество кристалла.

Copyright and Legal Liability Statement

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Crucible Introduction

1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model
Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.				

5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Copyright and Legal Liability Statement

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

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

4.1.1 Сапфировое стекло (метод Чохральского, метод теплообмена)

Монокристаллы сапфира (Al_2O_3) широко используются в светодиодных подложках, оптических окнах, зеркалах часов и лазерах благодаря своей высокой твердости (твердость по шкале Мооса 9), отличной оптической прозрачности и термической стабильности. Молибденовые тигли являются незаменимыми контейнерами для выращивания кристаллов сапфира, в основном используемых в методе Чохральского и методе теплообменника (НЕМ).

Метод Чая:

Обзор процесса: Метод Чохральского расплавляет глинозем высокой чистоты в молибденовом тигле (около 2050 °C) и медленно извлекает монокристалл из расплава с помощью затравочного кристалла. Молибденовый тигель должен выдерживать высокие температуры и поддерживать равномерное распределение температуры, чтобы обеспечить стабильный рост кристаллов.

Требования к молибденовому тиглю:

Высокая температурная стабильность: молибденовые тигли должны сохранять структурную целостность при температуре 2050°C для предотвращения деформации или трещин.

Высокая чистота: Примеси (такие как углерод и железо) могут загрязнять расплав и влиять на оптические свойства кристалла. Чистота молибденовых тиглей обычно должна составлять $\geq 99,95\%$.

Теплопроводность: высокая теплопроводность молибдена (138 Вт/(м·K)) обеспечивает равномерную температуру расплава и уменьшает кристаллические дефекты.

Размер и конструкция: Для процесса Чохральского требуются большие молибденовые тигли (диаметр 200-500 мм, толщина стенки 10-20 мм), изготовленные методомковки или сварки.

Метод теплообмена:

Обзор процесса: Метод теплообмена плавит глинозем в молибденовом тигле, использует нижнее охлаждение и верхний нагрев для формирования температурного градиента и способствует росту кристаллов снизу вверх. Этот метод подходит для производства крупных кристаллов сапфира (диаметр > 300 мм).

Требования к молибденовому тиглю:

Устойчивость к тепловому удару: метод теплообмена включает в себя сложные температурные градиенты, и молибденовый тигель должен выдерживать быстрые тепловые циклы без растрескивания.

Коррозионная стойкость: молибденовые тигли должны быть устойчивы к небольшой коррозии от расплавленного глинозема. Легирование оксидом церия (SeO_2) может повысить коррозионную стойкость.

Молибденовые тигли с более толстыми стенками (15-30 мм) для выдерживания механических и термических нагрузок.

Copyright and Legal Liability Statement

4.1.2 Монокристалл кремния (метод Чохральского)

Основной материал полупроводниковой и фотоэлектрической промышленности, широко используется в производстве чипов и солнечных батарей. Метод Чохральского является основным методом получения монокристалла кремния, а молибденовый тигель используется в качестве вспомогательного контейнера или высокотемпературного компонента в некоторых специальных процессах.

Обзор процесса:

Метод Чохральского обычно использует кварцевый тигель для плавления кремния высокой чистоты (>99,9999%), но в некоторых высокотемпературных вспомогательных процессах (таких как очистка кремниевых слитков или специальное легирование) молибденовые тигли используются для обработки высокотемпературных расплавов кремния или связанных с ним материалов.

Молибденовые тигли также используются для компонентов оборудования Чохральского в горячих полях (таких как тепловые экраны или опоры нагревателей) из-за их высокой термостойкости и коррозионной стойкости.

Требования к молибденовому тиглю:

Высокая чистота: Выделение примесей в молибденовом тигле должно быть чрезвычайно низким, чтобы избежать загрязнения расплава кремния.

Коррозионная стойкость: Расплав кремния (около 1414 °C) имеет небольшую коррозию на молибденовом тигле, но при длительном использовании необходимо предотвратить эрозию следов.

Термическая стабильность: молибденовый тигель должен поддерживать производительность при температуре 1500-1600°C, чтобы адаптироваться к тепловой среде метода Чохральского.

Практическое применение:

В полупроводниковой промышленности молибденовые тигли используются в процессе легирования специальных монокристаллов кремния, например, для получения кристаллов кремния, легированных бором или фосфором. Вспомогательное применение молибденового тигля высокой чистоты при производстве монокристаллов кремния повышает чистоту кристаллов и эффективность производства.

Ограничения: Прямое использование молибденовых тиглей в методе Чохральского ограничено ценовым преимуществом кварцевых тиглей, но он все же незаменим в процессах высокой чистоты или специальных процессах.

4.1.3 Прочие кристаллические материалы

Молибденовые тигли также используются для выращивания других кристаллических материалов, включая арсенид галлия (GaAs), фосфид индия (InP), танталат лития (LiTaO₃) и кристаллы кварца.

Copyright and Legal Liability Statement

Арсенид галлия и фосфид индия:

Применение: Арсенид галлия и фосфид индия являются высокочастотными полупроводниковыми материалами, используемыми в коммуникациях 5G и оптоэлектронных устройствах.

Процесс: В горизонтальном методе Бриджмена или вертикальном градиентном методе затвердевания (VGF) молибденовые тигли используются для плавления и роста кристаллов и должны работать при температуре 1200-1400°C.

Требования: Молибденовые тигли должны быть устойчивы к коррозии от паров мышьяка или фосфора и обычно покрываются поверхностным покрытием (например, MoSi_2) для повышения долговечности.

Танталат лития и кристаллы кварца:

Применение: Танталат лития используется в устройствах поверхностных акустических волн, а кристаллы кварца используются в генераторах и датчиках.

Процесс: Молибденовый тигель используется в качестве контейнера в процессе Чохральского или процессе плавления, а рабочая температура обычно составляет 1200-1600°C.

Требования: Молибденовые тигли должны обеспечивать стабильное тепловое поле и среду с низким содержанием примесей для обеспечения оптических и электрических свойств кристалла.

4.2 Высокотемпературная плавка и плавка

Молибденовые тигли используются для обработки редкоземельных металлов, цветных металлов, сплавов и драгоценных металлов в условиях высокотемпературной плавки и плавки. Их коррозионная стойкость и высокая термостойкость делают их идеальным выбором.

4.2.1 Редкоземельные металлы

Редкоземельные металлы (такие как неодим, церий и диспрозий) пользуются большим спросом из-за их применения в магнитах, сплавах и катализаторах. Молибденовые тигли используются для плавки и очистки при выплавке редкоземельных металлов.

Обзор процесса:

Редкоземельные металлы извлекаются из оксидов или галогенидов путем электролиза или вакуумной плавки, обычно при рабочих температурах 1500-1700°C.

Молибденовый тигель должен выдерживать сильную коррозионную активность расплавленных редкоземельных металлов и сохранять высокую чистоту.

Требования к молибденовому тиглю:

Коррозионный при высоких температурах. Молибденовые тигли должны быть легированы (например, CeO_2) или покрыты поверхностью для повышения коррозионной стойкости.

Высокая термостойкость: молибденовый тигель должен поддерживать механическую

Copyright and Legal Liability Statement

прочность на уровне 1700 °C для предотвращения деформации или растрескивания.
Низкое содержание примесей: Чистота молибденового тигля ($\geq 99,95\%$) обеспечивает высокую чистоту редкоземельных металлов ($>99,9\%$).

Практическое применение:

При производстве магнитов NdFeB молибденовые тигли используются для плавления неодима высокой чистоты для удовлетворения требований к высоким эксплуатационным характеристикам магнитов.

4.2.2 Цветные металлы и сплавы

Молибденовые тигли широко используются при выплавке цветных металлов (таких как алюминий, магний, титан) и жаропрочных сплавов (таких как сплавы на основе никеля и сплавы на основе кобальта).

Обзор процесса:

Цветные металлы и сплавы получают методом вакуумной индукционной плавки или дуговой плавки при температурах в диапазоне 1200-1800°C.

Молибденовые тигли используются для плавки металлов или сплавов высокой чистоты для обеспечения качества и стабильности продукции.

Требования к молибденовому тиглю:

Коррозионная стойкость: молибденовые тигли должны противостоять коррозии расплавленного алюминия или магния, а легирование оксидами может продлить срок их службы.

Термическая стабильность: молибденовый тигель должен сохранять свою форму при высоких температурах, чтобы избежать деформации из-за термического напряжения.

Гибкость размеров: От небольших лабораторных тиглей (емкость <1 л) до промышленных тиглей (емкостью >10 л), молибденовые тигли могут быть изготовлены по индивидуальному заказу в соответствии с потребностями.

Практическое применение:

В аэрокосмической промышленности молибденовые тигли используются для плавки жаропрочных сплавов на основе никеля для производства лопаток турбин и компонентов двигателей.

4.2.3 Очистка драгоценных металлов

Молибденовые тигли используются для высокотемпературной плавки и аффинажа при очистке и восстановлении драгоценных металлов (таких как золото, серебро, платина и палладий).

Обзор процесса:

Драгоценные металлы очищаются методом вакуумной плавки или химического аффинажа

Copyright and Legal Liability Statement

при температуре от 1000-2000°C.

Молибденовые тигли используются в качестве плавильных емкостей для обеспечения высокой чистоты (>99,99%) и низкого содержания примесей драгоценных металлов.

Требования к молибденовому тиглю:

Химическая инертность: молибденовые тигли должны избегать реакции с расплавленными драгоценными металлами для предотвращения загрязнения.

Высокая чистота: Низкое выделение примесей молибденовых тиглей (например, углерода <0,01%) обеспечивает качество драгоценных металлов.

Стойкость к окислению: В атмосфере, содержащей кислород, молибденовые тигли должны быть защищены от окисления защитной атмосферой или покрытием.

Практическое применение:

В ювелирной и электронной промышленности молибденовые тигли используются для очистки платины высокой чистоты для удовлетворения потребностей прецизионного производства.

4.3 Вакуумная и высокотемпературная термическая обработка

Молибденовые тигли используются для спекания материалов, отжига и оптимизации производительности в процессах вакуумной и высокотемпературной термообработки, а также широко используются в порошковой металлургии, аэрокосмической и электронной промышленности.

4.3.1 Вакуумная печь для термообработки

Вакуумные печи для термообработки используются для улучшения механических свойств металлов и сплавов, а молибденовые тигли используются в качестве емкостей или компонентов тепловых полей.

Обзор процесса:

Вакуумная термическая обработка проводится в вакуумной среде 10^{-4} - 10^{-6} Па в диапазоне температур 1000-1800°C.

Молибденовые тигли используются для транспортировки обрабатываемых материалов (например, титанового сплава, стали) или в качестве компонентов, таких как тепловые экраны и опоры нагревателей.

Требования к молибденовому тиглю:

Стойкость к окислению: Вакуумная среда эффективно предотвращает окисление молибдена и обеспечивает срок службы тигля.

Высокая термостойкость: молибденовые тигли должны выдерживать механические нагрузки при высоких температурах, а легирование оксидами может увеличить их прочность.

Теплопроводность: Высокая теплопроводность молибдена обеспечивает равномерное тепловое поле и оптимизирует эффект термообработки.

Copyright and Legal Liability Statement

Практическое применение:

В аэрокосмической промышленности молибденовые тигли используются для вакуумной термообработки титановых сплавов с целью повышения их прочности и коррозионной стойкости.

4.3.2 Порошковая металлургия и спекание

Порошковая металлургия подготавливает высокоэффективные материалы путем прессования и спекания, а молибденовые тигли используются в процессах высокотемпературного спекания.

Обзор процесса:

Металлический или керамический порошок спекается в молибденовом тигле при температуре 1200-1800°C для получения плотного материала.

Молибденовые тигли должны работать в вакууме или инертной атмосфере, чтобы предотвратить окисление и загрязнение.

Требования к молибденовому тиглю:

Химическая стабильность: молибденовые тигли должны избегать реакции с порошковыми материалами для поддержания чистоты продукта.

Сопротивление ползучести: Длительная работа при высоких температурах требует, чтобы молибденовый тигель имел низкую скорость ползучести.

Качество поверхности: Полированная поверхность ($Ra < 0,8$ мкм) снижает адгезию порошка и облегчает очистку.

Практическое применение:

При производстве твердого сплава молибденовые тигли используются для спекания порошка карбида вольфрама для обеспечения высокой твердости и износостойкости режущего инструмента.

4.3.3 Высокотемпературный отжиг

Высокотемпературный отжиг используется для устранения внутренних напряжений материалов и улучшения кристаллической структуры, а молибденовый тигель используется в качестве контейнера для отжига.

Обзор процесса:

Температура отжига обычно составляет 1000-1600°C и осуществляется в вакууме или инертной атмосфере.

Молибденовые тигли вмещают образцы металла, сплава или керамики и обеспечивают равномерный нагрев и охлаждение.

Требования к молибденовому тиглю:

Термическая стабильность: молибденовый тигель должен сохранять стабильную форму при

Copyright and Legal Liability Statement

высокой температуре, чтобы избежать деформации.

Низкое тепловое расширение: низкий коэффициент теплового расширения молибдена ($4,8 \times 10^{-6} / \text{K}$) снижает термическое напряжение.

Коррозионная стойкость: молибденовые тигли должны быть устойчивы к небольшой коррозии от некоторых отожженных материалов (таких как никелевые сплавы).

Практическое применение:

При производстве нержавеющей стали молибденовые тигли используются для высокотемпературного отжига для улучшения пластичности и коррозионной стойкости материала.

4.4 Научные исследования и лабораторные приложения

Молибденовые тигли используются в научных исследованиях и лабораториях для проведения высокотемпературных экспериментов, испытаний материалов и передовых исследований. Их высокая чистота и стабильность позволяют получать точные экспериментальные результаты.

4.4.1 Оборудование для высокотемпературных испытаний

Молибденовые тигли используются в качестве реакционных сосудов или нагревательных компонентов в высокотемпературном экспериментальном оборудовании (например, трубчатых печах и тигельных печах).

Сценарии применения:

Синтез материалов: Молибденовые тигли используются для высокотемпературного синтеза новых сплавов, керамики или композитных материалов.

Химические реакции: Молибденовые тигли поддерживают высокотемпературные химические реакции, такие как восстановление оксидов или осаждение из паровой фазы.

Диапазон температур: 1000-2000°C, обычно в вакууме или инертной атмосфере.

Требования к молибденовому тиглю:

Высокая чистота: избегайте попадания примесей на экспериментальные результаты.

Малая конструкция: Требования к лицензии лаборатории: Лабораторные молибденовые тигли обычно имеют небольшие размеры (емкость < 500 мл) для удобства использования.

Устойчивость к тепловому удару: поддерживает эксперименты по быстрому повышению и понижению температуры.

Практическое применение:

высокотемпературные сверхпроводящие материалы (такие как YBCO), молибденовые тигли используются для спекания сверхпроводящей керамики для обеспечения стабильности при высоких температурах.

4.4.2 Испытание эксплуатационных характеристик материала

Молибденовые тигли используются для проверки свойств материала при высоких

Copyright and Legal Liability Statement

температурах, таких как ползучесть, усталостная и коррозионная стойкость.

Сценарии применения:

Испытание на ползучесть при температуре 1700°C применяется постоянное напряжение и измеряется деформация материала.

Коррозионные испытания: подвергает материалы воздействию расплавленных металлов или оксидов для оценки коррозионной стойкости.

Термическое усталостное испытание: моделирование тепловых циклов и наблюдение за ростом трещин.

Требования к молибденовому тиглю:

Высокая термостойкость: обеспечивает длительные испытания без отказов.

Химически инертный: позволяет избежать реакции с исследуемыми материалами.

Качество поверхности: Полированная поверхность снижает помехи.

Практическое применение:

При испытаниях материалов в аэрокосмической отрасли молибденовые тигли используются для оценки высокотемпературных свойств сплавов на основе никеля.

4.4.3 Ядерные материалы и исследования плазмы

Молибденовые тигли используются для высокотемпературных экспериментов и подготовки материалов в ядерных материалах и плазменных исследованиях.

Сценарии применения:

Ядерные материалы: Молибденовые тигли используются для проверки совместимости материалов реакторов на высокотемпературных расплавленных солях.

Исследование плазмы: Молибденовый тигель используется в качестве контейнера для плазменного генератора, который подвергается воздействию высокой температуры и сильного излучения.

Диапазон температур: 1500-2000°C, требуется чрезвычайно высокая прочность.

Требования к молибденовому тиглю:

Радиационная стойкость: молибденовые тигли должны быть устойчивы к повреждениям, вызванным нейтронным или плазменным излучением.

Высокая температурная стабильность: поддерживает длительную работу при высоких температурах.

Коррозионная стойкость: Устойчив к коррозии под воздействием расплавленных солей или плазмы.

Практическое применение:

В исследованиях Международного термоядерного экспериментального реактора (ИТЭР) молибденовые тигли используются для проверки характеристик высокотемпературных

Copyright and Legal Liability Statement

плазменных материалов.

4.5 Новые приложения

Молибденовые тигли в новых областях, таких как аддитивное производство, аэрокосмическая промышленность и термоядерный синтез, быстро расширяются, отражая свой потенциал в высокотехнологичных отраслях.

4.5.1 Аддитивное производство

Аддитивное производство (3D-печать) используется для производства сложных металлических деталей, а молибденовые тигли играют роль в высокотемпературном плавлении порошка.

Сценарии применения:

Лазерное или электронно-лучевое плавление: молибденовый тигель используется для плавки титанового сплава, никелевого сплава и других порошков при температуре 1500-1800°C.

Плавление в порошковом слое: молибденовые тигли служат в качестве контейнеров для порошка для обеспечения высокой однородности температуры.

Требования к молибденовому тиглю:

Теплопроводность: способствует быстрому плавлению и затвердеванию.

Коррозионная стойкость: Устойчив к эрозии металлическими порошками.

Миниатюризация: подходит для небольшого оборудования для 3D-печати.

Практическое применение:

При изготовлении авиационных деталей молибденовые тигли используются для 3D-печати деталей из титанового сплава, что повышает эффективность производства.

4.5.2 Аэрокосмическая промышленность

Молибденовые тигли используются в аэрокосмической промышленности для подготовки и испытаний материалов при высоких температурах.

Сценарии применения:

Жаропрочные сплавы: молибденовые тигли используются для плавки сплавов на основе никеля или кобальта для производства лопаток турбин.

Композитные материалы: Молибденовые тигли используются для спекания керамических матричных композитов (КМЦ) при температуре 1600-1800°C.

Материалы для теплозащиты: Молибденовые тигли используются для тестирования характеристик материалов для термозащиты космических аппаратов.

Требования к молибденовому тиглю:

Высокая термостойкость: поддерживает длительную работу при высоких температурах.

Устойчивость к тепловому удару: Выдерживает быстрые термоциклы.

Copyright and Legal Liability Statement

Высокая чистота: обеспечивает стабильные свойства материала.

Практическое применение:

Boeing использует молибденовые тигли для производства жаропрочных сплавов, чтобы удовлетворить потребности своих двигателей следующего поколения.

4.5.3 Термоядерное устройство

Устройства для термоядерного синтеза (такие как токамаки и термоядерный синтез с инерционным удержанием) требуют высокотемпературных материалов, а молибденовые тигли используются для подготовки материалов и испытаний.

Сценарии применения:

Материал с плазменным покрытием (PFM): Молибденовый тигель используется для спекания PFM на основе вольфрама или молибдена при температуре 1800-2000 °C.

Топливные контейнеры: Молибденовые тигли используются для плавления дейтерий-тритиевого топлива или других высокотемпературных материалов.

Высокотемпературные испытания: молибденовые тигли используются для моделирования условий плавления и проверки свойств материала.

Требования к молибденовому тиглю:

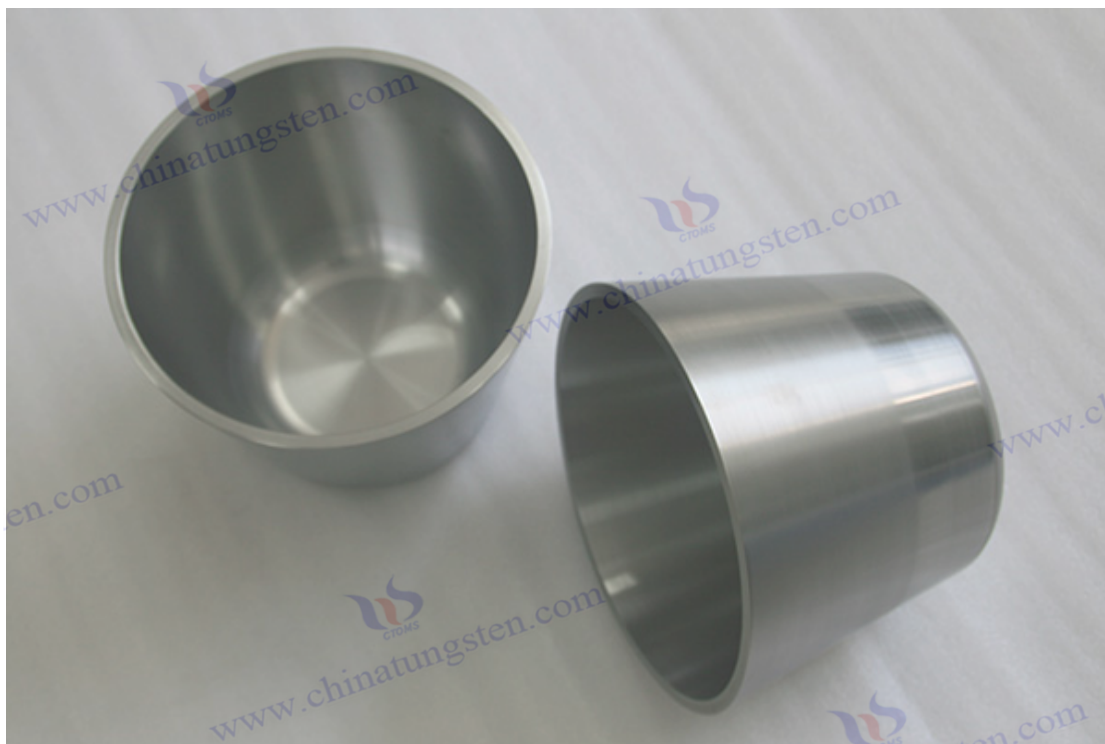
Радиационная стойкость: Устойчив к нейтронам высоких энергий и плазменному излучению.

Высокая термостойкость: поддерживает работу при экстремально высоких температурах (>2000°C).

Коррозионная стойкость: Устойчив к эрозии плазмой и расплавленными материалами.

Практическое применение:

В китайском токамаке EAST молибденовые тигли используются для испытания прочности материалов при воздействии плазмы.



CTIA GROUP LTD Молибденовый тигель

Глава 5 Процесс и технология подготовки молибденового тигля

Молибденовый тигель представляет собой сложную техническую систему, объединяющую очистку сырья, порошковую металлургию, прецизионную обработку и обработку поверхности. Его целью является производство тиглей высокой чистоты, высокой плотности, высоких температур и коррозионной стойкости для удовлетворения потребностей высокотехнологичных приложений, таких как выращивание кристаллов сапфира, выплавка редкоземельных элементов и производство полупроводников. В этой главе всесторонне и глубоко исследуется процесс подготовки молибденовых тиглей, включая выбор и подготовку сырья, металлургические процессы, обработку и отделку, производственное оборудование и автоматизацию и т. д., а также ссылаются на технические практики и академические исследования ведущих мировых компаний, чтобы предоставить подробные технические детали и параметры процесса.

5.1 Выбор и подготовка сырья

Молибденовые тигли напрямую зависят от качества сырья, особенно от чистоты, гранулометрического состава и микроструктуры молибденового порошка. Выбор и подготовка сырья являются основой для обеспечения стабильности и надежности работы тигля.

5.1.1 Очистка молибденовых руд

Молибден в основном извлекается из молибденита (MoS_2), а процесс очистки включает в себя

Copyright and Legal Liability Statement

обогащение руды, обжиг, химическую обработку и рафинирование для получения соединений молибдена высокой чистоты.

