

Энциклопедия молибденового стержня ТЗМ

中钨智造科技有限公司
CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

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

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

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

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

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



Заявление об авторских правах и юридической ответственности

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
TZM Molybdenum Rod Introduction

1. Overview of TZM Molybdenum Rod

TZM molybdenum rods are high-performance molybdenum-based alloy materials composed of a molybdenum (Mo) matrix with small additions of titanium (Ti), zirconium (Zr), and carbon (C). Compared to pure molybdenum, TZM alloy offers significantly higher high-temperature strength, excellent thermal stability, superior creep resistance, and outstanding oxidation resistance, making it an ideal material for high-temperature structural applications.

2. Characteristics of TZM Molybdenum Rod

High Melting Point: Suitable for extreme high-temperature environments.

Excellent High-Temperature Strength: Maintains mechanical strength and rigidity at 1200–1600°C.

Good Thermal Stability and Creep Resistance: Ideal for long-term use under high temperatures with minimal deformation and high reliability.

Superior Corrosion and Oxidation Resistance: Applicable in vacuum, high-temperature inert atmospheres, and oxidative conditions.

Excellent Machinability: Suitable for turning, milling, grinding, and welding processes.

3. Typical Applications of TZM Molybdenum Rod

High-Temperature Furnace Components: Supports, heat shields, heating elements, and electrode rods.

Aerospace Industry: Structural components in rocket nozzles and engine parts operating under high temperatures.

Nuclear Industry: Used in reactor support structures and control rod guide systems.

Electronics Industry: Structural materials in ion implantation, evaporation sources, and semiconductor processing equipment.

Mold Manufacturing: Hot extrusion dies, aluminum alloy die-casting molds with excellent high-temperature wear resistance.

4. Specifications of TZM Molybdenum Rod

Main Ingredients	Mo: ≥ 99%
	Ti: 0.40–0.55%
	Zr: 0.06–0.12%
	C: 0.01–0.04%
Size Range	Diameter φ6mm – φ120mm, length up to 2000mm (customizable)
Surface	Black(forged), bright (turned or ground)
Processing Method	Forging, rolling, drawing, or machining forming

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Каталог

1. Введение в молибденовый стержень TZM

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

2. Основной принцип работы молибденового стержня TZM

- 2.1 Химический состав и характеристики сплава молибденового стержня TZM
- 2.2 Физико-механические свойства молибденового стержня TZM
- 2.3 Сравнение молибденового стержня TZM с чистым молибденом и другими жаропрочными сплавами
- 2.4 Механизм работы молибденового стержня TZM в высокотемпературных средах

3. Эксплуатационные характеристики молибденового стержня TZM

- 3.1 Физические и химические свойства
 - 3.1.1 Температура плавления и термическая стабильность
 - 3.1.2 Плотность и теплопроводность
 - 3.1.3 Стойкость к окислению и коррозии
 - 3.1.4 Механическая прочность и ударная вязкость
- 3.2 Термические и механические свойства
 - 3.2.1 Тепловое расширение и высокотемпературная деформация
 - 3.2.2 Устойчивость к тепловому удару
 - 3.2.3 Устойчивость к ползучести и долговременная стабильность
 - 3.2.4 Усталостные характеристики и способность к переработке
- 3.3 Взаимосвязь микроструктуры и свойства
 - 3.3.1 Структура и ориентация зерен
 - 3.3.2 Роль титана, циркония и углерода
 - 3.3.3 Морфология поверхности и свойства при высоких температурах
- 3.4 Срок службы и надежность
 - 3.4.1 Факторы, влияющие на срок службы
 - 3.4.2 Анализ видов отказов (например, разрушение, коррозия)
 - 3.4.3 Методы тестирования надежности
- 3.5 CTIA GROUP LTD TZM Молибденовый стержень MSDS

4. Процесс и технология подготовки

- 4.1 Выбор и подготовка сырья
 - 4.1.1 Очистка порошка молибдена и требования к качеству
 - 4.1.2 Выбор добавок к титану, цирконию и углероду
 - 4.1.3 Оптимизация соотношения сплавов
 - 4.1.4 Тестирование сырья и контроль качества
- 4.2 Металлургические процессы

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

- 4.2.1 Смешивание и прессование порошка
 - 4.2.1.1 Механическое легирование
 - 4.2.1.2 Изостатическое прессование
- 4.2.2 Процесс спекания
 - 4.2.2.1 Вакуумное спекание
 - 4.2.2.2 Спекание в атмосфере и контроль температуры
- 4.2.3 Ковка и прокатка
 - 4.2.3.1 Горячая и холодная штамповка
 - 4.2.3.2 Прокатное оборудование и параметры
- 4.2.4 Выдавливание и волочение
 - 4.2.4.1 Высокотемпературная экструзия
 - 4.2.4.2 Волочильные штампы и смазка
- 4.3 Механическая обработка и отделка
 - 4.3.1 Токарная и фрезерная обработка
 - 4.3.1.1 Обработка с ЧПУ
 - 4.3.1.2 Точность обработки и шероховатость поверхности
 - 4.3.2 Шлифовка и полировка
 - 4.3.2.1 Механическая полировка
 - 4.3.2.2 Химическая и электрополировка
 - 4.3.3 Термическая обработка и отжиг
 - 4.3.3.1 Отжиг и контроль зерна
 - 4.3.3.2 Методы снятия напряжения
 - 4.3.4 Обработка поверхности
 - 4.3.4.1 Технология нанесения антиокислительных покрытий
 - 4.3.4.2 Науглероживание и азотирование поверхности
- 4.4 Оборудование и автоматизация
 - 4.4.1 Основное производственное оборудование
 - 4.4.1.1 Вакуумные печи для спекания
 - 4.4.1.2 Кузнечно-прокатное оборудование
 - 4.4.1.3 Обработывающие центры с ЧПУ
 - 4.4.2 Автоматизация и интеллект производственной линии
 - 4.4.3 Чистое помещение и контроль окружающей среды

5. Контроль качества и тестирование

- 5.1 Технологии онлайн-обнаружения
 - 5.1.1 Проверка размерной и геометрической точности
 - 5.1.2 Контроль поверхностных дефектов и трещин
- 5.2 Тестирование производительности
 - 5.2.1 Прочность и твердость при высоких температурах
 - 5.2.2 Коррозионная стойкость и стойкость к окислению
 - 5.2.3 Тепловое расширение и проводимость
- 5.3 Анализ и совершенствование сбоев
 - 5.3.1 Анализ трещин и разрушений

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

5.3.2 Высокотемпературная усталость и ползучесть

5.3.3 Меры по повышению качества

6. Применение молибденового стержня TZM

6.1 Компоненты высокотемпературных печей

6.1.1 Нагревательные элементы

6.1.2 Применение вакуумных печей для спекания

6.1.3 Применение в печах для термообработки

6.2 Аэрокосмическая промышленность

6.2.1 Применение ракетных сопел

6.2.2 Высокотемпературные конструкционные детали

6.2.3 Тепловая защита космического аппарата

6.3 Атомная промышленность

6.3.1 Компоненты ядерного реактора

6.3.2 Термоядерные устройства

6.3.3 Обращение с радиоактивными материалами

6.4 Электронная и полупроводниковая промышленность

6.4.1 Оборудование для ионной имплантации

6.4.2 Осаждение тонких пленок

6.4.3 Изготовление электронных устройств

6.5 Другие промышленные и исследовательские области

6.5.1 Высокотемпературное экспериментальное оборудование

6.5.2 Высокотемпературные формы и инструменты

6.5.3 Применение аддитивного производства

7. Технические проблемы и будущее развитие

7.1 Технические проблемы

7.1.1 Повышение устойчивости к высокотемпературному окислению

7.1.2 Сложная геометрия и масштабируемое производство

7.1.3 Контроль затрат

7.2 Новые материалы и технологии

7.2.1 Конструкция из модифицированного сплава

7.2.2 Наноструктуры и композиты

7.2.3 Конкурирующие высокотемпературные материалы

7.3 Интеллектуальное и экологичное производство

7.3.1 Интеллектуальный мониторинг производства

7.3.2 Энергосберегающие и экологически чистые методы

7.3.3 Эффективная переработка отходов

7.4 Будущие тенденции

7.4.1 Оптимизация производительности

7.4.2 Межотраслевые приложения

7.4.3 Применение в экстремальных условиях

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

8. Стандарты и спецификации молибденовых стержней TZM

8.1 Национальные стандарты (GB)

8.1.1 Стандарты GB/T для молибдена и сплавов

8.1.2 Стандарты испытаний и оценки жаропрочных сплавов

8.1.3 Стандарты исполнения процессов и оборудования

8.2 Международные стандарты (ISO)

8.2.1 ISO 6892 - Испытание металлов на растяжение

8.2.2 ISO 14001 - Экологический менеджмент

8.2.3 ISO 3452 - Неразрушающий контроль

8.3 Американские стандарты (США)

8.3.1 ASTM B387 - Прутки из молибденового сплава

8.3.2 ASTM E384 - Определение микротвердости

8.3.3 ASME - Стандарты высокотемпературного оборудования

8.4 Другие международные и отраслевые стандарты

8.4.1 JIS G 0571 - Испытание молибдена

8.4.2 DIN EN 10228 - Неразрушающий контроль

8.4.3 ГОСТ 17431 - Молибденовые сплавы

8.5 Внедрение и сертификация стандартов

8.5.1 Применение стандартов в производстве и испытаниях

8.5.2 Сертификация системы менеджмента качества (например, ISO 9001)

8.5.3 Соответствие экспортным нормам и международная сертификация

Приложение

А. Глоссарий терминов

В. Ссылки

А. Знакомство

1.1 Определение и значение молибденового стержня TZM

Молибденовый стержень TZM представляет собой высокоэффективный сплав, изготовленный из молибдена (молибдена) в качестве матрицы с добавлением титана (Ti), циркония (Zr) и углерода (C) и других элементов, а его название происходит от аббревиатуры «Титан-Цирконий-Молибден». Молибденовый стержень TZM занимает незаменимое и важное место в аэрокосмической, атомной промышленности, производстве высокотемпературных печей, полупроводниковой промышленности и других высокотехнологичных областях благодаря своей превосходной высокотемпературной прочности, отличному сопротивлению ползучести и хорошей коррозионной стойкости. По сравнению с чистым молибденом, сплав TZM значительно улучшает механические свойства за счет легирования микроэлементов, особенно стабильность и долговечность в высокотемпературных средах, что делает его идеальным материалом для экстремальных условий работы.

Химический состав молибденовых стержней TZM обычно состоит примерно из 0,5% титана, 0,08% циркония и 0,01-0,04% углерода, а остальное - молибден. Это специфическое соотношение сплавов позволяет молибденовым стержням TZM иметь более высокую температуру рекристаллизации при высоких температурах (около 1400 °C, что намного выше, чем 1000 °C чистого молибдена), что позволяет им сохранять структурную целостность в экстремальных условиях. Кроме того, стойкость к окислению и теплопроводность молибденовых стержней TZM также превосходят многие традиционные жаропрочные сплавы, что делает их превосходными в сценариях, требующих высоких тепловых нагрузок и механической прочности.

В промышленном применении молибденовые стержни TZM широко используются в производстве нагревательных элементов для высокотемпературных печей, материалов для пресс-форм, аэрокосмических компонентов, таких как ракетные сопла и лопатки турбин, конструкционных компонентов для ядерных реакторов и компонентов для полупроводникового оборудования. Его важность заключается не только в его физических свойствах, но и в его способности удовлетворять растущий спрос на высокоэффективные материалы в современной промышленности. Например, в аэрокосмической отрасли молибденовые стержни TZM являются предпочтительным материалом для изготовления компонентов высокотемпературных силовых установок из-за их высокой температуры плавления (около 2623 °C) и низкого коэффициента теплового расширения. В атомной промышленности молибденовые стержни TZM используются при изготовлении ключевых компонентов ядерных реакторов из-за их устойчивости к нейтронному излучению и низкого сечения поглощения тепловых нейтронов.

Кроме того, молибденовые стержни TZM также играют важную роль в области научных исследований. Например, при испытаниях высокотемпературных материалов, исследованиях в области физики плазмы и разработке передовых производственных технологий

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

молибденовые стержни TZM используются в качестве основных компонентов экспериментального оборудования благодаря своим стабильным свойствам. Исследование показывает, что производственный процесс и технология контроля качества молибденового стержня TZM в последние годы постоянно совершенствуются, что способствует его широкому применению на мировом рынке. От аэрокосмической до энергетической промышленности, молибденовые стержни TZM стали неотъемлемой частью современной высокотехнологичной промышленности, и их важность продолжает расти с технологическим прогрессом и расширением областей применения.

1.2 Историческое развитие и технологическая эволюция молибденового стержня TZM

Разработка молибденовых стержней TZM восходит к середине 20-го века, когда спрос на высокотемпературные материалы резко возрос с быстрым развитием аэрокосмической и атомной промышленности. Хотя чистый молибден имеет высокую температуру плавления и хорошую электро- и теплопроводность, отсутствие высокой термopрочности, ползучести и рекристаллизации, а также охрупчивания ограничивают его применение в экстремальных условиях. Чтобы преодолеть эти недостатки, материаловеды начали исследовать легирование для улучшения свойств молибдена.

В 50-х годах 20 века научно-исследовательские институты и промышленность в США взяли на себя ведущую роль в разработке сплавов TZM. Добавляя следовые количества титана, циркония и углерода в молибденовую матрицу, сплавы TZM значительно улучшают свою высокотемпературную прочность и сопротивление ползучести. Добавление титана и циркония улучшает кристаллическую структуру молибдена за счет упрочнения раствора и механизмов второфазного упрочнения, в то время как добавление углерода еще больше улучшает прочность и износостойкость сплава за счет образования частиц карбида. В конце 1950-х годов сплавы TZM начали использовать в аэрокосмической отрасли, например при изготовлении сопел ракетных двигателей и высокотемпературных конструкционных компонентов.

В 60-х годах 20 века, с развитием технологии порошковой металлургии, процесс производства молибденового стержня TZM был значительно усовершенствован. Метод порошковой металлургии делает микроструктуру сплава TZM более однородной, а эксплуатационные характеристики более стабильными за счет точного контроля размера частиц и соотношения смешивания сырого порошка. В этот период молибденовые стержни TZM стали широко использоваться в производстве высокотемпературных печей и атомной промышленности. Например, в регулирующих стержнях и конструкционных деталях в ядерных реакторах стали использовать сплавы TZM, чтобы справляться с высокими температурами и высокой радиационной обстановкой.

С 70-х по 80-е годы 20-го века, с развитием полупроводниковой промышленности, область применения молибденового стержня TZM была еще более расширена. Благодаря высокой теплопроводности и низкому коэффициенту теплового расширения, молибденовые стержни TZM используются при изготовлении высокотемпературных приспособлений и напылении

мишеней в полупроводниковых приборах. В тот же период спрос в аэрокосмическом секторе привел к дальнейшей оптимизации молибденовых стержней TZM, например, за счет улучшения процесса термообработки и технологии обработки поверхности для повышения их стойкости к окислению.

В 21 веке технология производства и применения молибденового стержня TZM вступила в новый этап. Исследования показали, что в процессе производства современных молибденовых стержней TZM достигнута высокая степень автоматизации и точности. Например, благодаря передовой технологии плазменного спекания и процессу вакуумной термообработки размер зерна и стабильность производительности молибденовых стержней TZM были значительно улучшены. Кроме того, внедрение нанотехнологий позволило еще больше оптимизировать микроструктуру сплавов TZM, тем самым повысив их долговечность в экстремальных условиях.

В последние годы, с развитием технологии аддитивного производства (3D-печати), потенциал применения молибденового стержня TZM был дополнительно изучен. Исследователи начали изучать возможность прямого изготовления деталей из сложных сплавов TZM с помощью таких технологий, как лазерное селективное плавление (SLM), что не только снизило производственные затраты, но и расширило перспективы применения молибденовых стержней TZM в аэрокосмических и медицинских устройствах. Например, напечатанные на 3D-принтере детали из сплава TZM можно использовать для изготовления ракетных сопел или высокотемпературных форм со сложной геометрией.

1.3 Роль молибденового стержня TZM в современной промышленности и научных исследованиях

В современной промышленности и научных исследованиях молибденовые стержни TZM играют множество ролей благодаря своему уникальному сочетанию свойств. Прежде всего, в аэрокосмической области молибденовые стержни TZM широко используются при изготовлении сопел ракетных двигателей, лопаток турбин, высокотемпературных конструктивных деталей. Например, такие компании, как SpaceX, внедрили сплавы TZM в свои конструкции ракетных двигателей, чтобы справляться с высокой температурой и высоким давлением в камере сгорания и соплах. Технические данные Chinatungsten Online показывают, что превосходные характеристики молибденовых стержней TZM в этих областях обусловлены их высокой температурой плавления и низким коэффициентом теплового расширения, что позволяет сохранять структурную стабильность при экстремальных тепловых нагрузках.

В атомной промышленности молибденовые стержни TZM используются при изготовлении конструктивных элементов и регулирующих стержней ядерных реакторов благодаря их отличной радиационной стойкости и высокой температурной стабильности. Высокая температура и интенсивная радиационная среда внутри ядерного реактора предъявляют чрезвычайно высокие требования к материалу, а низкое сечение поглощения тепловых нейтронов и высокая прочность молибденовых стержней TZM делают их идеальным

выбором. Кроме того, молибденовые стержни TZM используются в производстве материалов для плазменной облицовки (PFM) для термоядерных реакторов, чтобы справиться с экстремальными температурами и бомбардировкой частицами.

В области производства высокотемпературных печей молибденовые стержни TZM широко используются в качестве нагревательных элементов, опор и материалов для тиглей. Благодаря высокой температуре рекристаллизации и отличному сопротивлению ползучести, молибденовые стержни TZM способны стабильно работать в течение длительного времени в высокотемпературных средах выше 1600°C. Например, в вакуумных печах и печах для защиты атмосферы молибденовые стержни TZM применяются при изготовлении нагревательных элементов и защитных гильз термопар для обеспечения надежности и долговечности оборудования при высоких температурах.

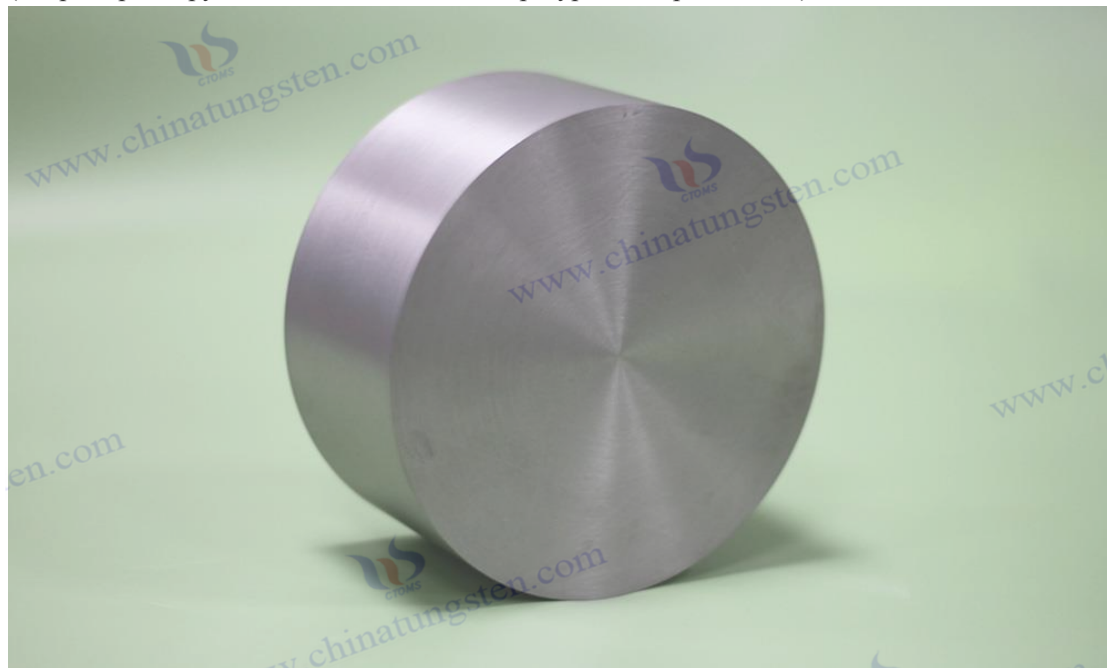
В полупроводниковой промышленности молибденовые стержни TZM используются в качестве мишеней для распыления и высокотемпературных приспособлений из-за их высокой теплопроводности и низкого коэффициента теплового расширения. Например, в процессе физического осаждения из газовой фазы (PVD) молибденовые стержни TZM используются в качестве мишеней для нанесения высокопроизводительных тонких пленок. Кроме того, молибденовые стержни TZM также используются в производстве ключевых компонентов в устройствах ионной имплантации для удовлетворения требований высокой точности и стабильности в производстве полупроводников.

В области научных исследований молибденовые стержни TZM широко используются в испытаниях высокотемпературных материалов, исследованиях в области физики плазмы и разработке передовых производственных технологий. Например, при испытаниях материалов при высоких температурах молибденовые стержни TZM используются в качестве захватов и нагревательных элементов для моделирования свойств материала в экстремальных условиях эксплуатации. В исследованиях в области физики плазмы молибденовые стержни TZM используются в качестве конструкционных материалов для экспериментальных установок благодаря их превосходной стойкости к плазменной эрозии. Кроме того, молибденовые стержни TZM также демонстрируют большой потенциал в области аддитивного производства, и исследователи изучают использование технологии 3D-печати для изготовления деталей из сплава TZM сложной формы для удовлетворения особых потребностей аэрокосмической и медицинской областей.

Официальный аккаунт Chinatungsten Online в WeChat «Chinatungsten Online» сообщил, что спрос на молибденовые стержни TZM на мировом рынке в последние годы продолжает расти, особенно в Азиатско-Тихоокеанском регионе. С быстрым развитием Китая, Индии и других стран в области аэрокосмической и атомной промышленности перспективы применения молибденового стержня TZM становятся все шире. Ожидается, что в будущем, с развитием новых технологий материалов, молибденовые стержни TZM будут играть важную роль во многих областях, таких как оборудование для возобновляемых источников энергии (например, высокотемпературные солнечные коллекторы) и биомедицинские области

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

(например, оборудование для высокотемпературной стерилизации).



CTIA GROUP LTD TZM Молибденовый стержень

Б. Основной принцип работы молибденового стержня TZM

2.1 Химический состав и характеристики сплава молибденового стержня TZM

Химический состав молибденовых стержней TZM обычно включает около 99,38-99,5% молибдена, 0,4-0,55% титана, 0,06-0,12% циркония и 0,01-0,04% углерода. Это точное соотношение сплава значительно улучшает свойства молибдена за счет таких механизмов, как упрочнение раствора, упрочнение осаждением и упрочнение второй фазы, что приводит к превосходной стабильности в высокотемпературных, высоких и коррозионных средах.

Детали и роль химического состава

Молибден является матричным материалом с высокой температурой плавления (2623°C), отличной теплопроводностью (около $139 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$) и низким коэффициентом теплового расширения (около $5,3 \times 10^{-6}/\text{K}$), что делает его идеальным для применения при высоких температурах. Однако чистый молибден обладает низкой прочностью при высоких температурах и склонен к ползучести и рекристаллизационному охрупчиванию, что ограничивает его применение в экстремальных условиях. Сплавы TZM преодолевают эти недостатки за счет добавления микроэлементов:

Титан (Ti): добавление титана улучшает кристаллическую структуру молибдена с помощью механизма упрочнения раствора. Твердый раствор атомов титана в молибденовой решетке вызывает деформацию решетки и препятствует движению дислокаций, тем самым улучшая высокотемпературную прочность и сопротивление ползучести материала. Кроме того, титан вступает в реакцию с углеродом с образованием частиц карбида титана (TiC), которые дополнительно усиливаются за счет осаждения для дальнейшего повышения твердости и

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

износостойкости сплава.

Цирконий (Zr): цирконий действует аналогично титану, увеличивая прочность молибдена за счет упрочнения раствором. Атомы циркония также реагируют с углеродом с образованием частиц карбида циркония (ZrC), которые равномерно распределяются в молибденовой матрице, повышая сопротивление ползучести и устойчивость материала к высоким температурам. Добавление циркония также повышает стойкость сплава TZM к окислению, делая его более устойчивым в высокотемпературных средах окисления.

Углерод (C): Добавление углерода является ключом к улучшению характеристик сплавов TZM. Частицы карбида (такие как TiC и ZrC), образующиеся в результате реакции углерода с титаном и цирконием, значительно повышают прочность и твердость сплава за счет механизма осаждения и упрочнения. При высоких температурах эти частицы могут эффективно предотвращать рост зерна и поддерживать мелкозернистую структуру материала, тем самым улучшая его температуру рекристаллизации и сопротивление ползучести.

Взаимосвязь между микроструктурой и производительностью

Микроструктура молибденового стержня TZM оказывает важное влияние на его свойства. Сплавы TZM, полученные методом порошковой металлургии, имеют мелкие размеры зерна (обычно от 3,0 до 5,0 микрон), что способствует повышению прочности и ударной вязкости материала. Порошковая металлургия обеспечивает равномерное распределение титана, циркония и углерода в молибденовой матрице за счет точного контроля размера частиц и соотношения смешивания сырого порошка. Процессы термической обработки, такие как отжиг и старение, дополнительно оптимизируют микроструктуру молибденовых стержней TZM. Например, высокотемпературный отжиг может устранить остаточные напряжения во время обработки, в то время как старение способствует осаждению твердых частиц, тем самым улучшая механические свойства материала.

Коррозионная стойкость и стойкость к окислению

Молибденовые стержни TZM демонстрируют превосходную коррозионную стойкость в различных химических средах, особенно в высокотемпературных неокисляющих средах, таких как вакуум или инертные газы. Его коррозионная стойкость обусловлена химической стабильностью молибденовой матрицы и защитным эффектом частиц карбида. В высокотемпературной окислительной среде на поверхности молибденового стержня TZM может образовываться плотный оксидный защитный слой (например, MoO_2), который замедляет дальнейшие реакции окисления. Напротив, чистый молибден склонен к образованию летучего триоксида молибдена (MoO_3) при высоких температурах, что приводит к быстрой потере материала. Согласно техническим данным Chinatungsten Online, молибденовые стержни TZM могут стабильно работать в окислительной среде ниже 1000°C , а при более высоких температурах требуются антиокислительные покрытия (например, силицидные покрытия) для продления срока службы.

