

Энциклопедия пластин из вольфрамового сплава

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

ВВЕДЕНИЕ В CTIA GROUP

CTIA GROUP LTD – дочерняя компания, полностью принадлежащая компании и имеющая независимую правосубъектность, созданная CHINATUNGSTEN ONLINE, – занимается продвижением интеллектуального, интегрированного и гибкого проектирования и производства вольфрамовых и молибденовых материалов в эпоху промышленного Интернета. CHINATUNGSTEN ONLINE, основанная в 1997 году с www.chinatungsten.com – первым в Китае веб-сайтом, посвященным вольфрамовой продукции, – является новаторской в стране компанией в сфере электронной коммерции, специализирующейся на вольфрамовой, молибденовой и редкоземельной промышленности. Используя почти три десятилетия обширного опыта в области вольфрама и молибдена, CTIA GROUP унаследовала исключительные проектные и производственные возможности своей материнской компании, превосходное обслуживание и всемирную деловую репутацию, став поставщиком комплексных прикладных решений в области вольфрамовых химикатов, вольфрамовых металлов, твердых сплавов, сплавов высокой плотности, молибдена и молибденовых сплавов.

За последние 30 лет компания CHINATUNGSTEN ONLINE создала более 200 многоязычных профессиональных веб-сайтов, посвященных вольфраму и молибдену, охватывающих более 20 языков. На сайте размещено более миллиона страниц новостей, цен и анализа рынка вольфрама, молибдена и редкоземельных металлов. С 2013 года в официальном аккаунте компании в WeChat «CHINATUNGSTEN ONLINE» было опубликовано более 40 000 информационных материалов, что позволило привлечь почти 100 000 подписчиков и ежедневно предоставлять бесплатную информацию сотням тысяч специалистов отрасли по всему миру. Благодаря миллиардам посещений веб-сайта и официального аккаунта, компания стала признанным глобальным и авторитетным информационным центром для вольфрамовой, молибденовой и редкоземельной отраслей, предоставляя круглосуточные многоязычные новости, информацию о характеристиках продукции, рыночных ценах и тенденциях рынка.

Опираясь на технологии и опыт CHINATUNGSTEN ONLINE, CTIA GROUP фокусируется на удовлетворении индивидуальных потребностей клиентов. Используя технологии искусственного интеллекта (ИИ), компания совместно с клиентами разрабатывает и производит изделия из вольфрама и молибдена с заданным химическим составом и физическими свойствами (такими как размер частиц, плотность, твердость, прочность, размеры и допуски). Компания предлагает комплексные интегрированные услуги, охватывающие весь процесс: от вскрытия пресс-форм и опытного производства до финишной обработки, упаковки и логистики. За последние 30 лет CHINATUNGSTEN ONLINE предоставила услуги по НИОКР, проектированию и производству более 500 000 видов изделий из вольфрама и молибдена более чем 130 000 клиентам по всему миру, заложив основу для индивидуального, гибкого и интеллектуального производства. Опираясь на эту основу, CTIA GROUP продолжает углублять интеллектуальное производство и комплексные инновации в области вольфрамовых и молибденовых материалов в эпоху промышленного интернета.

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



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Оглавление

Глава 1: Основные понятия и история развития пластин из вольфрамового сплава

- 1.1 Определение и основные характеристики пластин из вольфрамового сплава
- 1.2 История создания и развития пластин из вольфрамового сплава
- 1.3 Классификация пластин из вольфрамового сплава (по составу, процессу и применению)
- 1.4 Сходства и различия между пластинами из вольфрамового сплава, вольфрамовыми стержнями, вольфрамовой проволокой и вольфрам-медными пластинами
- 1.5 Обзор отечественной и международной эволюции технологий производства пластин из вольфрамового сплава и патентов

Глава 2: Физические и механические свойства пластин из вольфрамового сплава

- 2.1 Плотность, удельный вес и точность контроля размеров
- 2.2 Прочность на растяжение, предел текучести и вязкость разрушения
- 2.3 Твёрдость и износостойкость
- 2.4 Теплопроводность, коэффициент теплового расширения и высокотемпературная стабильность
- 2.5 Электрические свойства, магнитный отклик и радиационная стойкость
- 2.6 Анализ коррозионной стойкости и химической стабильности