Обогащение руды:

Технологическая схема: Молибденит отделяется от сырой руды путем дробления, измельчения и флотации. Сырая руда обычно содержит 0,1-0,5% молибдена, а после флотации получают концентрат, содержащий 50-60% молибдена.

Технология флотации:

Коллекторы: Ксантогенат (например, бутилксантогенат, концентрация 0,1-0,5 г/л) усиливает гидрофобность сульфида молибдена.

Пенообразователь: Сосновое масло (концентрация 0,05-0,2 г/л) образует стабильную пену.

Ингибитор: силикат натрия (0,5-2 г/л) ингибирует силикатные минералы и улучшает селективность молибдена.

Коэффициент извлечения: Качественный процесс флотации может достигать 90-95%, а содержание молибдена в хвостах составляет <0,02%.

Передовая технология: Шлифовальные валки высокого давления (HPGR) могут повысить эффективность шлифования и снизить энергопотребление на 20-30%. Многоступенчатая флотация (например, черновая флотация-очистка-продувка) еще больше снижает количество примесей (таких как Si, Fe, Cu).

Обжаривание:

Ход процесса: Концентрат молибдена обжигается при температуре 600-700°C во вращающейся печи или печи с несколькими подами, а MoS_2 окисляется до триоксида молибдена (MoO_3), реакция следующая: $2\text{MoS}_2 + 7\text{O}_2 \rightarrow 2\text{MoO}_3 + 4\text{SO}_2$.

Параметры процесса:

Концентрация кислорода: 20-25%, чтобы избежать чрезмерного окисления и испарения молибдена.

Время обжига: 4-8 часов, обеспечение содержания серы <0,1%.

Очистка хвостовых газов: Для удаления SO_2 используется мокрая десульфуризация (раствор $\text{Ca}(\text{OH})_2$), что соответствует нормам выбросов (например, China GB 28662).

Оборудование: Вращающаяся печь (1-3 м в диаметре, 10-20 м в длину) оснащена точной системой контроля температуры ($\pm 10^\circ\text{C}$) для повышения эффективности обжига.

Химическая очистка:

Растворение аммиака: MoO_3 реагирует с водным аммиаком (концентрация 10-15%) с

Copyright and Legal Liability Statement

образованием раствора молибдата аммония, который затем фильтруется для удаления нерастворимых примесей (таких как SiO_2 и Fe_2O_3), которые затем кальцинируются ($500\text{--}600^\circ\text{C}$) с образованием MoO_3 (чистота $>99,9\%$).

Рафинирование:

Электронно-лучевое плавление: расплавляйте MoO_3 при давлении вакуума $<10^{-5}$ Па и температуре $>3000^\circ\text{C}$ для удаления летучих примесей (таких как S и P).

Металлический молибден чистотой $\geq 99,95\%$ получают путем многократной очистки при местной высокой температуре ($>2600^\circ\text{C}$).

Охрана окружающей среды и вторичная переработка:

Отработанная жидкость обрабатывается путем нейтрализации и осаждения с целью извлечения молибдата аммония (коэффициент извлечения $>80\%$).

Выхлопные газы сбрасываются после десульфурации и удаления пыли, а концентрация SO_2 составляет <50 мг/м³, что соответствует нормам EC REACH.

5.1.2 Требования к качеству порошка молибдена

Молибденовый порошок является основным сырьем для подготовки молибденовых тиглей. Его чистота, размер частиц, морфология и текучесть напрямую влияют на плотность и производительность тигля.

Чистота:

Стандарт: Для обычных молибденовых тиглей требуется чистота молибденового порошка $\geq 99,95\%$, а для высокотехнологичных применений (таких как выращивание кристаллов сапфира) требуется $\geq 99,99\%$.

Пределы примесей:

карбида молибдена (Mo_2C) при высоких температурах.

Кислород (O): $<0,005\%$, чтобы избежать дефектов спекания.

Азот (N): $<0,003\%$, снижает охрупчивание на границе зерна.

Примеси металлов (Fe, Si, Al): $<0,001\%$, обеспечивающие чистоту расплава.

Метод обнаружения:

Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS): обнаруживает примеси металлов с точностью до $<0,1$ ppm.

Анализатор кислорода и азота: измеряет содержание O и N с точностью до $<0,001\%$.

Анализатор углерода и серы: измеряет содержание C и S с точностью до $<0,005\%$.

Размер и морфология частиц:

Диапазон размеров частиц: 1-10 мкм, средний размер частиц 3-5 мкм. Размер мелких частиц улучшает активность спекания, а равномерное распределение частиц по размерам ($D_{50} / D_{90} < 2$) обеспечивает однородность заготовки.

Морфология: Почти сферические или многогранные частицы, площадь поверхности 2-5 м²/г, избегают стержневых или чешуйчатых частиц (плохая текучесть).

Copyright and Legal Liability Statement

Технология производства:

Плазменное распыление: получается сферический молибденовый порошок с текучестью <25 с/50 г.

Распылительная сушка: Контроль распределения частиц по размерам, отклонение D50 <0,5 мкм.

Текучесть и кажущаяся плотность:

Кажущаяся плотность: 1,0-2,5 г/см³, предпочтительно выше 2,0 г/см³ для повышения эффективности прессования.

Текучесть: Скорость потока по Холлу <30 с/ 50 г, что обеспечивает равномерное заполнение формы.

Методы испытаний: ASTM B213 (испытание на текучесть), ASTM B212 (испытание на кажущуюся плотность).

Производственный процесс:

Восстановление водорода: МоО₃ восстанавливается до молибденового порошка в потоке водорода (чистота 99,999%) при температуре 900-1100°C. Процесс делится на два этапа:

Снижение низкой температуры (600-800°C): генерация МоО₂ и контроль содержания кислорода.

Высокое снижение температуры (900-1100°C): образует молибденовый порошок и измельчает размер частиц.

Оптимизация параметров:

Расход водорода: 0,5-2 м³/ч, для обеспечения адекватного восстановления.

Время восстановления: 6-12 часов, контролируемый размер частиц <5 мкм.

5.1.3 Легирование и легирование

Легирование и легирование улучшают высокую термостойкость, сопротивление ползучести и коррозионную стойкость молибденового тигля за счет добавления микроэлементов или металлов.

Легирующие элементы:

Оксид церия (CeO₂): 0,5-2 мас.%, измельчает зерна (<30 мкм) и увеличивает прочность на разрыв при 1700°C (>300 МПа).

Оксид лантана (La₂O₃): 0,5-1 мас.%, повышает ударную вязкость и стойкость к тепловому удару, а также продлевает срок службы.

Оксид иттрия (Y₂O₃): 0,5-1 мас.%, улучшает стойкость к окислению и коррозионную стойкость.

Карбид титана (TiC): 0,1-0,5 мас.%, для повышения твердости (>300 HV) и износостойкости.

Метод допинга:

Сухое смешивание: порошок молибдена и легирующая примесь смешиваются с помощью

Copyright and Legal Liability Statement

высокоэнергетической шаровой мельницы (200-400 об/мин, 2-4 часа).

Влажное смешивание: Однородные композитные порошки были получены методом распылительной сушки (температура на входе 200 °C, температура на выходе 80 °C).

Легирование:

Сплав Mo-W: содержит 10-30% вольфрама (www.tungsten.com.cn), температура плавления увеличена до 2800°C, подходит для применения при сверхвысоких температурах.

Сплав Mo-Re: содержит 5-25% рения, который улучшает ударную вязкость при комнатной температуре и прочность при высоких температурах.

Сплав Mo-Zr: содержит 0,5-2% циркония, повышает коррозионную стойкость, подходит для плавки редкоземельных элементов.

Метод легирования:

Совместное восстановление: MoO_3 и WO_3 совместно восстанавливаются в водороде, а температура восстановления контролируется (1000-1200°C).

Механическое легирование: Высокоэнергетическое шаровое фрезерование смешивает молибденовый порошок и легирующие элементы с соотношением шариков к материалу 10:1 в течение 4-8 часов.

Улучшения производительности:

-легированный молибденовый тигель при 1700°C снижается до 10^{-6} /с, а срок службы продлевается на 50%.

Тигель из сплава Mo-W по-прежнему сохраняет прочность на разрыв >200 МПа при 2000°C.

Обнаружение:

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) в сочетании с энергодисперсионной спектроскопией (ЭДС) подтвердила равномерность распределения легирующих элементов.

Рентгеновская дифракция (XRD) используется для анализа фазового состава, чтобы убедиться в отсутствии примесей.

5.1.4 Испытание сырья

Строгое тестирование сырья гарантирует, что качество молибденового порошка и легирующих примесей соответствует требованиям, предъявляемым к производству тиглей.

Анализ химического состава:

ICP-MS: Обнаружение металлических примесей, таких как Fe, Si, Al и т.д., с пределом обнаружения <0,05 ppm.

Анализатор кислорода и азота: измеряет содержание O и N с точностью до <0,001%.

Анализатор углерода и серы: измеряет содержание C и S с точностью до <0,005%.

Тест на физическую работоспособность:

Лазерный анализатор размеров частиц: измеряет распределение частиц по размерам,

Copyright and Legal Liability Statement

отклонение D10 , D50 , D90 <0,5 мкм.

Расходомер Холла: Проверка текучести, точность $\pm 0,5$ с.

Измеритель кажущейся плотности: измеряет объемную плотность с точностью до $\pm 0,01$ г/см³.

Наблюдение за микроструктурой:

СЭМ: Анализируйте морфологию порошка молибдена, увеличение в 1000-5000 раз.

Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ): наблюдение за наноразмерной структурой частиц и подтверждение отсутствия кристаллических дефектов.

ARD: Определите кристаллическую структуру и подтвердите, что порошок молибдена представляет собой кубическую структуру, центрированную по телу (BCC).

Стандарты и технические условия:

Он соответствует ASTM B386 (Стандарт молибдена и молибденовых сплавов) и GB/T 3462 (Китайский стандарт материалов молибдена).

Лаборатории, сертифицированные по стандарту ISO 17025, гарантируют надежность испытаний.

5.2 Металлургический процесс

Металлургический процесс преобразует молибденовый порошок в заготовку высокой плотности для формирования исходной структуры молибденового тигля, охватывающего такие технологии, как прессование и спекание,ковка и прокатка, прядение и растяжение.

5.2.1 Прессование и спекание

Заготовки молибденовых тиглей методом порошкового формования и высокотемпературного уплотнения.

5.2.1.1 Изостатическое прессование

Обзор процесса:

При холодном изостатическом прессовании (CIP) используется жидкость под высоким давлением (масло или вода) для приложения изотропного давления к молибденовому порошку для подготовки заготовок высокой плотности.

Давление: 100-300 МПа, желательно 200 МПа.

Время выдержки: 5-10 минут, в зависимости от размера заготовки.

Плотность сырого тела: 6,0-7,0 г/см³ (теоретическая плотность 60-70%), обеспечивающая однородную структуру для спекания.

оборудование:

Изостатический пресс: диапазон давления 50-400 МПа, оснащен насосом высокого давления (мощность 50-200 кВт).

Форма: Гибкая форма (например, резиновая или полиуретановая), устойчивость к давлению >300 МПа, форма в соответствии с конструкцией тигля (цилиндрическая или коническая).

Copyright and Legal Liability Statement

При проектировании формы учитывается усадка при спекании (15-20%) для обеспечения итоговой точности размеров ($\pm 0,5$ мм).

Оптимизация процессов:

Предварительная обработка молибденового порошка: вакуумная дегазация (200-300°C, степень вакуума $<10^{-2}$ Па) для удаления адсорбированного газа и снижения содержания кислорода $<0,005\%$.

Связующее вещество: Добавление поливинилового спирта (ПВА, 0,5-1 мас.%) или полиэтиленгликоля (ПЭГ, 0,3-0,8 мас.%) может повысить прочность заготовки и требует испарения перед спеканием (400-600°C).

Заполнение форм: Вибрационное заполнение (частота 50-100 Гц) обеспечивает равномерное распределение молибденового порошка с отклонением плотности $<2\%$.

Пример: Процесс изостатического прессования China Tungsten Online улучшает однородность плотности заготовки на 15% за счет двунаправленного вибрационного заполнения.

Контроль качества:

Ультразвуковой контроль: Убедитесь, что заготовка не имеет внутренних трещин или расслоений.

Измерение плотности: Метод плавучести используется для проверки плотности заготовки с точностью до $\pm 0,01$ г/см³.

5.2.1.2 Печь для спекания и атмосфера

Процесс спекания:

Температура: 1800-2200°C, ступенчатый нагрев:

Низкая температура ($<1200^\circ\text{C}$): удалить влагу, связующее вещество и газ, скорость нагрева 5-10°C/мин.

Температура среды (1200-1600°C): активация поверхности частиц, образование горлышка, скорость нагрева 3-5°C/мин.

Высокая температура (1600-2200°C): рост зерна, уплотнение и сохранение тепла в течение 4-8 часов.

Конечная плотность: 9,8-10,2 г/см³ (теоретическая плотность $>95\%$), пористость $<1\%$.

Коэффициент усадки: 15-20%, отклонение размеров ($\pm 0,2$ мм) необходимо контролировать с помощью конструкции пресс-формы и оптимизации процесса.

Атмосфера спекания:

Вакуумное спекание:

Степень вакуума: $<10^{-3}$ Па, предпочтительно $<10^{-4}$ Па.

Преимущества: Предотвращает окисление, уменьшает загрязнение примесями, подходит для тиглей высокой чистоты.

Оборудование: Оснащен конденсатором для сбора летучих примесей (таких как S, P).

Copyright and Legal Liability Statement

Агломерация водорода:

Чистота водорода: 99,999%, расход 0,5-2 м³/ч.

Преимущества: Снижает количество следов оксидов, содержание кислорода снижается до <0,003%.

Примечание: Содержание углерода в печи должно контролироваться на уровне <0,01%, чтобы избежать карбонизации.

Мониторинг атмосферы: используйте масс-спектрометр для определения содержания O₂, N₂ и CO в режиме реального времени, чтобы обеспечить < 10 ppm.

Оборудование:

Вакуумная печь для спекания:

Нагревательный элемент: молибденовая или вольфрамовая проволока, мощность 100-500 кВт.

Печь: с молибденовой или вольфрамовой футеровкой, диаметр 0,5-2 м.

Точность контроля температуры: ±5°C, оснащен инфракрасным термометром.

Печь для спекания водорода:

Оснащен системой очистки газа (молекулярное сито + палладиевый катализатор), точка росы по водороду <-70°C.

Система безопасности: взрывозащищенный клапан и детектор утечки водорода.

Контроль качества:

Тест на плотность: метод Архимеда используется для измерения плотности спеченных заготовок с точностью до ±0,01 г/см³.

Анализ микроструктуры: СЭМ-наблюдение за размером зерен (20-50 мкм) и распределением пор.

Неразрушающий контроль: рентгеновский контроль подтверждает отсутствие внутренних трещин или включений.

5.2.2 Ковка и прокатка

Ковка и прокатка устраняют поры, измельчают зерна и улучшают плотность и механические свойства заготовки за счет высокотемпературной пластической деформации.

5.2.2.1 Горячая штамповка и холодная штамповка

Горячая ковка:

Температура: 1200-1600°C, предпочтительно 1400°C, проводится в атмосфере водорода (99,999%) или аргона.

Процесс:

Комплектация: гидравлическая ковочная машина (давление 1000-5000 тонн) или молотковая ковочная машина (частота 50-100 раз/мин).

Деформация: 10-20% за проход, общая деформация 30-50%.

Форма: Молибден или жаропрочный сплав, поверхность покрыта смазкой MoS₂

Copyright and Legal Liability Statement

(www.tungsten-disulfide.com).

Преимущества:

Плотность увеличена до >99,5% теоретической плотности.

Размер зерна увеличен до <50 мкм, а прочность на разрыв составляет >800 МПа.

Индуктирование текстуры (например, ориентация <110>) для повышения устойчивости к тепловому удару.

Заметка:

Контролируйте скорость ковки (<0,1 м/с), чтобы избежать появления трещин.

Полено

Холодная штамповка:

Температура: комнатная температура или <400°C, используется для прецизионной ковки небольших тиглей или тонкостенных деталей.

Процесс:

Оборудование: Высокоточный ковочный станок (давление 500-2000 тонн).

Деформация: <10%, <2% за проход.

Ограничения: Молибден является хрупким при комнатной температуре и требует контролируемой скорости деформации (<0,01 с⁻¹) для предотвращения образования трещин.

Применение: Производство небольших тиглей с толщиной стенок <2 мм и шероховатостью поверхности Ra<0,8 мкм.

Контроль качества:

Ультразвуковой контроль: Подтвердите отсутствие внутренних трещин или расслоений.

Тест на твердость: твердость по Виккерсу (HV) 200-300, подтверждающий эффект упрочнения при обработке.

5.2.2.2 Процесс прокатки

Обзор процесса:

Процессы прокатки спекшихся или кованных заготовок в молибденовые пластины или фольгу для сварки или вращения тиглей.

Оборудование: Четырехвалковый или многовалковый стан, материал поверхности валков - керамика или вольфрамовый сплав, износостойкость > 1000 часов.

Горячекатаный:

Температура: 1000-1400°C, предпочтительно 1200°C, в водородной или вакуумной среде.

Параметры процесса:

Деформация за проход: 10-20%, общая деформация >80%.

Скорость прокатки: 0,5-1 м/с, поверхностное давление ролика 100-500 МПа.

Смазка: графитовое или MoS₂ покрытие, коэффициент трения <0,1.

Copyright and Legal Liability Statement

Преимущества:

Плотность близка к теоретическому значению ($>99,8\%$).

Формование текстуры $<110>$, прочность на разрыв >900 МПа.

Заметка:

Промежуточный отжиг ($800-1000^{\circ}\text{C}$, 1-2 часа) для снятия напряжения.

Контролируйте температуру поверхности ролика ($<200^{\circ}\text{C}$), чтобы избежать адгезии.

Холодная прокатка:

Температура: комнатная температура или $<200^{\circ}\text{C}$, используется для производства тонких молибденовых листов (толщина 0,1-1 мм).

Параметры процесса:

Деформация за проход: 5-10%, общая деформация $<50\%$.

Скорость прокатки: 1-2 м/с, шероховатость поверхности $Ra < 0,8$ мкм.

Заметка:

Для устранения деформационного упрочнения требуется многократный отжиг ($600-800^{\circ}\text{C}$, 30 минут).

Очистка поверхности удаляет остатки смазки.

Контроль качества:

Осмотр поверхности: Шероховатость, измеренная лазерным микроскопом, $Ra < 0,5$ мкм.

Измерение толщины: ультразвуковой толщиномер, точность $\pm 0,01$ мм.

Анализ текстуры: Дифракция обратного рассеяния электронов (EBSD) подтверждает ориентацию зерен.

5.2.3 Вращение и растяжка

Формовка методом прядения и растяжения используется для подготовки тонкостенных молибденовых тиглей или молибденовых тиглей сложной формы путем пластической деформации, которые подходят для массового производства малых и средних тиглей.

5.2.3.1 Вращающаяся матрица

Обзор процесса:

Прядение осуществляется путем вращения молибденовой пластины и приложения местного давления для формирования тигля при температуре $800-1200^{\circ}\text{C}$.

Оборудование: Прядильный станок с ЧПУ, мощность 50-200 кВт, скорость вращения 100-600 об/мин.

Плесень:

Материал: жаропрочный сплав (например, инконель) или керамика (SiC), срок службы >1000 раз.

Конструкция: Радиус угла > 2 мм для предотвращения концентрации напряжений; толщина стенки 1-5 мм, допуск по размерам $\pm 0,1$ мм.

Обработка поверхности: покрытие MoS_2 или ZrO_2 для уменьшения трения.

Copyright and Legal Liability Statement

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Crucible Introduction

1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model
Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.				

5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Copyright and Legal Liability Statement

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

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

Параметры процесса:

Скорость подачи: 0,5-2 мм/с, предпочтительно 1 мм/с.

Давление: 10-50 кН, регулируется в зависимости от толщины стенки.

Смазка: графитовая суспензия или покрытие MoS₂, коэффициент трения < 0,1.

Способ нагрева: индукционный нагрев или пламенный нагрев, точность регулирования температуры ±10°C.

Преимущества:

Однородность толщины стенки ±0,1 мм, шероховатость поверхности Ra<0,8 мкм.

Высокая эффективность производства, время формовки одной детали <10 минут.

Контроль качества:

Лазерный дальномер: контроль толщины стенки в режиме реального времени, точность ±0,05 мм.

Осмотр поверхности: Оптический микроскоп подтверждает отсутствие царапин или трещин.

5.2.3.2 Температура растяжения и смазка

Процесс растяжки:

молибденовая пластина растягивается в форму тигля через матрицу при температуре 600-1000°C, предпочтительно 800°C.

Оборудование: Гидравлическая вытягивающая машина, давление 100-500 тонн.

Параметры процесса:

Скорость растяжения: 0,1-0,5 мм/с, деформация <30%.

Радиус угла формы: >3 мм, для снижения концентрации напряжений.

Форма: жаропрочный сплав или керамика, поверхность отполирована до Ra<0,5 мкм.

Смазки:

Смазка: графитовая суспензия (концентрация 5-10%) или порошок MoS₂, толщина покрытия 10-50 мкм.

Способ нанесения: распылитель или кисть, коэффициент трения <0,1.

Очистка: После растяжения используйте ультразвуковую очистку (40 кГц) для удаления смазочных материалов и предотвращения загрязнения.

Контроль качества:

Измерение толщины стенки: ультразвуковой толщиномер, точность ±0,01 мм.

Осмотр поверхности: SEM анализирует поверхностные дефекты и подтверждает, что микротрещин нет.

5.3 Обработка и отделка

Процессы механической обработки и чистовой обработки обеспечивают точность размеров, качество поверхности и высокие температурные характеристики молибденовых тиглей,

Copyright and Legal Liability Statement

включая токарную обработку, фрезерование, сварку, обработку поверхности и термообработку.

5.3.1 Токарная и фрезерная обработка

Токарная и фрезерная обработка используется для обработки внутренней и наружной поверхностей молибденовых тиглей в соответствии с требованиями высокой точности и качества поверхности.

5.3.1.1 Обработка с ЧПУ

Обзор процесса:

Токарный станок с ЧПУ: для обработки внутренних и наружных цилиндрических поверхностей, подходит для тиглей диаметром 50-500 мм.

Фрезерные станки с ЧПУ: для обработки деталей сложной геометрии, таких как днища тигля или фланцы.

Нож:

Твердый сплав (WC-Co): твердость >90 HRA, подходит для черновой обработки.

Инструменты с алмазным покрытием: твердость >5000 HV, подходит для чистовой обработки.

Режимы резания:

Черновая обработка: скорость резания 20-30 м/мин, скорость подачи 0,1-0,2 мм/об, глубина резания 0,5-2 мм.

Чистовая обработка: скорость резания 40-50 м/мин, скорость подачи 0,05-0,1 мм/об, глубина реза 0,1-0,5 мм.

Охлаждение и смазка:

Сухая резка: избегайте загрязнения жидкостью, подходит для тиглей высокой чистоты.

Минимальная смазка (MQL): используйте сжатый воздух + масляный туман (<0,1 мл/мин) для снижения износа инструмента.

Стойкость инструмента: твердосплавные инструменты >100 минут, алмазные инструменты >500 минут.

Оборудование:

Пятиосевой токарный станок с ЧПУ: точность обработки $\pm 0,005$ мм, оснащен лазерной системой наладки инструмента.

Обрабатывающий центр: интегрированные функции токарной и фрезерной обработки, подходит для тиглей сложной формы.

Контроль качества:

Координатно-измерительная машина (КИМ): измеряет допуски на размеры с точностью до $\pm 0,002$ мм.

Лазерный сканер: Проверьте округлость и соосность, отклонение < 0,01 мм.

Copyright and Legal Liability Statement

5.3.1.2 Точность и шероховатость

Требования к точности:

Допуск по диаметру: большой тигель $\pm 0,05$ мм, малый тигель $\pm 0,01$ мм.

Равномерность толщины стенки: $\pm 0,1$ мм, что обеспечивает равномерное тепловое поле.

Округлость: $< 0,02$ мм, для предотвращения концентрации термических напряжений.