CTIA GROUP LTD
TZM Molybdenum Rod Introduction

1. Overview of TZM Molybdenum Rod

TZM molybdenum rods are high-performance molybdenum-based alloy materials composed of a molybdenum (Mo) matrix with small additions of titanium (Ti), zirconium (Zr), and carbon (C). Compared to pure molybdenum, TZM alloy offers significantly higher high-temperature strength, excellent thermal stability, superior creep resistance, and outstanding oxidation resistance, making it an ideal material for high-temperature structural applications.

2. Characteristics of TZM Molybdenum Rod

High Melting Point: Suitable for extreme high-temperature environments.

Excellent High-Temperature Strength: Maintains mechanical strength and rigidity at 1200–1600°C.

Good Thermal Stability and Creep Resistance: Ideal for long-term use under high temperatures with minimal deformation and high reliability.

Superior Corrosion and Oxidation Resistance: Applicable in vacuum, high-temperature inert atmospheres, and oxidative conditions.

Excellent Machinability: Suitable for turning, milling, grinding, and welding processes.

3. Typical Applications of TZM Molybdenum Rod

High-Temperature Furnace Components: Supports, heat shields, heating elements, and electrode rods.

Aerospace Industry: Structural components in rocket nozzles and engine parts operating under high temperatures.

Nuclear Industry: Used in reactor support structures and control rod guide systems.

Electronics Industry: Structural materials in ion implantation, evaporation sources, and semiconductor processing equipment.

Mold Manufacturing: Hot extrusion dies, aluminum alloy die-casting molds with excellent high-temperature wear resistance.

4. Specifications of TZM Molybdenum Rod

Main Ingredients	Mo: ≥ 99%
	Ti: 0.40–0.55%
	Zr: 0.06–0.12%
	C: 0.01–0.04%
Size Range	Diameter φ6mm – φ120mm, length up to 2000mm (customizable)
Surface	Black(forged), bright (turned or ground)
Processing Method	Forging, rolling, drawing, or machining forming

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Влияние производственного процесса на свойства сплава

Производство молибденовых стержней TZM обычно осуществляется с использованием процесса порошковой металлургии, который включает в себя такие этапы, как смешивание сырья, прессование, спекание и термическая обработка. Согласно данным Chinatungsten Online, современный производственный процесс значительно улучшил стабильность характеристик молибденовых стержней TZM за счет передовой технологии плазменного спекания и процесса вакуумной термообработки. Например, технология плазменного спекания позволяет проводить спекание с высокой плотностью при более низких температурах, уменьшая рост зерна и, таким образом, сохраняя мелкозернистую структуру материала. Кроме того, методы обработки поверхности, такие как покрытия с химическим осаждением из газовой фазы, еще больше повышают стойкость к окислению и износостойкости молибденовых стержней TZM, что делает их пригодными для более широкого спектра промышленных сценариев.

Согласование сценариев применения с химическими составами

Химический состав молибденового стержня TZM делает его широко используемым в аэрокосмической, атомной промышленности, производстве полупроводников и других областях. Например, в аэрокосмической отрасли высокотемпературная прочность и сопротивление ползучести молибденовых стержней TZM делают их идеальными материалами для сопел ракет и лопаток турбин. В атомной промышленности низкое сечение поглощения тепловых нейтронов и радиационная стойкость молибденовых стержней TZM делают их пригодными для использования в производстве конструкционных элементов ядерных реакторов. В полупроводниковой промышленности низкий коэффициент теплового расширения и высокая теплопроводность молибденовых стержней TZM делают их предпочтительным материалом для напыления мишеней и высокотемпературных приспособлений.

2.2 Физико-механические свойства молибденового стержня TZM

Физико-механические свойства молибденового стержня TZM являются основой для его широкого применения в условиях высоких температур и высоких нагрузок. Ниже приведен подробный анализ его основных свойств, охватывающих высокотемпературную прочность, сопротивление ползучести, теплопроводность, коэффициент теплового расширения, твердость, износостойкость и коррозионную стойкость.

Высокая интенсивность температуры

Прочность на разрыв и предел текучести молибденового стержня TZM при высокой температуре значительно выше, чем у чистого молибдена. Например, при 1200°C прочность на разрыв молибденовых стержней TZM может достигать 400-500 МПа, в то время как чистый молибден составляет всего 200-300 МПа. Такая превосходная высокотемпературная прочность обусловлена упрочнением титана, циркония и углерода. Титан и цирконий повышают прочность решетки молибденовой матрицы за счет упрочнения раствора, в то время как осаждение частиц карбида, таких как TiC и ZrC, еще больше затрудняет движение дислокаций, тем самым повышая устойчивость материала к деформации. Увеличение

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

прочности при высоких температурах дает молибденовым стержням TZM значительное преимущество в аэрокосмической промышленности (например, ракетные сопла) и производстве высокотемпературных печей.

Сопротивление ползучести

Ползучесть является одним из основных режимов разрушения высокотемпературных материалов при длительных нагрузках. Сопротивление ползучести молибденового стержня TZM намного лучше, чем у чистого молибдена. В условиях напряжения 1400°C и 20 МПа скорость ползучести молибденового стержня TZM составляет всего 1/10 от скорости ползучести чистого молибдена. Такое превосходное сопротивление ползучести обусловлено связывающим действием твердосплавных частиц, которые эффективно предотвращают проскальзывание границ зерен и подъем по дислокациям. Кроме того, мелкозернистая структура молибденовых стержней TZM еще больше повышает их сопротивление ползучести, что делает их превосходными в сценариях, требующих длительной стабильной работы, таких как высокотемпературные печи и ядерные реакторы.

Высокая температура рекристаллизации

Температура рекристаллизации молибденового стержня TZM составляет около 1400°C, что значительно выше, чем 1000°C чистого молибдена. Это означает, что молибденовый стержень TZM способен сохранять свою мелкозернистую структуру при высоких температурах, предотвращая рост зерна и ухудшение производительности. Повышение температуры рекристаллизации обусловлено синергетическим эффектом титана, циркония и углерода. Упрочнение раствором титана и циркония улучшает стабильность кристаллической решетки, в то время как осаждение частиц карбида препятствует миграции границ зерен. Эта производительность позволяет молибденовым стержням TZM стабильно работать в течение длительного времени в высокотемпературных средах выше 1600 °C, что делает их пригодными для использования в высокотемпературных печах и аэрокосмических компонентах.

Теплопроводность и коэффициент теплового расширения

Молибденовый стержень TZM обладает отличной теплопроводностью (около 139 Вт/м·К) и низким коэффициентом теплового расширения (около $5,3 \times 10^{-6}/\text{K}$). Высокая теплопроводность позволяет ему быстро рассеивать тепло и избегать ухудшения производительности, вызванного локальным перегревом, что делает его особенно подходящим для использования в высокотемпературных приборах и мишенях для распыления в полупроводниковых устройствах. Низкий коэффициент теплового расширения обеспечивает стабильность размеров материала при высоких температурах, уменьшая трещины и деформации, вызванные термическими напряжениями. Такое сочетание свойств дает молибденовым стержням TZM преимущество в приложениях, требующих высоких тепловых нагрузок и точности размеров, например, в вакуумных печах и экспериментальных установках по физике плазмы.

Твердость и стойкость к истиранию

Твердость молибденовых стержней TZM (твердость по Виккерсу ок. 250-300 HV) выше, чем у чистого молибдена (ок. 200 HV), благодаря упрочняющему эффекту карбидных частиц. Равномерное распределение частиц карбида титана и карбида циркония улучшает твердость поверхности и износостойкость материала, делая его пригодным для использования в производстве пресс-форм, режущих инструментов и износостойких деталей. Например, при изготовлении высокотемпературных пресс-форм молибденовые стержни TZM способны выдерживать высокие нагрузки и износ, продлевая срок службы пресс-формы.

Коррозионная стойкость

Молибденовые стержни TZM демонстрируют хорошую коррозионную стойкость в различных химических средах, особенно в высокотемпературных неокисляющих атмосферах, таких как вакуум, аргон или азот. Его коррозионная стойкость обусловлена химической стабильностью молибденовой матрицы и защитным эффектом частиц карбида. В высокотемпературной среде окисления молибденовый стержень TZM может образовывать плотный защитный слой MoO_2 для замедления реакции окисления. Исследования показали, что молибденовые стержни TZM могут стабильно работать в окислительной среде ниже 1000°C , а при более высоких температурах требуются антиокислительные покрытия для дальнейшего повышения долговечности.

Другие физические свойства

Плотность: Плотность молибденовых стержней TZM составляет около $10,2 \text{ г/см}^3$, что ниже, чем у вольфрамового сплава (около $19,3 \text{ г/см}^3$), что дает ему преимущество в чувствительных к весу приложениях, таких как аэрокосмическая промышленность.

Проводимость: молибденовые стержни TZM обладают хорошей проводимостью (около 18% IACS) и подходят для изготовления высокотемпературных электродов и проводящих деталей.

Радиационная стойкость: В атомной промышленности молибденовые стержни TZM могут выдерживать облучение высокоэнергетическими нейтронами и гамма-лучами благодаря низкому сечению поглощения тепловых нейтронов и высокой прочности.

2.3 Сравнение с чистым молибденом и другими жаропрочными сплавами

По сравнению с чистым молибденом и другими жаропрочными сплавами (такими как вольфрамовые сплавы, сплавы на основе никеля, керамические материалы), молибденовые стержни TZM обладают уникальными эксплуатационными преимуществами. Ниже приведено подробное сравнение их свойств, охватывающее такие аспекты, как высокотемпературная прочность, сопротивление ползучести, стойкость к окислению, технологичность и сценарии применения.

Сравнение с чистым молибденом

Чистый молибден (вольфрам) имеет высокую температуру плавления (2623°C), хорошую электро- и теплопроводность и низкий коэффициент теплового расширения, но его высокая термостойкость низка, и он склонен к ползучести и рекристаллизационному охрупчиванию. Молибденовые стержни TZM значительно улучшают высокотемпературные характеристики

за счет добавления титана, циркония и углерода:

Высокая термостойкость: при 1200°C прочность на разрыв молибденового стержня TZM составляет 400-500 МПа, в то время как чистый молибден составляет всего 200-300 МПа. Механизмы упрочнения раствора и осаждения ТЗМ делают его более устойчивым к деформации при высоких температурах.

Сопrotивление ползучести: Скорость ползучести молибденового стержня TZM составляет около 1/10 от скорости чистого молибдена, который подходит для длительных высокотемпературных напряжений.

Температура рекристаллизации: Температура рекристаллизации TZM (1400°C) намного выше, чем у чистого молибдена (1000°C), что делает его структурно стабильным при более высоких температурах.

Стойкость к окислению: молибденовый стержень TZM может образовывать плотный оксидный защитный слой при температуре ниже 800 °C, в то время как чистый молибден склонен к летучести MoO_3 , что приводит к быстрой потере.

Технологичность: Технологичность молибденового стержня TZM немного ниже, чем у чистого молибдена, но сложные формы можно обрабатывать путем оптимизации процесса термообработки.

Сравнение с вольфрамовым сплавом

Вольфрамовый сплав имеет более высокую температуру плавления (3422°C) и плотность (19,3 г/см³), но он сложен в обработке и дорог. К сравнительным преимуществам молибденовых стержней ТЗМ можно отнести:

Плотность: Плотность молибденовых стержней TZM (10,2 г/см³) намного ниже, чем у вольфрамовых сплавов, что делает их пригодными для чувствительных к весу применений, таких как аэрокосмическая промышленность.

Технологичность: пластичность и обрабатываемость молибденового стержня TZM лучше, чем у вольфрамового сплава, что облегчает изготовление деталей сложной формы.

Стойкость к окислению: молибденовый стержень TZM более долговечен, чем вольфрамовый сплав, в высокотемпературной среде окисления, особенно при температуре ниже 1000°C.

Стоимость: Молибденовый стержень TZM дешевле в производстве, чем вольфрамовый сплав, что делает его более экономичным во многих приложениях.

Сравнение со сплавами на основе никеля

Сплавы на основе никеля (например, Инконель 718) обладают хорошей прочностью и коррозионной стойкостью при высоких температурах, но их температура плавления (около 1350°C) намного ниже, чем у молибденовых стержней ТЗМ, а при температуре выше 1600°C происходит сильное размягчение. К сравнительным преимуществам молибденовых стержней ТЗМ можно отнести:

Высокая температурная стабильность: молибденовый стержень TZM все еще может сохранять структурную стабильность выше 1600 °C, в то время как сплавы на основе никеля

выходят из строя при этой температуре.

Коэффициент теплового расширения: Коэффициент теплового расширения TZM ($5,3 \times 10^{-6}/K$) ниже, чем у сплавов на основе никеля (около $13 \times 10^{-6}/K$), что делает его более подходящим для приложений, требующих стабильности размеров.

Радиационная стойкость: Низкое сечение поглощения тепловых нейтронов молибденовых стержней TZM делает их превосходящими сплавы на основе никеля в атомной промышленности.

Сравнение с керамическими материалами

Керамические материалы, такие как диоксид циркония, чрезвычайно термостойки, но они хрупкие и их трудно обрабатывать в сложные формы. К сравнительным преимуществам молибденовых стержней TZM можно отнести:

Ударная вязкость: молибденовый стержень TZM обладает как ударной вязкостью металла, так и стабильностью при высоких температурах, что подходит для сценариев, требующих высокой прочности и ударной вязкости.

Технологичность: Молибденовые стержни TZM можно ковать, прокатывать и обрабатывать для создания сложных компонентов, в то время как керамические материалы часто требуют дорогостоящего процесса спекания.

Теплопроводность: Теплопроводность TZM ($139 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$) намного выше, чем у керамических материалов (около $2\text{-}30 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$), что делает его пригодным для применений, требующих быстрого рассеивания тепла.

Всестороннее сравнение приложений

Молибденовые стержни TZM широко используются в аэрокосмической, атомной промышленности, производстве полупроводников и производстве высокотемпературных печей. По сравнению с чистым молибденом, его высокотемпературные характеристики лучше; По сравнению с вольфрамовым сплавом, он легкий по весу и недорогой; По сравнению со сплавами на основе никеля, он обладает более высокой термостойкостью и радиационной стойкостью; По сравнению с керамическими материалами он обладает лучшей ударной вязкостью и технологичностью. Такое сочетание свойств делает молибденовые стержни TZM идеальными для высокотемпературных применений в широком диапазоне областей.

2.4 Рабочий механизм в условиях высоких температур

Механизм работы молибденового стержня TZM в высокотемпературной среде является основой его превосходных характеристик, которые включают в себя множество аспектов, таких как упрочнение раствора, упрочнение осадка, антиоксидантный механизм, механизм теплопроводности и теплового расширения, а также механизм радиационной стойкости. Ниже приведен подробный анализ этих механизмов.

Усиление раствора

Твердый раствор атомов титана и циркония в кристаллах молибдена препятствует движению

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

дислокаций за счет деформации решетки, тем самым повышая высокотемпературную прочность материала. Этот механизм особенно эффективен при высоких температурах, где движение дислокаций является основной причиной ползучести при высоких температурах. Атомный радиус титана и циркония немного отличается от молибдена, в результате чего происходит незначительная деформация кристаллической решетки, что повышает сопротивление дислокационному движению, тем самым повышая прочность на разрыв и сопротивление ползучести молибденового стержня ТЗМ.

Увеличение количества осадков

Частицы карбида (например, TiC и ZrC), образующиеся в результате реакции углерода с титаном и цирконием, равномерно распределены в молибденовой матрице, и эти частицы повышают прочность и сопротивление ползучести материала за счет закрепления дислокаций и границ зерен. При высоких температурах частицы карбида могут эффективно предотвращать рост зерен, поддерживать мелкозернистую структуру материала и, таким образом, повышать температуру его рекристаллизации. Исследования показали, что размер частиц карбида молибденовых стержней TZM обычно составляет от 0,1 до 1 микрона, а равномерность их распределения имеет решающее значение для производительности.

Антиоксидантный механизм

В высокотемпературной окислительной среде на поверхности молибденового стержня TZM образуется плотный защитный слой MoO_2 для замедления дальнейших реакций окисления. Напротив, чистый молибден склонен к образованию летучего MoO_3 , что приводит к быстрой потере материала. Стойкость к окислению молибденовых стержней TZM обусловлена добавлением титана и циркония, которые способствуют образованию плотного оксидного слоя. При температуре ниже 1000°C молибденовые стержни TZM могут стабильно работать в окислительной среде, в то время как при более высоких температурах для продления срока их службы требуются антиокислительные покрытия, такие как силицид молибдена или покрытия из оксида алюминия.

Механизмы теплопроводности и теплового расширения

Высокая теплопроводность молибденовых стержней TZM ($139 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$) позволяет им быстро рассеивать тепло и избегать ухудшения характеристик, вызванного локальным перегревом. Эти характеристики особенно важны при производстве полупроводникового оборудования и высокотемпературных печей. Низкий коэффициент теплового расширения TZM ($5,3 \times 10^{-6}/\text{K}$) обеспечивает стабильность размеров материала при высоких температурах, уменьшая трещины и деформации, вызванные термическими напряжениями. Например, в вакуумных печах молибденовые стержни TZM используются в качестве нагревательных элементов, чтобы выдерживать быстрые циклы нагрева и охлаждения, оставаясь при этом структурно неповрежденными.

Механизм радиационной прочности

В атомной промышленности молибденовые стержни TZM устойчивы к высокоэнергетическому облучению нейтронами и гамма-лучами благодаря низкому сечению

поглощения тепловых нейтронов и высокой прочности. Это свойство делает его идеальным материалом для ядерных реакторов и термоядерных установок. Например, в материале, обращенном к плазме (ПФМ) термоядерного реактора, молибденовые стержни TZM способны выдерживать бомбардировку высокоэнергетическими частицами, сохраняя при этом структурную стабильность. Кроме того, радиационная стойкость TZM также обусловлена его мелкозернистой структурой и упрочняющим эффектом частиц карбида, которые уменьшают радиационно-индуцированные кристаллические дефекты.

Комплексная производительность в условиях высоких температур

Комплексные характеристики молибденового стержня TZM в высокотемпературной среде выигрывают от синергетического эффекта его многочисленных механизмов упрочнения. Упрочнение раствора и осаждение повышают прочность при высоких температурах и сопротивление ползучести, антиокислительный механизм продлевает срок службы материала в окисляющей среде, высокая теплопроводность и низкий коэффициент теплового расширения обеспечивают термическую стабильность, а радиационная стойкость делает его уникальным преимуществом в атомной промышленности. Вместе эти механизмы позволяют молибденовым стержням TZM стабильно работать в экстремальных условиях выше 1600 °C, отвечая высоким требованиям аэрокосмической, атомной промышленности и производства полупроводников.

3.5 CTIA GROUP LTD TZM Молибденовый стержень MSDS

Раздел 1: Идентификация химических продуктов

Химическое название: молибденовый стержень TZM

Русское название: Молибденовый стержень TZM

Номера CAS: молибден (7439-98-7), титан (7440-32-6), цирконий (7440-67-7), углерод (7440-44-0)

Раздел 2: Состав/Информация об ингредиентах

Химический состав:

Молибден (Mo) $\geq 99,38\%$

Титан (Ti) 0,4–0,55%

Цирконий (Zr) 0,06–0,12%

Углерод (C) 0,01–0,04%

Раздел 3: Идентификация опасностей

Опасность для здоровья: Этот продукт не вызывает раздражения у глаз и кожи.

Опасность возгорания и взрыва: Негорючий и не вызывающий раздражения.

Раздел 4: Меры первой помощи

Контакт с кожей: Снимите загрязненную одежду и тщательно промойте проточной водой.

Попадание в глаза: Приподнимите веки и промойте проточной водой или физиологическим раствором. Обратитесь за медицинской помощью.

Ингаляция: Переместите пострадавшего на свежий воздух. Если дыхание затруднено,

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

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

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

дайте кислород. Обратитесь за медицинской помощью.

Прием внутрь: Пейте много теплой воды и вызывайте рвоту. Обратитесь за медицинской помощью.

Раздел 5: Меры по тушению пожаров

Опасные продукты сгорания: Неизвестные продукты разложения.

Метод тушения: Пожарные должны носить противогазы и полные защитные костюмы, а тушить пожары с наветренной стороны.

Средства пожаротушения: сухой песок, порошок.

Раздел 6: Меры по аварийному выбросу

Реагирование на чрезвычайные ситуации:

Изолируйте зараженный участок и ограничьте доступ.

Устраните источники возгорания.

Персонал экстренных служб должен быть в пылезащитных масках (на все лицо) и защитных костюмах.

Избегайте поднятия пыли; Аккуратно подметайте материал и разложите его по мешкам для переноса в безопасное место.

При больших разливах накройте полиэтиленовой пленкой или брезентом.

Собирайте для переработки или утилизации на предприятии по переработке отходов.

Раздел 7: Обращение и хранение

Обработка:

Операторы должны быть специально обучены и строго следовать операционным процедурам.

Рекомендуемые СИЗ включают самовсасывающие фильтрующие респираторы от пыли, защитные очки для химической защиты, устойчивую к проникновению рабочую одежду и резиновые перчатки.

Держите вдали от огня и источников тепла. Курение на рабочем месте категорически запрещено.

Используйте взрывозащищенные вентиляционные системы и оборудование.

Избегайте образования пыли и контакта с окислителями и галогенами.

Обращайтесь с осторожностью, чтобы не повредить упаковку и контейнеры.

Обеспечьте соответствующее оборудование для тушения пожаров и ликвидации разливов.

В пустых контейнерах могут оставаться опасные остатки.

Хранение:

Хранить в прохладном, проветриваемом складе, вдали от огня и источников тепла.

Хранить отдельно от окислителей и галогенов; Избегайте смешанного хранения.

Обеспечьте соответствующим противопожарным оборудованием и материалами для локализации утечек.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Раздел 8: Контроль воздействия / Личная защита

Китай ПДК (мг/м³): 6

Бывший СССР ПДК (мг/м³): 6

TLVTN (ACGIH): 1 мг/м³

TLVWN (ACGIH): 3 мг/мкм

Метод мониторинга: тиоцианат-калийно-титановая колориметрия

Инженерные средства управления: беспыльное производство и общая вентиляция.

Защита органов дыхания: Когда уровень пыли превышает допустимые пределы, используйте самовсасывающие пылезащитные маски фильтрующего типа. В экстренных случаях и при эвакуации используйте респиратор с подачей воздуха.

Защита глаз: Носите защитные очки с химическими веществами.

Защита тела: износостойкая защитная рабочая одежда.

Защита рук: Надевайте резиновые перчатки.

Раздел 9: Физические и химические свойства

Основной ингредиент: Чистое вещество

Внешний вид: Твердый, металллик ярко-белого цвета (обработанный); черная поверхность (сырье)

Температура плавления (°C): 2620

Температура кипения (°C): 5560

Относительная плотность (вода = 1): 9,4–10,2 (20°C)

Плотность пара (воздух = 1): Нет данных

Давление насыщенного пара (кПа): Нет данных

Теплота сгорания (кДж/моль): Нет данных

Критическая температура (°C): Нет данных

Критическое давление (МПа): Нет данных

Коэффициент логарифмического распределения (н-октанол/вода): Нет данных

Температура вспышки (°C): Нет данных

Температура самовоспламенения (°C): Нет данных

Предел взрываемости – верхний (% V/V): Нет данных

Предел взрываемости — нижний (% V/V): Нет данных

Растворимость: Растворим в азотной кислоте и фтористоводородной кислоте

Основное применение: Используется в производстве пресс-форм, молибденовой проволоки, электронных компонентов и т. Д.

Раздел 10: Стабильность и реакционная способность

Несовместимые материалы: Сильные кислоты и основания.

Раздел 11: Токсикологическая информация

Острая токсичность: данные отсутствуют

LC50: Данные отсутствуют

Раздел 12: Экологическая информация

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Экологические данные: Отсутствуют

Раздел 13: Соображения по утилизации

Метод утилизации: Перед утилизацией ознакомьтесь с национальными и местными правилами. По возможности утилизируйте.

Раздел 14: Информация о транспорте

Код опасных грузов: Недоступен

Категория упаковки: Z01

Меры предосторожности при транспортировке:

Перед транспортировкой упаковка должна быть целой и надежно закрепленной.

Убедитесь, что во время транспортировки не произойдет утечки, смятия, падения или повреждения.

Не смешивайте с окислителями, галогенами или пищевыми химикатами.

Беречь от солнечных лучей, дождя и высоких температур во время транспортировки.

Тщательно очищайте автомобили после транспортировки.

Раздел 15: Нормативная информация

Соответствующие нормативные акты:

Правила управления безопасностью опасных химических веществ
(Государственный совет, 17 февраля 1987 г.)

Детали осуществления Правил управления безопасностью опасных химических веществ (Hua Lao Fa [1992] No 677)

Правила безопасного использования химических веществ на рабочем месте ([1996] Lao Bu Fa No. 423)

Гигиенические нормы для вольфрама в воздухе рабочих мест (GB 16229-1996), в которых указаны максимально допустимые концентрации и методы обнаружения.

Раздел 16: Информация о поставщиках

Поставщик: CTIA GROUP LTD

Телефон: 0592-5129696 / 5129595



CTIA GROUP LTD TZM Молибденовый стержень

3. Эксплуатационные характеристики молибденового стержня TZM

3.1 Физико-химические свойства молибденового стержня TZM

Будучи высокоэффективным легирующим материалом на основе молибдена, молибденовый стержень TZM демонстрирует отличные физико-химические свойства за счет добавления титана (Ti), циркония (Zr) и углерода (C). Эти свойства делают его перспективным для широкого спектра применений в высокотемпературных, высоконапряженных и коррозионных средах. Ниже приведен подробный анализ физических и химических свойств молибденового стержня TZM по четырем аспектам: температура плавления и термическая стабильность, плотность и теплопроводность, стойкость к окислению и коррозии, а также механическая прочность и ударная вязкость.

3.1.1 Температура плавления и термическая стабильность молибденового стержня TZM

Температура плавления молибденового стержня TZM близка к 2623 °C (около 2896 K) чистого молибдена и является одним из суперсплавов, обычно используемых в промышленности. Его высокая температура плавления обусловлена кристаллической структурой БЦК (телесно-центрированная кубическая) молибденовой матрицы, которая обладает высокой стабильностью при высоких температурах и способна выдерживать экстремальные тепловые нагрузки. По сравнению с чистым молибденом, молибденовый стержень TZM значительно увеличивает температуру рекристаллизации за счет добавления титана, циркония и углерода с примерно 1000 °C для чистого молибдена до более чем 1400 °C. Такая высокая температура рекристаллизации означает, что молибденовые стержни TZM способны сохранять мелкозернистую структуру при высоких температурах, избегая ухудшения производительности из-за роста зерна.