Коаксиальность: $< 0,01$ мм, соответствует требованиям роста кристаллов.

Шероховатость поверхности:

Внутренняя поверхность: $Ra < 0,8$ мкм, снижающая адгезию расплава.

Внешняя поверхность: $Ra < 1,6$ мкм, снижает риск образования трещин.

Метод обнаружения:

Измеритель шероховатости поверхности: точность $\pm 0,01$ мкм.

Лазерный микроскоп: 3D морфологический анализ, увеличение в 1000 раз.

5.3.2 Технология сварки

Сварка используется для подготовки молибденовых тиглей большой или сложной формы, при этом необходимо обеспечить прочность сварного шва, герметизацию и высокотемпературные характеристики.

5.3.2.1 Электронно-лучевая сварка

Обзор процесса:

Электронно-лучевая сварка (ЭПВ) проводится в вакуумной камере со степенью вакуума $< 10^{-4}$ Па, с использованием высокоэнергетического электронного пучка (энергия 10^{-15} Дж) для плавления молибденового листа.

Параметры сварки:

Напряжение: 60-100 кВ, желательно 80 кВ.

Ток: 50-200 мА, регулируется в зависимости от толщины платы.

Скорость сварки: 0,5-2 м/мин, предпочтительно 1 м/мин.

Глубина сварного шва: 5-10 мм, подходит для тиглей с толщиной стенки 3-8 мм.

Преимущества:

Сварной шов чистый, без кислородных загрязнений, а содержание кислорода составляет $< 0,002\%$.

Зона термического влияния (ЗТВ) составляет $< 0,5$ мм, а рост зерна – < 10 мкм.

Прочность сварного шва достигает 90-95% от основного материала.

Оптимизация процессов:

Предварительная обработка поверхности: травление (10% раствор HNO_3) + ультразвуковая очистка (40 кГц) для удаления оксидов, шероховатость поверхности $Ra < 0,5$ мкм.

Точность позиционирования: лазерная система юстировки, отклонение $< 0,05$ мм.

Постобработка: полировка сварного шва ($Ra < 0,8$ мкм) для устранения концентрации

Copyright and Legal Liability Statement

напряжений.

Контроль качества:

Рентгеноструктурная дефектоскопия (рентгеновская дефектоскопия): обнаружение пор и трещин с размером дефекта менее 0,1 мм.

Испытание на разрыв: прочность сварного шва на разрыв >600 МПа.

Обнаружение утечек гелиевым масс-спектрометром: подтвердите герметичность, скорость утечки составляет $<10^{-9}$ Па · м³ /с.

5.3.2.2 Лазерная сварка и пайка

Лазерная сварка:

Оборудование: волоконный лазер (мощность 2-5 кВт) или Nd:YAG лазер (энергия импульса 0,1-1 Дж).

Параметры процесса:

Длительность импульса: 0,5-2 мс, частота 10-50 Гц.

Скорость сварки: 1-3 м/мин, ширина сварного шва 0,5-2 мм.

Защитный газ: аргон (99,999%), расход 10-20 л/мин.

Преимущества:

Высокая точность, подходит для тиглей с толщиной стенок < 2 мм.

Зона термического влияния <0,3 мм, снижающая рост зерна.

Заметка:

Поверхность очищается до Ra<0,5 мкм для удаления масла, грязи и оксидов.

Контроль фокусировки лазера (отклонение < 0,1 мм) обеспечивает равномерный сварной шов.

Пайки:

Припой: припой на основе серебра (Ag-Cu, температура плавления 780-850°C) или припой на основе молибдена (Mo-Ni, температура плавления 1200°C).

Параметры процесса:

Температура пайки: 800-1200°C, время выдержки 5-10 минут.

Атмосфера: вакуум ($<10^{-3}$ Па) или водород (99,999%).

Преимущества: Подходит для тиглей сложной формы, прочность соединения >400 МПа.

Примечание: Припой должен быть равномерно нанесен (толщина 0,1-0,3 мм), чтобы избежать чрезмерного проникновения.

Контроль качества:

Ультразвуковой контроль: Убедитесь, что сварной шов не имеет пористости или недостатка сварки.

Испытание на микротвердость: твердость сварного шва 200-250 HV.

Анализ СЭМ: Наблюдайте за микроструктурой сварного шва, размером зерна <20 мкм.

Copyright and Legal Liability Statement

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Crucible Introduction

1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model
Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.				

5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Copyright and Legal Liability Statement

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

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

5.3.3 Обработка поверхности

Обработка поверхности повышает стойкость к окислению, коррозионную стойкость и качество поверхности молибденовых тиглей и продлевает срок их службы.

5.3.3.1 Чистка и полировка

Чистка:

Ультразвуковая очистка:

Частота: 40-80 кГц, мощность 1-5 кВт.

Чистящий раствор: деионизированная вода + нейтральное моющее средство (pH 6-8), температура 50-70°C.

Время: 10-20 минут, в зависимости от степени загрязнения.

Квашение:

Раствор: 10% HNO₃ или 5% HCl, замочить на 5-10 минут.

Последующая обработка: промывка деионизированной водой + вакуумная сушка (100°C, <10⁻² Па).

Контроль качества:

Поверхностный анализ: рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (ХЛС) подтвердила отсутствие остаточных оксидов.

Тест на чистоту: счетчик частиц, частиц <100 частиц/см² (>0,5 мкм).

Полировка:

Механическая полировка:

Абразив: глинозем (размер частиц 0,5-5 мкм) или алмазная суспензия (размер частиц 0,1-1 мкм).

Комплектация: Автоматическая полировальная машина, скорость 500-1000 об/мин, давление 10-50 кПа.

Шероховатость поверхности: Ra <0,5 мкм, предпочтительно <0,3 мкм.

Электрохимическая полировка:

Электролит: фосфорная кислота (50%) + серная кислота (30%) + вода, температура 40-60°C.

Плотность тока: 0,5-2 А/см², время 5-15 минут.

Преимущества: Удаление микроскопических дефектов и повышение коррозионной стойкости.

Контроль качества:

Измеритель шероховатости поверхности: измерить Ra, точность ±0,01 мкм.

Лазерный микроскоп: проанализируйте морфологию поверхности и убедитесь, что царапин нет.

Copyright and Legal Liability Statement

5.3.3.2 Антиокислительное покрытие

Тип покрытия:

Силицид молибдена (MoSi_2):

Толщина: 50-200 мкм, прочность сцепления >50 МПа.

Защитный слой SiO_2 образуется при температуре 1700°C, а срок службы против окисления составляет >1000 часов.

Диоксид циркония (ZrO_2):

Толщина: 100-300 мкм, тепловая отражательная способность >80%.

Повышает стойкость к окислению и термическую эффективность, подходит для роста кристаллов.

Глинозем (Al_2O_3):

Толщина: 50-150 мкм, отличная коррозионная стойкость, подходит для плавки редкоземельных элементов.

Процесс нанесения покрытия:

Химическое осаждение из газовой фазы (CVD):

Температура: 1000-1200°C, атмосфера: $\text{SiCl}_4 + \text{H}_2$.

Скорость осаждения: 0,5-2 мкм/ч, однородность покрытия ± 5 мкм.

Плазменное напыление:

Мощность: 30-100 кВт, скорость распыления 100-400 м/с.

Газ: $\text{Ar} + \text{H}_2$, расход 50-100 л/мин.

Пористость покрытия: <2%, прочность сцепления > 60 МПа.

Физическое осаждение из газовой фазы (PVD):

Температура: 400-600°C, градус вакуума $< 10^{-3}$ Па.

Скорость осаждения: 0,1-0,5 мкм/мин, подходит для тонких покрытий (<50 мкм).

Контроль качества:

Толщина покрытия: ультразвуковой толщиномер, точность ± 1 мкм.

Прочность сцепления: испытание на растяжение, в соответствии со стандартом ASTM C633.

Микроструктура: SEM+EDS анализ состава покрытия и границы раздела.

5.3.4 Термическая обработка и отжиг

Термическая обработка и отжиг используются для контроля структуры зерна, снятия технологических напряжений и улучшения высокотемпературных свойств.

5.3.4.1 Контроль зерна

Обзор процесса:

Температура: 1200-1600°C, предпочтительно 1400°C.

Copyright and Legal Liability Statement

Время изоляции: 1-4 часа, в зависимости от размера тигля.

Атмосфера: водород (99,999%) или вакуум ($<10^{-3}$ Па).

Цель: Размер зерна 20-50 мкм, оптимизированная прочность и сопротивление ползучести.

Оптимизация процессов:

Скорость нагрева: 5-10°C/мин, избегайте термического стресса.

Скорость охлаждения: $>50^{\circ}\text{C}/\text{мин}$, ингибирование роста зерна.

Легирование: CeO_2 или La_2O_3 обозначает границы зерен, отклонение размера зерна <10 мкм.

Контроль качества:

Оптический микроскоп: измеряет размер зерна с точностью до ± 1 мкм.

ГРЯДКИ: Проанализируйте ориентацию зерен и подтвердите, что соотношение текстур <110 составляет $>60\%$.

5.3.4.2 Снятие стресса

Обзор процесса:

Температура: 800-1000°C, предпочтительно 900°C.

Время утепления: 2-6 часов, в зависимости от толщины стены.

Атмосфера: вакуум ($<10^{-3}$ Па) или аргон (99,999%).

Цель: Остаточное напряжение <50 МПа, снижение риска образования трещин.

Оптимизация процессов:

Медленное охлаждение ($<5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$) до 500°C во избежание вторичных нагрузок.

Многоступенчатый отжиг: 800°C (2 часа) + 600°C (1 час) для оптимизации распределения напряжений.

Контроль качества:

Рентгеновский анализатор напряжений: измеряет остаточное напряжение с точностью до ± 5 МПа.

Ультразвуковой контроль: Подтвердите отсутствие внутренних трещин и размер дефекта составляет $<0,1$ мм.

5.4 Производственное оборудование и автоматизация

Передовое производственное оборудование и технологии автоматизации повышают эффективность производства, стабильность качества и безопасность производства молибденовых тиглей.

5.4.1 Основное оборудование

5.4.1.1 Вакуумная печь для спекания

Спецификация:

Максимальная температура: 2300°C, точность регулирования температуры $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

Степень вакуума: $<10^{-4}$ Па, оснащен молекулярным насосом и механическим насосом.

Copyright and Legal Liability Statement

Мощность: 100-500 кВт, диаметр печи 0,5-2 м.

Нагревательный элемент: молибденовая или вольфрамовая проволока, срок службы > 5000 часов.

Функция:

Многоступенчатый контроль температуры: поддерживает низкотемпературное (<1200°C), среднетемпературное (1200-1600°C) и высокотемпературное (1600-2200°C) спекание.

Контроль атмосферы: встроенный масс-спектрометр, содержание O₂ < 10 ppm.

Регистрация данных: мониторинг температуры, давления и расхода газа в режиме реального времени.

Система безопасности:

Защита от перегрева: автоматическое отключение питания, порог 2350°C.

Обнаружение утечки в вакууме: порог тревоги > 10⁻³ Па.

5.4.1.2 Прядильные и токарные станки

Прядильная машина:

Мощность: 50-200 кВт, скорость вращения 100-600 об/мин.

Система управления: ЧПУ, точность обработки ±0,05 мм.

Форма: жаропрочный сплав или керамика, износостойкая долговечность > 1000 раз.

Назначение: Поддерживает формование тонкостенных тиглей (толщина стенки 1-5 мм), время формования составляет < 10 минут.

Токарный станок с ЧПУ:

Тип: пятиосевой рычажный механизм, диаметр обработки 0,1-1 м.

Инструмент: Алмазное покрытие, скорость резания 30-60 м/мин.

Точность: допуск на размеры ±0,005 мм, округлость < 0,01 мм.

Назначение: Поддержка внутренней и внешней обработки поверхности, шероховатость поверхности Ra < 0,5 мкм.

5.4.1.3 Оборудование для обработки поверхностей

Машина для ультразвуковой очистки:

Частота: 40-80 кГц, мощность 1-5 кВт.

Бак для очистки: многобаковая конструкция (очистка, ополаскивание, сушка), емкость 50-200 л.

Функция: Удаление оксидов, масла и частиц, чистота < 100 частиц/см².

Оборудование для плазменного напыления:

Мощность: 30-100 кВт, скорость распыления 100-400 м/с.

Газ: Ar+H₂, расход 50-100 л/мин.

Манипулятор робота: шестиосевой рычажный механизм, равномерность толщины покрытия ±5 мкм.

Назначение: Получение покрытий MoSi₂ и ZrO₂ с прочностью сцепления > 60 МПа.

Copyright and Legal Liability Statement

Оборудование для электрохимической полировки:

Электролит: фосфорная кислота + серная кислота, плотность тока 0,5-2 А/см².

Функция: Улучшение качества поверхности ($Ra < 0,3$ мкм) и коррозионной стойкости.

5.4.2 Автоматизация и интеллект

Технология автоматизации:

Роботизированная система:

Загрузочно-разгрузочный робот: используется для наполнения молибденового порошка, обработки заготовок и упаковки готовой продукции, с нагрузкой 50-200 кг.

Сварочный робот: оснащен системой визуального распознавания, точность сварки $\pm 0,05$ мм.

Система ЧПУ:

Интегрированное программное обеспечение CAD/CAM оптимизирует траектории обработки и сокращает время обработки на 10-15%.

Поддержка программирования G-кода и совместимость с тиглями сложной формы.

Онлайн-мониторинг:

Инфракрасный термометр: контролирует температуру спекания, точность $\pm 2^\circ\text{C}$.

Датчик давления: определяет изостатическое давление прессования с точностью до $\pm 0,1$ МПа.

Лазерный сканер: измерение размеров тигля в режиме реального времени с точностью до $\pm 0,01$ мм.

Умный:

Индустрия 4.0:

Интернет вещей (IoT): устройства подключены друг к другу и загружают данные о температуре, давлении и производстве в режиме реального времени.

Анализ больших данных: оптимизация параметров процесса и снижение процента брака до $< 1,5\%$.

Искусственный интеллект (ИИ):

Профилактическое обслуживание: прогнозирование отказов оборудования на основе данных о вибрации и температуре, сокращение времени простоя на 20%.

Оптимизация процесса: модель искусственного интеллекта скорректировала температуру и давление спекания, увеличив плотность на 0,5%.

Цифровой двойник:

Виртуальное моделирование производственного процесса тигля и моделирование спекания,ковки и механической обработки.

Оптимизируйте конструкцию пресс-форм и достигните точности прогнозирования усадки $\pm 0,1\%$.

Copyright and Legal Liability Statement

5.4.3 Требования к чистым помещениям

Чистое помещение гарантирует, что процесс производства молибденового тигля не загрязняет окружающую среду и отвечает потребностям областей применения с высокой степенью чистоты.

Уровень чистоты:

ISO 5 (класс 100): Концентрация частиц <100 частиц/м³ (размер частиц $\geq 0,5$ мкм).

ISO 7 (10 000): Для некритических процессов концентрация частиц $<10\,000$ частиц/м³.

Контроль окружающей среды:

Температура: 20-25°C, колебания $\pm 1^\circ\text{C}$.

Влажность воздуха: 40-60%, колебания $\pm 5\%$.

Положительное давление: >10 Па, для предотвращения проникновения внешних частиц.

Оборудование и меры:

Высокоэффективный фильтр (HEPA): эффективность фильтрации $>99,97\%$, цикл замены 6-12 месяцев.

Воздушный душ: Скорость ветра на входе > 20 м/с, удаляет частицы с поверхности людей.

Беспыльный пол: покрытие из эпоксидной смолы, поверхностное сопротивление $10^6 - 10^9 \Omega$.

Охрана персонала:

Наденьте одежду для чистых помещений (полиэстер), маску, перчатки и бахилы.

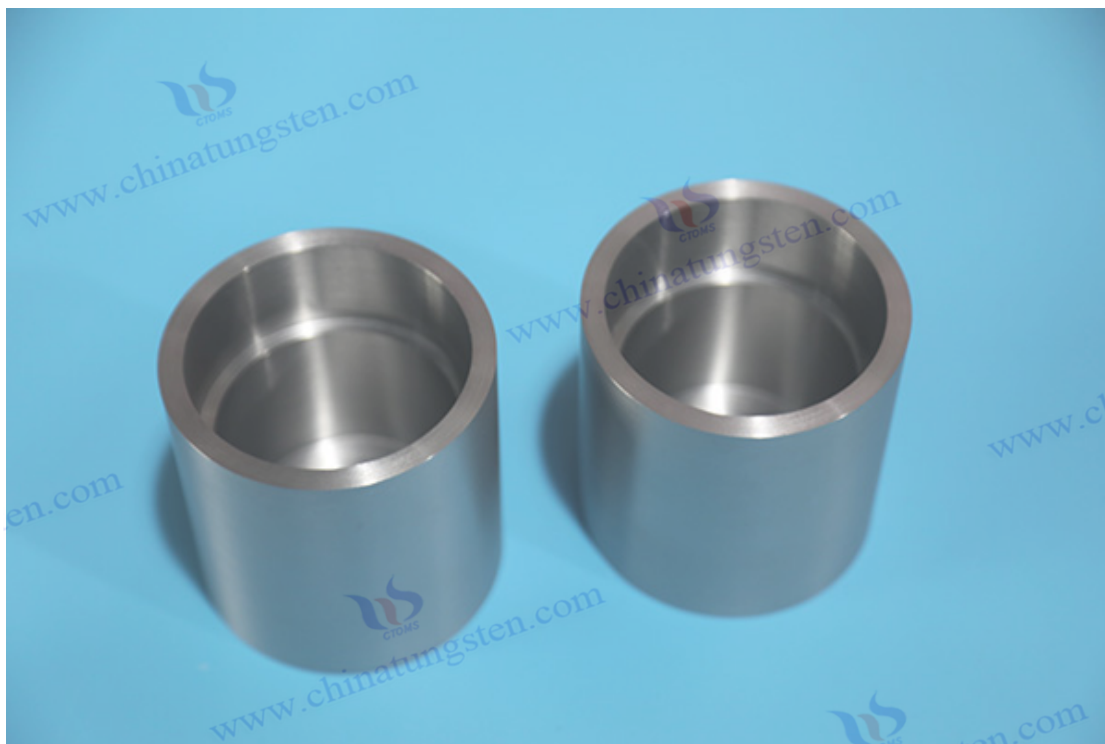
Обучение: Эксплуатационные характеристики чистых помещений ISO 14644.

Метод обнаружения:

Счетчик частиц: мониторинг частиц в режиме реального времени, точность ± 10 частиц/м³.

Микробиологический отбор проб: еженедельное тестирование, количество колоний <1 КОЕ/м³.

Чистота поверхности: испытание контактными частицами, частицы <50 частиц/см².



CTIA GROUP LTD Молибденовый тигель

Глава 6 Контроль качества и инспекция молибденового тигля

Молибденовые тигли являются ключевыми звеньями, обеспечивающими их стабильную работу и надежность в высокотемпературных и высококоррозионных средах (таких как выращивание кристаллов сапфира, выплавка редкоземельных элементов и производство полупроводников). Молибденовые тигли должны соответствовать требованиям высокой чистоты, высокой плотности, отличных механических свойств и коррозионной стойкости. Любые незначительные дефекты могут привести к серьезным поломкам. В этой главе подробно обсуждается технология контроля качества и инспекции молибденовых тиглей, включая онлайн-проверку, эксплуатационные испытания и анализ отказов, а также приводятся исчерпывающие технические детали и методология со ссылкой на практику ведущих мировых компаний, отраслевые стандарты и академические исследования.

6.1 Онлайн-обнаружение

Онлайн-инспекция отслеживает качество продукции в режиме реального времени в процессе производства молибденового тигля, чтобы обеспечить точность размеров, качество поверхности и соответствие микроструктуре. Эти технологии сводят к минимуму перерывы в производстве и повышают эффективность за счет бесконтактных или быстрых методов контроля.

6.1.1 Размеры и точность

Молибденовый тигель напрямую влияет на его однородность теплового поля и механическую

Copyright and Legal Liability Statement

стабильность в высокотемпературной среде. Определение размеров в режиме реального времени гарантирует, что геометрия, толщина стенки и округлость тигля соответствуют проектным требованиям.

Метод обнаружения:

Лазерная дальность и сканирование:

Используйте высокоточный лазерный дальномер или лазерный 3D-сканер для измерения внешнего диаметра, внутреннего диаметра, толщины стенки и высоты тигля в режиме реального времени.

Система лазерного сканирования создает 3D-модель тигля на основе данных облака точек и определяет округлость, коаксиальность и плоскостность поверхности.

Преимущества: бесконтактное, быстрое измерение, подходит для больших тиглей (диаметр > 300 мм).

Ультразвуковая толщинометрия:

Ультразвуковые толщинометры измеряют толщину стенок тигля, излучая высокочастотные звуковые волны (5-10 МГц) и особенно подходят для тонкостенных тиглей (<5 мм).

Онлайн-интеграция в токарные станки с ЧПУ или прядильные станки обеспечивает обратную связь в режиме реального времени по данным о толщине стенки и направляет корректировки обработки.

Преимущества: Высокая точность, подходит для сложных геометрических форм.

Координатно-измерительная машина (КИМ):

В режиме реального времени КИМ измеряет критические размеры тигля (такие как диаметр фланца, радиус дна) с помощью контактного щупа.

Оснащен системой автоматической смены инструмента, поддерживает многоточечное измерение, подходит для массового производства.

Преимущества: Высокая повторяемость, подходит для высокоточных тиглей (допуск < 0,01 мм).

Параметры детектирования:

Допуск по диаметру: для больших тиглей требуются допуски в микронах; Для небольших тиглей требуются допуски в субмикронах.

Равномерность толщины стенки: отклонения должны контролироваться в очень малом диапазоне, чтобы обеспечить равномерное тепловое поле.

Округлость и коаксиальность: отклонение округлости должно быть чрезвычайно низким, а коаксиальность должна соответствовать строгим требованиям оборудования для выращивания кристаллов.

Высота и плоскостность: допуск по высоте указан на микронном уровне, а плоскостность дна должна избегать концентрации термических напряжений.

Интеграция процессов:

Copyright and Legal Liability Statement

Онлайн-система обнаружения подключается к обрабатывающему оборудованию с ЧПУ через промышленный интернет вещей (IoT), а данные о размерах загружаются в центральную систему управления в режиме реального времени.

Механизм обратной связи: при обнаружении отклонений в размерах система автоматически регулирует параметры обработки (такие как глубина резания, давление отжима).

Отслеживайте размерные тренды и прогнозируйте потенциальные дефекты с помощью статистического управления процессами (SPC).

Стандарты качества:

Соответствует ASTM B386 (Стандарт молибдена и молибденовых сплавов) и GB/T 3462 (Китайский стандарт материалов молибдена).

Система менеджмента качества ISO 9001 требует, чтобы оборудование для онлайн-тестирования регулярно калибровалось с отклонением точности <1%.

Практическое применение:

При выращивании кристаллов сапфира точность размеров молибденового тигля напрямую влияет на качество кристалла. Онлайн-система лазерного сканирования HC Starck Solutions обеспечивает чрезвычайно малый допуск по диаметру тигля, что соответствует требованиям метода Чохральского.

6.1.2 Дефекты поверхности

Поверхностные дефекты (такие как царапины, трещины, оксидные слои) могут стать отправной точкой для распространения трещин при высоких температурах или вызвать загрязнение расплавом. Онлайн-инспекция поверхности обеспечивает чистоту поверхности и целостность тигля.

Метод обнаружения:

Оптическая микроскопия и анализ изображений:

Оптический микроскоп высокого разрешения (увеличение 50-1000x), оснащенный ПЗС-камерой, делает снимки поверхности тигля в режиме реального времени.

Программное обеспечение для обработки изображений выявляет царапины, углубления и микротрещины с помощью обнаружения краев и анализа оттенков серого.

Преимущества: Высокая чувствительность, подходит для обнаружения внутренних поверхностей.

Обнаружение лазерного рассеяния:

Лазерный луч (длина волны 532 нм) облучает поверхность тигля, а рассеянный световой сигнал отражает поверхностные дефекты (такие как шероховатости и трещины).

Оснащен фотоумножителем (ФЭУ) для сбора рассеянного света и формирования карты распределения дефектов.

Преимущества: Бесконтактный, подходит для быстрого сканирования больших тиглей (>500 мм).

Copyright and Legal Liability Statement

Вихретоковый контроль:

Поверхность тигля сканируется вихретоковым преобразователем (частота 1-10 МГц) для обнаружения приповерхностных трещин и включений.

Подходит для сварки тиглей в области сварного шва для выявления микротрещин и пор.

Преимущества: Высокая чувствительность, подходит для внутренних дефектов металлов.

Параметры детектирования:

Шероховатость поверхности: Внутренняя поверхность должна иметь очень низкую шероховатость ($Ra < 0,8$ мкм), а внешняя поверхность должна быть слегка рыхлой ($Ra < 1,6$ мкм).

Трещины и царапины: Длина трещин должна контролироваться ниже микронного уровня, а глубина царапин должна быть предельно маленькой.

Оксидный слой и загрязнение: на поверхности не должно быть остатков оксидов, а загрязнение частицами должно быть очень низким (< 100 частиц/см², размер частиц $> 0,5$ мкм).

Интеграция процессов:

Онлайн-система контроля поверхности связана с оборудованием для полировки, очистки и нанесения покрытий для обеспечения обратной связи по данным о дефектах в режиме реального времени.

Автоматическая сортировка: неквалифицированные тигли отправляются в зону доработки с помощью роботизированной руки, а квалифицированные поступают в следующий процесс.

Прослеживаемость данных: данные проверки поверхности каждого тигля хранятся в облаке для обеспечения прослеживаемости качества.

Стандарты качества:

Соответствует стандартам ISO 4287 (стандарт шероховатости поверхности) и ASTM E407 (стандарт испытаний металлических поверхностей).

Полупроводниковая промышленность требует чистоты поверхности в соответствии со стандартами SEMI (такими как SEMI F21).

Практическое применение:

При производстве полупроводниковых монокристаллов кремния поверхностные дефекты молибденовых тиглей могут загрязнять расплав кремния. Система лазерного рассеяния Chinatungsten Online обеспечивает отсутствие микротрещин на внутренней поверхности для удовлетворения высоких требований чистоты.

6.2 Тестирование производительности

В ходе эксплуатационных испытаний оцениваются высокая термостойкость, коррозионная стойкость и долговременная стабильность молибденовых тиглей в реальных условиях использования, чтобы гарантировать, что они соответствуют потребностям конкретных областей применения (например, в условиях высоких температур 1700-2050 °C).

Copyright and Legal Liability Statement

6.2.1 Прочность при высоких температурах

Высокая термостойкость является ключевым свойством молибденового тигля для поддержания структурной целостности и антидеформационной способности в высокотемпературной среде (например, при выращивании кристаллов сапфира, плавке редкоземельных элементов).

Метод испытаний:

Испытание на растяжение при высоких температурах:

Проводится в вакуумной или инертной атмосфере (аргоновой или водородной) печи в диапазоне температур 1400-1800°C.

Измерьте прочность на растяжение, предел текучести и удлинение путем приложения постоянного напряжения с помощью высокотемпературной растягивающей машины, оснащенной молибденовыми или вольфрамовыми захватами.

Стандарт испытаний: ASTM E21 (Спецификация испытаний на высокотемпературное растяжение).

Преимущества: Моделирование реальной среды высокотемпературных напряжений и оценка механических свойств тигля.

Испытание на ползучесть при высоких температурах:

Постоянное напряжение (50-200 МПа) прикладывалось при 1700-2000°C, а также измерялась скорость ползучести и деформация.

Оборудование: Высокотемпературная машина для испытаний на ползучесть, оснащенная лазерным датчиком перемещения (точность $\pm 0,001$ мм).

Стандарт испытаний: ASTM E139 (спецификация испытаний на ползучесть).

Преимущества: Оценка стабильности тиглей при длительной работе при высоких температурах.

Испытание на твердость:

Твердость тигля при комнатной температуре и высокой температуре (1000-1500°C) измеряли с помощью высокотемпературного твердомера по Виккерсу (нагрузка 1-10 кг).

Стандарт испытаний: ASTM E92 (спецификация для определения твердости по Виккерсу).

Преимущества: Быстрая оценка эффектов упрочнения материала (например, легирование или термическая обработка).

Параметры испытания:

Прочность на разрыв: достаточная прочность должна поддерживаться при высоких температурах (>100 МПа при 1700°C), а легированные тигли имеют более высокую прочность.

Скорость ползучести: должна быть чрезвычайно низкой, чтобы гарантировать отсутствие значительной деформации при длительной эксплуатации.

Твердость: Твердость при высоких температурах должна поддерживаться на высоком уровне (>150 HV), отражающем способность материала противостоять износу.

Copyright and Legal Liability Statement

Обратная связь по процессу:

Результаты испытаний определяют выбор сырья (например, легирующие элементы) и оптимизацию процесса (например, температуру термообработки).

Если прочность недостаточна, можно регулировать температуру спекания, деформациюковки или коэффициент легирования.

Данные хранятся в системе управления качеством для обеспечения прослеживаемости производительности.

Стандарты качества:

Соответствует стандарту ISO 6892-2 (испытание металлов на растяжение при повышенных температурах) и ASTM E139 (испытание на ползучесть).

Для выращивания кристаллов сапфира необходимо, чтобы тигель оставался без деформации при температуре 2050 °C, а плавка редкоземельных элементов требует долгосрочной стабильности при 1700 °C.

Практическое применение:

Во время роста кристаллов сапфира молибденовый тигель должен выдерживать высокие температуры 2050°C и механические нагрузки. Высокотемпературное испытание на растяжение, проведенное China Tungsten Online, гарантирует, что в тигле не будет трещин в экстремальных условиях.

6.2.2 Коррозионная стойкость

Коррозионная стойкость определяет долговечность молибденовых тиглей в расплавленных металлах (например, редкоземельных металлах), оксидах или высокотемпературных атмосферах, особенно при выплавке редкоземельных металлов и очистке драгоценных металлов.

Метод испытаний:

Испытание на статическую коррозию:

Погрузите образец молибденового тигля в расплавленную среду (например, расплавленный неодим, глинозем) при температуре 1400-1800°C и держите его в тепле от нескольких часов до нескольких дней.

Измерьте потерю толщины стенки, глубину поверхностной эрозии и потерю массы.

Стандарт испытаний: ASTM G31 (спецификация испытаний на коррозию).

Преимущества: Моделирование реальной среды использования и оценка коррозионной стойкости тигля.

Динамические коррозионные испытания:

Динамический контакт (например, перемешивание или протекание) между тиглем и расплавом моделируется в высокотемпературной печи при температуре 1500-1700°C.

Относительное движение между образцом и расплавом контролируется с помощью вращающегося иммерсионного устройства для измерения скорости коррозии.

Copyright and Legal Liability Statement

Преимущества: Ближе к реальным рабочим условиям выплавки редкоземельных элементов.

Испытание на электрохимическую коррозию:

Измерьте электрохимические свойства тиглей (например, коррозионный потенциал, поляризационное сопротивление) в высокотемпературных растворах расплавленных солей или кислот.

Оборудование: Высокотемпературная электрохимическая рабочая станция, температура 800-1200°C.

Преимущества: Количественная оценка коррозионных механизмов, подходит для нанесения покрытий на тигли.

Параметры испытания:

Потеря толщины стенки: должна быть чрезвычайно низкой (микрометрический уровень/100 часов) для обеспечения срока службы тигля.

Поверхностная эрозия: поверхность должна оставаться гладкой без явных точечных повреждений или отслаивания.

Потеря массы: должна быть чрезвычайно маленькой, отражая химическую стабильность тигля.

Характеристики покрытия: Антикоррозионные покрытия (такие как MoSi_2) не должны отслаиваться и обладают высокой прочностью сцепления.

Обратная связь по процессу:

Результаты испытаний на коррозионную стойкость определяют выбор легирующих элементов (таких как CeO_2 , La_2O_3) и оптимизацию процесса нанесения покрытий.

Если скорость коррозии слишком высока, толщину покрытия можно увеличить или отрегулировать процесс спекания для увеличения плотности тигля.

Эти данные используются для создания базы данных по коррозии для прогнозирования срока службы тиглей в различных средах.

Стандарты качества:

Соответствует стандартам ASTM G31 (коррозионные испытания) и ISO 11846 (высокотемпературные коррозионные испытания).

Плавка редкоземельных элементов требует, чтобы тигель имел срок службы >1000 часов в расплавленном неодиме при 1700 °C, а полупроводниковая промышленность не требует загрязнения.

Практическое применение:

При производстве магнитов NdFeB молибденовые тигли должны быть устойчивы к коррозии от расплавленного неодима. Статические коррозионные испытания Chinatungsten Online обеспечивают коррозионную стойкость легированных тиглей и продлевают срок их службы.

Copyright and Legal Liability Statement

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Crucible Introduction

1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model
Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.				

5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Copyright and Legal Liability Statement

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

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

6.3 Анализ отказов

Анализ отказов выявляет причины отказов и оптимизирует производственный процесс и условия использования путем изучения трещин, деформации, усталости и затухания ресурса молибденовых тиглей.

6.3.1 Трещины и деформации

Трещины и деформация являются распространенными режимами разрушения молибденовых тиглей при высоких температурах или термических циклах, которые могут быть вызваны термическим напряжением, механическим напряжением или дефектами материала.

Аналитические методы:

Макроскопическое наблюдение:

Расположение, длина и морфология трещины (поверхностная трещина или сквозная трещина) регистрируются с помощью камеры высокого разрешения или стереомикроскопа.

Измерения деформаций (например, изменение диаметра тигля, утончение толщины стенки) выполняются с помощью лазерного сканера.

Микроскопический анализ:

С помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) наблюдали за морфологией трещины (межкристаллитный разрыв или пластичный разлом) при увеличении в 1000-10 000 раз.

Энергодисперсионная спектроскопия (EDS) определяет химический состав области трещины, чтобы подтвердить, вызвано ли охрупчивание примесями (такими как O, C).

Анализ методом конечных элементов (МКЭ):

Создана тепломеханическая модель сопряжения тигля, позволяющая моделировать распределение напряжений и деформационное поведение при высоких температурах.

Входные параметры: коэффициент теплового расширения молибдена ($4,8 \times 10^{-6}$ /K), теплопроводность (138 Вт/(м·K)), прочность на разрыв.

Преимущества: Прогнозирование точек зарождения трещин и оптимизация конструкции тигля.

Причина отказа:

Термическое напряжение: Быстрое повышение и понижение температуры (например, $>10^\circ\text{C}/\text{мин}$) вызывает концентрацию термического напряжения и образование трещин.

Механическое напряжение: Ударные силы при загрузке или разгрузке превышают прочность тигля.

Дефекты материала: спекающиеся поры, примеси на границе зерен или сварочные поры снижают ударную вязкость тигля.

Технологические проблемы: Неравномерная толщина стенок или неправильная термическая обработка, приводящая к концентрации напряжений.

Copyright and Legal Liability Statement

Меры по благоустройству:

Оптимизируйте тепловые циклы: контролируйте скорость нагрева и охлаждения ($<5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$) для снижения термического напряжения.

Улучшение качества материала: используйте порошок молибдена высокой чистоты ($>99,95\%$) и легирующие элементы (такие как CeO_2) для очистки зерен.

Улучшенная обработка: обеспечение равномерности толщины стенки (отклонение $< 0,1 \text{ мм}$) и шероховатости поверхности ($Ra < 0,8 \text{ мкм}$).

Практическое применение:

Во время роста кристаллов сапфира трещины в молибденовом тигле могут привести к утечке расплава.

6.3.2 Усталость и срок службы

Усталостное разрушение и затухание ресурса являются основными проблемами молибденовых тиглей в повторяющихся термических циклах или длительной работе при высоких температурах, влияющих на их перерабатывающую способность и экономичность.

Аналитические методы:

Испытание на тепловой цикл:

Моделирование реальных условий использования (например, $1500-1700^{\circ}\text{C}$, $100-500$ тепловых циклов) для наблюдения за образованием и ростом усталостных трещин.

Оборудование: Высокотемпературная термоциклическая печь, оснащенная лазерными датчиками перемещения для регистрации деформаций.

Стандарт испытаний: ISO 1893 (испытание огнеупорных материалов на тепловой удар).

Анализ усталостного разрушения:

Морфология разрушения изучалась с помощью СЭМ, чтобы отличить усталостные трещины (гладкие бороздки) от переходных участков разрушения (ямочки).

Анализ траекторий распространения трещин методом обратного рассеяния электронов (EBSD) подтвердил влияние ориентации зерен на усталость.

Модель прогнозирования продолжительности жизни:

Срок службы тигля прогнозируется на основе теории кумулятивных повреждений Майнера в сочетании с данными теплового цикла и ползучести.

Входные параметры: количество тепловых циклов, градиент температуры, уровень напряжений.

Преимущество: Направляет циклы обслуживания и замены тигля.

Причина отказа:

Термическая усталость: Повторяющиеся термические циклы приводят к росту микротрещин, которые в конечном итоге образуют макротрещины.

Ползучесть: Долгосрочное высокотемпературное напряжение вызывает медленную

Copyright and Legal Liability Statement

деформацию, снижая прочность тигля.

Разрушение поверхности: Окисление или коррозия вызывают поверхностные дефекты, которые ускоряют образование усталостных трещин.

Конструктивные дефекты: неравномерная толщина стенок или острые геометрические углы, вызывающие концентрацию напряжений.

Меры по благоустройству:

Улучшенные свойства материала: легирование оксидами (такими как La_2O_3) улучшает ударную вязкость и усталостную прочность.

Оптимизируйте конструкцию: увеличьте радиус угла (>2 мм) для снижения концентрации напряжений.

Защита поверхности: Нанесите антиокислительное покрытие (например, MoSi_2) для увеличения усталостной долговечности.

Совершенствование процесса: контроль размера зерна (<50 мкм) и параметров термообработки для снижения скорости ползучести.



CTIA GROUP LTD Молибденовый тигель

Copyright and Legal Liability Statement

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Crucible Introduction

1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model
Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.				

5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Copyright and Legal Liability Statement

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

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

Глава 8 Транспортировка и хранение молибденового тигля

Поскольку молибденовые тигли являются ценным и устойчивым к высоким температурам промышленным компонентом, их транспортировка и хранение имеют решающее значение для поддержания их физической целостности и химической стабильности. Неправильная упаковка, транспортировка или хранение могут привести к царапинам на поверхности, окислению, загрязнению или деформации, что повлияет на их производительность в высокотехнологичных приложениях, таких как выращивание кристаллов, выплавка редкоземельных элементов и производство полупроводников. В этой главе подробно обсуждаются требования к транспортировке и хранению молибденовых тиглей, включая требования к упаковке, ударопрочность и влагозащита, условия хранения, управление запасами и отслеживание качества, а также приводятся всесторонние технические рекомендации со ссылкой на мировые отраслевые стандарты и передовую практику.

8.1 Требования к упаковке

Молибденовые тигли должны обеспечивать их защиту от механических повреждений, химического загрязнения и воздействия окружающей среды во время транспортировки и хранения, а также простоту в обращении и идентификации.

Упаковочные материалы:

Внутренняя упаковка:

Используйте полиэтиленовую (ПЭ) или полипропиленовую (ПП) пленку высокой чистоты для обертывания тигля, чтобы предотвратить контакт поверхности с воздухом или частицами и сохранить его в чистоте.

Облицованный пеной высокой плотности или пузырчатой пленкой, он обеспечивает амортизирующую защиту и снижает воздействие вибрации и ударов.

Рекомендуется использовать вакуумные пакеты для удаления внутреннего воздуха для предотвращения окисления и поглощения влаги, особенно при длительном хранении.

Внешняя упаковка:

Используйте ящики из твердых пород дерева (в соответствии с международными фитосанитарными стандартами ISPM 15) или ящики из алюминиевого сплава, которые достаточно прочны, чтобы выдержать штабелирование и транспортное давление.

Внутренняя часть деревянного ящика заполнена амортизирующими материалами (например, пенополиуретаном или жемчужным хлопком), чтобы обеспечить фиксацию тигля без тряски. Поверхность внешней упаковки опрыскивается водостойкой краской или накрывается влагозащитной пленкой для предотвращения проникновения влаги.

Дополнительные материалы:

Используйте керамические прокладки или прокладки из политетрафторэтилена (ПТФЭ) для изоляции тигля от упаковочного материала во избежание царапин, вызванных контактом с металлом.

Copyright and Legal Liability Statement

Оснащен влагопоглотителем (например, силикагелем или молекулярным ситом) и помещен во внутреннюю упаковку для контроля влажности и предотвращения коррозии.

Используйте беспыльные этикетки и герметизирующую ленту, чтобы избежать дополнительного загрязнения в процессе упаковки.

Дизайн упаковки:

Соответствие размеров: Размер упаковочной коробки настраивается в соответствии со спецификациями тигля, а внутреннее пространство плотно повторяет форму тигля, чтобы он был зафиксирован и не имел места для перемещения.

Несущая способность: Конструкция упаковочной коробки должна поддерживать многослойное штабелирование и подходить для транспортировки на дальние расстояния и складирования.

Логотип и этикетка:

Внешняя упаковка маркируется предупреждающими знаками, такими как «хрупкий», «влагостойкий» и «обращайтесь осторожно». Шрифты четкие и заметные и соответствуют стандарту ISO 780 (стандарт маркировки упаковки).

Поставляется с этикеткой продукта, содержащей модель тигля, размер, номер партии, дату производства, вес нетто и информацию о поставщике, с использованием водонепроницаемой, износостойкой этикетки (например, ПВХ или ПЭТ).

Предоставьте упаковочный лист и сертификат качества, запечатайте их в прозрачный полиэтиленовый пакет и наклейте на внешнюю сторону упаковочной коробки.

Отслеживаемость: на упаковочную коробку наносится QR-код или поставляется с RFID-меткой, которая связана с производственными данными и данными о качестве тигля и поддерживает цифровое отслеживание.

Процесс упаковки:

Очистка: Перед упаковкой протрите тигель беспыльной тканью, смоченной в этаноле высокой чистоты, чтобы убедиться в отсутствии частиц, масляных пятен или отпечатков пальцев, а чистота поверхности соответствует требованиям полупроводниковой промышленности.

Упаковка: Внутренняя упаковка производится в чистом помещении, с использованием непыльных перчаток и неметаллических инструментов.

Крепление: Тигель помещается в специальную форму из пенопласта, заполненную амортизирующим материалом, и гарантируется отсутствие зазоров. Внешняя упаковочная коробка запаивается болтами из нержавеющей стали или высокопрочной лентой.

Осмотр: Визуальный осмотр после упаковки для подтверждения отсутствия ослабления или повреждений. Вибрационное испытание при необходимости для моделирования условий транспортировки для обеспечения безопасности тигля.

Стандарты качества:

Упаковка должна соответствовать ISO 3394 (размеры транспортной упаковки) и ASTM D4169

Copyright and Legal Liability Statement

(эксплуатационные испытания транспортной упаковки).

Полупроводниковая промышленность требует, чтобы упаковочные материалы не содержали летучих органических соединений (ЛОС) и соответствовали стандарту SEMI E170 (стандарт чистой упаковки).

Процесс упаковки должен осуществляться в соответствии с системой менеджмента качества ISO 9001 для обеспечения единообразия и надежности.

Практическое применение:

В отрасли выращивания кристаллов сапфира вакуумная упаковка молибденовых тиглей предотвращает окисление во время транспортировки и гарантирует, что поверхность не загрязнена.

При выплавке редкоземельных элементов ящики из твердой древесины и вкладыши из пенопласта защищают большие тигли и снижают риск деформации при транспортировке.

8.2 Ударопрочность и влагостойкость

Антивибрационные и влагозащитные меры являются основными требованиями к транспортировке и хранению молибденовых тиглей, направленными на предотвращение механических повреждений и химического износа, а также на обеспечение невливания на производительность тигля.

Противошоковые меры:

Материал прокладки:

Используйте пенополиуретан высокой плотности или жемчужную вату для заполнения внутренней части упаковочной коробки, чтобы обеспечить достаточную амортизирующую способность для поглощения вибрации и ударов во время транспортировки.

Для небольших тиглей для обеспечения дополнительной защиты может использоваться пленка на воздушной подушке, подходящая для легкой упаковки.

Для больших тиглей требуются специальные формы из пенопласта, которые точно соответствуют форме тигля, чтобы обеспечить плотное прилегание и предотвратить движение.

Конструкция упаковочной коробки:

Внешняя упаковочная коробка изготавливается из многослойной фанеры или алюминиевого сплава, который обладает высокой ударопрочностью и подходит для транспортировки на дальние расстояния.

Внутри установлены амортизирующие пружины или резиновые накладки для снижения передачи вибрации и защиты тигля от внешнего воздействия.

Дно упаковочной коробки оснащено противоскользящей прокладкой для увеличения трения и предотвращения скольжения при транспортировке.

Охрана при транспортировке:

Транспортные средства оборудованы подвеской подушек безопасности или гидравлической

системой амортизации для снижения воздействия вибрации дороги на тигель.

Упаковочная коробка для тигля закреплена на стандартном транспортировочном поддоне и усилена высокопрочными нейлоновыми или стальными ремнями для обеспечения устойчивости.

Избегайте резкого ускорения, резкого торможения или сильных ударов во время транспортировки. Рекомендуется пользоваться услугами профессиональной логистической компании, которая знакома с правилами перевозки хрупких грузов.

Меры по защите от влаги:

Герметичная упаковка:

Для внутренней упаковки используется вакуумный пакет или пленка с высокими барьерными свойствами (например, алюминиево-пластиковая композитная пленка) для предотвращения попадания влаги и сохранения поверхности тигля сухой.

Внутренняя часть наружной упаковочной коробки покрывается влагозащитным средством или накрывается влагозащитной пленкой для повышения водонепроницаемости.

Высушивающий:

Поместите силикагель или адсорбент для молекулярного сита во внутреннюю упаковку, чтобы впитать остаточную влагу и поддерживать относительную влажность на чрезвычайно низком уровне.

Влагопоглотитель следует регулярно проверять и заменять, особенно при длительном хранении или в помещениях с повышенной влажностью.

Транспортная среда:

Транспортные средства оснащены влагозащищенными приспособлениями (такими как герметичные грузовые отсеки или оборудование для осушения) во избежание дождя или среды с высокой влажностью.

Рекомендуется транспортировка с регулируемой температурой (температура 20-25°C, влажность <40%), особенно при межрегиональных или морских перевозках.

Инспекция и мониторинг:

После упаковки используйте карту с индикатором влажности (точность $\pm 5\%$), чтобы проверить влажность внутренней упаковки, чтобы убедиться, что влага туда не проникла.

Во время транспортировки устанавливается регистратор температуры и влажности, который следит за условиями окружающей среды в режиме реального времени и подает сигнал тревоги при возникновении отклонений от нормы.

Стандарты качества:

Антивибрационные меры должны пройти вибрационные и ударные испытания по стандарту ASTM D4169, чтобы гарантировать, что тигель не будет поврежден во время транспортировки.

Влагозащитные характеристики соответствуют стандарту ISO 2233 (испытание упаковки на

Copyright and Legal Liability Statement

влагостойкость), а упаковочная коробка остается сухой даже в условиях высокой влажности. Процесс перевозки должен соответствовать стандартам IATA (Международная ассоциация воздушного транспорта) или IMDG (Международные морские опасные грузы) для обеспечения безопасности.

Практическое применение:

В полупроводниковой промышленности ударопрочная упаковка молибденовых тиглей обеспечивает отсутствие микротрещин во время транспортировки и поддерживает высокие требования к точности.

При очистке драгоценных металлов влагонепроницаемая упаковка предотвращает окисление поверхности тигля и обеспечивает чистоту перед использованием.

8.3 Среда и условия хранения

Молибденовые тигли должны строго контролировать температуру, влажность, чистоту и химическую стабильность, чтобы предотвратить окисление, загрязнение или ухудшение производительности.