Термическая стабильность является ключевым преимуществом молибденовых стержней TZM в высокотемпературных системах. В аэрокосмической отрасли, например, в соплах ракетных двигателей и компонентах камеры сгорания, молибденовые стержни TZM должны выдерживать мгновенные тепловые нагрузки в условиях выше 2000 °C. Результаты показывают, что молибденовые стержни TZM могут сохранять высокую прочность и структурную целостность при температуре 1800 °C, в то время как чистый молибден подвергается значительному размягчению и ползучести при тех же условиях. Результаты показывают, что термическая стабильность молибденовых стержней TZM обусловлена упрочнением раствора титана и циркония и осаждением частиц карбида, таких как TiC и ZrC, которые в совокупности улучшают стойкость материала к высокотемпературной деформации.

Кроме того, термическая стабильность молибденового стержня TZM тесно связана с процессом его производства. Молибденовые стержни TZM, полученные методом порошковой металлургии, имеют однородную микроструктуру, что позволяет эффективно снизить проскальзывание границ зерен и подъем по дислокациям при высоких температурах. Процессы термической обработки, такие как отжиг и старение, дополнительно оптимизируют термическую стабильность материала. Например, высокотемпературный отжиг может устранить остаточные напряжения во время обработки, в то время как старение способствует осаждению частиц карбида и повышает стабильность материала при высоких температурах.

3.1.2 Плотность и теплопроводность молибденового стержня TZM

Плотность молибденового стержня TZM составляет около 10,2 г/см³, что ниже, чем у вольфрамового сплава (19,3 г/см³), но выше, чем у сплавов на основе никеля (около 8,5 г/см³). Такая средняя плотность дает ему значительные преимущества в приложениях, чувствительных к весу, таких как аэрокосмическая промышленность и компоненты спутников. По сравнению с вольфрамовым сплавом, меньшая плотность молибденового стержня TZM снижает вес конструкции, сохраняя при этом высокую прочность и высокую температурную стабильность.

Теплопроводность молибденового стержня TZM составляет 139 Вт/м·К, что значительно выше, чем у керамических материалов (около 2-30 Вт/м·К) и сплавов на основе никеля (около 10-20 Вт/м·К). Высокая теплопроводность позволяет ему быстро рассеивать тепло и избегать ухудшения производительности, вызванного локальным перегревом. Например, в производстве полупроводникового оборудования молибденовые стержни TZM используются в качестве мишеней для распыления и высокотемпературных приспособлений, а их высокая теплопроводность обеспечивает равномерное распределение тепла и уменьшает трещины, вызванные термическими напряжениями. Кроме того, при изготовлении высокотемпературных печей молибденовый стержень TZM может использоваться в качестве нагревательного элемента для быстрой передачи тепла и улучшения равномерности температуры в печи.

Теплопроводность тесно связана с микроструктурой молибденовых стержней TZM. Процесс

порошковой металлургии обеспечивает непрерывность пути теплопроводности за счет контроля размера зерна и распределения частиц карбида. Исследования показали, что теплопроводность молибденовых стержней TZM снижается только примерно на 10-15% при высоких температурах (например, 1200°C), что намного лучше, чем скорость снижения чистого молибдена на 20-25%. Эта стабильная теплопроводность обеспечивает превосходную производительность в условиях циклических температур при высоких температурах.

3.1.3 Стойкость к окислению и коррозии молибденового стержня TZM

Молибденовые стержни TZM демонстрируют превосходную коррозионную стойкость в высокотемпературных неокисляющих средах, таких как вакуум, аргон или азот. Его химическая стабильность обусловлена инертностью молибденовой матрицы и упрочнением титана, циркония и углерода. В высокотемпературной окислительной среде молибденовые стержни TZM способны образовывать плотный слой защитного слоя оксида MoO_2 для замедления дальнейших реакций окисления. В отличие от него, чистый молибден склонен к летучим свойствам при высоких температурах оксида вольфрама, что приводит к быстрому износу материала. Исследования показали, что молибденовые стержни TZM могут стабильно работать в окислительной среде ниже 1000°C, а при более высоких температурах требуются антиокислительные покрытия (такие как покрытия из силицида молибдена или оксида алюминия) для продления срока их службы.

В агрессивных средах молибденовые стержни TZM обладают хорошей стойкостью к воздействию кислот, щелочей и солевых растворов. Например, в разбавленной серной кислоте и соляной кислоте молибденовые стержни TZM имеют гораздо меньшую скорость коррозии, чем сплавы на основе нержавеющей стали и никеля. Эта коррозионная стойкость делает его широко используемым в химической и атомной промышленности. Например, в среде теплоносителя ядерного реактора молибденовые стержни TZM способны выдерживать высокие температуры и химическую коррозию, сохраняя структурную целостность.

Повышение стойкости к окислению и коррозии также тесно связано с технологией обработки поверхности. Например, нанесение антиокислительного покрытия на поверхность молибденового стержня TZM с помощью процессов химического осаждения из газовой фазы (CVD) или физического осаждения из газовой фазы (PVD) может значительно повысить его долговечность в высокотемпературных окислительных средах. Кроме того, технологии полировки поверхности и плазменного напыления позволяют уменьшить поверхностные дефекты и повысить коррозионную стойкость.

3.1.4 Механическая прочность и ударная вязкость молибденового стержня TZM

Механическая прочность молибденового стержня TZM значительно превосходит прочность чистого молибдена при высоких температурах. Например, при температуре 1200°C прочность на разрыв молибденового стержня TZM составляет 400-500 МПа, в то время как чистый молибден составляет всего 200-300 МПа. Такая высокая прочность обусловлена упрочнением в растворе титана и циркония и дисперсионным упрочнением частиц карбида.

Частицы карбида титана (TiC) и карбида циркония (ZrC) равномерно распределены в молибденовой матрице, что повышает твердость и прочность материала за счет закрепления дислокаций и границ зерен. Твердость по Виккерсу молибденовых стержней TZM составляет около 250-300 HV, что выше, чем 200 HV чистого молибдена, что делает их пригодными для использования в изготовлении износостойких пресс-форм и режущего инструмента.

С точки зрения ударной вязкости, молибденовые стержни TZM демонстрируют хорошую стойкость к разрушению при комнатной температуре и высокой температуре. По сравнению с керамическими материалами, молибденовые стержни TZM обладают пластичностью и ударной вязкостью металла, а также могут выдерживать определенные удары и деформации без хрупкого разрушения. Результаты показывают, что вязкость разрушения (K_{IC}) молибденового стержня TZM составляет около $15-20 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ при комнатной температуре, что выше, чем у чистого молибдена ($10-12 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$). Эта превосходная ударная вязкость позволяет ему выдерживать сложные нагрузки в аэрокосмической и атомной промышленности.

Повышение механической прочности и ударной вязкости также связано с производственным процессом. Контролируя температуру и давление спекания в процессе порошковой металлургии, можно оптимизировать размер зерна и распределение карбида молибденового стержня TZM, тем самым уравнивая прочность и ударную вязкость. Например, более низкая температура спекания (около 1800°C) позволяет получить более мелкие зерна и улучшить ударную вязкость; Более высокая температура спекания (около 2000°C) увеличивает прочность.

3.2 Термические и механические свойства молибденового стержня TZM

Термические и механические свойства молибденового стержня TZM являются основой для его широкого применения в условиях высоких температур и высоких нагрузок. Ниже приведен подробный анализ по четырем аспектам: коэффициент теплового расширения и высокотемпературная деформация, устойчивость к тепловому удару, ползучесть и долговременная стабильность, усталостные характеристики и способность к рециркуляции.

3.2.1 Коэффициент теплового расширения и высокотемпературная деформация молибденового стержня TZM

Коэффициент теплового расширения молибденового стержня TZM составляет около $5,3 \times 10^{-6}/\text{K}$, что значительно ниже, чем у сплавов на основе никеля (около $13 \times 10^{-6}/\text{K}$) и нержавеющей стали (около $16 \times 10^{-6}/\text{K}$). Низкий коэффициент теплового расширения обеспечивает стабильность размеров молибденовых стержней TZM при высоких температурах, уменьшая трещины и деформации, вызванные термическими напряжениями. Например, в вакуумных печах молибденовые стержни TZM используются в качестве нагревательных элементов для поддержания геометрической стабильности при быстрых циклах нагрева и охлаждения.

Высокотемпературная деформация является ключевым вопросом при проектировании

высокотемпературных материалов. Молибденовый стержень TZM упрочняется за счет твердого растворного упрочнения титана и циркония и дисперсионного упрочнения карбидных частиц, что значительно снижает скорость деформации при высокой температуре. В условиях напряжения 1400°C и 20 МПа скорость деформации молибденового стержня TZM составляет всего 1/5 от скорости деформирования чистого молибдена. Исследования показали, что частицы карбида способны связывать границы зерен при высоких температурах, предотвращая скольжение границ зерен, тем самым уменьшая деформацию. Исследования показали, что скорость деформации молибденового стержня TZM ниже 1600°C можно контролировать в пределах 0,1%, что подходит для высокотемпературных пресс-форм и аэрокосмических деталей.

Стабильность коэффициента теплового расширения также связана с микроструктурой молибденового стержня TZM. Мелкий размер зерна (10-50 микрон) и равномерное распределение карбидов снижают миграцию границ зерен при высоких температурах, обеспечивая стабильность размеров. Кроме того, методы обработки поверхности, такие как полировка и нанесение покрытий, могут еще больше снизить концентрацию термических напряжений и повысить устойчивость к деформации.

3.2.2 Стойкость к тепловому удару молибденового стержня TZM

Устойчивость к тепловому удару является важным показателем стабильности высокотемпературных материалов в быстро меняющейся среде. Молибденовый стержень TZM обладает отличной стойкостью к тепловому удару благодаря высокой теплопроводности (139 Вт/м·К), низкому коэффициенту теплового расширения ($5,3 \times 10^{-6}/\text{K}$) и высокой механической прочности. При испытаниях на тепловой удар молибденовые стержни TZM способны выдерживать сотни циклов без явных трещин в быстром цикле от 1000°C до комнатной температуры, в то время как чистый молибден обычно показывает микротрещины после 50 циклов при тех же условиях.

Повышение устойчивости к тепловому удару обусловлено микроструктурой и свойствами сплава молибденовых стержней TZM. Осаждение твердосплавных частиц повышает прочность и ударную вязкость материала и уменьшает распространение трещин, вызванных термическими нагрузками. Кроме того, высокая теплопроводность позволяет молибденовому стержню TZM быстро рассеивать тепло, снижая внутреннее напряжение, вызванное температурными градиентами. В аэрокосмической отрасли молибденовые стержни TZM используются в качестве материалов ракетных сопел, которые способны выдерживать резкие перепады температур в камере сгорания, сохраняя при этом структурную целостность.

Согласно опубликованным техническим данным, стойкость молибденового стержня TZM к тепловому удару может быть дополнительно улучшена за счет оптимизации производственного процесса. Например, контролируя скорость охлаждения в процессе спекания, можно уменьшить микроскопические дефекты и повысить устойчивость материала к тепловому удару. Кроме того, поверхностные покрытия, такие как покрытия из диоксида циркония, могут еще больше повысить устойчивость к тепловому удару и продлить срок службы материала.

CTIA GROUP LTD
TZM Molybdenum Rod Introduction

1. Overview of TZM Molybdenum Rod

TZM molybdenum rods are high-performance molybdenum-based alloy materials composed of a molybdenum (Mo) matrix with small additions of titanium (Ti), zirconium (Zr), and carbon (C). Compared to pure molybdenum, TZM alloy offers significantly higher high-temperature strength, excellent thermal stability, superior creep resistance, and outstanding oxidation resistance, making it an ideal material for high-temperature structural applications.

2. Characteristics of TZM Molybdenum Rod

High Melting Point: Suitable for extreme high-temperature environments.

Excellent High-Temperature Strength: Maintains mechanical strength and rigidity at 1200–1600°C.

Good Thermal Stability and Creep Resistance: Ideal for long-term use under high temperatures with minimal deformation and high reliability.

Superior Corrosion and Oxidation Resistance: Applicable in vacuum, high-temperature inert atmospheres, and oxidative conditions.

Excellent Machinability: Suitable for turning, milling, grinding, and welding processes.

3. Typical Applications of TZM Molybdenum Rod

High-Temperature Furnace Components: Supports, heat shields, heating elements, and electrode rods.

Aerospace Industry: Structural components in rocket nozzles and engine parts operating under high temperatures.

Nuclear Industry: Used in reactor support structures and control rod guide systems.

Electronics Industry: Structural materials in ion implantation, evaporation sources, and semiconductor processing equipment.

Mold Manufacturing: Hot extrusion dies, aluminum alloy die-casting molds with excellent high-temperature wear resistance.

4. Specifications of TZM Molybdenum Rod

Main Ingredients	Mo: ≥ 99%
	Ti: 0.40–0.55%
	Zr: 0.06–0.12%
	C: 0.01–0.04%
Size Range	Diameter φ6mm – φ120mm, length up to 2000mm (customizable)
Surface	Black(forged), bright (turned or ground)
Processing Method	Forging, rolling, drawing, or machining forming

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

3.2.3 Ползучесть и долговременная стабильность молибденового стержня TZM

Ползучесть является одним из основных режимов разрушения высокотемпературных материалов при длительных нагрузках. Сопротивление ползучести молибденового стержня TZM намного лучше, чем у чистого молибдена. В условиях напряжения 1400°C и 20 МПа скорость ползучести молибденового стержня TZM составляет всего 1/10 от скорости ползучести чистого молибдена. Такое превосходное сопротивление ползучести обусловлено упрочнением титана и циркония в растворе и закреплением частиц карбида. Твердосплавные частицы могут эффективно предотвращать проскальзывание границ зерен и подъем по дислокациям, тем самым замедляя процесс ползучести.

Долговременная стабильность является ключевым преимуществом молибденовых стержней TZM в высокотемпературных системах. В ядерных реакторах молибденовые стержни TZM представляют собой конструкционные элементы, которые должны работать в течение нескольких лет в высокотемпературной и высокорadiационной среде для поддержания стабильной работы. Исследования показали, что молибденовые стержни TZM могут сохранять стабильную производительность до 5000 часов при температуре ниже 1600 °C, в то время как чистый молибден обычно подвергается значительному ползучести в течение 1000 часов при тех же условиях. Результаты показывают, что долговременная стабильность молибденовых стержней TZM тесно связана с их мелкозернистой структурой и равномерным распределением карбида.

Нельзя игнорировать влияние производственного процесса на свойства ползучести. Оптимизируя температуру и давление спекания в процессе порошковой металлургии, можно контролировать размер зерна и распределение карбида, что приводит к повышению сопротивления ползучести. Например, более низкая температура спекания (около 1800 °C) приводит к более мелким зернам и повышенному сопротивлению ползучести. Кроме того, процессы термической обработки, такие как старение, могут способствовать осаждению частиц карбида, что еще больше улучшает долгосрочную стабильность.

3.2.4 Усталостные характеристики и рециркуляционная способность молибденового стержня TZM

Усталостные характеристики молибденового стержня TZM при циклических нагрузках при высоких температурах лучше, чем у чистого молибдена. В условиях циклических напряжений 1200°C и ± 200 МПа усталостная долговечность молибденового стержня TZM может достигать 10^5 циклов, в то время как у чистого молибдена она составляет всего 10^4 циклов. Эти превосходные усталостные характеристики обусловлены его высокой прочностью и ударной вязкостью, а также препятствованием распространению трещин твердосплавными частицами. Результаты показывают, что скорость роста усталостных трещин молибденового стержня TZM составляет около 1/3 от скорости роста чистого молибдена, что свидетельствует о более высокой усталостной прочности.

Способность к переработке является важной характеристикой молибденового стержня TZM в высокотемпературной циклической среде. Например, в высокотемпературных печах

молибденовые стержни TZM используются в качестве нагревательных элементов для поддержания стабильной производительности во время повторяющихся циклов нагрева и охлаждения. Испытания показали, что молибденовые стержни TZM способны выдерживать тысячи циклов в циклах от 1000°C до комнатной температуры без существенного ухудшения эксплуатационных характеристик. Эта круглая форма делает его широко используемым в производстве высокотемпературных печей и полупроводникового оборудования.

Улучшение усталостных характеристик и способности к переработке также связано с качеством поверхности и микроструктурой. Полировка поверхности может уменьшить поверхностные дефекты и снизить вероятность образования усталостных трещин. Процессы термической обработки, такие как отжиг, могут устранить напряжение обработки и увеличить усталостную долговечность. Кроме того, добавление антиокислительного покрытия может снизить потери на окисление при высокотемпературном циклировании и продлить срок службы.

3.3 Взаимосвязь микроструктуры и свойств молибденового стержня TZM

Свойства молибденовых стержней TZM тесно связаны с их микроструктурой, включая структуру и ориентацию зерен, роль титана, циркония и углерода, а также морфологию поверхности и высокотемпературные свойства. Ниже приведен подробный анализ этих трех аспектов.

3.3.1 Структура зерен и ориентация молибденовых стержней TZM

Структура зерен молибденовых стержней TZM обычно контролируется методом порошковой металлургии с размером зерна от 10 до 50 микрон. Мелкозернистый размер увеличивает прочность и ударную вязкость материала, уменьшая проскальзывание границ зерен и ползучесть при высоких температурах. Исследования показали, что молибденовые стержни TZM имеют меньший размер зерна, чем чистый молибден (около 50-100 мкм), благодаря добавлению титана, циркония и углерода, которые подавляют рост зерен, образуя карбидные частицы.

Ориентация зерна также оказывает важное влияние на производительность молибденовых стержней TZM. В процессе прокатки иликовки зерна молибденового стержня TZM будут формировать определенную ориентацию вдоль направления обработки, проявляя анизотропию. Прочность на разрыв в направлении прокатки обычно примерно на 10-15% выше, чем в вертикальном направлении. Результаты показывают, что контроль температуры прокатки и деформации позволяет оптимизировать ориентацию зерна и улучшить механические свойства материала. Например, горячая прокатка (около 1400°C) позволяет получить более равномерную ориентацию зерна и повысить прочность при высоких температурах.

Оптимизация структуры зерна также связана с процессом термической обработки. Отжиг может снять напряжение при обработке и отрегулировать размер зерна; Обработка старением способствует осаждению частиц карбида и повышает граничную прочность зерна. В

совокупности эти процессы обеспечивают стабильность работы молибденовых стержней TZM при высоких температурах.

3.3.2 Роль титана, циркония и углерода

Титан, цирконий и углерод являются ключевыми элементами для улучшения характеристик молибденовых стержней TZM, и их роль в основном отражается в следующих аспектах:

Титан (Ti): Титан улучшает прочность решетки молибденовой матрицы за счет упрочнения раствором. Твердый раствор атомов титана в молибденовой решетке вызывает деформацию решетки и препятствует движению дислокаций, тем самым улучшая высокотемпературную прочность и сопротивление ползучести. Кроме того, титан вступает в реакцию с углеродом с образованием частиц карбида титана (TiC), которые повышают твердость и износостойкость материала за счет дисперсионного упрочнения.

Цирконий (Zr): цирконий действует аналогично титану, повышая прочность и стабильность материала за счет упрочнения раствора и упрочнения осаждением. Цирконий вступает в реакцию с углеродом с образованием частиц карбида циркония (ZrC), которые способны удерживать границы зерен при высоких температурах, предотвращая рост зерен и повышая температуру рекристаллизации. Цирконий также повышает стойкость к окислению молибденовых стержней TZM.

Углерод (C): Добавление углерода является основой улучшения эксплуатационных характеристик сплавов TZM. Частицы карбида, образующиеся в результате реакции углерода с титаном и цирконием, равномерно распределяются в молибденовой матрице, а прочность, сопротивление ползучести и температура рекристаллизации материала улучшаются за счет закрепления дислокаций и границ зерен. Исследования показали, что размер и распределение частиц карбида достигают оптимального состояния при содержании углерода 0,01-0,04%.

Согласно общедоступной информации, синергетический эффект титана, циркония и углерода делает молибденовые стержни TZM гораздо более эффективными, чем чистый молибден. Например, при 1400°C прочность на разрыв молибденовых стержней TZM примерно в 2 раза выше, чем у чистого молибдена, а скорость ползучести снижается примерно на 90%.

3.3.3 Морфология поверхности и высокотемпературные свойства молибденовых стержней TZM

Морфология поверхности молибденового стержня TZM оказывает важное влияние на его высокотемпературные характеристики. Поверхностные дефекты (например, микротрещины, пористость) могут стать точками концентрации напряжений, что приводит к распространению трещин при высоких температурах. Топография поверхности может быть значительно улучшена с помощью полировки поверхности, плазменного напыления или нанесения покрытий для улучшения характеристик при высоких температурах.

В высокотемпературной среде окисления морфология поверхности молибденового стержня TZM изменяется, образуя плотный защитный слой MoO_2 . Образование этого защитного слоя тесно связано с качеством поверхности. Исследования показали, что молибденовые стержни

TZM с высокой отделкой поверхности могут образовывать более однородный оксидный слой, тем самым улучшая стойкость к окислению. Кроме того, антиокислительные покрытия, такие как покрытия из силицида молибдена, могут еще больше улучшить топографию поверхности и продлить срок службы материалов в высокотемпературных окислительных средах.

Рельеф поверхности также влияет на стойкость молибденовых стержней TZM к тепловому удару. Гладкая поверхность снижает концентрацию термического напряжения и повышает устойчивость к тепловому удару. В аэрокосмической отрасли поверхность молибденовых стержней TZM часто нуждается в прецизионной обработке в соответствии с требованиями высокотемпературных циклических сред.

3.4 Срок службы и надежность молибденового стержня TZM

Долговечность и надежность молибденового стержня TZM являются ключевыми показателями для его применения в условиях высоких температур и высоких нагрузок. Ниже приведен подробный анализ по трем аспектам: факторы, влияющие на срок службы, анализ режима отказа и испытание на надежность.

3.4.1 Факторы, влияющие на срок службы молибденовых стержней TZM

На срок службы молибденовых стержней TZM влияет множество факторов, включая рабочую температуру, уровень напряжений, атмосферу окружающей среды, производственный процесс и обработку поверхности и т. д.:

Рабочая температура: Температура является основным фактором, влияющим на срок службы молибденовых стержней TZM. При температуре ниже 1600 °C молибденовый стержень TZM может сохранять долговременную стабильность; Однако при температуре выше 1800 °C скорость окисления и ползучести значительно увеличивается, что сокращает срок службы.

Уровень напряжения: Высокие напряжения могут ускорить ползучесть и усталостное разрушение. Например, при напряжении 1400°C и 50 МПа срок службы молибденового стержня TZM составляет примерно 1/3 от срока службы чистого молибдена.

Окружающая атмосфера: В вакууме или инертном газе срок службы молибденового стержня TZM может достигать тысяч часов; В окислительной среде для продления срока службы требуется антиокислительное покрытие.

Производственный процесс: Температура спекания, давление и процесс термообработки в процессе порошковой металлургии напрямую влияют на размер зерна и распределение карбида, что, в свою очередь, влияет на срок службы. Оптимизация процесса позволяет увеличить срок службы на 20-30%.

Обработка поверхности: Антиокислительное покрытие и полировка поверхности могут уменьшить окисление и образование трещин и продлить срок службы. Например, силицидное молибденовое покрытие может продлить срок службы молибденовых стержней TZM в окислительной среде при температуре 1200°C в 2-3 раза.

3.4.2 Анализ видов разрушения молибденовых стержней TZM (например, разрушение, коррозия)

Режимы разрушения молибденового стержня TZM в основном включают разрушение, коррозию и ползучести:

Перелом: Перелом обычно вызван усталостью или термическим напряжением. При циклическом использовании высоких температур поверхностные дефекты могут привести к распространению трещин, что приведет к хрупким или пластичным разрушениям. Результаты показывают, что вязкость разрушения молибденового стержня TZM ($15\text{-}20 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$) выше, чем у чистого молибдена, но качество поверхности все еще нуждается в оптимизации для снижения риска разрушения.

Коррозия: В высокотемпературной окислительной среде молибденовые стержни TZM могут выйти из строя из-за откола оксидного слоя. Образование летучего MoO_3 ускоряет потерю материала. Антиокислительное покрытие может эффективно замедлить коррозию.

Разрушение при ползучести: Длительное высокотемпературное напряжение может привести к разрушению при ползучести, которое проявляется медленной деформацией материала и потерей прочности. Связывающее действие твердосплавных частиц значительно снижает скорость ползучести, но высокое напряжение все равно может привести к выходу из строя.

Анализ видов отказов показывает, что оптимизация качества поверхности и технологии нанесения покрытий является ключом к увеличению срока службы молибденовых стержней TZM. Например, покрытия из оксида алюминия, нанесенные CVD, могут значительно снизить окислительную коррозию.

3.4.3 Испытание на надежность молибденового стержня TZM

Испытание на надежность молибденового стержня TZM обычно включает в себя испытание на прочность при высокой температуре, испытание на ползучесть и испытание на термоудар и усталостное испытание:

Испытание на прочность при высоких температурах: прочность на разрыв и предел текучести проверяются при температуре $1200\text{-}1600^\circ\text{C}$ на испытательной машине, чтобы убедиться, что материал соответствует проектным требованиям.

Испытание на ползучесть : Проверьте скорость ползучести при 1400°C и напряжении $20\text{-}50 \text{ МПа}$ для оценки долгосрочной стабильности. Результаты испытаний показывают, что стойкость молибденовых стержней TZM значительно превышает таковой у чисто молибденовых стержней.

Испытание на тепловой удар: Устойчивость к тепловому удару проверяется с помощью быстрых циклов нагрева и охлаждения (от 1000°C до комнатной температуры). Молибденовые стержни TZM обычно выдерживают сотни циклов без растрескивания.

Усталостное испытание: Испытайте усталостную долговечность при циклическом напряжении 1200°C и $\pm 200 \text{ МПа}$ для оценки циклической способности.

Результаты испытаний на надежность показывают, что молибденовый стержень TZM обладает отличной надежностью в условиях высоких температур и высоких нагрузок и подходит для использования в аэрокосмической, атомной промышленности и производстве полупроводников. Благодаря строгому контролю качества и испытаниям, надежность молибденового стержня TZM может достигать более 99,9%.