Температура и влажность:

Контроль температуры:

Среда хранения должна поддерживать постоянную температуру (20-25°C), чтобы избежать колебаний температуры, которые могут вызвать термическое напряжение или конденсацию. Используйте оборудование для кондиционирования воздуха или контроля температуры для контроля отклонения температуры в очень малом диапазоне.

Контроль влажности:

Относительная влажность поддерживается на уровне <40%, предпочтительно <20%, чтобы предотвратить поглощение влаги или окисление поверхности молибденового тигля.

Оснащен промышленным осушителем или сушильным шкафом, точность контроля влажности составляет $\pm 2\%$.

В помещениях с повышенной влажностью рекомендуется использовать герметичный ящик для хранения с влагопоглотителем внутри.

Монитор:

Установите регистратор температуры и влажности, чтобы записывать данные об окружающей среде в режиме реального времени и подавать сигнал тревоги при возникновении аномалий.

Регулярно проверяйте места хранения, чтобы убедиться в отсутствии утечек воды или конденсата.

Чистота:

Экологические требования:

В зоне хранения должен быть уровень чистоты ISO 7 или выше с экстремально низкой

Copyright and Legal Liability Statement

концентрацией частиц, чтобы предотвратить загрязнение поверхности тигля пылью.
Пол покрыт эпоксидной смолой, которая обладает соответствующей поверхностной стойкостью и снижает статическую адсорбцию частиц.

Меры защиты:

Тигель должен храниться в герметичной упаковочной коробке или пылезащитном шкафу и оборудован пылезащитной крышкой или защитной крышкой.

При входе в зону хранения необходимо надеть непыльную одежду, маски и перчатки и соблюдать требования к эксплуатации чистых помещений ISO 14644.

Чистка и обслуживание:

Регулярно очищайте места хранения с помощью пылесоса или влажной тряпки, чтобы удалить частицы с полов и полок.

Избегайте использования летучих химических веществ в местах хранения, чтобы предотвратить загрязнение газами.

Химическая стабильность:

Избегайте попадания агрессивных газов:

Среда хранения должна быть свободна от кислых газов (таких как HCl, SO₂) или окисляющих газов (таких как O₃), а содержание кислорода должно контролироваться на чрезвычайно низком уровне.

Используйте очиститель воздуха или фильтр с активированным углем для удаления потенциальных загрязняющих веществ.

Изоляция материала:

Тигель изолирован от металлических полок или инструментов. Рекомендуется использовать керамические или пластиковые лотки во избежание контактной коррозии.

Запрещается хранить тигли вместе с другими химически активными материалами (такими как кислоты и щелочи) во избежание перекрестного загрязнения.

Схема хранения:

Дизайн полки:

Используйте беспыльные полки из нержавеющей стали или пластика с плоской поверхностью и коррозионной стойкостью.

Полки имеют умеренную высоту (<2 м), удобны в погрузке и разгрузке, оснащены устройствами защиты от опрокидывания.

Спецификация штабелирования:

Упаковочные коробки должны быть уложены в один слой, чтобы избежать деформации из-за большого давления, а высота штабелирования не должна превышать несущую способность упаковочных коробок.

Между каждой коробкой должно быть достаточно места (>10 см) для облегчения вентиляции

Copyright and Legal Liability Statement

и осмотра.

Управление идентификацией:

Зона хранения разделена на секции по партиям и моделям, а также помечены технические характеристики тигля и дата хранения.

Используйте штрихкоды или RFID-метки для быстрой идентификации информации о тигле.

Стандарты качества:

Среда хранения должна соответствовать ISO 14644 (стандарт чистых помещений) и ASTM E2352 (спецификация для хранения материалов при высоких температурах).

Полупроводниковая промышленность требует чрезвычайно низких концентраций частиц в местах хранения и химических загрязнителей < 1 ppb.

Практическое применение:

При производстве монокристаллов кремния чистая среда хранения молибденового тигля предотвращает загрязнение поверхности и соответствует высоким требованиям к чистоте.

При плавке аэрокосмических жаропрочных сплавов постоянная температура и низкая влажность хранения продлевают срок службы тигля и снижают риск окисления.

8.4 Управление запасами и отслеживание качества

Эффективное управление запасами и отслеживание качества гарантируют, что статус хранения молибденовых тиглей можно контролировать, а качество отслеживать, удовлетворяя производственным потребностям и требованиям клиентов.

Управление запасами:

Хранение по категориям:

Тигли хранятся в разных местах в зависимости от их модели, размера, материала (например, чистый молибден, легированный молибден) и назначения (например, для выращивания кристаллов, плавки редкоземельных элементов).

Используйте электронную систему управления запасами для записи номера партии, времени хранения и места хранения каждого тигля.

Принцип «Первым пришел, первым ушел» (FIFO):

Следуйте принципу «первым пришел, первым ушел» и отдайте приоритет тиглям, которые хранились ранее, чтобы предотвратить снижение производительности из-за длительного хранения.

Выполняйте регулярные проверки запасов (каждые 3-6 месяцев) для обновления состояния запасов и удаления просроченных или поврежденных тиглей.

Контроль количества:

Устанавливайте разумные уровни запасов на основе производственных планов и прогнозов спроса, чтобы избежать задержек или дефицита.

Copyright and Legal Liability Statement

Оснащен автоматизированной системой инвентаризации для быстрого обновления данных инвентаризации с помощью сканирования штрихкодов или RFID.

Отслеживание качества:

Запись данных:

Каждый тигель поставляется с файлом качества, в котором записываются параметры производственного процесса (такие как температура спекания, коэффициент легирования), результаты испытаний (такие как чистота, плотность) и информация об упаковке.

Используйте платформы облачных вычислений для хранения качественных данных, поддерживая удаленный доступ и многосторонний обмен.

Регулярный осмотр:

Образцы хранятся в тиглях каждые 6-12 месяцев для проверки состояния поверхности (царапины, окисление), целостности упаковки и уровня влажности.

Используйте оптический микроскоп (увеличение в 50-200 раз) для обнаружения поверхностных дефектов, а XPS для анализа химического состава, чтобы подтвердить отсутствие загрязнения.

Прослеживаемость:

Каждому тиглю присваивается уникальный идентификационный код (QR-код или RFID), который связан со всеми технологическими данными о производстве, транспортировке и хранении.

Когда возникают проблемы с качеством, их можно отследить до конкретных партий и технологических связей, чтобы быстро найти причины.

Механизм обратной связи:

Собирайте отзывы клиентов и записывайте характеристики тиглей в реальных условиях эксплуатации (например, срок службы и коррозионная стойкость).

Анализируйте данные обратной связи, оптимизируйте условия хранения и дизайн упаковки, а также повышайте качество продукции.

Цифровое управление:

Система управления запасами:

Интегрируйтесь с ERP (Enterprise Resource Planning) или WMS (Warehouse Management System) для мониторинга состояния запасов в режиме реального времени и автоматического создания входящих, исходящих и складских отчетов.

Поддерживает мобильную работу, что позволяет менеджерам на месте быстро запрашивать и обновлять данные.

Интернет вещей (IoT):

Зона хранения оснащена датчиками температуры и влажности и RFID-считывателями для загрузки данных об окружающей среде в облако в режиме реального времени.

Copyright and Legal Liability Statement

При возникновении аномалий (например, чрезмерной влажности или колебаний температуры) система автоматически подает сигнал тревоги и предлагает руководству принять меры.

Анализ данных:

Используйте аналитику больших данных для прогнозирования срока службы тигельного хранилища и оптимизации оборачиваемости запасов.

Создание базы данных качества для анализа влияния долгосрочного хранения на производительность тигля и предоставления рекомендаций по его улучшению.

Стандарты качества:

Управление запасами должно соответствовать ISO 9001 (система менеджмента качества) и ISO 28000 (управление безопасностью цепочки поставок).

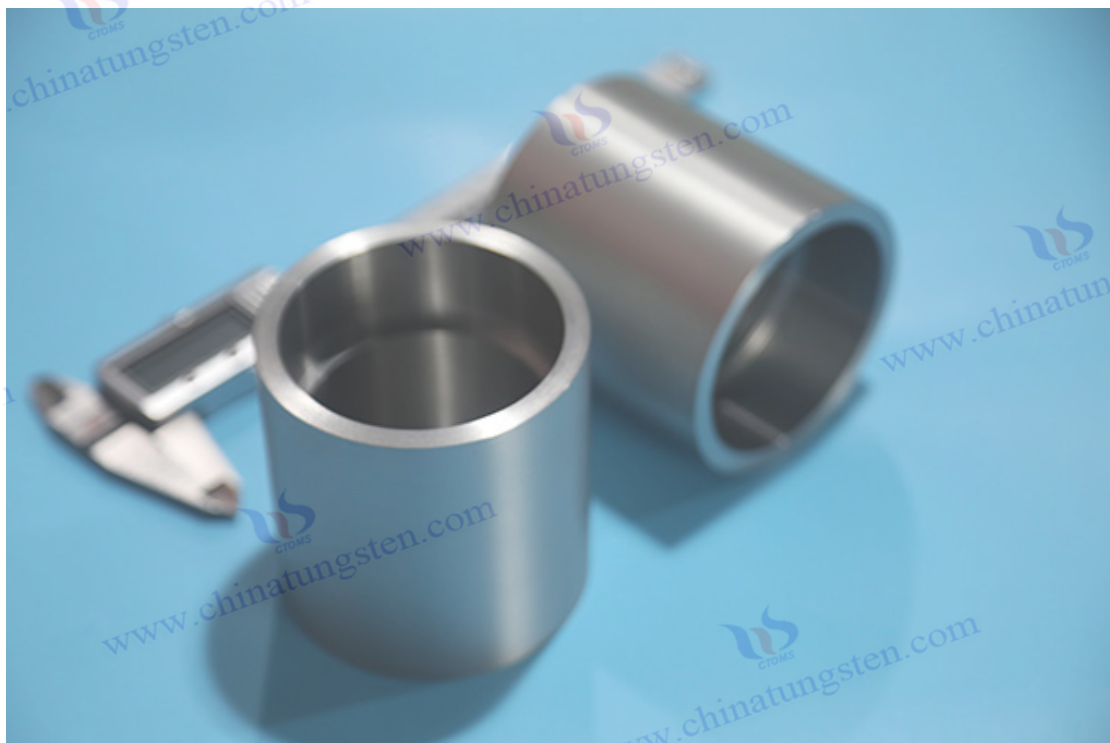
Отслеживание качества должно соответствовать ASTM B386 (стандарт молибденового материала) и SEMI E170 (стандарт чистой упаковки).

Прослеживаемость соответствует стандарту ISO 8000 (стандарт качества данных), что обеспечивает целостность и точность данных.

Практическое применение:

В отрасли выплавки редкоземельных металлов цифровое управление запасами обеспечивает быструю поставку молибденовых тиглей и сокращает перерывы в производстве.

В полупроводниковой промышленности система отслеживания качества гарантирует, что тигель не содержит загрязняющих веществ от хранения до использования, отвечая высоким требованиям к чистоте.



Copyright and Legal Liability Statement

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Crucible Introduction

1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model
Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.				

5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Copyright and Legal Liability Statement

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

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

Глава 9 Экологичность и переработка молибденовых тиглей

Молибденовые тигли незаменимы в высокотехнологичных отраслях, таких как выращивание кристаллов, выплавка редкоземельных элементов и производство полупроводников, но их производство и использование сопряжено с высоким потреблением энергии, потребления ресурсов и потенциальным воздействием на окружающую среду. В связи с глобальным акцентом на устойчивое развитие, производство, восстановление и переработка молибденовых тиглей оказались в центре внимания отрасли. В этой главе подробно обсуждается устойчивость и переработка молибденовых тиглей, включая энергосбережение и сокращение выбросов, технологию переработки отходов, экономические и экологические выгоды от переработки, тенденции и практики «зеленого» производства, а также дается всестороннее техническое и стратегическое руководство со ссылкой на мировые отраслевые стандарты, академические исследования и передовой опыт.

9.1 Энергосбережение и сокращение выбросов

Молибденовые тигли связаны с процессами с высоким энергопотреблением (такими как обжиг, спекание,ковка), что предъявляет более высокие требования к энергоэффективности и контролю выбросов. Энергосбережение и сокращение выбросов являются ключом к достижению устойчивого производства.

Мероприятия по энергосбережению:

Оптимизация процессов:

Используйте высокоэффективное оборудование для обжига (например, многокамерные печи или вращающиеся печи) для повышения эффективности использования энергии за счет точного контроля температуры и систем рекуперации тепла.

Для снижения тепловых потерь используйте высокотемпературную вакуумную печь для спекания, оснащенную тепловыми трубками или радиационной защитой.

Оптимизируйте процессыковки и прядения, сократите количество повторяющихся этапов нагрева и обработки, а также сократите производственные циклы.

Модернизация оборудования:

Внедрите частотно-регулируемые двигатели и интеллектуальные системы управления для динамической регулировки мощности оборудования и снижения энергопотребления в режиме ожидания.

Используйте индукционный нагрев вместо резистивного нагрева для повышения эффективности нагрева и снижения энергопотребления.

Оснащен системой управления энергопотреблением для мониторинга потребления энергии на производстве в режиме реального времени, выявления и устранения потерь энергии.

Возобновляемые источники энергии:

Интегрируйте солнечную, ветровую или геотермальную энергию в производственные объекты, чтобы снизить зависимость от ископаемого топлива.

Copyright and Legal Liability Statement

Отдавать приоритет поставщикам «зеленой» электроэнергии и следить за тем, чтобы источники энергии соответствовали низкоуглеродным стандартам.

Стратегии сокращения выбросов:

Очистка отходящих газов: образуются в процессе обжига, обрабатываются методом мокрой десульфурации и превращаются в побочный продукт сульфата кальция.

Летучие органические соединения (ЛОС) от спекания и термической обработки удаляются с помощью технологии адсорбции активированным углем или каталитического сжигания.

Оснащен высокоэффективными пылеуловителями (такими как рукавные фильтры или электростатические пылеуловители) для улавливания частиц пыли и предотвращения загрязнения воздуха.

Управление сточными водами:

Кислые сточные воды, образующиеся в результате химической очистки и обработки поверхности, обрабатываются путем нейтрализации, осаждения и фильтрации для извлечения полезных веществ, таких как молибдат аммония.

Используйте замкнутую систему водоснабжения для снижения потребления воды и сброса сточных вод.

Контроль углеродного следа:

молибденовые тигли от добычи сырья до производства анализируются с помощью оценки жизненного цикла (LCA) для определения ключевых точек сокращения выбросов.

Оптимизируйте цепочки поставок и выбирайте низкоуглеродные методы транспортировки (например, железнодорожный транспорт или электрические грузовики) для сокращения логистических выбросов.

Реализуйте программы углеродной нейтральности, такие как компенсация выбросов углерода или восстановление лесов, чтобы компенсировать выбросы углерода в производстве.

Мониторинг и отчетность:

Установите систему мониторинга энергопотребления для учета энергопотребления по каждому процессу и создания отчетов об энергосбережении.

Оснащен оборудованием для мониторинга выбросов для определения концентраций SO₂, NO_x и твердых частиц в режиме реального времени для обеспечения соответствия стандартам выбросов.

Регулярно сдавать экологические отчеты и соблюдать ISO 14001 (Система экологического менеджмента) и местные экологические нормы.

Стандарты качества:

Меры по энергосбережению должны соответствовать стандарту ISO 50001 (Система энергетического менеджмента) для обеспечения постоянного повышения энергоэффективности.

Сокращение выбросов должно соответствовать нормам EC REACH и китайскому GB 28662

Copyright and Legal Liability Statement

(стандарты выбросов для цветной металлургии).

Оценка углеродного следа относится к стандарту ISO 14067 (стандарт углеродного следа продукта).

Практическое применение:

В отрасли выращивания кристаллов сапфира системы рекуперации тепла в высокоэффективных печах для спекания значительно снижают энергопотребление и повышают устойчивость производства.

При выплавке редкоземельных металлов технология очистки отходящих газов снижает выбросы SO₂ и улучшает качество окружающей среды вокруг завода.

9.2 Технология переработки отходов

Отходы (такие как отходы, отходы тиглей и порошок), образующиеся при производстве и использовании молибденовых тиглей, являются ценными ресурсами. Передовые технологии переработки могут быть использованы для переработки ресурсов и снижения затрат и воздействия на окружающую среду.

Классификация отходов:

Отходы производства:

Он включает в себя молибденовый порошок, остатки спекания, обрезкиковки и стружку механической обработки, которые образуются в результате некачественной продукции или отходов в процессе производства.

Особенности: высокая чистота, низкое содержание примесей, подходит для прямого восстановления.

Отходы после потребления:

Включает в себя отбракованные тигли, хлопья поверхностного покрытия и остатки расплава, которые поступают из использованных тиглей.

Особенности: Может содержать загрязнители расплава (такие как глинозем, редкоземельные металлы) и требует предварительной обработки.

Категорийный менеджмент:

Храните отходы в соответствии с их источником, составом и степенью загрязнения, используя герметичные контейнеры и прозрачные этикетки.

Оборудованы специальными зонами переработки для предотвращения перекрестного загрязнения отходов производственной средой.

Технология переработки:

Физическая переработка:

Механическая сепарация: Используйте дробилки и вибрационные грохоты для отделения молибденовой матрицы и поверхностного покрытия (например, MoSi₂) в отработанном тигле и восстановления фрагментов молибдена высокой чистоты.

Copyright and Legal Liability Statement

Магнитная сепарация и флотация: удаление примесей, таких как железо и кремний, из отходов и повышение скорости извлечения молибдена.

Просеивание и измельчение: Измельчите восстановленные фрагменты молибдена в порошок с размером частиц, контролируемым на микронном уровне, который подходит для повторного спекания.

Химическая переработка:

Соединения молибдена в отходах образуют раствор молибдата аммония, который фильтруют для удаления нерастворимых примесей (таких как SiO_2).

Растворение аммиака: оксид молибдена (MoO_3) вступает в реакцию с аммиачной водой с образованием молибдата аммония высокой чистоты, который затем кристаллизуется и кальцинируется для получения молибденового порошка.

Молибден извлекается из отработанной жидкости методом электролиза, который подходит для восстановления раствора молибдена с низкой концентрацией.

Металлургическое восстановление:

Молибденовые материалы в вакуумной или водородной атмосфере для удаления летучих примесей и получения молибденовых слитков высокой чистоты.

Плазменный рафинирование: использование плазменной дуги для плавления лома дополнительно очищает молибден с получением чрезвычайно чистого металлического молибдена.

Региональная плавка: благодаря местной высокой температуре и многократной очистке, он подходит для производства полупроводниковых молибденовых материалов.

Оптимизация процесса переработки:

Предварительная обработка: Высокотемпературная очистка ($1000-1200^\circ\text{C}$, вакуум или водородная атмосфера) использованных отходов для удаления остатков расплава и покрытий.

Автоматизация: Внедрение автоматизированного сортировочного оборудования (например, рентгеновских сортировщиков) для повышения эффективности и чистоты сортировки отходов.

Замкнутая система: процесс переработки интегрирован с производственным процессом, а восстановленный молибденовый порошок непосредственно используется при производстве новых тиглей, что сокращает потери ресурсов.

Контроль качества:

Переработанный молибденовый порошок должен быть протестирован на чистоту ($>99,95\%$), размер частиц (микронный уровень) и содержание примесей (C, O, N $<0,01\%$).

С помощью ИСП-МС (масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой).

Переработанные материалы должны пройти испытания на эксплуатационные характеристики (такие как плотность и твердость), чтобы гарантировать их соответствие стандартам ASTM B386.

Copyright and Legal Liability Statement

Стандарты качества:

Технологии переработки должны соответствовать ISO 14040 (оценка жизненного цикла) и ISO 14044 (экологический менеджмент).

Утилизация отходов должна соответствовать Директиве ЕС WEEE (Отходы электрического и электронного оборудования) и Закону Китая о предотвращении и контроле загрязнения окружающей среды твердыми отходами.

Целевой показатель переработки достигает высокого уровня, чтобы сократить отходы ресурсов.

Практическое применение:

В полупроводниковой промышленности технология химической переработки отходов молибденовых тиглей позволяет получить порошок молибдена высокой чистоты для удовлетворения потребностей производства монокристаллов кремния.

При очистке драгоценных металлов технология металлургической переработки превращает отходы тиглей в молибденовые слитки, снижая производственные затраты.

9.3 Экономические и экологические выгоды от переработки

Переработка отходов молибденового тигля не только снижает потребление ресурсов и производственные затраты, но и приносит значительные экологические и социальные выгоды, способствует развитию экономики замкнутого цикла.

Экономические выгоды:

Экономия средств:

Переработка молибденовых отходов значительно ниже, чем извлечение нового молибдена из молибденита, что позволяет сэкономить затраты на закупку сырья.

Замкнутые системы переработки снижают затраты на обработку и утилизацию отходов и оптимизируют эффективность цепочки поставок.

Эффективность использования ресурсов:

Вторичная переработка снижает потребность в добыче молибденовой руды и продлевает срок службы ресурсов редких металлов.

Переработанный молибденовый порошок может быть непосредственно использован в производстве, сокращая производственный цикл и увеличивая производственные мощности.

Конкурентоспособность на рынке:

Предложение экологичных продуктов привлекает экологически сознательных клиентов и укрепляет имидж вашего бренда.

Соблюдение стандартов «зеленых» закупок и открытие рынков высокого класса (таких как полупроводниковая и аэрокосмическая промышленность).

Экологические преимущества:

Защита ресурсов:

Copyright and Legal Liability Statement

Сокращение добычи молибдена, сокращение разрушения земель, накопление хвостов и воздействие на окружающую среду.

Вторичная переработка снижает зависимость от редких металлов и защищает невозобновляемые ресурсы.

Снижение загрязнения:

Процесс переработки потребляет меньше энергии, чем производство первичного молибдена, и снижает выбросы CO₂, SO₂ и других загрязняющих веществ.

Правильная утилизация отходов позволяет избежать загрязнения почвы и воды и улучшает качество окружающей среды.

Энергосбережение:

Содержание переработанного молибдена значительно ниже, чем при первичном рафинировании молибдена, что снижает углеродный след производства.

Эффективные технологии восстановления, такие как плазменное рафинирование, еще больше снижают потребление энергии.

Социальные льготы:

Карьерные возможности:

Отрасль восстановления и переработки создает рабочие места и занимается сбором, сортировкой и переработкой отходов.

Содействие исследованиям и разработкам в области «зеленых» технологий и привлечение высококвалифицированных талантов.

Влияние на общество:

Уменьшить влияние майнинга на местные сообщества и улучшить качество жизни жителей.

«Зеленое» производство повышает имидж корпоративной социальной ответственности (КСО) и получает поддержку сообщества.

Модель экономики замкнутого цикла:

Замкнутая цепочка поставок:

Создайте замкнутую систему от производства до переработки и повторного использования, чтобы максимизировать ценность ресурсов.

Сотрудничайте с поставщиками и клиентами для создания сети переработки отходов для обеспечения стабильных поставок.

Поддержка политики:

Используйте государственные субсидии и налоговые льготы, чтобы стимулировать компании инвестировать в технологии переработки и «зеленое» производство.

Участвуйте в пилотных проектах экономики замкнутого цикла и обменивайтесь лучшими практиками.

Copyright and Legal Liability Statement

Цифровое управление:

Используйте технологию блокчейн для отслеживания жизненного цикла молибденовых тиглей, чтобы обеспечить прозрачность и отслеживаемость процесса переработки.

Реализуйте анализ данных для оптимизации эффективности переработки и распределения ресурсов.

Стандарты качества:

Переработка должна соответствовать стандартам ISO 14021 (экологическая маркировка и декларации) и ISO 14064 (учет выбросов парниковых газов).

Оценка экономических выгод относится к руководящим принципам ЮНЕП (Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде) по экономике замкнутого цикла.

Экологические выгоды должны быть количественно оценены с помощью LCA (оценка жизненного цикла) в соответствии со стандартами ISO 14040.

Практическое применение:

В редкоземельной промышленности переработка отходов молибденовых тиглей снижает производственные затраты при одновременном сокращении выбросов из хвостов.

При производстве жаропрочных сплавов в аэрокосмической отрасли переработка молибденовых тиглей поддерживает экологически чистую цепочку поставок и соответствует целям отрасли в области устойчивого развития.

9.4 Тенденции и практика «зеленого» производства

«Зеленое» производство — это будущее направление для индустрии молибденовых тиглей для достижения устойчивого развития, охватывающее технологические инновации, интеллектуальное производство и экологический дизайн, а также способствующее трансформации отрасли в сторону низкоуглеродной и экологически чистой.

Технологические инновации:

Низкое энергопотребление процесса:

Разработка технологии плазменного распыления для получения молибденового порошка высокой чистоты и снижения энергозатрат на восстановление и измельчение.

Используйте лазерную обработку вместо традиционной резки, чтобы снизить потребление энергии и образование отходов.

Чистое производство:

Используйте технологии обработки поверхности без растворителей (например, плазменное напыление) для сокращения использования химикатов и сброса отходов.

Разработка чистящих средств на водной основе, которые заменят кислотные чистящие растворы и снизят экологические риски.

Экологически чистые материалы:

Исследование и разработка композитных материалов на основе молибдена (таких как сплав

Copyright and Legal Liability Statement

Mo-Re) для повышения долговечности тиглей и продления срока их службы.

Используйте перерабатываемые упаковочные материалы, такие как биоразлагаемый пластик, чтобы сократить количество упаковочных отходов.

Интеллектуальное производство:

Индустрия 4.0:

Внедрение Интернета вещей (IoT) и датчиков для мониторинга энергопотребления, выбросов и образования отходов во время производства в режиме реального времени.

Используйте искусственный интеллект (ИДЕАЛИЗИРОВАННЫЙ ИИ) для оптимизации параметров процесса и сокращения потерь ресурсов.

Цифровой двойник:

Создайте виртуальную модель производственного процесса молибденового тигля, смоделируйте эффекты энергосбережения и сокращения выбросов, а также управляйте улучшением процесса.

Прогнозируйте потребности в техническом обслуживании оборудования, чтобы сократить время простоя и потери энергии.

автоматизация:

Развертывайте роботов и автоматизированные сборочные линии, чтобы повысить эффективность производства и сократить отходы при ручных операциях.

Используйте интеллектуальное сортировочное оборудование для оптимизации процесса переработки отходов и повышения уровня переработки.

Эко-дизайн:

Дизайн продукта:

Модульная конструкция молибденового тигля легко разбирается и перерабатывается, что сокращает количество отходов.

Оптимизируйте геометрию тигля, чтобы сократить расход материала при сохранении производительности.

Управление жизненным циклом:

Воздействие тиглей на окружающую среду от производства до переработки оценивается с помощью LCA, при этом предпочтение отдается низкоуглеродным процессам.

Спроектируйте тигли, пригодные для вторичной переработки, для поддержки многократной переработки и восстановления.

Экологическая сертификация:

Подайте заявку на сертификацию по стандарту ISO 14001, чтобы доказать, что производственный процесс соответствует стандартам экологического менеджмента.

Получите EPD (экологическую декларацию продукта), чтобы продемонстрировать клиентам экологические характеристики тигля.

Copyright and Legal Liability Statement

Отраслевая практика:

Совместная работа и обмен информацией:

Сотрудничество с предприятиями по добыче и переработке для создания сети переработки молибденовых отходов и обмена перерабатывающими предприятиями и данными.

Участие в отраслевых альянсах, таких как Международная ассоциация молибдена, для продвижения передовых практик «зеленого» производства.

Факторы политики:

В ответ на глобальные цели по достижению углеродной нейтральности (например, план ЕС по достижению углеродной нейтральности до 2050 года) разработайте корпоративную дорожную карту по сокращению выбросов углерода.

Воспользуйтесь государственными субсидиями на «зеленое» производство и инвестируйте в энергосберегающее оборудование и технологии переработки.

Просвещение потребителей:

Принятие экологически чистых молибденовых тиглей путем продвижения преимуществ экологически чистых продуктов.

Предоставьте инструкции по утилизации, чтобы побудить клиентов возвращать использованные тигли поставщику.

Стандарты качества:

«Зеленое» производство должно соответствовать стандартам ISO 14001 (система экологического менеджмента) и ISO 50001 (система энергетического менеджмента).

Технологические инновации относятся к стандарту IEC 62474 (стандарт декларации материалов) для обеспечения экологичности материалов.

Экодизайн должен соответствовать стандарту ISO 14006 (Руководство по экодизайну).

Практическое применение:

В полупроводниковой промышленности интеллектуальное производство и экологичный дизайн снижают углеродный след при производстве молибденовых тиглей и соответствуют требованиям «зеленой» цепочки поставок.

При выращивании сапфирового стекла процессы с низким энергопотреблением и технологии переработки отходов снижают производственные затраты и улучшают экологические преимущества.



CTIA GROUP LTD Молибденовый тигель

Глава 10 Молибденовый тигель: технические проблемы и будущее развитие

Молибденовые тигли играют незаменимую роль в высокотехнологичных областях, таких как выращивание кристаллов сапфира, выплавка редкоземельных элементов, производство полупроводников, аэрокосмическая промышленность и т. Д., Благодаря своей высокой температуре плавления (2623°C), отличной термостойкости и коррозионной стойкости. Тем не менее, в связи со сложностью сценариев применения и повышением требований к производительности, производство и использование молибденовых тиглей сталкивается с множеством технических проблем, включая антиокислительные характеристики, изготовление сложной формы и контроль затрат. В то же время стремительное развитие новых материалов, новых технологий, интеллектуальное производство и экологичное производство открыли широкие перспективы для будущего молибденовых тиглей. В этой главе подробно обсуждаются технические проблемы и будущие направления развития молибденовых тиглей, включая технические проблемы, новые материалы и технологии, интеллектуальное и экологичное производство, а также будущие тенденции. Он ссылается на глобальные академические исследования, отраслевые стандарты и передовые практики для обеспечения всестороннего технического анализа и стратегического прогноза.

10.1 Технические проблемы

Молибденовые тигли должны справляться с проблемами, связанными с высокой температурой, коррозией и сложными технологическими условиями. Следующий анализ проводится с трех аспектов: антиокислительные характеристики, производство сложной

Copyright and Legal Liability Statement

формы и контроль затрат.

10.1.1 Антиоксидантные свойства

Молибден легко реагирует с кислородом при высоких температурах ($>600^{\circ}\text{C}$) с образованием летучего оксида молибдена (MoO_3), что приводит к деградации поверхности тигля, потере толщины стенок и ухудшению производительности. Эта проблема особенно заметна в условиях невакуумной или неинертной атмосферы.

Описание задачи:

Механизм окисления: Молибден образует MoO_3 в высокотемпературной окислительной среде, которая улетучивается и оставляет поры, что приводит к шероховатости поверхности и снижению прочности. При росте кристаллов сапфира следовые количества кислорода могут привести к отслаиванию поверхности тигля и загрязнению расплава.

Сложность контроля атмосферы: Даже в вакууме ($<10^{-3}$ Па) или инертной атмосфере высокой чистоты (аргон, содержание кислорода <10 ppm) все еще трудно полностью избежать инфильтрации следов кислорода, особенно в больших печах или при длительной эксплуатации.

Ограничения покрытия: Современные антиокислительные покрытия (такие как MoSi_2 и ZrO_2) могут отслаиваться или трескаться при экстремально высоких температурах ($>1800^{\circ}\text{C}$), снижая защитный эффект. Прочность сцепления и соответствие коэффициента теплового расширения между покрытием и подложкой должны быть дополнительно оптимизированы.

Сценарии применения: При плавке редкоземельных элементов или очистке драгоценных металлов тигель может подвергаться воздействию сложных атмосфер (например, содержащих следовые количества окисляющих газов), и требуются более высокие антиокислительные характеристики.

Технические сложности:

Разработайте устойчивое к окислению покрытие, способное выдерживать сверхвысокие температуры ($>2000^{\circ}\text{C}$), сохраняя при этом хорошее сцепление между покрытием и молибденовой подложкой.

Повышение собственной стойкости к окислению молибденовых материалов и снижение чувствительности к окислению за счет легирования или легирования.

Разрабатывайте эффективные системы контроля атмосферы для точного контроля содержания кислорода и расхода газа для адаптации к динамичным производственным условиям.

Баланс между антиоксидантными свойствами и стоимостью, чтобы решения подходили для крупномасштабного производства.

Стратегии преодоления:

Copyright and Legal Liability Statement

Модификация поверхности: Используйте плазменное напыление или химическое осаждение из газовой фазы (CVD) для получения многослойных композитных покрытий (таких как $\text{MoSi}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) для повышения стойкости к окислению и термической стабильности.

Технология легирования: легирование оксидами редкоземельных элементов (такими как La_2O_3 и CeO_2) может очищать зерна молибдена, повышать стабильность границ зерен и замедлять скорость окисления.

Оптимизация атмосферы: Разработайте интеллектуальную систему контроля атмосферы, которая объединяет масс-спектрометр и датчик кислорода для регулировки состава газа в режиме реального времени, чтобы поддерживать чрезвычайно низкое содержание кислорода.

Проверка испытаний: Создание высокотемпературной испытательной платформы для моделирования реальных условий использования ($1700\text{--}2050^\circ\text{C}$, кислородсодержащая атмосфера) и оценки срока службы покрытий и материалов на защиту от окисления.

Практическое применение:

При выращивании кристаллов сапфира молибденовый тигель с композитным покрытием может эффективно противостоять эрозии следов кислорода и продлить срок его службы.

При выплавке жаропрочных сплавов тигли, легированные молибденом уменьшают потери на окисление и снижают риск загрязнения расплава.

10.1.2 Изготовление сложных форм

Современная промышленность предъявляет все более высокие требования к геометрической форме и точности размеров молибденовых тиглей, таких как тонкие стенки, большие диаметры и конструкции специальной формы. Производство тиглей сложной формы сталкивается с многочисленными техническими препятствиями.

Описание задачи:

Свойства материала: Высокая твердость молибдена и низкая пластичность (высокая хрупкость при комнатной температуре) затрудняют его обработку, особенно при изготовлении тонкостенных (<5 мм) или сложной формы (например, конических, трапециевидных) тиглей, которые подвержены образованию трещин или деформации.

Технология формования: Традиционные процессы прядения,ковки и сварки с трудом соответствуют требованиям высокой точности и сложной геометрии, а также трудно обеспечить однородность толщины стенки и чистоты поверхности.

Точность размеров: Большие тигли (диаметр > 500 мм) требуют допусков на микронный уровень, которые трудно надежно достичь с помощью существующего технологического оборудования и конструкций пресс-форм.

Copyright and Legal Liability Statement

Требования к применению: Полупроводниковая промышленность требует ультратонкостенных тиглей (<3 мм) для оптимизации однородности теплового поля, а аэрокосмическая промышленность требует тиглей специальной формы для адаптации к конкретным процессам плавления.

Технические сложности:

Улучшают обрабатываемость молибденовых материалов и снижают склонность к растрескиванию при высокотемпературной обработке.

Разработка технологии высокоточного формования для удовлетворения производственных потребностей сложных форм и тонкостенных конструкций.

Оптимизируйте конструкцию пресс-форм и пути обработки, чтобы обеспечить равномерную толщину стенок и качество поверхности.

Обеспечьте баланс между точностью и эффективностью производства для удовлетворения потребностей массового производства.

Стратегии преодоления:

Аддитивное производство: Изучите технологии 3D-печати, такие как лазерное плавление порошкового слоя (LPBF) или электронно-лучевое плавление (EBM), для непосредственного формирования сложных форм тиглей и сокращения последующей обработки.

Горячее изостатическое прессование (HIP): технология HIP используется для улучшения плотности и однородности тигля, уменьшения дефектов формования и подходит для тонкостенных конструкций.

Прецизионное прядение: Разработайте прядильное оборудование с ЧПУ, оснащенное системой мониторинга в режиме реального времени для контроля отклонения толщины стенок и шероховатости поверхности.

Оптимизация пресс-формы: проектирование многоступенчатых прогрессивных форм и сочетание анализа методом конечных элементов (FEA) для моделирования процесса формования и оптимизации распределения напряжений и потока материала.

Практическое применение:

В методе Чохральского монокристалла кремния напечатанные на 3D-принтере молибденовые тигли обеспечивают сложную конструкцию теплового поля и улучшают качество кристаллов.

При плавке аэрокосмических жаропрочных сплавов прецизионная технология прядения используется для изготовления тиглей специальной формы в соответствии с индивидуальными потребностями.

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Crucible Introduction

1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model
Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.				

5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Copyright and Legal Liability Statement

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

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

10.1.3 Контроль затрат

Молибденовые тигли сохраняют высокие производственные затраты, ограничивая их широкое применение в некоторых областях. Особенно на высококонкурентном рынке контроль затрат становится ключевой проблемой.

Описание задачи:

Стоимость сырья: Молибден высокой чистоты (>99,95%) стоит дорого, а легирующие элементы (такие как CeO_2 , La_2O_3) и антиокислительные покрытия еще больше увеличивают стоимость.

Производственные затраты: Процессы с высоким энергопотреблением (такие как вакуумное спекание, плазменное напыление) и сложная обработка (например, прецизионное прядение) приводят к высоким производственным затратам.

Стоимость переработки: Переработка отработанных тиглей включает в себя химическую обработку и металлургическую очистку, что является сложным процессом с высоким энергопотреблением.

Рыночная конкуренция: Недорогие альтернативные материалы (такие как графит, керамика) имеют ценовые преимущества в определенных областях применения, сокращая долю рынка молибденовых тиглей.

Технические сложности:

Снижение затрат на закупку молибдена и легирующих материалов высокой чистоты при сохранении эксплуатационных характеристик.

Оптимизируйте производственные процессы, сократите энергопотребление и отходы, а также улучшите использование ресурсов.

Разработка эффективных технологий переработки для снижения затрат на утилизацию отходов и повышения коэффициента переработки.

Молибденовые тигли подходят для рынков среднего и низкого ценового сегмента.

Стратегии преодоления:

Оптимизация сырья: Изучите недорогие источники молибдена (такие как переработанные молибденовые отходы) или альтернативные легирующие элементы (такие как ZrO_2 вместо оксидов редкоземельных элементов) для снижения затрат на сырье.

Совершенствование процесса: Используйте эффективную технологию спекания (например, микроволновое спекание) для сокращения времени нагрева и снижения энергопотребления. Оптимизируйте пути обработки и сократите образование отходов.

Крупномасштабное производство: Создавайте автоматизированные производственные линии для повышения эффективности производства и распределения затрат на единицу продукции.

Copyright and Legal Liability Statement

Переработка и интеграция: Создание замкнутой системы переработки для прямого преобразования отходов в молибденовый порошок высокой чистоты, снижая затраты на переработку.

Практическое применение:

При выплавке редкоземельных элементов автоматизированные производственные линии и переработка отходов снижают себестоимость молибденовых тиглей и повышают конкурентоспособность на рынке.

При очистке драгоценных металлов оптимизация процессов снижает энергопотребление и удовлетворяет потребности малых и средних предприятий в затратах.

10.2 Новые материалы и технологии

Внедрение новых материалов и технологий позволило повысить производительность и расширить применение молибденовых тиглей. Следующие вопросы будут обсуждаться с трех аспектов: композитные материалы на основе молибдена, наноструктуры и альтернативные материалы.

10.2.1 Композиционные материалы на основе молибдена

Композитные материалы на основе молибдена улучшают механические свойства, коррозионную стойкость и стойкость к окислению тиглей за счет добавления упрочняющих фаз или функциональных фаз.

Дизайн материалов:

Молибден - редкоземельные композитные материалы: легированные La_2O_3 , CeO_2 или Y_2O_3 , рафинированные зерна (<50 мкм), улучшенная высокотемпературная прочность и сопротивление ползучести, пригодные для роста кристаллов сапфира (2050 °C).

Молибден - керамические композиты: добавление частиц SiC , Al_2O_3 или ZrO_2 повышает твердость и износостойкость и продлевает срок службы тигля в коррозионных расплавах (таких как редкоземельные металлы).

Композиты из молибдена и металлов: легированы вольфрамом (Mo-W) или рением (Mo-Re) для повышения ударной вязкости и устойчивости к тепловому удару, подходят для высокотемпературной плавки в аэрокосмической отрасли.

Технология изготовления:

Порошковая металлургия: Композитные тигли подготавливаются путем высокотемпературного спекания и горячего прессования для обеспечения равномерного распределения фаз.

Плазменное напыление: Приготовление композитных покрытий (таких как $\text{MoSi}_2/\text{ZrO}_2$) для повышения стойкости поверхности к окислению и коррозионной стойкости.

Механическое легирование: используйте высокоэнергетическое шаровое фрезерование для

Copyright and Legal Liability Statement

легирования упрочняющих фаз и оптимизации микроструктуры материала.

Эксплуатационные преимущества:

Прочность при высоких температурах улучшена, а сопротивление ползучести лучше, чем у чистого молибдена.

Повышается стойкость к окислению и продлевается срок службы покрытия.

Повышенная коррозионная стойкость, подходит для различных расплавленных сред.

Практическое применение:

В полупроводниковой промышленности композитные тигли Mo-Re улучшают стабильность термического цикла и удовлетворяют потребности производства монокристаллов кремния.

При выплавке редкоземельных элементов композитные тигли из материала Mo-SiC могут противостоять эрозии расплавленного неодима и продлевать срок их службы.

10.2.2 Наноструктуры

Наноструктурированные молибденовые материалы значительно улучшают механические свойства и стабильность тиглей при высоких температурах за счет контроля размера зерна и характеристик границы.

Нанокристаллический молибден:

Способ приготовления: Наноразмерный порошок молибдена (размер частиц <100 нм) получают методом плазменного распыления или химического осаждения из газовой фазы (CVD) и спекают в тиглях методом горячего прессования.

Улучшенные эксплуатационные характеристики: Нанокристаллическая структура (зерна <100 нм) увеличивает плотность границ зерен, повышает прочность и ударную вязкость, а также снижает ползучесть при высоких температурах.

Задача: Нанокристаллические материалы могут испытывать рост зерен при сверхвысоких температурах (>2000°C), и границы зерен необходимо стабилизировать с помощью легирования.

Нанопокрытие:

Технология: Наноразмерные антиокислительные покрытия (такие как Al_2O_3 , Si_3N_4 , толщиной 10-100 нм) получают с помощью атомно-слоевого осаждения (ALD) или магнетронного напыления.

Преимущества: Нанопокрытие плотное и однородное, коэффициент теплового расширения соответствует коэффициенту молибденовой подложки, а также значительно повышает стойкость к окислению и коррозии.

Применение: Для продления срока службы тиглей в кислородсодержащей атмосфере и

Copyright and Legal Liability Statement

снижения загрязнения расплавом.

Нанокompозиты:

Дизайн: Введение наночастиц (таких как ZrO_2 , SiC) в качестве второй фазы для улучшения механических свойств и термической стабильности Mo-матрицы.

Изготовление: Получен путем механического легирования и горячего изостатического прессования (HIP) для достижения равномерного диспергирования наночастиц.

Производительность: Повышение устойчивости к росту трещин и продление усталостной прочности тигля.

Практическое применение:

При выращивании кристаллов сапфира нанокристаллические молибденовые тигли уменьшают термические трещины под напряжением и улучшают качество кристаллов.

В аэрокосмической отрасли тигли с нанопокрывом устойчивы к высокотемпературному окислению и отвечают требованиям экстремальных условий.

10.2.3 Альтернативные материалы

Несмотря на то, что молибденовые тигли обладают отличными эксплуатационными характеристиками, в некоторых областях применения альтернативные материалы могут предложить лучшие экономические характеристики или конкретные эксплуатационные преимущества.

Вольфрам (W):

Особенности: Более высокая температура плавления ($3422^{\circ}C$), лучшая коррозионная стойкость по сравнению с молибденом, подходит для среды со сверхвысокими температурами ($>2200^{\circ}C$).

Ограничения: Высокая плотность ($19,25 \text{ г/см}^3$), трудно поддается обработке, дороже молибдена.

Применение: Аэрокосмическая плавка высокотемпературных сплавов, частично заменяющая молибденовый тигель.

Керамические материалы:

Типы : глинозем (Al_2O_3), оксид циркония (ZrO_2), нитрид бора (BN).

Особенности: Высокая химическая стабильность, сильная коррозионная стойкость, низкая стоимость, но ограниченная высокая термостойкость ($<2000^{\circ}C$).

Применение: Плавка редкоземельных металлов низкого и среднего уровня или очистка драгоценных металлов, замена некоторых молибденовых тиглей.

графит:

Особенности: низкая стоимость, легкая обработка, высокая теплопроводность, но легко

Copyright and Legal Liability Statement

окидается и требует использования в вакууме или инертной атмосфере.

Применение: Недорогая выплавка кремния, частичная замена молибденового тигля.

Улучшение: Графит покрыт слоем SiC или BN для повышения стойкости к окислению и коррозионной стойкости.

Композитные материалы:

Конструкция: Вольфрам-керамический композит или графит-молибденовый композит, сочетающий в себе преимущества обоих.

Преимущества: Баланс между высокими температурными характеристиками и стоимостью для конкретных областей применения.

Применение: Производство жаропрочных сплавов и выращивание кристаллов.

Практическое применение:

При очистке драгоценных металлов циркониевые тигли служат недорогой альтернативой для удовлетворения потребностей малого и среднего бизнеса.

В аэрокосмической отрасли вольфрамовые тигли используются для сверхвысокотемпературного плавления, чтобы компенсировать температурное ограничение молибденовых тиглей.

10.3 Интеллектуальное и экологичное производство

Интеллектуальное и экологичное производство является ключевым направлением для индустрии молибденовых тиглей, чтобы справиться с технологическими вызовами и устойчивым развитием. Следующие вопросы будут обсуждаться с трех аспектов: интеллектуальный мониторинг, энергосбережение и охрана окружающей среды, а также переработка отходов.

10.3.1 Интеллектуальный мониторинг

Производство и использование молибденового тигля с помощью датчиков, Интернета вещей (IoT) и искусственного интеллекта (AI).

Производственный контроль:

Сеть датчиков: Развертывайте датчики температуры, давления и вибрации в агломерационных печах, прядильные машины и оборудование для нанесения покрытий для сбора технологических параметров в режиме реального времени.

Анализ данных: используйте алгоритмы искусственного интеллекта для анализа данных датчиков, прогнозирования отказов оборудования и оптимизации параметров процесса (таких как температура спекания и скорость вращения).

Цифровой двойник: создание виртуальной модели производственного процесса в тигле для моделирования тепловых полей, распределения напряжений и потока материала для совершенствования процесса.

Copyright and Legal Liability Statement

Мониторинг использования:

Мониторинг высокой температуры: установите инфракрасные термометры и термопары в печь для выращивания кристаллов или плавильной печи, чтобы контролировать распределение температуры тигля в режиме реального времени и контролировать отклонение в очень малом диапазоне.

Контроль атмосферы: Используйте масс-спектрометр и датчик кислорода для контроля состава газа в печи и автоматической регулировки потока аргона или водорода, чтобы поддерживать чрезвычайно низкое содержание кислорода.

Прогнозирование срока службы: анализируйте данные теплового цикла тигля с помощью машинного обучения, чтобы прогнозировать появление трещин и затухание срока службы, а также оптимизировать циклы технического обслуживания.

Прослеживаемость качества:

Технология блокчейн: записывает данные обо всем жизненном цикле тигля от производства до использования для обеспечения прослеживаемости качества.

QR-код / RFID: Каждый тигель оснащен уникальной идентификацией, которая связана с записями о производстве, испытаниях и использовании для облегчения анализа неисправностей.

Практическое применение:

В полупроводниковой промышленности интеллектуальные системы мониторинга обеспечивают равномерные тепловые поля в молибденовых тиглях во время производства монокристаллов кремния, уменьшая количество дефектов.

При выплавке редкоземельных элементов технология цифровых двойников оптимизирует конструкцию тигля и продлевает срок службы.