CTIA GROUP LTD TZM Молибденовый стержень

4. Процесс подготовки и технология молибденового стержня TZM

4.1 Выбор и подготовка сырья для молибденовых стержней TZM

Поскольку молибденовый стержень TZM является высокоэффективным легированным материалом, его характеристики в значительной степени зависят от качества и соотношения сырья. Выбор и подготовка сырья является основой для приготовления молибденовых стержней TZM, которые напрямую влияют на микроструктуру и свойства конечного продукта. Ниже приведен подробный анализ по четырем аспектам: очистка порошка молибдена, выбор углеродной добавки титана и циркония, оптимизация соотношения сплавов, тестирование сырья и контроль качества.

4.1.1 Требования к очистке и качеству порошка молибдена

Молибденовый порошок является основным сырьем для молибденового стержня TZM, а его чистота и качество имеют решающее значение для свойств сплава. Порошок молибдена обычно получают путем восстановления паравольфрамата аммония. Процесс очистки в основном состоит из следующих этапов:

Очистка руды: Порошок молибдена обычно извлекается из концентратов молибдена, таких как молибден. Молибденит подвергается флотации и обжигу для удаления примесей, таких как сера и кремний, с получением триоксида молибдена высокой чистоты.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Химическое восстановление: триоксид молибдена восстанавливается до порошка молибдена в поэтапном режиме в атмосфере водорода. Процесс восстановления делится на низкотемпературное восстановление ($400-600\text{ }^{\circ}\text{C}$, MoO_3) и высокотемпературное восстановление ($800-1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, металлический порошок молибдена). Исследование показывает, что в современном процессе восстановления используется многоступенчатая восстановительная печь, чтобы гарантировать, что чистота порошка молибдена достигает более 99,95%.

Контроль размера частиц: размер частиц молибденового порошка обычно контролируется на уровне 1-5 микрон, слишком большой размер частиц приведет к неравномерному спеканию, а слишком малый размер частиц увеличит производственные затраты. Мелкий и равномерный размер частиц помогает улучшить плотность и механические свойства молибденовых стержней TZM.

Требования к качеству молибденового порошка включают высокую чистоту ($\geq 99,95\%$), низкое содержание кислорода ($\leq 0,005\%$), низкое содержание примесей (например, железа, кремния, алюминия и т. д. $\leq 0,01\%$) и равномерное распределение частиц по размерам. Эти требования обеспечивают стабильность и коррозионную стойкость молибденовых стержней TZM при высоких температурах.

4.1.2 Подбор добавок к титану, цирконию и углероду

Легирующие элементы молибденовых стержней TZM включают титан (Ti, 0,4-0,55%), цирконий (Zr, 0,06-0,12%) и углерод (C, 0,01-0,04%), а выбор этих добавок имеет решающее значение для свойств сплава:

Титан (Ti): Титан обычно добавляется в виде титановых порошков высокой чистоты ($\geq$ чистотой 99,9%) или соединений титана (например, TiH_2). Размер частиц титанового порошка контролируется с точностью до 1-10 микрон, чтобы обеспечить равномерное смешивание с молибденовым порошком. Добавление титана улучшает высокотемпературную прочность и сопротивление ползучести сплава за счет упрочнения раствором и осаждения (образования частиц TiC).

Цирконий (Zr): цирконий добавляют в виде порошка циркония высокой чистоты (чистота $\geq 99,9\%$) или соединения циркония (например, ZrH_2), обычно с размером частиц 1-5 микрон. Цирконий повышает стойкость к окислению и температуру рекристаллизации сплава за счет упрочнения раствора и образования частиц ZrC .

Углерод (C): Углерод обычно добавляется в виде графитового порошка или технического углерода, чистота должна достигать более 99,99%, а размер частиц контролируется на уровне 0,5-2 микрона. Углерод вступает в реакцию с титаном и цирконием с образованием частиц карбида (TiC и ZrC), которые упрочняются осаждением для улучшения твердости и сопротивления ползучести сплава.

Исследования показали, что добавки выбираются на основе их химической активности, гранулометрического состава и совместимости с молибденовым порошком. Например, гидриды титана и циркония разлагаются в процессе спекания с выделением водорода, что

способствует снижению содержания кислорода и улучшению чистоты сплава.

4.1.3 Оптимизация соотношения сплавов

Соотношение легов молибденового стержня TZM (Mo: 99,38-99,5%, Ti: 0,4-0,55%, Zr: 0,06-0,12%, C: 0,01-0,04%) необходимо оптимизировать с помощью экспериментов и моделирования, чтобы сбалансировать прочность, ударную вязкость и стойкость к окислению. Ключевые моменты оптимизации соотношения включают в себя:

Соотношение титана и циркония: Соотношение титана и циркония обычно составляет от 5:1 до 8:1, что обеспечивает синергетический эффект упрочнения раствора. Слишком высокое содержание титана может привести к повышенной хрупкости, а слишком высокое содержание циркония может привести к увеличению затрат.

Контроль содержания углерода: содержание углерода необходимо точно контролировать на уровне 0,01-0,04%, слишком низкое значение приведет к нехватке частиц карбида и снижению упрочняющего эффекта; Слишком высокое значение может привести к образованию слишком большого количества карбида и снижению ударной вязкости.

Гомогенность: Равномерное распределение титана, циркония и углерода в молибденовом порошке обеспечивается механическим смешиванием или процессом шарового измельчения, чтобы избежать локальной сегрегации, влияющей на производительность.

Полученные результаты показывают, что оптимальное соотношение позволяет увеличить прочность на разрыв молибденового стержня TZM на 10-15% и снизить скорость ползучести на 20-30%.

4.1.4 Испытания и контроль качества сырья

Контроль качества сырья является ключевой частью обеспечения стабильной производительности молибденовых стержней TZM. Анализы включают в себя:

Анализ химического состава: Эмиссионная спектроскопия с индуктивно связанной плазмой (ICP-OES) или рентгенофлуоресцентная спектроскопия (XRF) использовалась для определения содержания молибдена, титана, циркония и углерода, чтобы убедиться в соблюдении требований к соотношениям.

Анализ размеров частиц: распределение частиц порошка по размерам измеряется лазерным анализатором размеров частиц для обеспечения однородности размера частиц.

Обнаружение примесей: масс-спектрометрия тлеющего разряда (GDMS) используется для определения содержания примесей, таких как кислород, азот и железо, чтобы гарантировать, что оно ниже стандартного предела.

Анализ микроструктуры: Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) и рентгеновская дифракция (XRD) используются для анализа топографии и кристаллической структуры порошков для обеспечения отсутствия дефектов и сегрегации.

Исследования показывают, что ведущий мировой производитель молибденовых стержней TZM использует систему менеджмента качества ISO 9001 для обеспечения качества сырья

посредством многоуровневых испытаний. Контроль качества также включает в себя аудит поставщиков, отслеживание партий и мониторинг производственных процессов, чтобы гарантировать постоянство и прослеживаемость сырья.

4.2 Процесс металлургии молибденовой катанки TZM

Металлургический процесс производства молибденовых стержней TZM включает в себя такие этапы, как смешивание и прессование порошка, спекание, ковка и прокатка, а также экструзия и волочение. Эти процессы напрямую определяют микроструктуру и свойства молибденовых стержней TZM. Ниже приведен анализ деталей и технических моментов каждого подпроцесса.

4.2.1 Смешивание и прессование порошков

4.2.1.1 Технология механического легирования

Механическое легирование является ключевым этапом в подготовке молибденовых стержней TZM, где молибденовый порошок, титановый порошок, порошок циркония и порошок тонера равномерно смешиваются с помощью высокоэнергетического шарового фрезерования. К основным параметрам механического легирования можно отнести:

Оборудование шаровой мельницы: планетарная шаровая мельница или вибрационная шаровая мельница, мелющей средой обычно являются шарики порошка карбида вольфрама.

Соотношение гранул: обычно от 10:1 до 20:1 для обеспечения эффективного смешивания и измельчения.

Время измельчения: 6-12 часов, слишком долго могут появиться примеси, слишком короткий не будет смешиваться равномерно.

Контроль атмосферы: осуществляется под защитой аргона или азота во избежание окисления.

Механическое легирование не только обеспечивает равномерное смешивание порошков, но и усиливает эффект твердого раствора титана, циркония и молибдена за счет высокоэнергетических микроструктурных изменений, вызванных столкновением. Исследования показали, что механическое легирование позволяет повысить равномерность смешивания порошков до более чем 99%, значительно улучшив качество последующего спекания.

4.2.1.2 Процесс изостатического прессования

Изостатическое прессование (CIP) является ключевым процессом для прессования смешанных порошков в заготовки. Формование изостатическим давлением обеспечивает равномерную плотность заготовки за счет приложения равномерного давления к жидкой среде, такой как вода или масло. К основным параметрам можно отнести:

Давление: 150-300 МПа, слишком высокое может привести к образованию трещин в заготовке, слишком низкое приведет к недостаточной плотности.

Материал формы: высокопрочная резиновая или полиуретановая форма, устойчивость к

давлению и хорошая гибкость.

Плотность заготовки: 60-70% от теоретической плотности, что обеспечивает основу для последующего спекания.

Преимуществом изостатического прессования является возможность подготовки заготовок со сложными формами, сокращая объем последующей обработки. Исследования показали, что комбинация холодного изостатического прессования (CIP) и горячего изостатического прессования (HIP) может еще больше увеличить плотность заготовки до более чем 90% от теоретической плотности.

4.2.2 Процесс спекания

4.2.2.1 Технология вакуумного спекания

Вакуумное спекание является стержневым процессом при подготовке молибденовых стержней ТЗМ, который затвердевает заготовку в сплав высокой плотности путем высокотемпературного спекания. К основным параметрам можно отнести:

Температура: 1800-2000 °С, ниже температуры плавления молибдена (2623 °С), избегайте жидкофазного спекания.

Вакуум: 10^{-3} - 10^{-5} Па для снижения загрязнения кислородом и азотом.

Время выдержки: 2-4 часа для обеспечения равномерного осаждения карбидных частиц.

Вакуумное спекание позволяет эффективно удалять поры в заготовке и увеличивать плотность до более чем 98% от теоретической плотности. В ведущей в мире вакуумной печи для спекания используются нагревательные элементы из вольфрамовой проволоки для обеспечения однородности температуры.

4.2.2.2 Спекание в атмосфере и регулирование температуры

В некоторых случаях молибденовые стержни ТЗМ спекаются в атмосфере (например, водородной или аргоновой атмосфере) для снижения затрат. К основным параметрам атмосферного спекания можно отнести:

Атмосфера: Водород высокой чистоты (чистота $\geq 99,999\%$) или аргон, избегайте окисления.

Контроль температуры: Многоступенчатые кривые нагрева (такие как предварительное спекание 1000°C, основное спекание 1800°C) используются для предотвращения трещин, вызванных быстрым повышением температуры.

Скорость охлаждения: контролируется на уровне 5-10°C/мин для предотвращения трещин, вызванных термическими нагрузками.

Преимущество агломерации в атмосфере заключается в том, что стоимость ниже, но чистоту атмосферы нужно строго контролировать, чтобы избежать загрязнения примесями. Исследования показали, что плотность спеченных в атмосфере молибденовых стержней ТЗМ может достигать 95-97% от теоретической плотности.

CTIA GROUP LTD

TZM Molybdenum Rod Introduction

1. Overview of TZM Molybdenum Rod

TZM molybdenum rods are high-performance molybdenum-based alloy materials composed of a molybdenum (Mo) matrix with small additions of titanium (Ti), zirconium (Zr), and carbon (C). Compared to pure molybdenum, TZM alloy offers significantly higher high-temperature strength, excellent thermal stability, superior creep resistance, and outstanding oxidation resistance, making it an ideal material for high-temperature structural applications.

2. Characteristics of TZM Molybdenum Rod

High Melting Point: Suitable for extreme high-temperature environments.

Excellent High-Temperature Strength: Maintains mechanical strength and rigidity at 1200–1600°C.

Good Thermal Stability and Creep Resistance: Ideal for long-term use under high temperatures with minimal deformation and high reliability.

Superior Corrosion and Oxidation Resistance: Applicable in vacuum, high-temperature inert atmospheres, and oxidative conditions.

Excellent Machinability: Suitable for turning, milling, grinding, and welding processes.

3. Typical Applications of TZM Molybdenum Rod

High-Temperature Furnace Components: Supports, heat shields, heating elements, and electrode rods.

Aerospace Industry: Structural components in rocket nozzles and engine parts operating under high temperatures.

Nuclear Industry: Used in reactor support structures and control rod guide systems.

Electronics Industry: Structural materials in ion implantation, evaporation sources, and semiconductor processing equipment.

Mold Manufacturing: Hot extrusion dies, aluminum alloy die-casting molds with excellent high-temperature wear resistance.

4. Specifications of TZM Molybdenum Rod

Main Ingredients	Mo: ≥ 99%
	Ti: 0.40–0.55%
	Zr: 0.06–0.12%
	C: 0.01–0.04%
Size Range	Diameter φ6mm – φ120mm, length up to 2000mm (customizable)
Surface	Black(forged), bright (turned or ground)
Processing Method	Forging, rolling, drawing, or machining forming

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

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

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

4.2.3 Ковка и прокатка

4.2.3.1 Процессы горячей и холодной штамповки

Ковка является важным этапом подготовки молибденовых стержней ТЗМ для улучшения плотности и механических свойств заготовки. Процессы горячей и холодной штамповки следующие:

Горячая штамповка: выполняется при температуре 1200-1600°C, с использованием пластичности молибдена для улучшения структуры зерна. Давление горячей штамповки обычно составляет 50-100 МПа, а деформация контролируется на уровне 30-50%.

Холодная штамповка: выполняется при комнатной температуре для отделки и улучшения качества поверхности. Холодная штамповка требует более высоких давлений (100-200 МПа), но может значительно повысить прочность.

Горячая штамповка устраняет микропоры в спеченной заготовке и увеличивает плотность до более чем 99% от теоретической плотности. Холодная штамповка дополнительно оптимизирует ориентацию волокон и повышает прочность анизотропии.

4.2.3.2 Прокатное оборудование и технологические параметры

Прокатка является ключевым процессом для переработки кованных заготовок в прутки. Прокатное оборудование включает в себя четырехканальные прокатные станы и многоканальные прокатные станы, а к основным параметрам относятся:

Температура прокатки: 1000-1400°C для обеспечения пластичности материала.

Деформация: Деформация одного проката контролируется на уровне 10-20%, чтобы избежать трещин.

Скорость прокатки: 0,5-2 м/с, баланс эффективности и качества.

Процесс прокатки позволяет значительно улучшить качество поверхности и точность размеров молибденовых прутков ТЗМ. Исследование показало, что современное прокатное оборудование использует сервосистему управления для обеспечения точного контроля параметров прокатки.

4.2.4 Выдавливание и волочение

4.2.4.1 Технология высокотемпературной экструзии

Высокотемпературная экструзия – это процесс переработки прокатанных заготовок в удлиненные прутки, как правило, при температуре 1200-1600°C. К основным параметрам можно отнести:

Коэффициент экструзии: от 5:1 до 10:1 для обеспечения равномерной деформации.

Материал формы: карбид вольфрама или жаропрочный сплав, износостойкий и устойчивый к высоким температурам.

Смазка: Дисульфид графита или молибдена для снижения трения и износа матрицы.

Высокотемпературная экструзия позволяет значительно улучшить плотность и механические свойства молибденового прутка ТЗМ, который подходит для приготовления высокоточных прутков.

4.2.4.2 Волочение штампов и смазочных материалов

Волочение – это процесс отделки молибденовых стержней ТЗМ для получения высокой точности и гладкости поверхностей. К основным параметрам можно отнести:

Материал формы: карбид вольфрама или алмазная форма, высокая твердость, износостойкость.

Скорость волочения: 0,1-0,5 м/с для избежания царапин на поверхности.

Смазочные материалы: сухая смазка (например, графитовый порошок) или влажная смазка (например, смазочные материалы на масляной основе).

Процесс волочения может улучшить шероховатость поверхности молибденового стержня ТЗМ и повысить усталостную прочность.

4.3 Обработка и отделка молибденового прутка ТЗМ

Процессы механической обработки и отделки молибденовых стержней ТЗМ включают токарную и фрезерную обработку, шлифовку и полировку, термообработку и отжиг, а также обработку поверхности. Эти процессы обеспечивают точность размеров, качество поверхности и стабильность эксплуатационных характеристик молибденовых стержней ТЗМ.

4.3.1 Токарная и фрезерная обработка

4.3.1.1 Технология обработки с ЧПУ

Обработка с числовым программным управлением (ЧПУ) является основным методом отделки молибденовых стержней ТЗМ для изготовления деталей сложной формы. К основным параметрам можно отнести:

Материал инструмента: карбид вольфрама или поликристаллический алмаз (PCD), высокая твердость и износостойкость.

Скорость резки: 50-100 м/мин, избегайте перегрева.

Подача: 0,05-0,2 мм/об, баланс эффективности и качества поверхности.

Обработка на станках с ЧПУ позволяет достичь точности размеров молибденовых стержней ТЗМ до $\pm 0,05$ мм, что соответствует требованиям аэрокосмического и полупроводникового оборудования. Исследования показали, что современные обрабатывающие центры с ЧПУ способны обрабатывать сложные геометрии с использованием технологии пятиосевой рычажки.

4.3.1.2 Точность обработки и шероховатость поверхности

Точность обработки и шероховатость поверхности молибденового стержня ТЗМ оказывают

важное влияние на его производительность. Увеличение шероховатости поверхности (Ra) снизит концентрацию напряжений и образование трещин. Контроль точности обработки опирается на высокоточные станки и строгую оптимизацию параметров процесса. Например, использование низкоскоростной резки и подачи СОЖ может уменьшить зону термического влияния и улучшить качество поверхности.

4.3.2 Шлифовка и полировка

4.3.2.1 Технология механической полировки

Механическая полировка удаляет мельчайшие дефекты на поверхности молибденовых стержней TZM с помощью шлифовального круга или полировальной салфетки для улучшения качества поверхности. К основным параметрам можно отнести:

Абразив: алмаз или оксид алюминия, размер частиц 0,5-5 мкм.

Скорость полировки: 1000-3000 об/мин, контроль нагрева трения.

Полировальная среда: полировальная суспензия на водной или масляной основе.

Механическая полировка улучшает шероховатость поверхности и значительно повышает усталостную прочность.

4.3.2.2 Химическая полировка и электрополировка

Химическая полировка и электрополировка используются для дальнейшего улучшения качества поверхности молибденовых стержней TZM:

Химическая полировка: коррозия поверхностных микродефектов кислотными растворами (например, смесью азотной кислоты и серной кислоты) с шероховатостью поверхности до 0,02 мкм.

Электрополировка: удаление поверхностного материала путем анодного растворения в электролите, подходит для высокоточных деталей. Напряжение электрополировки обычно составляет 10-20 В, а плотность тока - 0,5-2 А/см².

Химическая полировка и электрополировка могут значительно улучшить коррозионную стойкость и качество поверхности молибденовых стержней TZM.

4.3.3 Термическая обработка и отжиг

4.3.3.1 Температура отжига и контроль зерна

Отжиг является ключевым процессом для снятия технологического напряжения и оптимизации структуры зерна. Отжиг молибденовых стержней TZM обычно осуществляется в вакууме или инертной атмосфере при температуре 1000-1400°C. К основным параметрам можно отнести:

Температура отжига: 1200°C для снятия большей части напряжения, 1400°C для регулировки размера зерна.

Время выдержки: 1-2 часа для обеспечения гомогенизации зерна.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Скорость охлаждения: 5-10°C/мин для предотвращения термического стресса.

Отжиг позволяет контролировать размер зерна молибденовых стержней TZM до 10-30 микрон, улучшая ударную вязкость и сопротивление ползучести.

4.3.3.2 Методы снятия напряжения

Методы снятия напряжения включают низкотемпературный отжиг (800-1000°C) и сброс вибрационного напряжения. Низкотемпературный отжиг подходит для обработанных деталей, в то время как сброс вибрационных напряжений снимает остаточные напряжения за счет механической вибрации. Эти технологии могут повысить усталостную долговечность и стабильность размеров молибденовых стержней TZM.

4.3.4 Обработка поверхности

4.3.4.1 Технология нанесения антиоксидантных покрытий

Антиокислительное покрытие является ключевой технологией для продления срока службы молибденовых стержней TZM в высокотемпературных окислительных средах. К наиболее часто используемым покрытиям относятся:

Покрытие из силицида молибдена (MoSi_2): осаждение методом химического осаждения из газовой фазы (CVD) или плазменного осаждения защищает материал при температуре 1500 °C.

Покрытие из оксида алюминия (Al_2O_3): Устойчиво к высокотемпературному окислению и коррозии при физическом осаждении из газовой фазы (PVD).

Антиокислительное покрытие позволяет продлить срок службы молибденовых стержней TZM в окислительной среде при температуре 1200°C в 2-3 раза.

4.3.4.2 Науглероживание и азотирование поверхности

Науглероживание поверхности и азотирование повышают твердость поверхности и износостойкость за счет введения атомов углерода или азота в поверхность молибденовых стержней TZM:

Цементация: проводится в атмосфере углерода при температуре 1000-1200 °C для получения твердосплавного слоя с твердостью до 500 HV.

Азотирование: проводится в атмосфере азота 800-1000°C для создания нитридного слоя и повышения коррозионной стойкости.

Процессы науглероживания и азотирования позволяют значительно повысить износостойкость и усталостную стойкость молибденовых стержней TZM.

4.4 Оборудование и автоматизация производства молибденовых прутков TZM

Производственное оборудование и технологии автоматизации молибденового прутка TZM имеют решающее значение для эффективности производства и качества продукции. Ниже

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

анализируются три аспекта: ключевое производственное оборудование, автоматизация и интеллект производственной линии, чистое помещение и контроль окружающей среды.

4.4.1 Основное производственное оборудование

4.4.1.1 Вакуумные печи для спекания

Вакуумная печь для спекания является стержневым оборудованием в производстве молибденовых стержней ТЗМ, которое используется для спекания порошковых заготовок в сплавы высокой плотности. К ключевым особенностям можно отнести:

Нагревательный элемент: __вольфрамовый нагреватель, устойчивость к высоким температурам и равномерная теплопроводность.

Вакуум: 10^{-3} - 10^{-5} Па для снижения окислительного загрязнения.

Контроль температуры: точность $\pm 5^{\circ}\text{C}$ для обеспечения равномерности спекания.

Ведущая в мире вакуумная печь для спекания оснащена системой управления ПЛК, которая может обеспечить многоступенчатый нагрев и точный контроль температуры.

4.4.1.2 Кузнечно-прокатное оборудование

Кузнечно-прокатное оборудование включает в себя гидравлическую ковочную машину и четырехвалковый прокатный стан, а к основным особенностям можно отнести:

Ковочная машина: давление 500-2000 тонн, подходит для горячей штамповки и холодной штамповки.

Прокатный стан: сервоуправление, скорость прокатки 0,5-2 м/с, точность $\pm 0,05$ мм.

Эти станки способны выполнять высокоплотную и высокоточную обработку молибденовых стержней ТЗМ.

4.4.1.3 Обработывающие центры с ЧПУ

Обработывающий центр с ЧПУ используется для отделки молибденовых стержней ТЗМ и оснащен пятиосевой рычажной системой и инструментами из карбида вольфрама, которые могут выполнять обработку сложных форм. Точность обработки может достигать $\pm 0,01$ мм, а шероховатость поверхности $Ra < 1,6$ мкм.

4.4.2 Автоматизация и интеллект производственных линий

Автоматизация и интеллектуальные возможности линии по производству молибденовых прутков ТЗМ значительно повышают эффективность производства и стабильность качества. Ключевые технологии включают в себя:

Автоматическое управление: системы PLC и SCADA используются для контроля параметров спекания,ковки и обработки в режиме реального времени.

Интеллектуальный контроль: мониторинг заготовок и готовой продукции на наличие дефектов в режиме реального времени с помощью встроенного рентгеновского контроля и

ультразвукового контроля.

Аналитика данных: используйте большие данные и искусственный интеллект для оптимизации параметров процесса и повышения стабильности продукции.

Исследования показали, что интеллектуальные производственные линии могут повысить эффективность производства на 30% и снизить процент брака до менее чем 1%.

4.4.3 Чистое помещение и экологический контроль на производстве

Производство молибденовых стержней ТЗМ является экологически ответственным и должно осуществляться в чистом помещении во избежание загрязнения пылью и примесями. Ключевые меры включают в себя:

Чистота: чистое помещение класса ISO 7, концентрация частиц $< 10\,000$ частиц/м³.

Контроль окружающей среды: температура 20-25°C, влажность 40-60%, не допускайте поглощения влаги порошком.

Защита атмосферы: Смешивание порошков и спекание осуществляются под защитой аргона или водорода с содержанием кислорода < 10 ppm.

Контроль чистоты и окружающей среды обеспечивает высокую чистоту и стабильность производительности молибденовых стержней ТЗМ, что делает их особенно подходящими для полупроводниковых и аэрокосмических применений.



CTIA GROUP LTD TZM Молибденовый стержень

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

CTIA GROUP LTD
TZM Molybdenum Rod Introduction

1. Overview of TZM Molybdenum Rod

TZM molybdenum rods are high-performance molybdenum-based alloy materials composed of a molybdenum (Mo) matrix with small additions of titanium (Ti), zirconium (Zr), and carbon (C). Compared to pure molybdenum, TZM alloy offers significantly higher high-temperature strength, excellent thermal stability, superior creep resistance, and outstanding oxidation resistance, making it an ideal material for high-temperature structural applications.

2. Characteristics of TZM Molybdenum Rod

High Melting Point: Suitable for extreme high-temperature environments.

Excellent High-Temperature Strength: Maintains mechanical strength and rigidity at 1200–1600°C.

Good Thermal Stability and Creep Resistance: Ideal for long-term use under high temperatures with minimal deformation and high reliability.

Superior Corrosion and Oxidation Resistance: Applicable in vacuum, high-temperature inert atmospheres, and oxidative conditions.

Excellent Machinability: Suitable for turning, milling, grinding, and welding processes.

3. Typical Applications of TZM Molybdenum Rod

High-Temperature Furnace Components: Supports, heat shields, heating elements, and electrode rods.

Aerospace Industry: Structural components in rocket nozzles and engine parts operating under high temperatures.

Nuclear Industry: Used in reactor support structures and control rod guide systems.

Electronics Industry: Structural materials in ion implantation, evaporation sources, and semiconductor processing equipment.