10.3.2 Энергосбережение и охрана окружающей среды

Производство молибденового тигля с использованием энергосберегающих технологий и природоохранных мероприятий.

Энергосберегающие технологии:

Эффективный нагрев: используйте микроволновое спекание или индукционный нагрев вместо традиционного резистивного нагрева для улучшения использования энергии.

Рекуперация тепла: Тепловые трубы или теплообменники устанавливаются в печи спекания для рекуперации отработанного тепла для предварительного нагрева или нагрева установки.

Интеллектуальное управление: развертывание двигателей с регулируемой частотой и систем управления энергопотреблением для динамической регулировки мощности оборудования и снижения энергопотребления в режиме ожидания.

Мероприятия по охране окружающей среды:

Copyright and Legal Liability Statement

SO₂, полученный в результате обжига, превращается в побочные продукты путем мокрой десульфурации, а летучие органические соединения (ЛОС) удаляются с помощью каталитического сжигания.

Перерабатывается после нейтрализации и фильтрации, снижая потребление водных ресурсов. Низкоуглеродная энергетика: интегрируйте солнечную или ветровую энергию, чтобы уменьшить углеродный след производства и отдать приоритет поставщикам экологически чистой электроэнергии.

Управление жизненным циклом:

Анализ LCA: Оцените воздействие тиглей на окружающую среду от добычи сырья до переработки и оптимизируйте процессы с низким содержанием углерода.

Зеленая сертификация: Подайте заявку на сертификацию ISO 14001 (Система экологического менеджмента) и ISO 50001 (Система энергетического менеджмента), чтобы продемонстрировать приверженность охране окружающей среды.

Углеродная нейтральность: Достижение углеродной нейтральности в производстве за счет компенсации выбросов углерода или облесения в ответ на глобальную цель по достижению углеродной нейтральности к 2050 году.

Практическое применение:

При выращивании кристаллов сапфира система рекуперации тепла снижает энергопотребление печи для спекания и повышает устойчивость производства.

При производстве аэрокосмических жаропрочных сплавов технология очистки выхлопных газов снижает выбросы SO₂ и улучшает качество окружающей среды.

10.3.3 Переработка отходов

Эффективная технология переработки отходов является основой «зеленого» производства, способствуя переработке ресурсов и экономии средств.

Процесс переработки:

Классификация: Отходы производства (обрезки, порошок) и отходы после использования (отходы тиглей, остатки покрытий) хранятся отдельно во избежание перекрестного загрязнения.

Физическое восстановление: Используйте дробление, просеивание и магнитную сепарацию для отделения молибденовой матрицы и примесей, а также для восстановления фрагментов молибдена высокой чистоты.

Химическая рекуперация: Молибдат аммония извлекается из отходов путем кислотного выщелачивания и растворения аммиака и кальцинируется для получения молибденового порошка высокой чистоты.

Металлургическое восстановление: используйте вакуумную плавку или плазменное рафинирование для очистки отходов молибдена и производства молибденовых слитков высокой чистоты.

Copyright and Legal Liability Statement

Технологические инновации:

Автоматизированная сортировка: Представляем рентгеновские сортировщики и роботов для повышения эффективности и чистоты сортировки отходов.

Система замкнутого цикла: переработанный молибденовый порошок напрямую используется в новом тигельном производстве, что сокращает потери ресурсов.

Переработка с низким энергопотреблением: Разработка технологии электрохимической переработки для снижения энергопотребления и загрязнения при переработке отходов жидкостей.

Контроль качества:

Переработанный молибденовый порошок должен быть протестирован на чистоту и содержание примесей, что должно соответствовать стандартам ASTM B386.

Использование ICP-MS гарантирует, что переработанный материал подходит для высокотехнологичных применений.

эквивалентность переработанного материала первичному молибдену.

Практическое применение:

В полупроводниковой промышленности отходы тиглей перерабатываются для получения порошка молибдена высокой чистоты для удовлетворения потребностей производства монокристаллов кремния.

При выплавке редкоземельных элементов замкнутые системы переработки снижают затраты на утилизацию отходов и повышают эффективность использования ресурсов.

10.4 Будущие тенденции

Молибденовые тигли будут основаны на высокопроизводительной конструкции, универсальном применении и способности адаптироваться к экстремальным условиям, стимулируя технологические инновации в отрасли и расширяя рынок.

10.4.1 Высокопроизводительная конструкция

Высокопроизводительные молибденовые тигли удовлетворяют более высокие требования к применению благодаря инновационным материалам, оптимизации структуры и интеллектуальному проектированию.

Улучшение материалов:

Разработка молибдена сверхвысокой чистоты (>99,999%) и новых композитных материалов (таких как Mo-W-Re) для повышения прочности при высоких температурах и коррозионной стойкости.

Внедрение самовосстанавливающихся покрытий (таких как нанокompозитные покрытия, содержащие ZrO_2) для автоматического ремонта микротрещин при высоких температурах и продления срока службы.

Copyright and Legal Liability Statement

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Crucible Introduction

1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model
Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.				

5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Copyright and Legal Liability Statement

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

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

Структурная оптимизация:

Проектирование тонкостенных (<2 мм) и большого диаметра (>600 мм) тиглей для оптимизации однородности теплового поля и снижения расхода материала.

Разрабатывайте модульные тигли, которые можно легко разобрать и переработать, поддерживая экономику замкнутого цикла.

Разумный замысел:

Встраивайте датчики (например, датчики температуры и напряжения) в стенку тигля, чтобы отслеживать рабочее состояние в режиме реального времени и прогнозировать риски отказа. Используйте технологию цифровых двойников для оптимизации геометрии тигля и балансировки теплопроводности и механических свойств.

Практическое применение:

В производстве полупроводников нового поколения молибденовые тигли сверхвысокой чистоты поддерживают более совершенные процессы производства пластин.

При производстве жаропрочных сплавов тигли с самовосстанавливающимся покрытием продлевают срок службы и снижают затраты на техническое обслуживание.

10.4.2 Междоменные приложения

Молибденовые тигли будут расширяться от традиционных полей до развивающихся отраслей промышленности для удовлетворения разнообразных потребностей.

Новая энергия:

При производстве перовскитных солнечных элементов молибденовые тигли используются в процессах высокотемпературного испарения или плавления для поддержки эффективного производства элементов.

В термоядерных реакторах молибденовые тигли используются для плавления высокотемпературных плазменных материалов.

Биофармацевтические препараты:

При производстве высококачественных медицинских устройств молибденовые тигли используются для очистки биосовместимых металлов, таких как титановые сплавы.

В фармацевтическом синтезе молибденовые тигли поддерживают высокотемпературные химические реакции и обеспечивают высокую чистоту.

3D-печать:

В 3D-печати металлом молибденовые тигли используются для плавления порошков сплавов с высокой температурой плавления для удовлетворения потребностей аэрокосмической и автомобильной промышленности.

Разработка специальных молибденовых тиглей для поддержки непрерывной печати и крупносерийного производства.

Copyright and Legal Liability Statement

Практическое применение:

В исследованиях в области ядерного синтеза молибденовые тигли поддерживают высокотемпературные испытания материалов и способствуют развитию чистой энергии.

В индустрии 3D-печати молибденовые тигли улучшают качество порошков сплавов и отвечают потребностям прецизионного производства.

10.4.3 Экстремальные условия

Молибденовые тигли адаптируются к более экстремальным условиям работы, таким как сверхвысокая температура, сильная коррозия и сложная атмосфера.

Сверхвысокая температура:

Композитные тигли на основе молибдена с термостойкостью $>2500^{\circ}\text{C}$ для удовлетворения потребностей в плавлении сверхжаропрочных сплавов в аэрокосмической отрасли.

Используйте многослойные нанопокрывтия (такие как Si_3N_4 / ZrO_2) для повышения стойкости к окислению и термической стабильности.

Сильная коррозия:

Спроектируйте тигли, устойчивые к коррозии редкоземельными металлами и расплавленными солями для использования в аккумуляторах новых источников энергии и химической промышленности.

Внедрение молибденово-керамических композиционных материалов повышает химическую стабильность и продлевает срок службы.

Атмосфера комплекса:

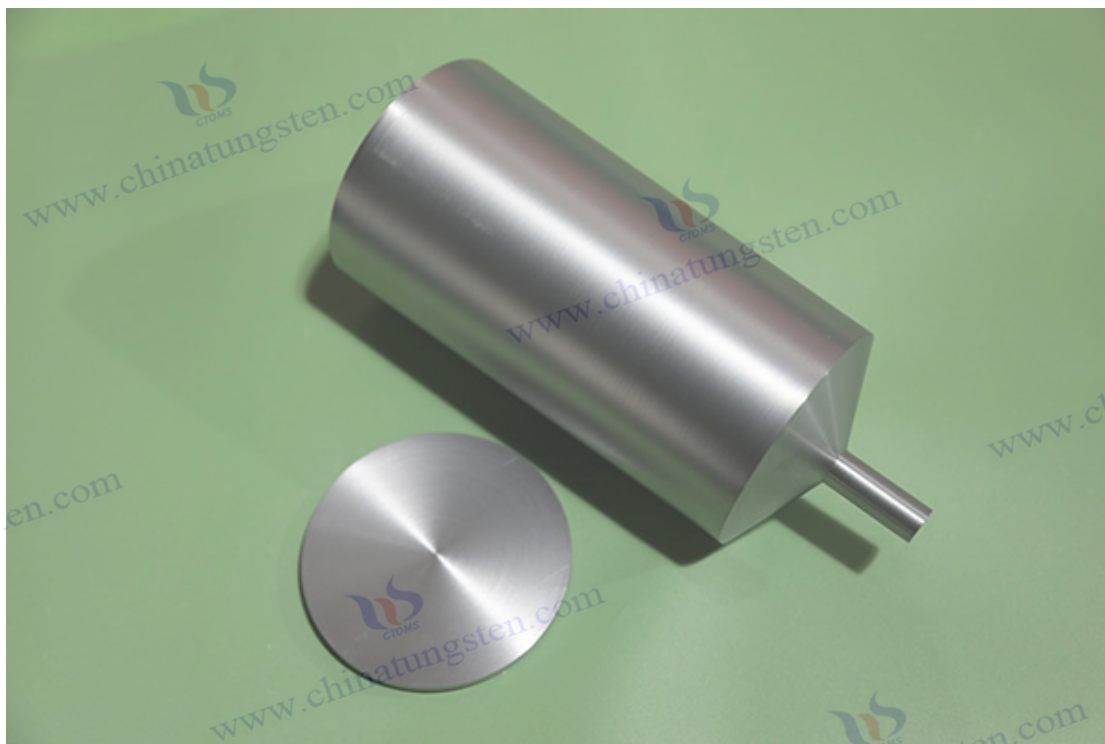
Разработка тиглей, подходящих для кислородсодержащей, серосодержащей или галогенсодержащей атмосферы для удовлетворения особых потребностей в плавке.

Используйте интеллектуальную систему контроля атмосферы для динамической регулировки состава газа и защиты поверхности тигля.

Практическое применение:

В аэрокосмической отрасли молибденовые тигли, устойчивые к сверхвысоким температурам, используются для исследований и разработок новых материалов для двигателей.

В химической промышленности коррозионностойкие тигли повышают эффективность реакций расплавленных солей и снижают производственные риски.



CTIA GROUP LTD Молибденовый тигель

Глава 11 Стандарты и спецификации молибденового тигля

Молибденовые тигли основаны на строгих стандартах и спецификациях, чтобы обеспечить однородность материала, точность производства и безопасность использования. В данной главе подробно обсуждаются национальные стандарты (GB), международные стандарты (ISO), американские стандарты (ANSI) и другие международные и отраслевые стандарты, относящиеся к молибденовым тиглям, а также анализируются требования к внедрению и сертификации стандартов, охватывающие производство, испытания, сертификацию качества и соблюдение экспортных требований, со ссылкой на мировые авторитетные стандарты и отраслевую практику, а также предоставляются всесторонние технические рекомендации.

11.1 Национальные стандарты (GB)

Национальный стандарт Китая (GB/T) содержит подробные спецификации на материалы, испытания и оборудование для молибденовых тиглей и широко используется в отечественном производстве и приложениях.

11.1.1 GB/T Молибденовый материал стандарт

Стандарт GB/T определяет химический состав, механические свойства, технологические свойства и требования к применению молибдена и молибденовых сплавов, а также является основой для производства молибденовых тиглей.

Основные критерии:

Copyright and Legal Liability Statement

GB/T 3462-2017 Молибденовые прутки и прутки:

Содержание: Определяет химический состав (например, $Mo \geq 99,95\%$), допуск на размеры, качество поверхности и механические свойства молибденовых стержней и стержней.

Пригодность: Сырье, используемое для изготовления тиглей, обеспечивает высокую чистоту и консистенцию.

Требования: Поверхность молибденового стержня должна быть без трещин, оксидной накипи или включений, допуск должен контролироваться на микронном уровне, и он должен быть пригоден для прядения иликовки.

GB/T 3876-2017 Пластины, полосы и фольга из молибдена и молибденовых сплавов:

Содержание: Стандартизируйте толщину, ширину, шероховатость поверхности и механические свойства (такие как прочность на разрыв и удлинение) молибденовых пластин.

Применение: Используется для сварки или вращения тиглей, особенно подходит для тонкостенных тиглей.

Требования: Шероховатость поверхности пластины $Ra < 1,6$ мкм, отклонение по толщине крайне мало, что соответствует требованиям высокой точности.

GB/T 4182-2017 Порошок молибдена:

Содержание: Определяет размер частиц, чистоту, насыпную плотность и свойства текучести молибденового порошка.

Применение: Используется для подготовки заготовок тиглей методом порошковой металлургии для обеспечения высокой плотности спеченных тиглей.

Требования: чистота молибденового порошка $> 99,95\%$, крайне низкое содержание кислорода, равномерный размер частиц.

Ключевые требования:

Химический состав: Молибденовые тигли должны быть высокой чистоты, а содержание примесей (таких как Fe, Ni, C, O) должно строго контролироваться, чтобы предотвратить ухудшение производительности при высоких температурах.

Механические свойства: Прочность на растяжение при высоких температурах и пластичность должны соответствовать требованиям среды роста кристаллов или плавки.

Качество поверхности: Внутренняя и внешняя поверхности тигля должны быть гладкими и без дефектов (таких как царапины и поры), чтобы избежать загрязнения расплава.

Практическое применение:

При выращивании кристаллов сапфира GB/T 3462 обеспечивает высокую чистоту молибденовых стержней и соответствует высоким температурным требованиям 2050°C .

При выплавке редкоземельных элементов молибденовые пластины в соответствии с GB/T 3876 используются для сварки тиглей, чтобы обеспечить качество сварного шва.

11.1.2 Тестирование и оценка

Стандарт GB/T содержит подробные методы тестирования производительности и оценки

Copyright and Legal Liability Statement

качества молибденовых тиглей, чтобы убедиться, что продукция соответствует требованиям к конструкции и применению.

Метод испытаний:

Анализ химического состава: масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) или рентгенофлуоресцентная спектроскопия (XRF) используется для определения чистоты молибдена и содержания примесей с чрезвычайно высокой точностью.

Испытание механических свойств:

Испытание на растяжение (GB/T 228.1): измеряет прочность на растяжение, предел текучести и удлинение при комнатной температуре и высокой температуре (1000-1500°C).

Испытание на твердость (GB/T 231.1): Используйте твердомер по Виккерсу для оценки твердости материала тигля, отражающей эффект измельчения зерна.

Анализ микроструктуры: Используйте сканирующую электронную микроскопию (СЭМ) и дифракцию обратного рассеяния электронов (EBSD) для изучения размера зерен и дефектов (например, пор, включений).

Контроль качества поверхности: Используйте оптический микроскоп или прибор для лазерного рассеяния для проверки шероховатости поверхности (Ra) и дефектов (таких как царапины и трещины).

Критерии оценки:

Точность размеров: допуски на диаметр тигля, высоту и толщину стенки должны соответствовать проектным требованиям, а отклонение должно контролироваться на микронном уровне.

Стабильность производительности: Механические свойства и химический состав партий тиглей должны быть очень стабильными, с минимальными различиями в партиях.

Высокая температурная стабильность: сопротивление ползучести и коррозионная стойкость тигля проверяются при температуре 1700-2050 °C, чтобы обеспечить долгосрочное использование без сбоев.

Контроль качества:

Внедрите статистическое управление технологическим процессом (SPC) для мониторинга ключевых параметров производственного процесса (таких как температура спекания и давление прядения).

К каждой партии тиглей должен прилагаться протокол испытаний, в котором фиксируются химический состав, механические свойства и данные о качестве поверхности.

Дефектные продукты должны быть изолированы и проанализированы, чтобы предотвратить их попадание на рынок.

Практическое применение:

При производстве монокристаллов полупроводникового кремния метод испытаний GB/T

Copyright and Legal Liability Statement

гарантирует, что поверхность тигля не имеет дефектов и соответствует высоким требованиям к чистоте.

При плавлении аэрокосмических жаропрочных сплавов высокотемпературные испытания на растяжение проверяют сопротивление тиглей ползучести.

11.1.3 Технические характеристики оборудования

Стандарт GB/T устанавливает четкие требования к оборудованию для производства и тестирования молибденовых тиглей для обеспечения надежности и стабильности производственного процесса.

Производственное оборудование:

Печь для спекания: Вакуумная печь для спекания должна иметь высокую температуру ($>2000^{\circ}\text{C}$) и низкое давление ($<10^{-3}$ Па) и быть оснащена точной системой контроля температуры ($\pm 5^{\circ}\text{C}$).

Прядильный станок: Прядильный станок с ЧПУ должен поддерживать прецизионную обработку на микронном уровне и быть оснащен системой мониторинга в режиме реального времени для контроля однородности толщины стенки.

Сварочное оборудование: оборудование для сварки TIG или электронно-лучевой сварки требуется для обеспечения отсутствия пор в сварном шве и высокой прочности сцепления.

Испытательное оборудование:

Контроль размеров: С помощью лазерного дальномера или координатно-измерительной машины (КИМ) диаметр, высота и толщина стенки тигля измеряются с чрезвычайно высокой точностью.

Осмотр поверхности: Оснащен оптическим микроскопом высокого разрешения и прибором для лазерного рассеяния для обнаружения шероховатости поверхности и микротрещин.

Неразрушающий контроль: Используйте ультразвуковой прибор или вихретоковый дефектоскоп для проверки внутренних дефектов тигля (таких как включения, поры).

Обслуживание оборудования:

Оборудование регулярно калибруется в соответствии с требованиями GB/T 10067 (Спецификации электрооборудования) с чрезвычайно малыми отклонениями точности.

Оснащен системами контроля окружающей среды (например, чистые помещения, класс ISO 7) для предотвращения загрязнения во время работы оборудования.

Записывайте журналы работы оборудования, анализируйте причины неисправностей и оптимизируйте циклы технического обслуживания.

Практическое применение:

При производстве плавильных тиглей редкоземельных элементов прядильные станки с ЧПУ обеспечивают равномерную толщину стенок и соответствуют стандартам GB/T.

В оборудовании для выращивания кристаллов ультразвуковой контроль подтверждает, что тигель не имеет внутренних дефектов, что повышает надежность.

Copyright and Legal Liability Statement

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Crucible Introduction

1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model
Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.				

5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Copyright and Legal Liability Statement

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

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

11.2 Международные стандарты (ISO)

Стандарты ISO обеспечивают глобальные единые спецификации для эксплуатационных испытаний, экологического менеджмента и контроля качества молибденовых тиглей и широко используются в международной торговле и высокотехнологичных приложениях.

11.2.1 Испытание на растяжение ISO 6892

Серия стандартов ISO 6892 определяет методы испытаний металлических материалов на разрыв и применима к оценке механических свойств молибденовых тиглей.

Стандартное содержание:

ISO 6892-1: Испытание на растяжение при комнатной температуре, определяет методы подготовки образцов, скорость испытания и регистрацию данных.

ISO 6892-2: Испытание на растяжение при высоких температурах (1000-1500°C), подходит для эксплуатационных испытаний молибденового тигля в высокотемпературной среде.

ISO 6892-3: Испытание на растяжение при низких температурах для оценки ударной вязкости молибдена в определенных условиях.

Требования к испытаниям:

Подготовка образца: Материал молибденового тигля обрабатывается в стандартный образец (например, цилиндр или пластину) без поверхностных дефектов.

Условия испытания: Высокотемпературные испытания должны проводиться в вакууме или инертной атмосфере для предотвращения окисления с точностью регулирования температуры $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

Измеряемые параметры: прочность на разрыв, предел текучести, удлинение и уменьшение площади с высокой повторяемостью данных.

Применимость:

Используется для проверки механической стабильности молибденовых тиглей при высокотемпературном плавлении (например, при температуре 2050°C).

Убедитесь, что механические свойства тиглей, легированных молибденом (например, Mo-La₂O₃) лучше, чем у чистого молибдена.

Практическое применение:

При выращивании кристаллов сапфира тест ISO 6892-2 гарантирует, что тигель не деформируется при высоких температурах.

При плавке аэрокосмических жаропрочных сплавов испытания на растяжение проверяют сопротивление ползучести тиглей.

11.2.2 ISO 14001 Экологический менеджмент

ISO 14001 обеспечивает основу системы экологического менеджмента для производства молибденовых тиглей, направленную на снижение воздействия на окружающую среду и содействие устойчивому развитию.

Copyright and Legal Liability Statement

Стандартное содержание:

Определение экологической политики, целей и планов, а также выявление воздействия на окружающую среду в производстве (например, потребление энергии, отработанные газы, сточные воды).

Требуется установление показателей экологической эффективности и регулярный пересмотр и совершенствование системы менеджмента.

Акцент на соблюдении местных и международных экологических норм.

Требования к реализации:

Управление энергопотреблением: оптимизация процессов спекания иковки, снижение энергопотребления и использование возобновляемых источников энергии (например, солнечной энергии).

Переработка отходов: переработка отходов молибдена, обработка отходящих газов обжига (таких как SO_2) и жидких химических отходов для обеспечения нулевого сброса загрязняющих веществ.

Мониторинг окружающей среды: установите оборудование для мониторинга выхлопных газов и сточных вод для записи данных о выбросах в режиме реального времени и соблюдения стандартов выбросов.

Обучение персонала: повышение осведомленности персонала об окружающей среде и обеспечение соответствия производственной деятельности требованиям ISO 14001.

Применимость:

Повысьте «зеленый» имидж производителей молибденовых тиглей и обеспечьте соответствие требованиям по защите окружающей среды для клиентов высокого класса (например, полупроводниковой промышленности).

Поддержка экспортного рынка и соответствие нормам EC REACH и RoHS.

Практическое применение:

При плавке редкоземельных элементов ISO 14001 регулирует обработку отходящих газов для снижения выбросов SO_2 .

В полупроводниковой промышленности системы экологического менеджмента гарантируют, что производственный процесс не загрязняется окружающей средой и соответствует требованиям чистых помещений.

11.2.3 ISO 3452 Неразрушающий контроль

Стандарт ISO 3452 определяет метод капиллярного контроля (PT) для обнаружения микротрещин и дефектов на поверхности молибденовых тиглей.

Стандартное содержание:

Укажите выбор пенетрантов, проявителей и чистящих средств, а также процедуры испытаний и условия окружающей среды.

Включая уровни чувствительности (1-4), подходит для тиглей с различными требованиями к

Copyright and Legal Liability Statement

точности.

Требуется, чтобы инспекторы прошли профессиональную подготовку и соответствовали стандарту ISO 9712 (сертификация персонала по неразрушающему контролю).

Процесс тестирования:

Подготовка поверхности: поверхность тигля очищается от масла, накали и шероховатости $R_a < 0,8$ мкм.

Применение капилляра: Нанесите высокочувствительный пенетрант со временем проникновения 5-30 минут, чтобы покрыть микротрещины.

Визуализация и наблюдение: Используйте проявитель, чтобы показать дефекты, и объедините с ультрафиолетовым или белым светом для проверки местоположения и морфологии трещины.

Оценка результата: Тигель квалифицируется на основе размера и распределения дефектов. Если длина трещины крайне мала, ее необходимо отремонтировать.