Mold Manufacturing: Hot extrusion dies, aluminum alloy die-casting molds with excellent high-temperature wear resistance.

4. Specifications of TZM Molybdenum Rod

Main Ingredients	Mo: ≥ 99%
	Ti: 0.40–0.55%
	Zr: 0.06–0.12%
	C: 0.01–0.04%
Size Range	Diameter φ6mm – φ120mm, length up to 2000mm (customizable)
Surface	Black(forged), bright (turned or ground)
Processing Method	Forging, rolling, drawing, or machining forming

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

5. Контроль качества и испытания молибденового стержня TZM

Поскольку молибденовый стержень TZM является материалом с высокими эксплуатационными характеристиками, контроль качества и проверка молибденового стержня TZM является ключом к обеспечению его стабильной работы в высокотемпературных, высоконапряженных и коррозионных средах. Контроль качества проходит через весь производственный процесс от выбора сырья до проверки готовой продукции и включает в себя множество аспектов, таких как технология онлайн-тестирования, тестирование производительности и анализ отказов. Ниже приведен подробный анализ технологии контроля качества и тестирования молибденового стержня TZM из трех подразделов: технология онлайн-тестирования, тестирование производительности, а также анализ и улучшение отказов.

5.1 Технология обнаружения молибденового стержня TZM в режиме реального времени

Технология внутритрубной диагностики является важной частью производственного процесса молибденовых стержней TZM, которая используется для контроля качества продукции в режиме реального времени и обеспечения точности размеров, качества поверхности и целостности внутренней структуры. Ниже приведен подробный анализ с двух аспектов: проверка размеров и геометрической точности, а также обнаружение поверхностных дефектов и трещин.

5.1.1 Проверка размерной и геометрической точности

Размер и геометрическая точность молибденового стержня TZM напрямую влияют на его применение в аэрокосмической, атомной промышленности и полупроводниковом оборудовании. Контроль размерной и геометрической точности в основном включает в себя следующие технологии:

Лазерное дальномерное и трехкоординатное измерение: лазерный дальномер может достигать бесконтактного высокоточного измерения с точностью $\pm 0,01$ мм, что подходит для определения диаметра, длины и округлости молибденовых стержней TZM. Координатно-измерительные машины (КИМ) измеряют геометрию стержней с помощью тактильного шупа и способны обнаруживать отклонения размеров в сложных формах. Например, в аэрокосмической промышленности молибденовые стержни TZM должны иметь допуски по диаметру в пределах $\pm 0,02$ мм, и КИМ способны удовлетворить это требование.

Оптический профилограф: Оптический профилограф измеряет профиль поверхности и геометрию молибденовых стержней TZM с помощью интерферометрии белого света, которая подходит для определения цилиндричности и прямолинейности стержней. Обладая разрешением до 0,1 мкм, он подходит для высокоточных применений.

Система визуального контроля в режиме реального времени: Современная производственная линия использует технологию ПЗС-камеры и обработки изображений для мониторинга размера и геометрии молибденового стержня TZM в режиме реального времени. Система использует алгоритмы машинного обучения для выявления отклонений размеров, а скорость обнаружения может достигать 10 штук в секунду, что значительно повышает

эффективность производства.

Исследования показали, что контроль размерной и геометрической точности часто сочетается со стандартом ISO 1101, чтобы гарантировать, что молибденовые стержни TZM соответствуют строгим требованиям аэрокосмического (например, ракетные сопла) и полупроводникового оборудования (например, мишени для распыления). Температура окружающей среды (20-25°C) и влажность (40-60%) должны контролироваться в процессе контроля, чтобы избежать ошибок измерения, вызванных тепловым расширением или влажностью.

5.1.2 Обнаружение поверхностных дефектов и трещин

Поверхностные дефекты (например, царапины, трещины, пористость) и внутренние трещины могут значительно снизить механические свойства и срок службы молибденовых стержней TZM. Для обнаружения поверхностных дефектов и трещин используются следующие методы:

Ультразвуковой контроль (УЗИ): Ультразвуковой контроль обнаруживает трещины, поры и включения внутри молибденовых стержней TZM с помощью высокочастотных акустических волн. Частота контроля обычно составляет 5-10 МГц, диаметр преобразователя 5-10 мм, и он способен обнаруживать дефекты размером более 0,1 мм. Ультразвуковой контроль подходит для оценки целостности внутренней структуры стержней, особенно в атомной промышленности.

Вихретоковый контроль (ЕТ): Вихретоковый контроль обнаруживает микроскопические трещины и изменения проводимости на поверхности молибденовых стержней TZM с помощью электромагнитной индукции. Чувствительность обнаружения может достигать 0,05 мм, что подходит для поточного обнаружения. Преимущество вихретокового контроля заключается в том, что он быстрый (до 1 м/с) и подходит для крупносерийного производства.

Рентгеновский контроль (РТ): рентгеновский контроль используется для обнаружения глубоких дефектов, таких как пористость и включения внутри молибденовых стержней TZM. Современные цифровые рентгеновские системы визуализации позволяют получать изображения с высоким разрешением (разрешение < 0,1 мм) для контроля высоконадежных компонентов.

Визуальный осмотр поверхности: ПЗС-камера высокого разрешения в сочетании с алгоритмами искусственного интеллекта может обнаруживать царапины, ямки и оксидные слои на поверхности молибденовых стержней TZM с точностью до 0,01 мм. Исследования показали, что система визуального контроля может снизить процент брака до менее чем 0,5% при производстве молибденовых стержней TZM.

Эти методы контроля часто используются в сочетании для достижения комплексного контроля поверхностных и внутренних дефектов. Например, для внутренних дефектов используется ультразвуковой и рентгеновский контроль, а для поверхностных дефектов – вихретоковый и визуальный. Результаты испытаний соответствуют международным стандартам, таким как ASTM E1444 (вихретоковый контроль) и ASTM E1742 (рентгеновский

контроль).

5.2 Эксплуатационные характеристики молибденового стержня TZM

Эксплуатационные испытания являются важным этапом оценки производительности молибденовых стержней TZM в высокотемпературных, высоконагруженных и коррозионных средах. Ниже приведен подробный анализ по трем аспектам: испытание на прочность и твердость при высоких температурах, испытание на коррозионную стойкость и стойкость к окислению, а также испытание на тепловое расширение и теплопроводность.

5.2.1 Испытание на прочность и твердость при высоких температурах

Высокотемпературная прочность и твердость молибденового стержня TZM являются его основными показателями эффективности в аэрокосмической и атомной промышленности. Методы испытаний включают в себя:

Высокотемпературные испытания на растяжение: Проводятся в вакууме или инертной атмосфере 1200-1600°C с использованием высокотемпературной машины для испытаний на растяжение (например, серии Instron 5980). Результаты испытаний показывают, что прочность на разрыв молибденового стержня TZM при 1200°C составляет 400-500 МПа, что значительно выше, чем у чистого молибдена при давлении 200-300 МПа. Испытание должно проводиться в соответствии со стандартом ASTM E21 для обеспечения точности регулирования температуры $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

Испытание на высокотемпературное сжатие: используется для оценки прочности на сжатие молибденовых стержней TZM при высоких температурах, обычно выполняется при 1400°C и 50 МПа. Результаты испытаний показывают, что предел текучести молибденового стержня TZM составляет около 300-400 МПа, что подходит для применения в высокотемпературных формах.

Испытание на твердость: твердомер по Виккерсу (HV) или твердомер по Роквеллу (HRC) используется для проверки твердости молибденовых стержней TZM. Твердость по Виккерсу молибденового стержня TZM при комнатной температуре составляет 250-300 HV, что выше, чем у чистого молибдена при 200 HV. Испытание на высокотемпературную твердость (1000°C) показало, что твердость молибденового стержня TZM снизилась всего на 10-15%, показав отличную высокотемпературную стабильность.

Тест на микротвердость: микроскопическая твердость молибденового стержня TZM измеряется с помощью технологии наноиндентирования для оценки упрочняющего эффекта частиц карбида (таких как TiC и ZrC). Результаты испытаний показали, что твердость площади частиц карбида составляла до 500 HV.

Исследования показали, что высокотемпературные испытания на прочность и твердость сочетаются с микроструктурным анализом (например, SEM, XRD) для оценки упрочняющих эффектов титана, циркония и углерода.

5.2.2 Испытание на коррозионную стойкость и стойкость к окислению

Коррозионная стойкость и стойкость к окислению молибденовых стержней TZM является

ключом к их применению в высокотемпературных химических средах. Методы испытаний включают в себя:

Испытание на антиоксиданты: Проводилось в атмосфере воздуха или кислорода с температурой 1000-1200°C, измерялась скорость окислительного набора массы и толщина оксидного слоя молибденового стержня TZM. Результаты испытаний показывают, что молибденовый стержень TZM может образовывать плотный защитный слой MoO_2 при температуре ниже 1000°C, а скорость окислительного набора массы составляет менее 0,1 мг/см²·ч, что намного лучше, чем у чистого молибдена (1-2 мг/см²·ч). Антиокислительные покрытия, такие как силицид молибдена, могут увеличить рабочую температуру до 1500°C.

Испытание на коррозионную стойкость: испытание на скорость коррозии в разбавленной серной кислоте, соляной кислоте и щелочном растворе. Результаты испытаний показывают, что скорость коррозии молибденового стержня TZM в 5% растворе серной кислоты составляет около 0,01 мм/год, что значительно ниже, чем у нержавеющей стали 0,1 мм/год.

Электрохимическое испытание: коррозионный потенциал и плотность коррозионного тока молибденового стержня TZM измеряются методом потенциодинамического сканирования для оценки его стабильности в коррозионной среде. Результаты испытаний показывают, что коррозионный потенциал молибденового стержня TZM выше, чем у чистого молибдена, и он демонстрирует лучшую коррозионную стойкость.

Исследования показали, что для обеспечения надежности результатов испытаний испытания на стойкость к окислению и коррозии необходимо сочетать с реальными условиями применения, такими как теплоносители ядерных реакторов или атмосферы производства полупроводников.

5.2.3 Испытание на тепловое расширение и теплопроводность

Тепловое расширение и теплопроводность являются ключевыми эксплуатационными параметрами молибденовых стержней TZM в высокотемпературных приложениях. Методы испытаний включают в себя:

Испытание на тепловое расширение: Коэффициент теплового расширения молибденовых стержней TZM измеряется при комнатной температуре до 1600°C с помощью dilatометра (например, NETZSCH DIL 402). Результаты испытаний показывают, что коэффициент теплового расширения молибденового стержня TZM составляет $5,3 \times 10^{-6}/\text{K}$, что ниже, чем у сплавов на основе никеля $13 \times 10^{-6}/\text{K}$, демонстрирующих отличную стабильность размеров.

Тест на теплопроводность: Теплопроводность молибденовых стержней TZM измеряется методом лазерной вспышки (LFA). Результаты испытаний показывают, что теплопроводность молибденового стержня TZM составляет 139 Вт/м·К, которая снижается всего на 10-15% при 1200°C, что подходит для применения в системах высокотемпературного рассеивания тепла.

Испытание на теплопроводность: Теплопроводность молибденового стержня TZM рассчитывается путем объединения данных о плотности и удельной теплоемкости методом

лазерной вспышки, а также оценивается его эффективность теплопроводности. Результаты испытаний показывают, что теплопроводность молибденового стержня TZM остается стабильной при высоких температурах.

Эти испытания необходимы в соответствии со стандартами ASTM E228 (тепловое расширение) и ASTM E1461 (теплопроводность) для обеспечения точности и повторяемости данных. Атмосфера (например, аргон или вакуум) должна контролироваться во время испытания, чтобы избежать влияния окисления на результаты измерений.

5.3 Анализ отказов и усовершенствование молибденового стержня TZM

Анализ отказов является важным средством повышения качества и надежности молибденовых стержней TZM, и предлагаются целенаправленные меры по улучшению путем анализа режимов разрушения, таких как трещина, разрушение, высокотемпературная усталость и ползучести. Ниже приведен подробный анализ с трех аспектов: анализ трещин и разрушений, анализ высокотемпературной усталости и ползучести, а также меры по улучшению качества.

5.3.1 Анализ трещин и разрушений

Трещина и разрушение являются основными видами разрушения молибденовых стержней TZM в условиях высоких температур и высоких нагрузок. К аналитическим методам относятся:

Анализ трещин: Наблюдайте за морфологией разрушения молибденового стержня TZM с помощью сканирующего электронного микроскопа (SEM) для определения типа разрушения (пластичный или хрупкий перелом). Результаты показывают, что вязкость разрушения молибденового стержня TZM составляет $15-20 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, что выше, чем у чистого молибдена $10-12 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, но высокотемпературное циклическое напряжение может вызвать микротрещины.

Анализ распространения трещин: Дифракция обратного рассеяния электронов (EBSD) используется для анализа путей распространения трещин для оценки роли границ зерен и частиц карбида. Результаты показывают, что частицы карбида могут эффективно препятствовать распространению трещин и повышать стойкость к разрушению.

Анализ концентрации напряжений: Распределение напряжений в молибденовом стержне TZM при высокой температуре моделируется с помощью анализа методом конечных элементов (МКЭ) для определения места возникновения трещины. Поверхностные дефекты (например, царапины, пористость) являются основными концентрациями напряжений.

Исследования показали, что трещины и изломы часто связаны с качеством поверхности и микроструктурными дефектами. Например, царапины на поверхности во время механической обработки могут вызвать усталостные трещины, а поры во время спекания могут привести к хрупким трещинам.

5.3.2 Высокотемпературный анализ усталости и ползучести

Высокотемпературная усталость и ползучесть являются основными видами разрушения молибденового стержня TZM в условиях длительного высокотемпературного напряжения. К аналитическим методам относятся:

Усталостные испытания при высоких температурах: Усталостные испытания проводились при циклическом напряжении 1200°C и ± 200 МПа для оценки усталостной долговечности молибденового стержня TZM. Результаты испытаний показывают, что усталостная долговечность молибденового стержня TZM составляет 10^5 циклов, что значительно выше, чем у чистого молибдена 10^4 циклов. Усталостные трещины обычно возникают из-за поверхностных дефектов или границ зерен, а твердосплавные частицы способны замедлять распространение трещин.

Испытание на ползучесть проводилось при температуре 1400°C и давлении 20 МПа для измерения скорости ползучести и срока службы молибденового стержня TZM. Результаты испытаний показывают, что скорость ползучести молибденового стержня TZM составляет около 1/10 от таковой у чистого молибдена, а срок службы может достигать 5000 часов. Нарушение при ползучести в основном вызвано проскальзыванием границ зерен и подъемом по дислокациям, а эффект связывания твердосплавных частиц значительно снижает скорость ползучести.

Анализ микроструктуры: С помощью просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) наблюдались изменения дислокаций и границ зерен молибденовых стержней TZM во время процессов высокотемпературной усталости и ползучести. Результаты показывают, что упрочнение раствором титана и циркония и осаждение частиц карбида могут эффективно улучшить усталостное сопротивление и сопротивление ползучести.

Исследования показали, что для точной оценки механизмов отказов высокотемпературный анализ усталости и ползучести необходимо сочетать с реальными условиями применения, такими как аэрокосмические высокотемпературные циклы или длительная эксплуатация ядерного реактора.

5.3.3 Меры по повышению качества

На основании результатов анализа отказов мероприятия по повышению качества молибденового стержня TZM в основном включают в себя следующие аспекты:

Оптимизированное качество поверхности: механическая, химическая и электрополировка снижает шероховатость поверхности до менее чем 1,6 микрон и уменьшает точки зарождения трещин. Антиокислительные покрытия (например, силицид молибдена, оксид алюминия) могут еще больше повысить коррозионную стойкость.

Улучшенная микроструктура: более мелкие зерна (3,0 ~ 5,0 микрон) получают путем оптимизации процесса порошковой металлургии (например, снижение температуры спекания до 1800 °C и контроль скорости охлаждения) для улучшения усталости и сопротивления ползучести.

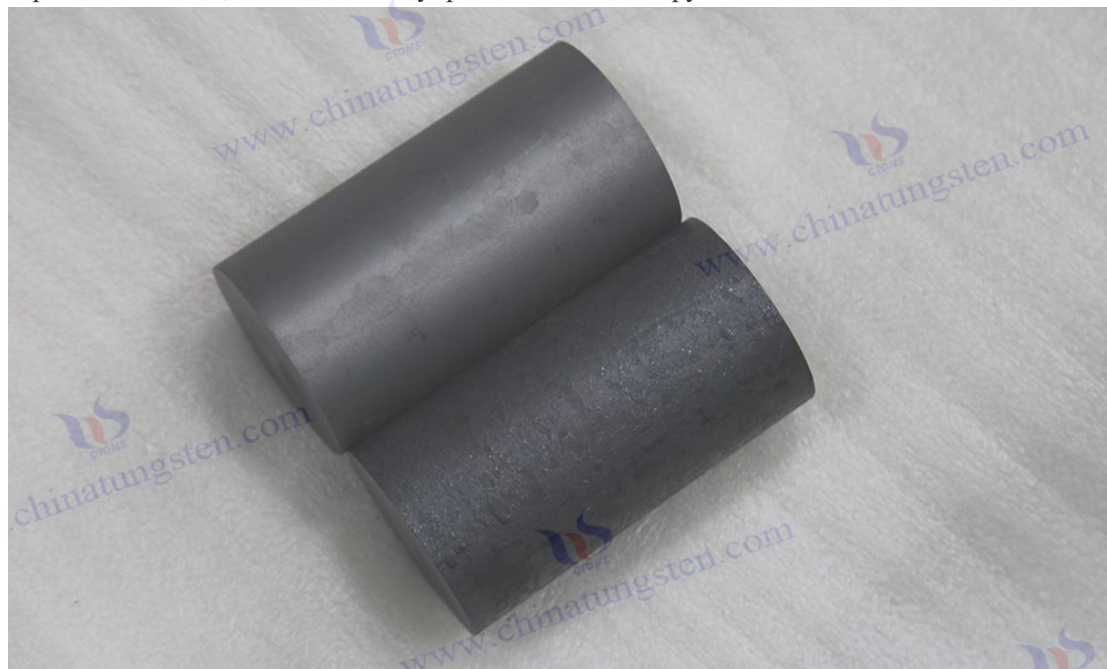
Улучшенный контроль производственного процесса: Внедрите технологию онлайн-

контроля (например, ультразвуковую, рентгеновскую) и интеллектуальные производственные линии для мониторинга дефектов и эксплуатационных параметров в режиме реального времени для обеспечения стабильности продукции.

Разработка новых покрытий: Исследования новых антиокислительных и антикоррозионных покрытий (таких как нанокompозитные покрытия) для увеличения срока службы молибденовых стержней TZM в средах выше 1500 °C.

Система управления качеством: Внедрение систем управления качеством ISO 9001 и AS9100 (Аэрокосмическая промышленность) для обеспечения контроля качества от сырья до готовой продукции.

Исследование показывает, что благодаря вышеуказанным мерам по улучшению процент дефектов молибденового стержня TZM может быть снижен до менее чем 0,5%, а срок службы может быть увеличен на 20-30%, что соответствует высоким требованиям надежности аэрокосмического, атомного и полупроводникового оборудования.



CTIA GROUP LTD TZM Молибденовый стержень

6. Использование молибденового стержня TZM

Будучи материалом из высокоэффективного сплава, молибденовый стержень TZM широко используется во многих высокотехнологичных областях благодаря своей превосходной высокотемпературной прочности, сопротивлению ползучести, низкому коэффициенту теплового расширения и высокой теплопроводности. Добавление титана (Ti), циркония (Zr) и углерода (C) в молибденовые стержни (молибден) TZM значительно улучшает свойства молибдена, делая их идеальными для высокотемпературных печей, аэрокосмической, атомной промышленности, электронной и полупроводниковой промышленности, а также других промышленных и научных областей. Ниже приведено подробное обсуждение использования молибденового стержня TZM с пяти аспектов.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

CTIA GROUP LTD
TZM Molybdenum Rod Introduction

1. Overview of TZM Molybdenum Rod

TZM molybdenum rods are high-performance molybdenum-based alloy materials composed of a molybdenum (Mo) matrix with small additions of titanium (Ti), zirconium (Zr), and carbon (C). Compared to pure molybdenum, TZM alloy offers significantly higher high-temperature strength, excellent thermal stability, superior creep resistance, and outstanding oxidation resistance, making it an ideal material for high-temperature structural applications.

2. Characteristics of TZM Molybdenum Rod

- High Melting Point:** Suitable for extreme high-temperature environments.
- Excellent High-Temperature Strength:** Maintains mechanical strength and rigidity at 1200–1600°C.
- Good Thermal Stability and Creep Resistance:** Ideal for long-term use under high temperatures with minimal deformation and high reliability.
- Superior Corrosion and Oxidation Resistance:** Applicable in vacuum, high-temperature inert atmospheres, and oxidative conditions.
- Excellent Machinability:** Suitable for turning, milling, grinding, and welding processes.

3. Typical Applications of TZM Molybdenum Rod

- High-Temperature Furnace Components:** Supports, heat shields, heating elements, and electrode rods.
- Aerospace Industry:** Structural components in rocket nozzles and engine parts operating under high temperatures.
- Nuclear Industry:** Used in reactor support structures and control rod guide systems.
- Electronics Industry:** Structural materials in ion implantation, evaporation sources, and semiconductor processing equipment.
- Mold Manufacturing:** Hot extrusion dies, aluminum alloy die-casting molds with excellent high-temperature wear resistance.

4. Specifications of TZM Molybdenum Rod

Main Ingredients	Mo: ≥ 99%
	Ti: 0.40–0.55%
	Zr: 0.06–0.12%
	C: 0.01–0.04%
Size Range	Diameter φ6mm – φ120mm, length up to 2000mm (customizable)
Surface	Black(forged), bright (turned or ground)
Processing Method	Forging, rolling, drawing, or machining forming

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696
Website: www.molybdenum.com.cn

6.1 Применение в высокотемпературных печах

Молибденовые стержни TZM играют ключевую роль в производстве высокотемпературных печей, благодаря своей высокой температуре плавления (около 2623°C), отличному сопротивлению ползучести и окислению, а также могут стабильно работать в течение длительного времени в высокотемпературных средах выше 1600°C. Ниже приводится анализ его применения с трех аспектов: нагревательный элемент, вакуумная печь для спекания и печь для термообработки.

6.1.1 в качестве нагревательного элемента

Молибденовый стержень TZM широко используется в качестве нагревательного элемента в высокотемпературных печах благодаря своей высокой теплопроводности (139 Вт/м·К) и отличной устойчивости к высокотемпературной деформации. По сравнению с чистым молибденом, молибденовые стержни TZM имеют температуру рекристаллизации до 1400°C, что позволяет сохранять мелкозернистую структуру при высоких температурах и избегать ухудшения производительности из-за роста зерна. В печах сопротивления молибденовые стержни TZM используются в качестве нагревательных элементов, чтобы выдерживать быстрые циклы нагрева и охлаждения, сохраняя долговременную стабильность.

Конкретные области применения включают:

Вакуумная печь: молибденовый стержень TZM действует как нагревательный элемент в вакуумной среде и способен работать в течение тысяч часов при температуре 1600-1800°C, подходит для спекания металлов и керамики. Например, в печах для спекания титановых сплавов и диоксида циркония молибденовые стержни TZM обеспечивают однородность и стабильность температуры.

Печь для защиты атмосферы: В защитной атмосфере аргона или азота стойкость молибденового стержня TZM к окислению позволяет ему выдерживать высокотемпературное окислительное напряжение и продлевать срок службы. По данным Chinatungsten Online, срок службы нагревательного элемента молибденового стержня TZM примерно на 50% больше, чем у чистого молибдена.

Печь для высокотемпературного отжига: молибденовый стержень TZM используется для изготовления нагревательного элемента печи для отжига, который может обеспечить стабильное термическое поле выше 1400 °C, что подходит для термической обработки высокоэффективных сплавов.

Поверхность молибденовых стержней TZM обычно покрывается антиокислительным покрытием (например, силицидом молибдена, MoSi₂) для дальнейшего повышения прочности в окисляющих средах. Ведущие мировые производители печей широко используют молибденовые стержни TZM в своих конструкциях высокотемпературных печей для удовлетворения промышленных и научных потребностей.

6.1.2 Применение в вакуумных печах для спекания

Вакуумная печь для спекания является важным оборудованием для изготовления

высокоэффективных материалов (таких как керамика, металлические сплавы), а молибденовые стержни ТЗМ используются в качестве опор, тиглей и нагревательных элементов для печей спекания благодаря своей высокой прочности и коррозионной стойкости. Основные области применения включают в себя:

Опоры и тигли: молибденовые стержни ТЗМ используются для изготовления опорных рам и тиглей для печей спекания, которые могут выдерживать гравитацию и термическое напряжение материала при высоких температурах. Например, в глиноземно-керамических печах для спекания опоры молибденовых стержней ТЗМ сохраняют геометрическую стабильность и предотвращают деформацию.

Высокотемпературный приспособление: молибденовый стержень ТЗМ перерабатывается в приспособление, которое используется для фиксации спеченного материала и обеспечения точности размеров в процессе спекания. Его низкий коэффициент теплового расширения ($5,3 \times 10^{-6}/K$) обеспечивает устойчивость приспособления при высоких температурах.

Защитные гильзы для термопар: Молибденовые стержни ТЗМ используются при производстве защитных гильз для термопар, которые способны защитить термопары от коррозии и механических повреждений в вакуумной среде выше $1800^{\circ}C$.

6.1.3 Применение в печах для термообработки

Печи термической обработки используются для отжига, закалки и отпуска металлов и сплавов, а молибденовые стержни ТЗМ широко используются в конструкционных деталях и нагревательных элементах печей термической обработки из-за их превосходного сопротивления ползучести и высокой теплопроводности. Конкретные области применения включают:

Нагревательный элемент: в качестве нагревательного элемента в печи термообработки используется молибденовый стержень ТЗМ, который способен обеспечить стабильное термическое поле при температуре $1400-1600^{\circ}C$, что подходит для термической обработки высокопрочной стали и титановых сплавов.

Внутреннее устройство печи: Молибденовые стержни ТЗМ используются при изготовлении опорных рам, лотков и перегородок печей, которые способны выдерживать вес и термическое напряжение материала при высоких температурах. Например, в печах для термообработки компонентов аэрокосмической промышленности опоры молибденовых стержней ТЗМ сохраняют долговременную стабильность.