Применимость:

Используется для определения качества сварного шва сварочных тиглей и предотвращения распространения трещин при высоких температурах.

Убедитесь, что на поверхности вращающегося тигля нет микротрещин, чтобы соответствовать требованиям чистоты полупроводниковой промышленности.

Практическое применение:

При производстве монокристаллов кремния испытания по стандарту ISO 3452 гарантируют, что поверхность тигля не имеет дефектов, предотвращающих загрязнение расплава кремния. В аэрокосмической отрасли капиллярные испытания проверяют целостность сварных швов на больших тиглях.

11.3 Американский стандарт (Американский стандарт)

Американские стандарты (ASTM, ASME) обеспечивают высокоточные спецификации на материалы, испытания и оборудование для молибденовых тиглей и широко используются на международном рынке.

11.3.1 ASTM B386 Молибденовый сплав

ASTM B386 — это международный авторитетный стандарт для молибдена и молибденовых сплавов, охватывающий требования к материалам для производства тиглей.

Стандартное содержание:

Задаёт химический состав, механические свойства и технологические свойства молибдена и молибденовых сплавов (Mo, Mo-La₂O₃, Mo-W).

Включает в себя технические характеристики пластин, стержней, фольги и поковок, пригодных для прядения, сварки иковки тиглей.

Чистота молибдена должна составлять >99,95%, а содержание примесей (таких как Fe, Ni и

Copyright and Legal Liability Statement

С) крайне низкое.

Ключевые требования:

Химический состав: Материалы молибдена должны быть проверены на чистоту с помощью спектрального анализа для обеспечения стабильности при высоких температурах.

Механические свойства: Заданный предел прочности на разрыв, предел текучести и удлинение для удовлетворения требований высоких температур (1700-2050°C).

Качество поверхности: поверхность материала не имеет трещин, включений и оксидных слоев, подходит для высокоточной обработки.

Допуски по размерам: допуски по толщине и диаметру пластин и стержней контролируются в микронном уровне.

Применимость:

Используется для изготовления высокопроизводительных молибденовых тиглей, отвечающих строгим требованиям производства кристаллов сапфира и полупроводниковой промышленности.

Руководство по выбору материала и оптимизации производительности тиглей, легированных молибденом (таких как Mo-CeO₂).

Практическое применение:

При выращивании кристаллов сапфира ASTM B386 обеспечивает высокую чистоту и механические свойства молибденовых пластин.

При выплавке редкоземельных элементов молибденовые стержни стандартной спецификации используются дляковки тиглей для обеспечения коррозионной стойкости.

11.3.2 Испытание на твердость по стандарту ASTM E384

В стандарте ASTM E384 определены методы определения твердости по Виккерсу и Кнупу для оценки твердости и микроструктуры молибденовых материалов тиглей.

Стандартное содержание:

Указывает нагрузку (0,1-10 кг), тип индентора (алмазная пирамида) и метод измерения для определения твердости.

Включает в себя условия испытаний при комнатной и высокой температуре (1000 °C), подходящие для оценки производительности молибденовых тиглей.

Испытательная поверхность должна быть плоской, с шероховатостью Ra<0,5 μм и чрезвычайно высокой повторяемостью измерений.

Процесс тестирования:

Подготовка образца: Материал молибденового тигля полируется до зеркальной поверхности и очищается для удаления масла и частиц.

Измерение твердости: Используйте твердомер по Виккерсу для приложения постоянной нагрузки, измерения диагональной длины вмятины и расчета значения твердости.

Copyright and Legal Liability Statement

Анализ результатов: Сравните значения твердости в разных областях для оценки эффекта измельчения зерна и однородности материала.

Применимость:

Используется для проверки влияния легирования или термической обработки на твердость молибденового тигля и отражения износостойкости.

Руководство оптимизацией производственного процесса тигля, таким как температура спекания и деформацияковки.

Практическое применение:

В полупроводниковой промышленности испытания по стандарту ASTM E384 обеспечивают высокую твердость молибденовых тиглей для удовлетворения требований к длительному использованию.

При плавке сплава при высокой температуре испытание на твердость проверяет антидеформационные характеристики тигля.

11.3.3 Высокотемпературные сосуды ASME

Стандарты ASME содержат спецификации для проектирования, производства и тестирования высокотемпературных сосудов (таких как тигли) и подходят для использования в молибденовых тиглях под давлением или в высокотемпературных средах.

Стандартное содержание:

ASME BPVC Раздел VIII: Проектирование и изготовление сосудов под давлением, определение выбора материалов, анализ напряжений и коэффициентов безопасности.

ASME B31.3: Спецификация технологических трубопроводов, применимая к печным системам, в которых расположены тигли.

ASME PTC 19.3: Высокотемпературные эксплуатационные испытания для оценки стабильности тиглей в экстремальных условиях.

Ключевые требования:

Выбор материала: Молибденовый тигель должен соответствовать стандарту ASTM B386, высокой термостойкости и коррозионной стойкости.

Верификация конструкции: Анализ методом конечных элементов (FEA) был использован для моделирования распределения напряжений в тигле при высокой температуре (>2000°C) и термоциклировании.

Испытание на безопасность: Испытание давлением и испытание на тепловой удар проводятся для того, чтобы убедиться в отсутствии трещин или деформаций в тигле.

Применимость:

Молибденовые тигли для использования в аэрокосмической и атомной промышленности обеспечивают безопасность и надежность.

Предоставление рекомендаций по проектированию больших тиглей (диаметр > 500 мм) в

Copyright and Legal Liability Statement

соответствии со сложными требованиями к тепловому полю.

Практическое применение:

При плавке высокотемпературных сплавов в аэрокосмической отрасли стандарты ASME обеспечивают безопасную работу тиглей.

При исследованиях в области ядерного синтеза стандартные конструкции тиглей поддерживают высокотемпературные испытания материалов.

11.4 Другие международные и отраслевые стандарты

В дополнение к национальному стандарту, ISO и американскому стандарту, другие международные и отраслевые стандарты содержат дополнительные спецификации для молибденовых тиглей, которые подходят для конкретных рынков и применений.

11.4.1 JIS G 0571

Японский промышленный стандарт (JIS G 0571) определяет методы испытаний на коррозионную стойкость нержавеющей стали и жаропрочных сплавов, которые частично применимы к оценке коррозионной стойкости молибденовых тиглей.

Стандартное содержание:

Определяет методы иммерсионных испытаний и электрохимических испытаний для оценки характеристик материалов в коррозионных средах.

К ним относятся кислотные растворы (такие как HNO_3), расплавленные металлы (например, неодим) и высокотемпературные атмосферные испытания.

Применимость:

Используется для проверки коррозионной стойкости молибденовых тиглей при плавке редкоземельных элементов, особенно в средах расплавленных редкоземельных металлов.

проверка эксплуатационных характеристик антикоррозионных покрытий, таких как MoSi_2 .

Требования к реализации:

Тестовая среда должна имитировать реальные условия использования (например, 1700°C , расплавленный неодим).

Измеряйте потерю толщины стенки, глубину поверхностной эрозии и потерю массы для оценки срока службы тигля.

Практическое применение:

При производстве магнитов NdFeB испытание JIS G 0571 обеспечивает коррозионную стойкость молибденовых тиглей.

При очистке драгоценных металлов стандарт проверяет стабильность тигля в кислой среде.

11.4.2 DIN EN 10228

Немецкий стандарт DIN EN 10228 регламентирует неразрушающий контроль металлических

Copyright and Legal Liability Statement

изделий и применим к внутреннему и поверхностному контролю качества молибденовых тиглей.

Стандартное содержание:

В том числе ультразвуковой контроль (УЗ), магнитопорошковый контроль (МТ) и вихретоковый контроль (ЭТ).

Укажите критерии приемлемости для дефектов, такие как длина трещины и размер пор.

Требования к испытаниям:

Ультразвуковой контроль: Используйте высокочастотный зонд (5-10 МГц) для проверки на наличие включений и пор внутри тигля с чрезвычайно высокой чувствительностью.

Вихретоковый контроль: обнаруживает поверхностные и подповерхностные трещины, подходит для сварки тиглей.

Магнитопорошковый контроль: для обнаружения поверхностных микротрещин его необходимо проводить в условиях намагничивания.

Применимость:

Для контроля качества больших молибденовых тиглей (диаметр > 300 мм) для обеспечения отсутствия внутренних дефектов.

Отвечает высоким требованиям к надежности аэрокосмической и атомной промышленности.

Практическое применение:

При плавке аэрокосмических жаропрочных сплавов стандарт DIN EN 10228 гарантирует, что тигли не имеют внутренних дефектов.

В полупроводниковой промышленности вихретоковый контроль проверяет качество поверхности тигля и предотвращает загрязнение расплавом.

11.4.3 ГОСТ 17431

Российский стандарт ГОСТ 17431 определяет свойства и методы испытаний жаропрочных сплавов и подходит для применения молибденовых тиглей в высокотемпературных средах.

Стандартное содержание:

Определяет химический состав, механические свойства и высокую термостойкость жаропрочных сплавов.

Включает методы испытаний на растяжение, ползучесть и усталостные испытания при повышенной температуре.

Требования к испытаниям:

Растяжение при высоких температурах: испытание прочности на растяжение и удлинение при 1400-1800°C.

Испытание на ползучесть (Creep Test): Измеряет скорость деформации тигля при высокой температуре (1700°C) и постоянном напряжении.

Copyright and Legal Liability Statement

Усталостные испытания: моделирование условий термоциклирования для оценки усталостной долговечности тиглей.

Применимость:

молибденовые тигли для российского рынка, отвечающие потребностям аэрокосмической и энергетической промышленности.

Руководство по оптимизации производительности тиглей, легированных молибденом.

Практическое применение:

При исследованиях в области термоядерного синтеза испытание по ГОСТ 17431 обеспечивает сопротивление ползучести молибденовых тиглей.

При плавке жаропрочных сплавов стандарт проверяет усталостную долговечность тигля.

11.5 Внедрение и сертификация стандартов

Внедрение и сертификация стандартов являются ключом к обеспечению качества и конкурентоспособности на рынке молибденовых тиглей, включая производство, испытания, сертификацию качества и соблюдение экспортных требований.

11.5.1 Производство и испытания

Внедрение стандартов требует интеграции спецификаций в производственные процессы и процессы тестирования для обеспечения стабильности и надежности продукта.

Производственная реализация:

Управление процессом: Выбирайте материалы из молибдена высокой чистоты в соответствии с GB/T 3462 и ASTM B386 и строго контролируйте температуру спекания ($>2000^{\circ}\text{C}$) и давление прядения.

Калибровка оборудования: Производственное оборудование (например, печи для спекания, прядильные машины) необходимо регулярно калибровать в соответствии с GB/T 10067 или ISO 10012 (система управления измерениями).

Контроль окружающей среды: Производство осуществляется в чистом помещении (ISO 7) для предотвращения загрязнения частицами и в соответствии со стандартом SEMI E170.

Тестовая реализация:

Эксплуатационные испытания: Испытания на растяжение и твердость проводятся в соответствии со стандартами ISO 6892 и ASTM E384 для проверки механических свойств тигля.

Неразрушающий контроль: Капиллярный и ультразвуковой контроль в соответствии со стандартами ISO 3452 и DIN EN 10228 гарантирует, что поверхностные и внутренние дефекты отсутствуют.

Записи данных: Каждая партия тиглей поставляется с отчетом об испытаниях, в котором записывается химический состав, точность размеров и данные о производительности для обеспечения прослеживаемости качества.

Copyright and Legal Liability Statement

Управление качеством:

Внедрение системы менеджмента качества ISO 9001 для обеспечения стандартизации производственных и испытательных процессов.

Используйте систему статистического управления процессами (SPC) для мониторинга ключевых параметров и снижения уровня несоответствия.

Практическое применение:

В полупроводниковой промышленности стандартизированное производство и испытания обеспечивают высокую чистоту и консистенцию молибденовых тиглей.

В аэрокосмической отрасли неразрушающий контроль обеспечивает надежность тиглей и соответствует строгим требованиям.

11.5.2 Сертификация качества

Сертификация качества является ключевым этапом для подтверждения соответствия молибденовых тиглей стандартам и повышения доверия рынка.

Тип сертификации:

ISO 9001: Сертификация управления качеством, подтверждающая производственные и сервисные возможности компании.

ISO 14001: Сертификация экологического менеджмента, демонстрирующая приверженность экологически чистому производству.

AS 9100 : Сертификация по управлению качеством в аэрокосмической отрасли для молибденовых тиглей, используемых в аэрокосмической промышленности.

Nadcap: Специализированная сертификация процессов, охватывающая неразрушающий контроль и термообработку.

Процесс сертификации:

Подготовка документов: Подготовка руководств по качеству, документов по процедурам и стандартных операционных процедур (СОП) в соответствии с требованиями сертификации.

Внутренний аудит: Проведение внутренних аудитов для выявления и исправления несоответствий.

Независимый аудит: Сертификационные органы (такие как SGS и TÜV) проводят аудиты на месте для проверки соответствия стандартам.

Постоянное совершенствование: Регулярно пересматривайте и обновляйте систему управления качеством для обеспечения постоянного соответствия.

Практическое применение:

Сертификация ISO 9001 повышает уверенность клиентов в качестве тиглей.

В аэрокосмической отрасли сертификация AS9100 гарантирует, что тигли соответствуют строгим отраслевым стандартам.

Copyright and Legal Liability Statement

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Crucible Introduction

1. Overview of Molybdenum Crucible

Molybdenum crucibles are made of high-purity molybdenum powder through isostatic pressing, high-temperature sintering and precision machining. They have excellent high-temperature strength, corrosion resistance and dimensional stability, making them widely used in sapphire crystal growth, rare earth smelting, glass industry, vacuum coating and high-temperature heat treatment.

2. Advantages of Molybdenum Crucible

Advantages	Description
High temperature resistance	Maintains strength and structural stability up to 1800°C
High purity	Pure materials to avoid impurities contaminating the material or the reaction process
Thermal shock resistance	Low thermal expansion coefficient, not prone to cracking or deformation during heating/cooling
Corrosion resistance	Resistant to corrosion by acids, alkalis, molten metals and glass
Non-magnetic	Diamagnetic material, suitable for magnetron sputtering and high magnetic field equipment
Flexible processing	Supports precision machining of different shapes (cylindrical, square, covered structure, etc.) and sizes

3. Application Fields of Molybdenum Crucible

Application Industry	Usage
Sapphire Industry	As a raw material container in crystal growth furnace
Rare earth and precious metal smelting	Melting active metals such as neodymium, tantalum, platinum, etc. at high temperatures
Vacuum heat treatment	Used in vacuum sintering, annealing and other heat treatment reactors
Coating industry	As evaporation container for target or precursor
Scientific research experiments	Chemical high temperature reaction, high purity material preparation

4. Specifications of Molybdenum Crucible from CTIA GROUP LTD (Customizable)

Outer Diameter (mm)	Height (mm)	Wall Thickness (mm)	Volume (mL)	Remark
50	50	3.0	~100	Commonly used for experimental melting
100	100	5.0	~785	Common Sizes of Sapphire Crystals
150	200	8.0	~3534	Industrial furnace large capacity model
Note: Special forms such as threads and caps can be customized according to customer needs.				

5. Purchasing Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Copyright and Legal Liability Statement

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

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

11.5.3 Соблюдение экспортных норм

Экспорт молибденовых тиглей должен соответствовать стандартам и правилам целевого рынка, чтобы обеспечить беспрепятственный выход продукции на международный рынок.

Требования к соответствию:

Рынок ЕС: Соблюдайте директивы REACH (Регистрация, оценка и авторизация химических веществ) и RoHS (Ограничение использования опасных веществ), чтобы гарантировать, что материалы не содержат опасных веществ.

Рынок США: Соответствие стандартам ASTM B386 и ASME, предоставление сертификатов качества и отчетов об испытаниях.

Японский рынок: Соответствует стандарту JIS G 0571 для обеспечения коррозионной стойкости тигля.

Российский рынок: Соответствует ГОСТ 17431 и обеспечивает высокие температурные характеристики.

Сертификация и документация:

Предоставить сертификат качества в соответствии с ISO 8000 (качество данных), содержащий химический состав, эксплуатационные данные и результаты испытаний.

Подайте заявку на получение маркировки CE (ЕС) или сертификации UL (США), чтобы подтвердить безопасность и соответствие продукции.

Подготовка экспортных декларатов, коммерческих счетов-фактур и сертификатов происхождения в соответствии с требованиями международной торговли.

Управление риском:

Следите за обновлениями международных стандартов и своевременно корректируйте производственные и испытательные процессы.

Работайте с местными агентами или органами сертификации, чтобы убедиться, что продукция соответствует требованиям целевого рынка.

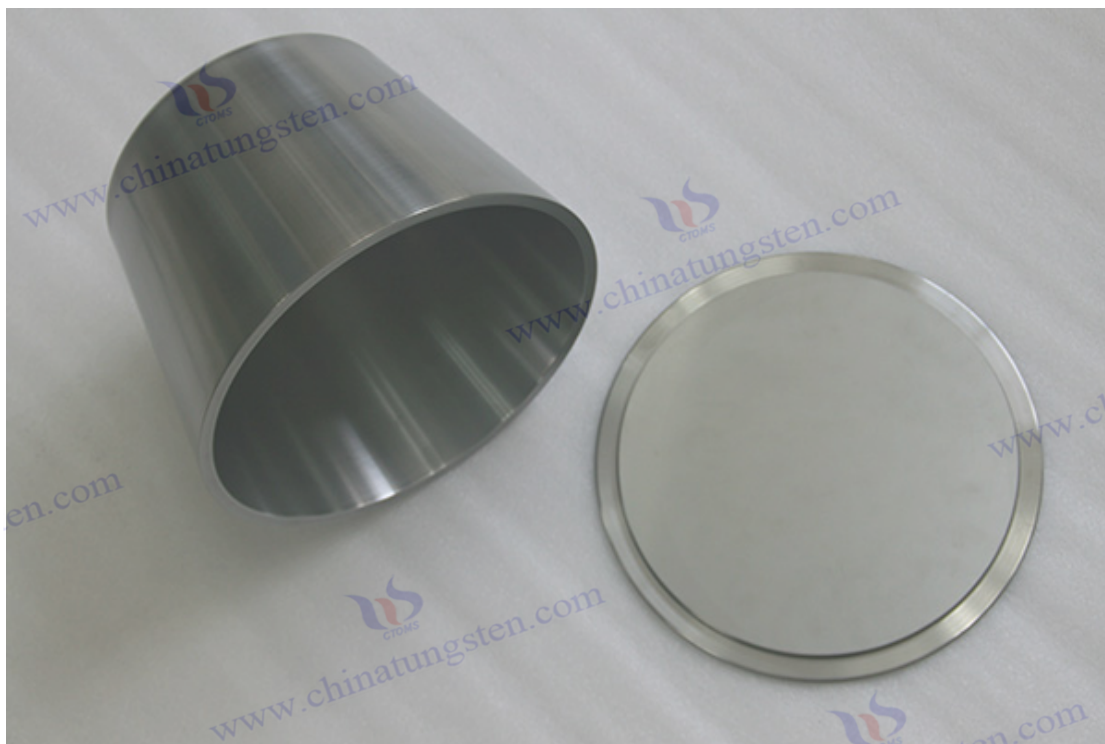
Создание команды по соблюдению экспортного законодательства для решения таможенных и нормативных вопросов.

Практическое применение:

В полупроводниковой промышленности, экспортируемой в Европу, соответствие требованиям REACH гарантирует, что молибденовые тигли не содержат вредных веществ и могут беспрепятственно поступать на рынок.

На аэрокосмическом рынке, экспортируемом в Соединенные Штаты, сертификация ASTM B386 повышает конкурентоспособность продукции.

Copyright and Legal Liability Statement



CTIA GROUP LTD Молибденовый тигель

приложение

А. Глоссарий

Антиокислительное покрытие: защитный слой, наносимый на поверхность молибденового тигля для предотвращения окисления при высоких температурах и продления срока службы тигля.

Замкнутый цикл переработки: процесс переработки отходов молибденовых тиглей и преобразования их в новые тигельные материалы для сокращения отходов ресурсов.

Метод Чохральского: метод выращивания монокристаллов (таких как кремний и сапфир) с помощью технологии вытягивания кристаллов, который требует использования молибденового тигля высокой чистоты для удержания расплава.

Плазменное напыление: Технология модификации поверхности, при которой используется высокотемпературная плазма для распыления устойчивых к окислению или коррозии материалов на поверхность молибденового тигля.

Высокотемпературная ползучесть: медленная деформация молибденовых тиглей при высокой температуре ($>1500^{\circ}\text{C}$) и напряжении может привести к ухудшению производительности.

Чистое помещение: Контролируемая среда, контролирующая твердые частицы и загрязнения, используемая для упаковки и хранения молибденовых тиглей, в соответствии со стандартами ISO 14644.

Измельчение зерна: Уменьшение размера зерен молибденовых материалов путем легирования или термической обработки для повышения прочности и ударной вязкости.

Copyright and Legal Liability Statement

Механические свойства: Свойства материала под напряжением, такие как прочность на разрыв, твердость и удлинение, влияют на высокую температурную стабильность молибденового тигля.

Наноструктура: Молибденовые материалы с зернистостью или размером покрытия в наномасштабе (<100 нм) обладают отличными механическими свойствами и стойкостью к окислению.

Горячее изостатическое прессование (HIP): метод формования молибденовых тиглей при высокой температуре и давлении для улучшения плотности и однородности, а также уменьшения внутренних дефектов.

Однородность теплового поля: Постоянство распределения температуры тигля в высокотемпературной печи влияет на качество роста кристаллов.

Спекание: процесс затвердевания молибденового порошка в тигельных заготовках с помощью высокотемпературного нагрева, обычно осуществляемый в вакууме или атмосфере водорода.

Неразрушающий контроль (NDT): метод обнаружения дефектов без разрушения структуры тигля, такой как ультразвуковой контроль и капиллярный контроль.

Экономика замкнутого цикла: экономическая модель, которая максимизирует ценность ресурсов за счет переработки и повторного использования, применяемая для управления отходами молибденового тигля.

Прядение: Метод обработки молибденовых пластин в тигли с помощью вращающихся форм и давления, который подходит для тонкостенных тиглей и тиглей сложной формы.

Печь для спекания: оборудование, которое нагревает молибденовый порошок при низком давлении ($<10^{-3}$ Па) для изготовления тиглей высокой плотности.

Легирование: добавление микроэлементов в молибден для улучшения механических свойств или стойкости к окислению.

Прослеживаемость качества: метод отслеживания качества молибденовых тиглей путем записи данных о производстве, проверке и использовании для поддержки анализа отказов.

В. Ссылки

- [1] Китайвольфрам онлайн. Производительность и применение молибденового тигля. news.chinatungsten.com, 2020.
- [2] Википедия. Термодинамические свойства молибдена. zh.wikipedia.org, 2020.
- [3] Китайская ассоциация вольфрамовой промышленности. Анализ микроструктуры молибденового тигля. ctia.com.cn, 2021.
- [4] ASM International. Тугоплавкие металлы и сплавы. asm.org, 2019.
- [5] Термо Фишер Научный. Физические и химические свойства молибдена. thermofisher.com, 2022.
- [6] Китайский вольфрамовый онлайн. Технические преимущества тиглей, легированных молибденом. www.molybdenum.com.cn, 2021.
- [7] Китайская ассоциация вольфрамовой промышленности. Проверка молибденового тигля и анализ отказов. ctia.com.cn, 2023.
- [8] Википедия. Анализ отказов материалов. zh.wikipedia.org, 2021.

Copyright and Legal Liability Statement

- [9] Китайский вольфрам, онлайн. Технология контроля качества молибденового тигля. news.chinatungsten.com, 2022.
- [10] ASM International. Анализ отказов тугоплавких металлов. asm.org, 2021.
- [11] Термо Фишер Научный. Неразрушающий контроль молибдена. thermofisher.com, 2023.
- [12] Журнал материаловедения. Механизмы отказа молибденового тигля, 2023.

Copyright and Legal Liability Statement

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

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