Контроль атмосферы: В печах для термообработки с водородной или аргоновой атмосферой коррозионная стойкость молибденовых стержней ТЗМ позволяет им выдерживать химическое воздействие и продлевать срок службы печи.

Результаты показывают, что применение молибденового стержня ТЗМ в печи для термообработки позволяет контролировать однородность температуры в печи в пределах $\pm 5^{\circ}C$ и значительно улучшить качество термообработки. Мировые производители печей для термообработки предпочитают молибденовые стержни ТЗМ в своем высокотехнологичном

оборудовании для удовлетворения потребностей аэрокосмической и автомобильной промышленности.

6.2 Аэрокосмическая отрасль

Благодаря высокой температуре плавления, отличной высокотемпературной прочности и низкому коэффициенту теплового расширения, молибденовый стержень TZM играет незаменимую роль в аэрокосмической области и широко используется в соплах ракет, высокотемпературных конструкционных деталях и системах тепловой защиты космических аппаратов. Ниже приведен подробный анализ этих трех аспектов.

6.2.1 Применение в ракетных соплах

Ракетные сопла являются одним из самых требовательных применений в аэрокосмической промышленности, выдерживая высокие температуры более 2000 °C и сильный тепловой удар. Молибденовый стержень TZM стал предпочтительным материалом для ракетных сопел благодаря своей высокой температуре плавления (2623°C) и отличной стойкости к тепловому удару. Конкретные области применения включают:

Горловина сопла: молибденовый стержень TZM используется для изготовления горловины ракетного сопла, которое способно выдерживать высокую температуру и высокое давление газовых потоков в камере сгорания. Например, в соплах двигателей Raptor компании SpaceX используется сплав TZM, чтобы справиться с экстремальной тепловой нагрузкой от сжигания жидкого кислорода и метана.

Удлинитель сопла: Молибденовый стержень TZM используется для удлинения сопла, что позволяет сохранить геометрическую стабильность и уменьшить деформацию, вызванную термическим напряжением. Его низкий коэффициент теплового расширения ($5,3 \times 10^{-6}/K$) гарантирует, что сопло не трескается при резких изменениях температуры.

Антиокислительное покрытие: Для повышения долговечности в условиях окисляющего горения сопла из молибденового стержня TZM обычно покрываются покрытием из силицида молибдена или диоксида циркония для продления срока их службы.

6.2.2 Применение в высокотемпературных конструкционных деталях

Молибденовые стержни TZM широко используются в высокотемпературных конструкционных деталях аэрокосмической отрасли, таких как лопатки турбин, стенки камеры сгорания и компоненты силовой установки. Его превосходная прочность при высоких температурах (прочность на разрыв 400-500 МПа при 1200 °C) и сопротивление ползучести позволяют ему выдерживать сложные нагрузки в условиях. Конкретные области применения включают:

Лопатки турбин: Молибденовые стержни TZM используются для изготовления опорной конструкции лопастей турбины авиационного двигателя, которые могут поддерживать прочность и стабильность выше 1400 °C.

Стенка камеры сгорания: Молибденовый стержень TZM используется для изготовления стенки камеры сгорания, которая может выдерживать размывание и тепловой удар

высокотемпературных газов сгорания. Например, в камере сгорания космического челнока NASA X-33 используются компоненты из сплава TZM.

Соединители: Молибденовые стержни TZM перерабатываются в высокотемпературные болты и соединители, которые подходят для высокотемпературной сборки аэрокосмического оборудования.

6.2.3 Применение в тепловой защите космических аппаратов

Космические аппараты подвергаются воздействию температур в тысячи градусов Цельсия при входе в атмосферу, а молибденовые стержни TZM используются в системах тепловой защиты (ТПС) благодаря высокой теплопроводности и устойчивости к тепловому удару. Конкретные области применения включают:

Теплозащитная пластина: молибденовый стержень TZM перерабатывается в тонкую пластину, которая используется для термозащитного слоя на внешней стороне космического аппарата, который может быстро рассеивать тепло и защищать внутреннюю структуру.

Тепловые экраны: Молибденовые стержни TZM используются для изготовления тепловых экранов для космических аппаратов, чтобы предотвратить высокую теплопроводность к чувствительным компонентам. Например, некоторые теплозащитные экраны Международной космической станции изготовлены из сплава TZM.

Антиабляционное покрытие: Поверхность молибденовых стержней TZM обычно покрыта антиабляционным материалом (например, углеродом/углеродными композитами) для повышения долговечности в экстремальных температурных условиях.

6.3 Атомная промышленность

Молибденовые стержни TZM имеют важное применение в атомной промышленности благодаря низкому сечению поглощения тепловых нейтронов, высокотемпературной прочности и радиационной стойкости, охватывающим ядерные реакторы, термоядерные термоядерные устройства и работу с радиоактивными материалами. Ниже приведен подробный анализ этих трех аспектов.

6.3.1 Применение в ядерных реакторах

Молибденовые стержни TZM используются в ядерных реакторах для изготовления регулирующих стержней, конструкционных деталей и оболочек топлив и способны выдерживать высокие температуры и высокую радиационную среду. Конкретные области применения включают:

Регулирующие стержни: Молибденовые стержни TZM используются для изготовления несущей конструкции регулирующих стержней, которые способны сохранять стабильность при высоких температурах (800-1200°C) и нейтронном облучении. Его низкое сечение поглощения тепловых нейтронов (около 2,6 амбара) делает его превосходящим нержавеющей сталью.

Конструкционные части: Молибденовые стержни TZM используются в опорной раме и трубопроводах внутри реактора и способны выдерживать коррозию и механические нагрузки

высокотемпературных теплоносителей. Например, в быстрых реакторах, таких как Китайский экспериментальный реактор на быстрых нейтронах, используются конструкционные детали из сплава ТЗМ.

Оболочечная оболочка твэла: для изготовления оболочки ядерного топлива используются молибденовые стержни ТЗМ, которые способны сохранять герметичность при высоких температурах и высокой радиации и предотвращать утечку радиоактивных материалов.

6.3.2 Применение в устройствах для термоядерного синтеза

Термоядерные установки, такие как токамаки и термоядерные установки с инерционным удержанием, чрезвычайно требовательны к материалам, а молибденовые стержни ТЗМ широко используются благодаря своей устойчивости к плазменному воздействию и высокой теплопроводности. Конкретные области применения включают:

Материал для плазменной облицовки (PFM): Молибденовые стержни ТЗМ используются для изготовления дефлекторов и первых стенок токамаковых устройств, которые способны выдерживать высокоэнергетическую плазменную бомбардировку и мгновенные тепловые нагрузки выше 2000°C. Например, в Международном экспериментальном термоядерном реакторе (ИТЭР) в качестве материала дефлектора используется сплав ТЗМ.

Материал радиатора: Высокая теплопроводность молибденового стержня ТЗМ делает его материалом для отвода тепла, который может быстро рассеивать тепло и защищать чувствительные части термоядерных устройств.

Структурная поддержка: Молибденовые стержни ТЗМ используются для изготовления несущей конструкции термоядерных устройств, которые способны сохранять стабильность при высоких температурах и сильных магнитных полях.

6.3.3 Применение при обращении с радиоактивными материалами

Молибденовые стержни ТЗМ используются при обработке радиоактивных материалов для изготовления контейнеров, экранирующих материалов и рабочих инструментов и устойчивы к высоким уровням радиации и химической коррозии. Конкретные области применения включают:

Контейнеры для радиоактивных отходов: Молибденовые стержни ТЗМ перерабатываются в контейнеры для хранения высокорadioактивных отходов, которые могут выдерживать длительное воздействие радиации и коррозии.

Защитные материалы: Молибденовые стержни ТЗМ используются в производстве радиационных защитных материалов, которые превосходят традиционные свинцовые экранирующие материалы благодаря высокой плотности (10,2 г/см³) и низкому сечению поглощения тепловых нейтронов.

Рабочие инструменты: Молибденовые стержни ТЗМ используются для изготовления высокотемпературных рабочих инструментов, таких как манипуляторы и приспособления, которые способны безопасно работать в условиях высокой радиации.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

6.4 Электронная и полупроводниковая промышленность

Молибденовые стержни TZM широко используются в электронной и полупроводниковой промышленности благодаря своей высокой теплопроводности, низкому коэффициенту теплового расширения и коррозионной стойкости, в том числе в устройствах ионной имплантации, осаждении тонких пленок и производстве электронных устройств. Ниже приведен подробный анализ этих трех аспектов.

6.4.1 Применение в устройствах для ионной имплантации

Устройства ионной имплантации используются в производстве полупроводниковых чипов, а молибденовые стержни TZM используются в качестве ключевых компонентов благодаря своей высокой прочности и устойчивости к плазменной атаке. Конкретные области применения включают:

Компоненты ионного источника: Молибденовые стержни TZM используются для изготовления электродов и направляющих компонентов ионного источника, которые могут выдерживать бомбардировку высокоэнергетическими ионными пучками. Его высокая теплопроводность (139 Вт/м·К) обеспечивает быстрый отвод тепла и предотвращает локальный перегрев.

Приспособления и мишени: Молибденовые стержни TZM перерабатываются в приспособления для фиксации кремниевых пластин, которые способны сохранять стабильность размеров в условиях высоких температур и высокого вакуума. Например, в устройстве для ионной имплантации TSMC используется приспособление из молибденового стержня TZM.

Экранирующие компоненты: Молибденовые стержни TZM используются при изготовлении экранирующих пластин в устройствах ионной имплантации, которые устойчивы к излучению и коррозии от высокоэнергетических частиц.

6.4.2 Применение при осаждении тонких пленок

Осаждение тонких пленок (например, физическое осаждение из газовой фазы, PVD) является ключевым процессом в производстве полупроводников и электронных устройств, и молибденовые стержни TZM используются в качестве мишеней и приспособлений для распыления из-за их высокой теплопроводности и коррозионной стойкости. Конкретные области применения включают:

Мишени для распыления: Молибденовые стержни TZM перерабатываются в мишени для напыления для нанесения высокоэффективных тонких пленок, таких как металлические проводящие и изоляционные слои. Его однородная микроструктура обеспечивает однородность напыляемой пленки.

Приспособления и опоры: Молибденовые стержни TZM используются для изготовления зажимных приспособлений и опор в оборудовании PVD, которые могут сохранять стабильность при высоких температурах и высоком вакууме. Например, при производстве OLED-экранов для удержания подложек используются крепления из молибденовых стержней TZM.

Нагревательный элемент: Молибденовый стержень ТЗМ используется для изготовления нагревательных элементов для PVD-оборудования, который способен обеспечить стабильное тепловое поле при 800-1200°C.

6.4.3 Применение в производстве электронных устройств

Молибденовые стержни ТЗМ используются в производстве электронных устройств для изготовления высокотемпературных приспособлений, электродов и разъемов. Конкретные области применения включают:

Высокотемпературные приспособления: Молибденовые стержни ТЗМ используются для изготовления приспособлений при обработке полупроводниковых пластин и способны сохранять стабильность в процессах высокотемпературного отжига и диффузии. Например, в оборудовании Intel для производства микросхем используются приспособления из молибденовых стержней ТЗМ.

Электроды: Молибденовые стержни ТЗМ используются при изготовлении молибденовых электродов в электронных устройствах, таких как электроды в вакуумных трубках и микроволновых устройствах, которые могут выдерживать высокие температуры и большие токи.

Соединители: Молибденовые стержни ТЗМ превращаются в высокотемпературные разъемы для сборки электронных устройств, которые способны выдерживать термические циклы и механические нагрузки.

6.5 Другие области промышленных и научных исследований

Молибденовые стержни ТЗМ также широко используются в других промышленных и научных областях, таких как высокотемпературное экспериментальное оборудование, высокотемпературные формы и инструменты, а также аддитивное производство. Ниже приведен подробный анализ этих трех аспектов.

6.5.1 Применение в высокотемпературном экспериментальном оборудовании

Молибденовые стержни ТЗМ широко используются в высокотемпературном экспериментальном оборудовании, таком как печи для испытания материалов, экспериментальные установки по физике плазмы и высокотемпературные реакторы, благодаря их высокотемпературной стабильности и коррозионной стойкости. Конкретные области применения включают:

Печи для испытаний материалов: Молибденовые стержни ТЗМ используются для изготовления приспособлений и нагревательных элементов для высокотемпературных печей для испытаний на растяжение и сжатие, способных обеспечить стабильное тепловое поле выше 1600°C. Например, в стандартном испытательном оборудовании ASTM E21 используются приспособления из молибденовых стержней ТЗМ.

Эксперимент по физике плазмы: молибденовый стержень ТЗМ используется для изготовления электродов и опор для плазменных экспериментальных устройств, способных выдерживать эрозию высокоэнергетической плазмы. Например, в экспериментальной

установке лазерной плазмы используются электроды из сплава ТЗМ.

Высокотемпературный реактор: молибденовый стержень ТЗМ используется для изготовления нагревательных элементов и опорных конструкций для химических реакторов, которые могут стабильно работать при высоких температурах и агрессивных атмосферах.

6.5.2 Применение в высокотемпературных формах и инструментах

Молибденовые стержни ТЗМ используются при изготовлении высокотемпературных форм и инструментов благодаря своей высокой твердости (250-300 HV) и противоизносным свойствам. Конкретные области применения включают:

Формы для литья под давлением: Молибденовые стержни ТЗМ используются для изготовления форм для литья под давлением из алюминиевых сплавов и магниевых сплавов, которые способны выдерживать высокие нагрузки и износ при 800-1000°C.

Штампы горячей штамповки: молибденовые стержни ТЗМ используются для изготовления штампов горячей штамповки для аэрокосмических компонентов, которые способны сохранять прочность и стабильность размеров выше 1200°C.

Режущие инструменты: Молибденовые стержни ТЗМ превращаются в высокотемпературные режущие инструменты, которые подходят для обработки вольфрамовых сплавов и жаропрочных сплавов.

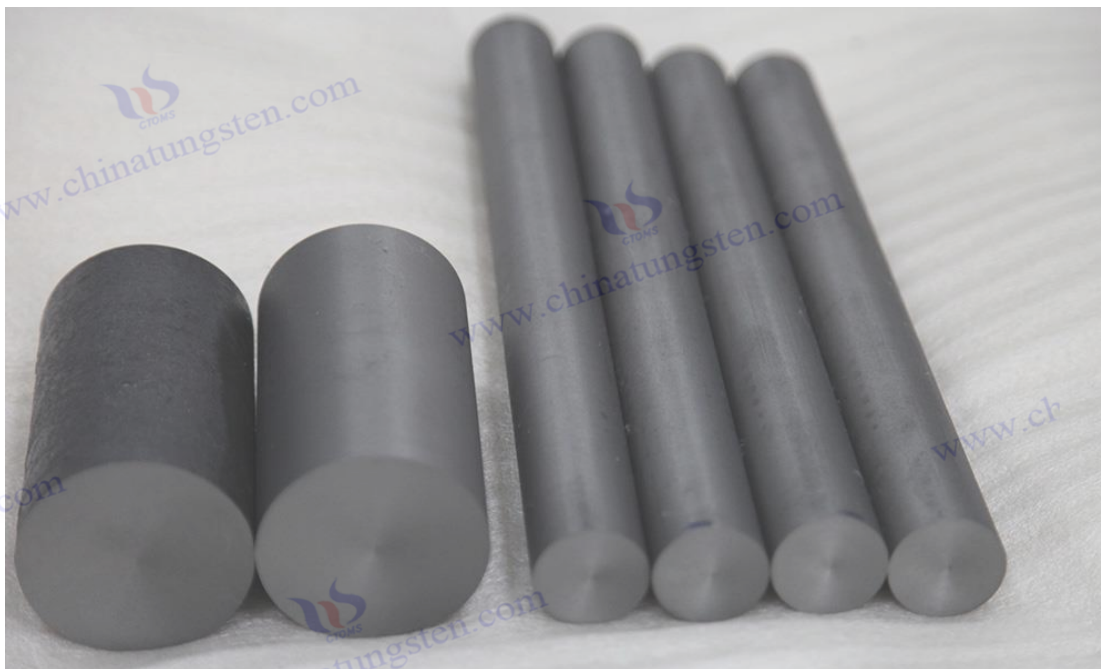
6.5.3 Применение в аддитивном производстве

Аддитивное производство (3D-печать) — это новая область применения молибденовых стержней ТЗМ, которые могут изготавливать детали из сплава ТЗМ сложной формы с помощью технологии лазерного селективного плавления (SLM) или электронно-лучевого плавления (EBM). Конкретные области применения включают:

Аэрокосмические компоненты: порошок молибденового стержня ТЗМ используется для 3D-печати сопел ракет и лопаток турбин, что позволяет получить сложную геометрию и снизить затраты на обработку. Например, напечатанные на 3D-принтере сопла из сплава ТЗМ NASA на 30% легче.

Медицинские устройства: Молибденовые стержни ТЗМ используются для 3D-печати деталей автоклавного оборудования, которые способны сохранять стабильность при высоких температурах и агрессивных средах.

Научно-исследовательская модель: порошок молибденового стержня ТЗМ используется в 3D-печати высокотемпературных экспериментальных моделей для удовлетворения потребностей испытаний материалов и физических экспериментов.



CTIA GROUP LTD TZM Молибденовый стержень

7. Технические проблемы и будущее развитие молибденового стержня TZM

Являясь высокоэффективным жаропрочным сплавом, молибденовый стержень TZM широко используется в аэрокосмической, атомной промышленности, производстве полупроводников и других областях благодаря своей превосходной высокотемпературной прочности, сопротивлению ползучести и низкому коэффициенту теплового расширения. Тем не менее, в связи со все более суровыми условиями применения и быстрым развитием промышленных технологий, подготовка и применение молибденового стержня TZM сталкивается со многими техническими проблемами, включая стойкость к высокотемпературному окислению, изготовление сложной формы и контроль производственных затрат. В то же время новые материалы, интеллектуальное производство и технологии «зеленого» производства открывают новые возможности для будущего развития молибденовых стержней TZM. В этой главе всесторонне обсуждается текущая ситуация и будущее молибденовых стержней TZM с четырех аспектов: технические проблемы, новые материалы и технологии, интеллектуальное и экологичное производство, а также будущие тенденции развития.

7.1 Технические проблемы

Подготовка и применение молибденового стержня TZM сталкивается со многими техническими проблемами, включая повышение стойкости к высокотемпературному окислению, сложность изготовления сложных форм и больших размеров, а также контроль производственных затрат. Эти проблемы оказывают непосредственное влияние на производительность и экономичность молибденовых стержней TZM в высокотехнологичных приложениях. Ниже приведен подробный анализ с трех аспектов.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

CTIA GROUP LTD
TZM Molybdenum Rod Introduction

1. Overview of TZM Molybdenum Rod

TZM molybdenum rods are high-performance molybdenum-based alloy materials composed of a molybdenum (Mo) matrix with small additions of titanium (Ti), zirconium (Zr), and carbon (C). Compared to pure molybdenum, TZM alloy offers significantly higher high-temperature strength, excellent thermal stability, superior creep resistance, and outstanding oxidation resistance, making it an ideal material for high-temperature structural applications.

2. Characteristics of TZM Molybdenum Rod

High Melting Point: Suitable for extreme high-temperature environments.

Excellent High-Temperature Strength: Maintains mechanical strength and rigidity at 1200–1600°C.

Good Thermal Stability and Creep Resistance: Ideal for long-term use under high temperatures with minimal deformation and high reliability.

Superior Corrosion and Oxidation Resistance: Applicable in vacuum, high-temperature inert atmospheres, and oxidative conditions.

Excellent Machinability: Suitable for turning, milling, grinding, and welding processes.

3. Typical Applications of TZM Molybdenum Rod

High-Temperature Furnace Components: Supports, heat shields, heating elements, and electrode rods.

Aerospace Industry: Structural components in rocket nozzles and engine parts operating under high temperatures.

Nuclear Industry: Used in reactor support structures and control rod guide systems.

Electronics Industry: Structural materials in ion implantation, evaporation sources, and semiconductor processing equipment.

Mold Manufacturing: Hot extrusion dies, aluminum alloy die-casting molds with excellent high-temperature wear resistance.

4. Specifications of TZM Molybdenum Rod

Main Ingredients	Mo: ≥ 99%
	Ti: 0.40–0.55%
	Zr: 0.06–0.12%
	C: 0.01–0.04%
Size Range	Diameter φ6mm – φ120mm, length up to 2000mm (customizable)
Surface	Black(forged), bright (turned or ground)
Processing Method	Forging, rolling, drawing, or machining forming

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

7.1.1 Повышение стойкости к высокотемпературному окислению

Стойкость к окислению молибденового стержня TZM в высокотемпературной среде ($>1000^{\circ}\text{C}$) является основным узким местом его применения. Хотя молибденовые стержни TZM повышают стойкость к окислению за счет добавления титана (Ti), циркония (Zr) и углерода (C), они все же не работают так же хорошо, как керамика или некоторые сплавы на основе никеля в окислительных средах. К числу конкретных проблем относятся:

Испарение оксида: В окислительной среде при температуре выше 1200°C на поверхности молибденового стержня TZM образуется летучий триоксид молибдена (MoO_3), что приводит к быстрой потере материала. Результаты показывают, что скорость набора окислительной массы молибденового стержня TZM на воздухе при 1200°C составляет около $0,5\text{--}1\text{ мг/см}\cdot\text{ч}$, что значительно выше, чем у керамических материалов ($0,01\text{ мг/см}\cdot\text{ч}$).

Стабильность защитного слоя: Молибденовые стержни TZM могут повысить стойкость к окислению за счет покрытий из силицида молибдена (MoSi_2) или оксида алюминия (Al_2O_3), но эти покрытия склонны к отслаиванию или растрескиванию при температуре выше 1500°C или при длительном термоциклировании. Например, покрытия MoSi_2 могут достигать скорости отслаивания 20-30% после 100 термических циклов при 1600°C .

Комплексная адаптация к окружающей среде: В аэрокосмической промышленности (например, в ракетных соплах) и устройствах ядерного синтеза молибденовые стержни TZM должны выдерживать высокие температуры, окисление и плазменную атаку одновременно, а одно антиокислительное покрытие трудно удовлетворить нескольким экологическим требованиям.

Улучшения включают в себя:

Разработка новых покрытий: Исследования многослойных композитных покрытий (таких как $\text{MoSi}_2/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$) для повышения прочности сцепления и термоциклической стабильности покрытия и подложки за счет градиентной структуры. Недавние исследования показали, что нанокompозитные покрытия могут продлить срок службы молибденовых стержней TZM до 50% при температуре 1500°C .

Модификация поверхности: Антиоксидантные элементы (такие как кремний и алюминий) вводятся на поверхность молибденовых стержней TZM с помощью лазерной обработки поверхности или технологии ионной инфильтрации для формирования защитного слоя in-situ. Например, лазерное плакирование слоем силицидов может снизить окислительный прирост массы до $0,1\text{ мг/см}^2\cdot\text{ч}$.

Оптимизация сплава: Оптимизируйте распределение и размер частиц карбида (TiC, ZrC) за счет регулирования содержания титана, циркония и углерода, а также повышайте стойкость матрицы к окислению. Эксперименты показали, что увеличение содержания циркония до 0,15% может значительно снизить скорость окисления.

7.1.2 Сложные формы и крупносерийное производство

Сложные формы и большие размеры молибденовых стержней TZM сталкиваются с техническими трудностями, особенно в аэрокосмической и атомной промышленности, где

необходимо изготавливать сложные геометрические формы (например, изогнутые сопла) или крупногабаритные компоненты (например, опорные балки ядерных реакторов). К числу конкретных проблем относятся:

Ограничения порошковой металлургии: Молибденовые стержни TZM обычно получают методом порошковой металлургии, но в этом процессе трудно получить форму, близкую к чистой, сложной формы. Несмотря на то, что изостатическое прессование (CIP) позволяет получать сложные заготовки, точность размеров составляет всего $\pm 0,5$ мм, что трудно достичь $\pm 0,01$ мм, требуемого аэрокосмической промышленностью.

Сложность обработки: Высокая твердость (250-300 HV) и низкая ударная вязкость молибденовых стержней TZM делают их склонными к образованию трещин во время токарной обработки, фрезерования и сверления. Например, обработка сложных форм, таких как внутренняя резьба или микроотверстия, может привести к быстрому износу инструмента и увеличению затрат на обработку на 30-50%.

Крупномасштабная однородность: При изготовлении крупногабаритных молибденовых стержней TZM (диаметр > 100 мм и длина > 1 м) необходимо обеспечить однородность микроструктуры и свойств. Перепады температур и неравномерная усадка в процессе спекания могут привести к образованию внутренней пористости или трещин, с процентом отбраковки до 10-15%.

Улучшения включают в себя:

Аддитивное производство (3D-печать): прямая печать деталей молибденового стержня TZM сложной формы с использованием технологии лазерного селективного плавления (SLM) или электронно-лучевого плавления (EBM). Технология SLM повышает точность размеров до $\pm 0,05$ мм и снижает процент брака до менее чем 5%. Последнее исследование NASA показывает, что сопла TZM, изготовленные SLM, на 30% легче и на 20% производительнее.

Прецизионная ковка и прокатка: оптимизируйте ориентацию и плотность волокон крупногабаритных молибденовых прутков TZM с помощью многоосевой ковки и прецизионного прокатного оборудования. Например, четырехъярусный стан немецкой SMS Group увеличивает плотность крупноформатных прутков до 99,5% от теоретической плотности.

Горячее изостатическое прессование (HIP): технология горячего изостатического прессования используется после спекания для устранения микропор в заготовках большого размера и улучшения однородности. Процесс HIP (2000°C , 200 МПа) снижает процент отбраковки до менее чем 2%.

7.1.3 Контроль производственных затрат

Высокая себестоимость производства молибденового стержня TZM ограничивает его широкое применение в некоторых областях. К источникам затрат относятся сырье, сложность процесса и контроль качества. К числу конкретных проблем относятся:

Стоимость сырья: Цена на порошок молибдена высокой чистоты (чистота $\geq 99,95\%$) и

добавки титана и циркония выше, составляя 40-50% от общей стоимости. Например, отчет Chinatungsten Online за 2023 год показывает, что цена порошка молибдена высокой чистоты составляет около 50-70 долларов США за кг.

Сложность процесса: порошковая металлургия, вакуумное спекание и высокотемпературная обработка молибденовых стержней TZM требуют дорогостоящего оборудования (например, вакуумных печей для спекания, прецизионных прокатных станков) с затратами на одно оборудование до миллионов долларов. Кроме того, износ инструмента и процент брака (около 10%) во время обработки еще больше увеличивают затраты.

Затраты на контроль качества: Внутритрубные испытания (ультразвуковые, рентгеновские) и эксплуатационные испытания (высокотемпературные испытания на растяжение и ползучесть) требуют высокоточных приборов и специалистов, на долю которых приходится 20-30% производственных затрат.

Улучшения включают в себя:

Оптимизация сырья: За счет улучшения процесса очистки порошка молибдена (например, плазменного восстановления) снижается содержание кислорода и примесей, а также уменьшается количество добавок. Например, технология плазменного восстановления H.C. Starck позволяет снизить стоимость молибденового порошка на 15%.

Упрощение процесса: Технология формы, приближенной к чистой, такая как SLM или HIP, снижает последующие этапы обработки, процент брака и затраты на обработку. Исследования показали, что околосетчатая форма позволяет снизить затраты на обработку на 20-30%.

Автоматизированное производство: благодаря интеллектуальным производственным линиям (таким как системы управления ПЛК и онлайн-обнаружения) повышают эффективность производства и снижают затраты на рабочую силу.

7.2 Новые материалы и технологии

Разработка новых материалов и технологий открывает новые возможности для улучшения эксплуатационных характеристик молибденовых стержней TZM и расширения областей применения. Ниже приведен подробный анализ с трех аспектов: конструкция модифицированных сплавов, наноструктуры и композитные материалы, а также конкуренция с другими высокотемпературными материалами.

7.2.1 Конструкция из модифицированного сплава

Изменяя конструкцию сплава и оптимизируя состав и микроструктуру молибденовых стержней TZM, его свойства могут быть еще больше улучшены. Методы включают в себя:

Добавление новых элементов: Введите небольшое количество редкоземельных элементов (таких как лантан, церий) или рения (Re) в сплав TZM для повышения стойкости к окислению и прочности при высоких температурах. Например, добавление 0,1% лантана увеличивает температуру рекристаллизации молибденовых стержней TZM до 1500°C и прочность на разрыв на 10-15%.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Оптимизация карбида: оптимизация размера (0,5-2 микрона) и распределения частиц карбида (TiC, ZrC) за счет точного контроля содержания углерода (0,02-0,05%) и процесса спекания для повышения интенсификации осадков. Исследования показали, что равномерно распределенные наноразмерные карбиды могут снизить скорость ползучести до 20%.

Упрочнение раствора: За счет увеличения содержания твердого раствора титана и циркония (Ti: 0,6-0,8%, Zr: 0,15-0,2%) улучшается деформация решетки молибденовой матрицы, а также повышается высокотемпературная прочность и коррозионная стойкость.

7.2.2 Наноструктуры и композиционные материалы

Технология наноструктуры и композиционных материалов открывает новое направление для оптимизации характеристик молибденовых стержней ТЗМ. Методы включают в себя:

Нанокристаллическая структура: Размер зерна молибденового стержня TZM контролируется на длине волны 50-100 нм с помощью высокоэнергетического шарового измельчения и технологии быстрого спекания. Нанокристаллическая структура значительно повышает прочность и ударную вязкость материала. Например, вязкость разрушения нанокристаллических молибденовых стержней ТЗМ может достигать 25 МПа·м^{1/2}, что выше, чем у обычных ТЗМ (15-20 МПа·м^{1/2}).

Композиты: Молибденовые стержни TZM смешиваются с керамикой (например, SiC, Al₂O₃) или материалами на основе углерода (например, графеном) с образованием композитов с металлической матрицей (ММС). Стойкость к окислению композитов SiC/TZM в 2 раза выше при 1500°C, что подходит для дефлекторов термоядерных установок.

Нанопокртия: Наноразмерные антиокислительные покрытия (например, Al₂O₃/ZrO₂) наносятся на поверхность молибденовых стержней TZM методами химического осаждения из газовой фазы (CVD) или физического осаждения из газовой фазы (PVD). Коэффициент теплового расширения нанопокртия более совместим с подложкой, а скорость отслаивания снижается до менее чем 5%.

7.2.3 Конкуренция с другими высокотемпературными материалами

Молибденовые стержни TZM конкурируют с другими высокотемпературными материалами, такими как вольфрамовые сплавы, сплавы на основе никеля, керамика и композиты на основе углерода. Конкретные сравнения включают:

Вольфрамовые сплавы: Вольфрамовые сплавы (плотность 19,3 г/см³) имеют более высокую температуру плавления (3422°C) и прочность, но гораздо более высокую плотность, чем молибденовые стержни TZM (10,2 г/см³), что ограничивает их использование в чувствительных к весу аэрокосмических приложениях. Молибденовый стержень TZM может заменить некоторые вольфрамовые сплавы при температуре ниже 1600°C за счет оптимизации стойкости к окислению.

Сплавы на основе никеля: Сплавы на основе никеля (например, Inconel 718) обладают отличной стойкостью к окислению и ударной вязкостью при 1000-1200°C, но их высокотемпературная прочность (200-300 МПа) ниже, чем у молибденовых стержней TZM (400-500 МПа). Молибденовые стержни TZM конкурируют при более высоких температурах

благодаря технологии нанопокрытия.

Керамика и композиты на основе углерода: керамика (например, SiC, ZrB₂) обладает отличной стойкостью к окислению, но высокой хрупкостью; Углерод/углеродные композиты легкие, но требуют комплексной защиты покрытия в окислительных средах. Молибденовые стержни TZM разработаны с использованием композитов (например, TZM/SiC) для сочетания прочности металла с стойкостью к окислению керамики.

Усовершенствования включают разработку матричных композитов TZM, оптимизацию технологии нанесения покрытий и снижение производственных затрат для повышения конкурентоспособности молибденовых стержней TZM на рынке высокотемпературных материалов.

7.3 Интеллектуальное и экологичное производство

Интеллектуальные и экологически чистые производственные технологии являются направлением развития производства молибденовых стержней TZM, которые позволяют повысить эффективность производства, снизить энергопотребление и уменьшить загрязнение окружающей среды. Ниже приведен подробный анализ с трех аспектов: интеллектуальный мониторинг производства, энергосберегающее и экологически чистое производство и переработка отходов.

7.3.1 Интеллектуальная технология контроля производства

Интеллектуальная технология мониторинга производства оптимизирует производственный процесс молибденовых стержней TZM за счет сбора и анализа данных в режиме реального времени, повышая стабильность качества и эффективность. К конкретным технологиям относятся:

Система внутритрубного контроля: Использование технологий ультразвукового, рентгеновского и визуального контроля, мониторинг размера, дефектов и микроструктуры молибденовых стержней TZM в режиме реального времени. Например, системы рентгеновской визуализации могут обнаруживать внутренние дефекты размером более 0,1 мм и снижать процент отбраковки до менее чем 0,5%.

Промышленный Интернет вещей (IIoT): с помощью датчиков и систем ПЛК температура спекания, давлениековки и параметры обработки собираются в режиме реального времени и передаются в облако для анализа. Системы IIoT могут повысить производительность до 20% и снизить частоту отказов оборудования на 15%.

Оптимизация на основе искусственного интеллекта: использует алгоритмы машинного обучения для прогнозирования влияния параметров процесса на производительность, оптимизации температуры спекания, деформации прокатки и толщины покрытия. Например, оптимизация с помощью искусственного интеллекта может контролировать размер зерна молибденовых стержней TZM с точностью до 10-20 микрон, улучшая сопротивление ползучести.

7.3.2 Энергосберегающая и экологически чистая технология производства

Процесс производства молибденовых стержней TZM (например, вакуумное спекание, горячая штамповка) является энергоемким, требующим энергосберегающих и экологически чистых технологий для снижения углеродного следа. Конкретные меры включают:

Высокоэффективная печь для спекания: Высокоэффективные вакуумные печи для спекания (например, вольфрамовые нагреватели) используются для снижения энергопотребления на 15-20% за счет оптимизации кривой нагрева и времени выдержки. Например, агломерационная печь компании ALD в Германии может контролировать энергопотребление одного спекания до менее чем 500 кВтч.

Возобновляемые источники энергии: сократите выбросы углекислого газа, переключив источник питания вашего производственного оборудования на солнечную или ветровую. Например, некоторые производители молибденовых прутков TZM в Европе достигли 50% поставок возобновляемой энергии.

Очистка выхлопных газов: В процессе порошковой металлургии и обработки поверхностей используются высокоэффективные системы фильтрации (такие как фильтры HEPA) для очистки летучих оксидов и кислых отходящих газов, чтобы гарантировать, что выбросы соответствуют стандартам EC RoHS.

Исследования показали, что энергосберегающие и экологически чистые технологии позволяют сократить выбросы углерода при производстве молибденовых прутков TZM на 30%, что соответствует мировому тренду «зеленого» производства.

7.3.3 Эффективная переработка отходов

Лом (например, стружка, спеченные остатки) при производстве молибденовых стержней TZM содержит высокоценные молибден, титан и цирконий, а эффективная технология переработки снижает затраты и воздействие на окружающую среду. Методы включают в себя:

Химическая переработка: молибден, титан и цирконий извлекаются из отходов с помощью кислотного растворения и электрохимического разделения. Коэффициент восстановления может достигать 95%, а стоимость может быть снижена на 20%. Например, процесс химического восстановления H.C. Starck увеличивает извлечение молибдена до 98%.

Механическая переработка: Лом перерабатывается в заготовки молибденовых прутков TZM с помощью технологии дробления, просеивания и повторного спекания. Механическая переработка подходит для крупногабаритного лома с коэффициентом переработки около 90%.

Замкнутая система переработки: Создайте замкнутую систему переработки производственной линии для прямого повторного использования отходов в процессе порошковой металлургии для сокращения отходов ресурсов. По данным Chinatungsten Online, замкнутый цикл переработки может снизить процент брака до менее чем 5%.

Технология переработки отходов не только снижает себестоимость продукции, но и отвечает требованиям экономики замкнутого цикла и способствует устойчивому развитию индустрии молибденовых прутков TZM.

7.4 Будущие тенденции

Будущие разработки молибденовых стержней TZM будут сосредоточены на высокопроизводительном проектировании, расширении междоменных приложений и приложениях в экстремальных условиях для удовлетворения потребностей аэрокосмической, термоядерной, новой энергетики и других областей. Ниже приведен подробный анализ с трех аспектов.

7.4.1 Высокопроизводительное проектирование и оптимизация

Высокопроизводительная конструкция еще больше повышает производительность молибденовых стержней TZM за счет оптимизации материалов, процессов и конструкции. К числу конкретных тенденций относятся:

Многомасштабное моделирование: молекулярная динамика и анализ методом конечных элементов используются для моделирования характеристик молибденовых стержней TZM в условиях высоких температур и высоких нагрузок, а также для оптимизации состава и микроструктуры сплава. Например, моделирование показывает, что добавление 0,1% рения увеличивает прочность на разрыв на 15%.

Индивидуальный дизайн: состав, покрытие и форма молибденового стержня TZM могут быть настроены в соответствии с потребностями применения (например, ракетное сопло или плавильный дефлектор). Например, аэрокосмические компоненты могут быть оснащены высоким содержанием титана (0,8%) для прочности, а термоядерные установки могут быть оснащены высоким содержанием циркония (0,2%) для повышения стойкости к окислению.

Функционально градиентные материалы (FGM): функциональные градиентные материалы на основе TZM разрабатываются для улучшения их общих свойств путем формирования градиентов эксплуатационных характеристик (например, поверхностного слоя окисления, внутренней матрицы высокой прочности) внутри материала. FGM может продлить срок службы молибденовых стержней TZM при температуре 1600°C в 2 раза.

7.4.2 Междоменное расширение приложения

Область применения молибденового стержня TZM расширяется от традиционной высокотемпературной промышленности до областей новой энергетики, медицины и национальной обороны. К числу конкретных тенденций относятся:

Новая энергетика: молибденовый стержень TZM используется для изготовления разъемов и электродов для твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ), которые могут стабильно работать при 800-1000°C. Например, в ТОТЭ Bloom Energy используются разъемы из сплава TZM.

Медицинские изделия: молибденовые стержни TZM используются при изготовлении компонентов для оборудования для высокотемпературной стерилизации и радиоизотопных контейнеров, которые выдерживают высокие температуры и высокую радиацию. Например, медицинские контейнеры из кобальта-60 имеют срок службы компонентов TZM до 20 лет.

Оборонная промышленность: молибденовые стержни TZM используются при изготовлении систем тепловой защиты и ракетных сопел для гиперзвуковых аппаратов,

способных выдерживать мгновенные тепловые нагрузки выше 3000°C.

Расширение межотраслевых приложений будет стимулировать рост рынка молибденовых стержней TZM, который, как ожидается, вырастет на 20% к 2030 году.

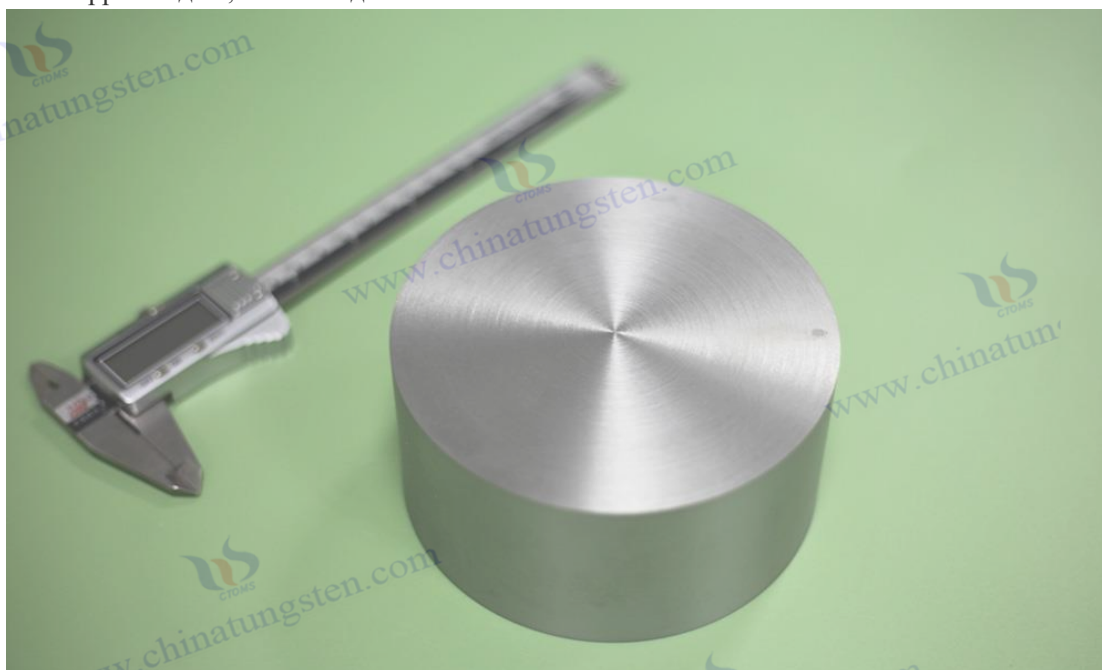
7.4.3 Применение в экстремальных условиях

Применение молибденового стержня TZM в экстремальных условиях (таких как сверхвысокая температура, сильное излучение и сильная коррозия) является основным направлением будущих разработок. К числу конкретных тенденций относятся:

Сверхвысокотемпературные среды: благодаря разработке новых антиокислительных покрытий и композитных материалов, молибденовые стержни TZM могут применяться в сверхвысокотемпературных средах выше 2000 °C, таких как ракетные двигатели нового поколения и плазменные двигатели.

Сильная радиационная среда: При ядерном синтезе и освоении космоса молибденовые стержни TZM должны подвергаться высокоэнергетическому облучению нейтронами и гамма-лучами. Добавление редкоземельных элементов и оптимизация микроструктуры могут улучшить радиационную стойкость для удовлетворения потребностей ИТЭР и лунных баз.

Высококоррозионные среды: В шельфовой и химической промышленности молибденовые стержни TZM должны быть устойчивы к кислым газам и солевым туманам. Технология азотирования поверхности и нанесения композитных покрытий снижает скорость коррозии до 0,005 мм/год.



CTIA GROUP LTD TZM Молибденовый стержень

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

CTIA GROUP LTD

TZM Molybdenum Rod Introduction

1. Overview of TZM Molybdenum Rod

TZM molybdenum rods are high-performance molybdenum-based alloy materials composed of a molybdenum (Mo) matrix with small additions of titanium (Ti), zirconium (Zr), and carbon (C). Compared to pure molybdenum, TZM alloy offers significantly higher high-temperature strength, excellent thermal stability, superior creep resistance, and outstanding oxidation resistance, making it an ideal material for high-temperature structural applications.

2. Characteristics of TZM Molybdenum Rod

High Melting Point: Suitable for extreme high-temperature environments.

Excellent High-Temperature Strength: Maintains mechanical strength and rigidity at 1200–1600°C.

Good Thermal Stability and Creep Resistance: Ideal for long-term use under high temperatures with minimal deformation and high reliability.

Superior Corrosion and Oxidation Resistance: Applicable in vacuum, high-temperature inert atmospheres, and oxidative conditions.

Excellent Machinability: Suitable for turning, milling, grinding, and welding processes.

3. Typical Applications of TZM Molybdenum Rod

High-Temperature Furnace Components: Supports, heat shields, heating elements, and electrode rods.

Aerospace Industry: Structural components in rocket nozzles and engine parts operating under high temperatures.

Nuclear Industry: Used in reactor support structures and control rod guide systems.

Electronics Industry: Structural materials in ion implantation, evaporation sources, and semiconductor processing equipment.

Mold Manufacturing: Hot extrusion dies, aluminum alloy die-casting molds with excellent high-temperature wear resistance.

4. Specifications of TZM Molybdenum Rod

Main Ingredients	Mo: ≥ 99%
	Ti: 0.40–0.55%
	Zr: 0.06–0.12%
	C: 0.01–0.04%
Size Range	Diameter ϕ 6mm – ϕ 120mm, length up to 2000mm (customizable)
Surface	Black(forged), bright (turned or ground)
Processing Method	Forging, rolling, drawing, or machining forming

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

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

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

8. Стандарты и спецификации молибденовых стержней TZM

Будучи высокоэффективным жаропрочным сплавом, молибденовый стержень TZM широко используется в аэрокосмической, атомной промышленности, производстве полупроводников и других областях, а его производство, тестирование и применение должны соответствовать строгим стандартам и спецификациям. Эти стандарты охватывают состав материалов, эксплуатационные испытания, производственный процесс, контроль качества и экологический менеджмент для обеспечения стабильности, безопасности и конкурентоспособности молибденовых стержней TZM на международном рынке. В этой главе всесторонне обсуждаются стандарты и спецификации, относящиеся к молибденовому стержню TZM, с пяти аспектов: национальные стандарты (национальные стандарты), международные стандарты (ISO), американские стандарты (американские стандарты), другие международные и отраслевые стандарты, а также внедрение стандартов и сертификация.

8.1 Национальные стандарты (GB)

Являясь крупнейшим в мире производителем молибденовых ресурсов и производителем молибденовых стержней TZM, Китай сформулировал ряд национальных стандартов (GB/T) для регулирования производства и применения молибденовых стержней TZM. Эти стандарты охватывают свойства материалов, методы испытаний и процессы оборудования, а также обеспечивают единую основу для отечественных предприятий и международной торговли. Ниже приведен подробный анализ с трех аспектов.

8.1.1 GB/T Молибден и молибденовые сплавы Стандарты

Китайские национальные стандарты (GB/T) подробно определяют химический состав, физические свойства и требования к обработке молибдена и молибденовых сплавов (таких как TZM), а к основным стандартам относятся:

GB/T 3462-2017 Прутки из молибдена и молибденовых сплавов: Настоящий стандарт определяет химический состав молибденовых стержней TZM ($\text{Mo} \geq 99,38\%$, $\text{Ti}: 0,4-0,55\%$, $\text{Zr}: 0,06-0,12\%$, $\text{C}: 0,01-0,04\%$), допуск на размеры (диаметр $\pm 0,02$ мм, длина ± 1 мм), качество поверхности ($\text{Ra} \leq 3,2$ мкм) и механические свойства (прочность на разрыв ≥ 400 МПа, 1200°C). Стандарт требует, чтобы молибденовые стержни TZM были изготовлены методом вакуумного спекания или атмосферного спекания, чтобы плотность достигала более 98% от теоретической плотности.

GB/T 4194-2015 Методы химического анализа молибдена и молибденовых сплавов: В настоящем стандарте подробно описаны методы анализа молибдена, титана, циркония, углерода и примесных элементов в молибденовых стержнях TZM, включая эмиссионную спектроскопию с индуктивно связанной плазмой (ICP-OES) и рентгенофлуоресцентную спектроскопию (XRF). Например, содержание кислорода должно контролироваться на уровне $\leq 0,005\%$, а примесей, таких как железо и кремний, должно $\leq 0,01\%$.

GB/T 17792-2014 Общие технические условия на прутки из молибдена и молибденовых сплавов: Этот стандарт охватывает требования к микроструктуре, обнаружению дефектов

поверхности, упаковке и транспортировке молибденовых стержней TZM. В стандарте подчеркивается, что на поверхности бруска не должно быть накали, царапин или пористости.

8.1.2 Стандарты испытаний и оценки жаропрочных сплавов

Стандарт испытаний и оценки жаропрочных сплавов используется для оценки механических свойств, стойкости к окислению и сопротивления ползучести молибденовых стержней TZM в высокотемпературной среде. К ключевым критериям относятся:

GB/T 4338-2015 Метод испытаний металлических материалов на растяжение при высоких температурах: Этот стандарт определяет метод испытаний на растяжение для молибденового стержня TZM при температуре 1000-1600 °C, который требует использования вакуума или инертной атмосферы (например, аргона) для испытания окружающей среды, а точность контроля температуры составляет ± 5 °C. Результаты испытаний показывают, что прочность на разрыв молибденового стержня TZM при 1200°C составляет 400-500 МПа, а удлинение – 5-10%.

GB/T 2039-2012 Методы испытаний металлических материалов на ползучесть и прочность: Этот стандарт используется для испытания характеристик ползучести молибденовых стержней TZM при 1400°C и 20 МПа, где требуется скорость ползучести менее 10^{-6} /с и срок службы ≥ 5000 часов. Для проведения испытаний требуется высокотемпературный стенд для испытаний на ползучесть (например, серия Instron 5980).

GB/T 16878-1997 Метод определения твердости металлических материалов при высоких температурах: Настоящий стандарт определяет метод определения твердости по Виккерсу (HV) для молибденового стержня TZM при 1000 °C, при этом твердость должна поддерживаться на уровне 200-250 HV. Результаты испытаний показывают, что высокотемпературная твердость молибденового стержня TZM лучше, чем у чистого молибдена (150-200 HV).

Эти стандарты обеспечивают надежность молибденовых стержней TZM в высокотемпературных приложениях, таких как сопла ракет, компоненты ядерных реакторов. Согласно техническому отчету Chinatungsten Online, внедрение GB/T 4338 и GB/T 2039 значительно улучшило качество применения молибденовых стержней TZM в аэрокосмической отрасли.

8.1.3 Исполнительное оборудование и технологические спецификации

Технические характеристики оборудования и технологического процесса обеспечивают стандартизацию и безопасность процесса производства молибденовых стержней TZM. К ключевым критериям относятся:

GB/T 15067-2016 Технические условия на оборудование для обработки молибдена и молибденовых сплавов: Настоящий стандарт определяет требования к эксплуатационным характеристикам вакуумных печей для спекания, кузнечных машин и прокатного оборудования. Например, вакуумная печь для спекания должна достигать степени вакуума 10^{-3} - 10^{-5} Па и однородности температуры ± 5 °C; Диапазон давления кузнечной машины

составляет 500-2000 тонн.

GB 50828-2012 Технические условия безопасности для производства жаропрочных сплавов: Этот стандарт требует, чтобы цех по производству молибденовых прутков TZM был оборудован взрывозащищенными устройствами, системами очистки выхлопных газов (такими как фильтры HEPA) и чистыми помещениями (класс ISO 7, концентрация частиц < 10 000 частиц/м³). В стандарте также указаны меры по предотвращению пыли и окисления в процессах порошковой металлургии.

GB/T 29490-2013 Требования к системам управления энергопотреблением предприятия: Этот стандарт направляет производителей молибденовых прутков TZM для оптимизации энергопотребления, например, использования высокоэффективных печей для спекания (потребление энергии < 500 кВтч/время) и источников энергии из возобновляемых источников.

Эти технические характеристики обеспечивают безопасность, эффективность и экологичность производства молибденовых прутков TZM. Например, китайский производитель молибденовых стержней TZM повысил эффективность производства на 20% и снизил процент брака до менее чем 5%, внедрив стандарт GB/T 15067.

8.2 Международные стандарты (ISO)

Стандарт Международной организации по стандартизации (ISO) обеспечивает единую спецификацию для глобального производства и применения молибденовых стержней TZM, охватывающую испытания материалов, экологический менеджмент и неразрушающие испытания. Ниже приведен подробный анализ с трех аспектов.

8.2.1 ISO 6892 Испытание металлических материалов на растяжение

Серия стандартов ISO 6892, включая ISO 6892-1:2019 и ISO 6892-2:2018, определяет метод испытаний на растяжение молибденовых стержней TZM при комнатной температуре и высоких температурах:

ISO 6892-1:2019 (Растяжение при комнатной температуре): Требуется испытание на прочность на разрыв (600-700 МПа), предел текучести (500-600 МПа) и удлинение (10-15%) молибденовых стержней TZM с использованием универсальной испытательной машины (например, Instron 5982). Испытание проводится при постоянной скорости деформации ($10^{-3}/с$) с шероховатостью поверхности $Ra \leq 0,4$ мкм.

ISO 6892-2:2018 (Высокотемпературное растяжение): Определяет метод испытаний на растяжение при 1000-1600 °C, требующий использования вакуума или инертной атмосферы (например, аргона, чистота $\geq 99,999\%$) и точность контроля температуры ± 5 °C. Результаты испытаний показывают, что прочность на разрыв молибденового стержня TZM при 1200°C составляет 400-500 МПа, что лучше, чем у чистого молибдена при 200-300 МПа.

8.2.2 ISO 14001 Система экологического менеджмента

ISO 14001:2015 — это всемирно признанный стандарт для систем экологического менеджмента, который направляет производителей молибденовых прутков TZM для

снижения их воздействия на окружающую среду. Конкретные требования включают:

Управление энергопотреблением: Необходимо оптимизировать энергопотребление агломерационных печей и технологического оборудования, например, использовать высокоэффективные нагревательные элементы (вольфрамовые нагреватели) и возобновляемые источники энергии. Энергопотребление производителей молибденовых стержней TZM должно контролироваться ниже 500 кВтч/т.

Управление отходами: Отходы, образующиеся в процессе порошковой металлургии и обработки поверхностей (например, молибденовая пыль, кислотные отходы), должны быть отсортированы и переработаны. Например, химическая переработка может увеличить извлечение молибдена до 98%.

Контроль выбросов: Требуется установка высокоэффективных систем очистки выхлопных газов (например, фильтров HEPA) для обеспечения соответствия летучих оксидов (MoO_3) и кислотных газов местным нормам (например, стандартам EC RoHS).

Ведущие мировые производители молибденовых стержней TZM, такие как Plansee, сертифицированы по стандарту ISO 14001, что позволяет сократить выбросы углекислого газа на 30% в соответствии с тенденцией «зеленого» производства.

8.2.3 Стандарт ISO 3452 по неразрушающему контролю

Серия стандартов ISO 3452, в том числе ISO 3452-1:2021, определяет метод капиллярных испытаний молибденовых стержней TZM для обнаружения поверхностных трещин и дефектов. Конкретные требования включают:

Капиллярный контроль (РТ): обнаруживает трещины, поры и царапины на поверхности молибденовых стержней TZM с помощью флуоресцентного или видимого пермеата красителя. Чувствительность обнаружения до 0,05 мм для аэрокосмических компонентов, таких как сопла ракет.

Процесс контроля: включая очистку поверхности, нанесение пермеата, нанесение проявителя и наблюдение за дефектами. Стандарт требует внешней освещенности 500-1000 лк и температуры 20-25°C.

Критерии приемки: длина поверхностной трещины $\leq 0,1$ мм, диаметр пор $\leq 0,05$ мм. Молибденовые стержни TZM должны пройти 100% капиллярное испытание для аэрокосмического применения.

8.3 Американские стандарты (стандарт США)

Американские стандарты (ASTM, ASME) оказывают важное влияние на глобальное применение молибденовых стержней TZM, особенно в аэрокосмической и атомной промышленности. Ниже приведен подробный анализ с трех аспектов.

8.3.1 Стандарт ASTM B387 для прутков из молибдена и молибденовых сплавов

ASTM B387-18 является основным стандартом для молибденовых стержней TZM, определяющим состав материала, свойства и требования к обработке:

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Химический состав: Mo $\geq$ 99,38%, Ti: 0,4-0,55%, Zr: 0,06-0,12%, C: 0,01-0,04%, примеси (такие как Fe, Si) $\leq$ 0,01%.

Механические свойства: прочность на разрыв 600-700 МПа при комнатной температуре, относительное удлинение 10-15%; Прочность на разрыв при 1200°C 400-500 МПа. Стандарт требует проведения испытаний в соответствии с ASTM E8 (растяжение при комнатной температуре) и ASTM E21 (растяжение при высокой температуре).

Размеры и поверхность: допуск по диаметру $\pm 0,02$ мм, шероховатость поверхности Ra $\leq$ 0,4 мкм, отсутствие трещин, оксидной окалины и пористости.

Микроструктура: Размер зерна 10-30 мкм, плотность $\geq$ теоретической плотности 98%.

8.3.2 Испытание на микротвердость по стандарту ASTM E384

В стандарте ASTM E384-17 указан метод определения микротвердости молибденовых стержней TZM для оценки твердости материала и однородности микроструктуры:

Метод испытания: используется твердомер Виккерса (HV), усилие нагружения составляет 0,5-1 кг, а время вдавливания 10-15 секунд. Результаты испытаний показывают, что твердость молибденового стержня TZM составляет 250-300 HV, а площадь частиц карбида может достигать 500 HV.

Высокотемпературная твердость: испытана при 1000°C, твердость поддерживается на уровне 200-250 HV, что лучше, чем 150-200 HV чистого молибдена.

Анализ микроструктуры: Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) была использована для наблюдения за микроструктурой вокруг вдавливания, чтобы оценить распределение и эффект интенсификации частиц карбида.

ASTM E384 обеспечивает надежность молибденовых стержней TZM в высокотемпературных пресс-формах и аэрокосмических компонентах. Например, Boeing использует стандарт ASTM E384 для проверки твердости молибденовых стержней TZM, чтобы убедиться в производительности опор лопаток турбины.

8.3.3 Стандарт ASME для производства высокотемпературного оборудования

Стандарт ASME (Американское общество инженеров-механиков) регулирует производство и применение молибденовых стержней TZM в высокотемпературном оборудовании, таком как ядерные реакторы, авиационные двигатели. К ключевым критериям относятся:

ASME BPVC, раздел II: Определяет свойства материала и сертификационные требования для молибденовых стержней TZM, такие как прочность на разрыв, ползучесть и стойкость к окислению. Стандарт требует, чтобы скорость ползучести составляла менее 10^{-6} /с для молибденовых стержней TZM при температуре 1400°C.

ASME BPVC, раздел VIII: Определяет производственные процессы, такие как сварка, термообработка и неразрушающий контроль молибденовых стержней TZM в высокотемпературных сосудах под давлением. Стандарт требует 100% ультразвукового контроля (УЗИ) и рентгеновского контроля (РТ).

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

ASME Y14.5 Размеры и допуски: Определяет геометрические допуски (например, округлость, прямолинейность) молибденовых стержней TZM для обеспечения точности установки в высокотемпературном оборудовании.

8.4 Другие международные и отраслевые стандарты

Помимо китайских и американских стандартов, стандарты Японии (JIS), Германии (DIN) и России (ГОСТ) также содержат спецификации на производство и применение молибденовых стержней TZM. Ниже приведен подробный анализ с трех аспектов.

8.4.1 JIS G 0571 Стандарт испытаний для молибденовых материалов

JIS G 0571:2012 — японский промышленный стандарт, определяющий методы тестирования химического состава и свойств молибдена и молибденовых сплавов (в том числе TZM):

Химический состав: Mo $\geq$ 99,38%, Ti: 0,4-0,55%, Zr: 0,06-0,12%, примеси (такие как O, N) $\leq$ 0,005% молибденового стержня TZM.

Испытание на механические свойства: включая испытание на растяжение при комнатной температуре (предел прочности 600-700 МПа), высокотемпературное растяжение (1200°C, 400-500 МПа) и испытание на твердость (HV 250-300).

Качество поверхности: Шероховатость поверхности должна быть Ra $\leq$ 3,2 мкм, без трещин и оксидной окалины. В стандарте также указан метод капиллярного контроля поверхностных дефектов.

JIS G 0571 широко используется в полупроводниковой промышленности и производстве высокотемпературных печей в Японии. Например, японская корпорация Toshiba использует JIS G 0571 для тестирования молибденовых стержней TZM для использования в устройствах ионной имплантации.

8.4.2 Стандарт неразрушающего контроля DIN EN 10228

Серия стандартов DIN EN 10228, включая DIN EN 10228-3:2016, определяет методы неразрушающего контроля молибденовых стержней TZM с акцентом на ультразвуковой контроль (UT):

Ультразвуковой контроль: Использует преобразователь 5-10 МГц для обнаружения трещин, пор и включений внутри молибденовых стержней TZM. Обладая чувствительностью обнаружения до 0,1 мм, он подходит для компонентов в аэрокосмической и атомной промышленности.

Критерии приемки: размер внутреннего дефекта $\leq$ 0,1 мм, длина поверхностной трещины $\leq$ 0,05 мм. Стандарт требует 100% проверки высоконадежных компонентов (например, регулирующих стержней ядерных реакторов).

Испытательное оборудование: Для обеспечения повторяемости результатов испытаний требуется использование высокоточных ультразвуковых детекторов (таких как Krautkramer, Германия).

CTIA GROUP LTD
TZM Molybdenum Rod Introduction

1. Overview of TZM Molybdenum Rod

TZM molybdenum rods are high-performance molybdenum-based alloy materials composed of a molybdenum (Mo) matrix with small additions of titanium (Ti), zirconium (Zr), and carbon (C). Compared to pure molybdenum, TZM alloy offers significantly higher high-temperature strength, excellent thermal stability, superior creep resistance, and outstanding oxidation resistance, making it an ideal material for high-temperature structural applications.

2. Characteristics of TZM Molybdenum Rod

High Melting Point: Suitable for extreme high-temperature environments.

Excellent High-Temperature Strength: Maintains mechanical strength and rigidity at 1200–1600°C.

Good Thermal Stability and Creep Resistance: Ideal for long-term use under high temperatures with minimal deformation and high reliability.

Superior Corrosion and Oxidation Resistance: Applicable in vacuum, high-temperature inert atmospheres, and oxidative conditions.

Excellent Machinability: Suitable for turning, milling, grinding, and welding processes.

3. Typical Applications of TZM Molybdenum Rod

High-Temperature Furnace Components: Supports, heat shields, heating elements, and electrode rods.

Aerospace Industry: Structural components in rocket nozzles and engine parts operating under high temperatures.

Nuclear Industry: Used in reactor support structures and control rod guide systems.

Electronics Industry: Structural materials in ion implantation, evaporation sources, and semiconductor processing equipment.

Mold Manufacturing: Hot extrusion dies, aluminum alloy die-casting molds with excellent high-temperature wear resistance.

4. Specifications of TZM Molybdenum Rod

Main Ingredients	Mo: ≥ 99%
	Ti: 0.40–0.55%
	Zr: 0.06–0.12%
	C: 0.01–0.04%
Size Range	Diameter φ6mm – φ120mm, length up to 2000mm (customizable)
Surface	Black(forged), bright (turned or ground)
Processing Method	Forging, rolling, drawing, or machining forming

5. Procurement Information

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

Website: www.molybdenum.com.cn

8.4.3 ГОСТ 17431 Сплав молибденовый стандарт

ГОСТ 17431-72 – российский стандарт на молибденовые сплавы, который подходит для производства и испытаний молибденовых стержней ТЗМ:

Химический состав: Mo $\geq$ 99,38%, Ti: 0,4-0,55%, Zr: 0,06-0,12%, C: 0,01-0,04%, примеси $\leq$ 0,01%.

Механические свойства: прочность на разрыв 600-700 МПа при комнатной температуре, прочность на разрыв 400-500 МПа при 1200°C, ресурс ползучести $\geq$ 5000 часов (1400°C, 20 МПа).

Требования к обработке: Он должен быть приготовлен методом вакуумного спекания или атмосферного спекания, с плотностью $\geq$ 98% теоретической плотности и шероховатостью поверхности Ra $\leq$ 0,8 мкм.

ГОСТ 17431 широко применяется в российской атомной промышленности и аэрокосмической отрасли, например, российская компания «Росатом» использует этот стандарт для производства молибденовых стержней ТЗМ для ядерных реакторов.

8.5 Внедрение и сертификация стандартов

Внедрение стандартов и сертификация являются ключевой частью обеспечения качества и конкурентоспособности молибденовых стержней TZM на международном рынке, включая производственные испытания, систему управления качеством и соблюдение экспортного законодательства. Ниже приведен подробный анализ с трех аспектов.

8.5.1 Стандартные приложения в производстве и испытаниях

Производство и испытания молибденовых стержней TZM должны строго соответствовать вышеупомянутым национальным, международным и отраслевым стандартам. Конкретные реализации включают в себя:

Контроль сырья: Согласно GB/T 4194 и ASTM B387, состав порошка молибдена, порошка титана и порошка циркония был проанализирован с использованием ICP-OES и XRF, чтобы убедиться, что содержание примесей составляет $\leq$ 0,01%.

Управление процессами: спекание, ковка и механическая обработка в соответствии с GB/T 15067 и ASME BPVC раздел VIII. Например, в вакуумных печах для спекания необходимо поддерживать уровень вакуума 10^{-3} - 10^{-5} Па и однородность температуры на уровне $\pm 5^\circ\text{C}$.

Эксплуатационные испытания: Проверьте прочность на разрыв, ползучесть и твердость молибденовых стержней TZM в соответствии с ISO 6892, GB/T 4338 и ASTM E384. Например, высокотемпературное испытание на растяжение проводится при температуре 1200°C с пределом прочности $\geq$ 400 МПа.

Неразрушающий контроль: 100% контроль молибденовых стержней TZM для аэрокосмической и атомной промышленности в соответствии с ISO 3452 и DIN EN 10228 с использованием капиллярного контроля и ультразвукового контроля для обеспечения отсутствия трещин и пор.

8.5.2 Сертификация систем менеджмента качества (e.g. ISO 9001)

ISO 9001:2015 — это признанный во всем мире стандарт системы управления качеством, который регулирует контроль качества и постоянное совершенствование у производителей молибденовых прутков TZM. Конкретные требования включают:

Управление процессами: Необходимо регистрировать и отслеживать весь процесс закупки сырья, производственного процесса, тестирования и упаковки молибденового стержня TZM. Например, необходимо создать систему управления партиями, чтобы гарантировать, что каждая партия молибденовых стержней TZM может быть прослежена до сырья.

Удовлетворенность клиентов: Необходимо постоянно улучшать производительность и эффективность производства молибденового стержня TZM за счет обратной связи с клиентами и аудита качества. Например, заказчикам из аэрокосмической отрасли требуются молибденовые стержни TZM с размерными допусками $\leq \pm 0,01$ мм.

Непрерывное совершенствование: сокращение брака и производственных затрат за счет анализа данных и оптимизации процессов. Например, компания Plansee сертифицирована по стандарту ISO 9001, что снижает себестоимость производства молибденовых стержней TZM на 15%.

Кроме того, производители молибденовых стержней TZM в аэрокосмическом секторе должны пройти сертификацию AS9100, чтобы гарантировать, что они соответствуют специальным требованиям аэрокосмической промышленности, таким как 100% неразрушающий контроль и прозрачность цепочки поставок.

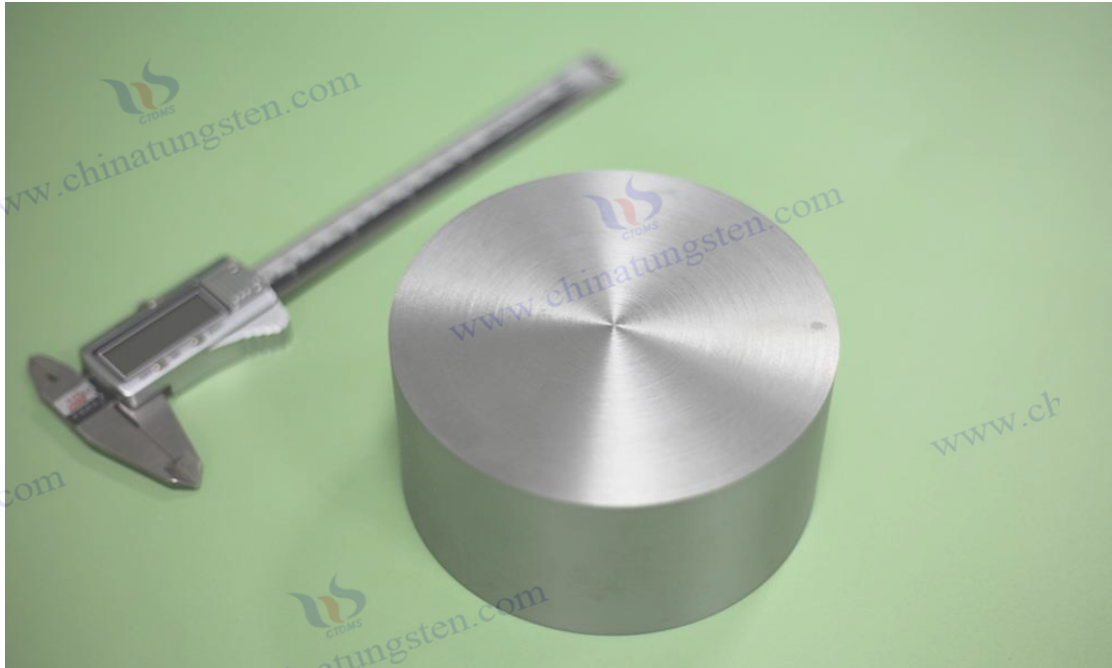
8.5.3 Экспорт и соответствие международным стандартам

Экспорт молибденовых стержней TZM осуществляется в соответствии со стандартами и правилами целевого рынка, включая гармонизацию и сертификацию международных стандартов. Конкретные требования включают:

Гармонизация стандартов: молибденовые стержни TZM должны соответствовать стандартам ASTM B387 и ASME для экспорта в Соединенные Штаты, DIN EN 10228 и ISO 14001 для экспорта в Европу и JIS G 0571 для экспорта в Японию.

Требования к сертификации: Экспортируемая продукция должна пройти сертификацию для целевого рынка, такую как сертификация CE в Европейском Союзе, сертификация UL в США или сертификация ГОСТ-Р в России. Процесс сертификации включает в себя испытания материалов, аудит процессов и проверки на соответствие экологическим требованиям.

Комплаенс-менеджмент: Необходимо создать систему комплаенс-менеджмента и регулярно принимать сторонние аудиты. Например, SGS и TÜV являются общими органами сертификации для экспорта молибденовых стержней TZM, гарантируя, что продукция соответствует международным нормам (например, RoHS, REACH).



CTIA GROUP LTD TZM Молибденовый стержень

Приложение

А. Глоссарий

1. Связанные термины

Сплав TZM

Определение: Жаропрочный сплав с молибденом (Mo) в качестве матрицы, с добавлением титана (Ti, 0,4-0,55%), циркония (Zr, 0,06-0,12%) и углерода (C, 0,01-0,04%), обладающий отличной высокотемпературной прочностью, сопротивлением ползучести и низким коэффициентом теплового расширения.

Сплав на основе молибдена

Определение: Сплав с молибденом в качестве основного компонента и другими элементами (такими как титан, цирконий, рений), добавленными для улучшения свойств. TZM является типичным представителем сплавов на основе молибдена.

Жаропрочный сплав

Определение: Металлические материалы, которые могут выдерживать механические нагрузки и химическую коррозию в течение длительного времени в условиях высоких температур выше 600°C, включая сплавы на основе никеля, сплавы на основе вольфрама и сплавы на основе молибдена.

Антиокислительное покрытие

Определение: Защитный слой (например, силицид молибдена, Al_2O_3), наносимый на поверхность молибденового стержня TZM для снижения высокотемпературного окисления и потерь материала.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

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

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

Коэффициент теплового расширения (КЛТР)

Определение: Скорость расширения на единицу длины материала при изменении температуры, коэффициент теплового расширения молибденового стержня TZM составляет $5,3 \times 10^{-6}/K$.

Сопротивление ползучести

Определение: Способность материала противостоять медленной деформации при высоких температурах и при постоянных нагрузках. Скорость ползучести молибденового стержня TZM при температуре 1400°C составляет около 1/10 от скорости ползучести чистого молибдена.

Вязкость разрушения

Определение: Способность материала противостоять распространению трещин, вязкость разрушения молибденового стержня TZM составляет $15-20 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, что выше, чем у чистого молибдена $10-12 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$.

2. Терминология подготовки и обработки

Порошковая металлургия

Определение: Метод подготовки металлических материалов путем смешивания металлических порошков, прессования и высокотемпературного спекания. Молибденовый стержень TZM обычно изготавливается методом порошковой металлургии, а температура спекания составляет 1800-2000°C.

Вакуумное спекание

Определение: Процесс нагрева заготовки металлического порошка в вакууме ($10^{-3}-10^{-5}$ Па) для соединения его в плотный материал. Вакуумное спекание молибденовых стержней TZM позволяет увеличить плотность более чем до 98% от теоретической плотности.

Горячее изостатическое прессование

Определение: Изотропное сжатие материалов при высоких температурах (1800-2000°C) и высоких давлениях (100-200 МПа) для устранения внутренней пористости и дефектов.

Холодное изостатическое прессование

Определение: Изотропное давление прикладывается к порошку жидкой средой при комнатной температуре для формирования заготовки высокой плотности. Давление СІР молибденового стержня TZM обычно составляет 200-300 МПа.

Прецизионнаяковка

Определение: Пластическая деформация молибденового стержня TZM на высокотемпературном (1200-1400°C) многоосевом ковочном оборудовании для улучшения плотности и механических свойств.

Обработки

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Определение: Фасонная обработка молибденовых стержней ТЗМ токарной, фрезерной, сверлильной и другими процессами с допусками до $\pm 0,01$ мм.

Полировка поверхности

Определение: Снижение шероховатости поверхности молибденового стержня ТЗМ ($Ra \leq 0,05$ мкм) механическими, химическими или электрохимическими методами для уменьшения точек зарождения трещин.

Неразрушающий контроль

Определение: Контроль внутренних и поверхностных дефектов молибденовых стержней ТЗМ ультразвуковыми, рентгеновскими или капиллярными методами контроля с чувствительностью до 0,05 мм.

Формование формы, близкой к сетке

Определение: Оптимизация процессов подготовки (например, SLM или HIP) для непосредственного формования деталей, приближенных к окончательной форме, что сокращает постобработку.

3. Терминология применения при высоких температурах

Прочность при высоких температурах

Определение: Способность материала противостоять деформации при растяжении, сжатии или сдвиге при высоких температурах ($>1000^{\circ}\text{C}$). Прочность на разрыв молибденового стержня ТЗМ при 1200°C составляет 400-500 МПа.

Устойчивость к тепловому удару

Определение: Способность материала противостоять трещинам или разрушениям при быстрых перепадах температуры. Молибденовый стержень ТЗМ обладает отличной стойкостью к тепловому удару благодаря низкому коэффициенту теплового расширения ($5,3 \times 10^{-6}/\text{K}$).

Теплопроводность

Определение: Способность материала проводить тепло, теплопроводность молибденового стержня ТЗМ составляет $139 \text{ Вт/м}\cdot\text{K}$, которая снижается только на 10-15% при 1200°C .

Стойкость к окислению

Определение: Способность материала противостоять образованию оксидов и потерям в высокотемпературной окислительной среде. Молибденовые стержни ТЗМ образовывали защитный слой MoO_2 при 1000°C , а скорость окислительного набора массы составляла $< 0,1 \text{ мг/см}^2\cdot\text{ч}$.

Плазменная эрозия

Определение: Явление поверхностных потерь материала при бомбардировке высокоэнергетической плазмой. Молибденовые стержни ТЗМ выдерживают 10^6 плазменные

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

удары, что лучше, чем чистый молибден.

Система тепловой защиты

Определение: Система, используемая для защиты космического аппарата от термических повреждений при высоких температурах, таких как возвращение в атмосферу. Молибденовые стержни TZM используются при изготовлении тепловых экранов и тепловых экранов.

Высокотемпературная усталость

Определение: Способность материала противостоять образованию трещин и распространению при высокотемпературных циклических нагрузках. Усталостная долговечность молибденового стержня TZM при температуре 1200°C составляет 10^5 циклов.

Термоциклическая стабильность

Определение: Способность материала сохранять свои свойства и структуру при многократном нагревании и охлаждении. Молибденовые стержни TZM выдерживают 1000 тепловых циклов (комнатная температура -1600°C).

4. Материаловедение и металлургическая терминология

Прочность твердым раствором

Определение: При растворении атомов титана и циркония в молибденовой матрице происходит деформация решетки, что повышает прочность и твердость материала.

Усиление атмосферных осадков

Определение: При образовании частиц карбида (например, TiC, ZrC) в молибденовой матрице движение дислокаций затрудняется, а также повышается прочность при высоких температурах и сопротивление ползучести.

Размер зерна

Определение: Средний размер кристаллов в материале, размер зерен молибденовых стержней TZM обычно составляет 10-30 мкм, что влияет на прочность и ударную вязкость.

Температура рекристаллизации

Определение: Температура, при которой зерна материала перестраиваются, образуя новые зерна при высоких температурах. Температура рекристаллизации молибденового стержня TZM составляет 1400-1500°C, что выше, чем у чистого молибдена при 1100°C.

Дислокация

Определение: Линейный дефект внутри кристалла, который влияет на пластическую деформацию и прочность материала. Молибденовые стержни TZM прикрепляются к дислокациям частицами карбида для повышения сопротивления ползучести.

Границы зерен

Определение: Граница раздела между зернами, которая влияет на прочность, ударную

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

вязкость и коррозионные свойства материала. Границы зерен молибденовых стержней TZM укреплены цирконием для уменьшения высокотемпературного проскальзывания.

Сканирующий электронный микроскоп

Определение: Микроскоп для наблюдения рельефа поверхности и характеристик разрушения молибденовых стержней TZM с разрешением до 1 нанометра.

Просвечивающий электронный микроскоп

Определение: Микроскоп для наблюдения за внутренней микроструктурой (например, дислокациями, карбидными частицами) молибденовых стержней TZM с разрешением до 0,1 нм.

Дифракция рентгеновских лучей

Определение: Рентгеноструктурный анализ кристаллической структуры, фазового состава и напряженного состояния молибденовых стержней TZM.

Анализ методом конечных элементов

Определение: Прогнозирование распределения напряжений и риска отказа с помощью компьютерного моделирования характеристик молибденового стержня TZM при высоких температурах и высоких нагрузках.

В. Ссылки

- [1] Chinatungsten Online, «Производственный процесс и технология молибденового сплава TZM», www.chinatungsten.com
- [2] Chinatungsten Online, Технология очистки и легирования молибденового порошка, www.ctia.com.cn
- [3] Chinatungsten онлайн, официальный аккаунт WeChat, «Оптимизация процесса производства молибденовых стержней TZM», 2023 г.
- [4] «Порошковая металлургия: наука, технология и приложения», С. Сурьянараяна
- [5] «Достижения в обработке тугоплавких металлов», Журнал технологий обработки материалов
- [6] «Вакуумное спекание сплавов TZM», Международный журнал тугоплавких металлов и твердых материалов
- [7] Chinatungsten Online, «Автоматизированная технология производства молибденового стержня TZM», news.chinatungsten.com
- [8] «Инженерия поверхности тугоплавких металлов», Технология обработки поверхностей и покрытий
- [9] Chinatungsten Online, «Оборудование для производства молибденовых стержней TZM и контроль качества», baike.ctia.com.cn
- [10] «Материаловедение и инженерия: введение», Уильям Д. Каллистер-младший
- [11] «Достижения в области тугоплавких металлов и сплавов», Журнал материаловедения
- [12] «Порошковая металлургия сплавов TZM, Международный журнал тугоплавких металлов и твердых материалов

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

- [13] 《Сплав TZM в высокотемпературных приложениях, материалы и дизайн
- [14] 《Порошковая металлургия сплавов TZM, Международный журнал тугоплавких металлов и твердых материалов