Глава 3: Технология приготовления и формования пластин из вольфрамового сплава

- 3.1 Выбор сырья и обработка вольфрамового порошка и связующего металла
- 3.2 Процесс приготовления порошковой металлургии (прессование, изостатическое прессование, спекание)
- 3.3 Процессы горячей и холодной прокатки
- 3.4 Технологии обработки поверхности (полировка, травление, гальванопокрытие, PVD)
- 3.5 Применение лазерной наплавки и аддитивного производства в листовых металлах
- 3.6 Армирование наночастицами и технологии изготовления функционально-градиентных листовых металлов

Глава 4: Контроль качества и оценка эксплуатационных характеристик пластин из вольфрамового сплава

- 4.1 Геометрические размеры и определение плоскостности поверхности
- 4.2 Характеристика микроструктуры и плотности (СЭМ, рентгеновская дифракция)
- 4.3 Стандарты испытаний механических свойств (ASTM, GB, ISO)
- 4.4 Анализ элементного состава и содержания примесей (ИСП, РФА, ОНН)
- 4.5 Обнаружение дефектов поверхности (ультразвук, компьютерная томография, вихревые токи, магнитный порошок)
- 4.6 Оценка шероховатости поверхности и адгезии покрытия

Глава 5: Типичные области применения пластин из вольфрамового сплава

- 5.1 Защитные пластины и устройства терморегулирования в атомной промышленности
- 5.2 Защитные конструкции и противовесные пластины в аэрокосмической отрасли

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 5.3 Защитные пластины высокой плотности в медицинских радиотерапевтических устройствах
- 5.4 Пластины из вольфрамового сплава для стенок высокотемпературных печей и тепловых сред
- 5.5 Композитные пластины из штампованной стали и футеровка механических деталей
- 5.6 Рассеивание тепла и радиационно-стойкие конструкции в прецизионных приборах и электронных изделиях

Глава 6: Исследования, разработки и инновации в области специальных пластин из вольфрамового сплава

- 6.1 Получение и свойства наноструктурированных пластин из вольфрамового сплава
- 6.2 Стратегии проектирования микролегирования и многокомпонентных сплавов
- 6.3 Оптимизация микроструктуры и термообработка пластин из высокотемпературного вольфрамового сплава
- 6.4 Механизм связывания интерфейсов композитных пластин вольфрам-медь/вольфрам-никель
- 6.5 Разработка поверхностных покрытий для износостойких и коррозионно-стойких пластин
- 6.6 Разработка теплопроводящих, электропроводящих и антимагнитных функциональных пластин из вольфрамового сплава

Глава 7: Международные стандарты и системы качества для пластин из вольфрамового сплава

- 7.1 Китайские стандарты пластин из вольфрамового сплава (GB/T, YS/T)
- 7.2 Интерпретация американских стандартов (ASTM, MIL)
- 7.3 Сборник европейских и ISO стандартов пластин из вольфрамового сплава
- 7.4 Требования RoHS, REACH и MSDS к соблюдению экологических норм
- 7.5 Системы менеджмента качества в авиационной, ядерной и медицинской областях (AS9100, ISO 13485 и др.)

Глава 8: Упаковка, хранение и транспортировка пластин из вольфрамового сплава

- 8.1 Упаковочные материалы и формы (вакуумная упаковка, осушитель, упаковка на поддонах)
- 8.2 Требования к среде хранения и меры защиты от окисления и влаги
- 8.3 Меры предосторожности и правила для внутренних и международных перевозок

Глава 9: Структура отрасли и тенденции рынка пластин из вольфрамового сплава

- 9.1 Глобальный статус ресурсов вольфрама и цепочка обработки пластин
- 9.2 Анализ ёмкости рынка пластин из вольфрамового сплава и будущего роста
- 9.3 Пластины из вольфрамового сплава CTIA GROUP LTD
- 9.4 Анализ связи между стоимостью сырья, ценами на энергоносители и ценами на пластины
- 9.5 Технологические барьеры и стратегия развития отраслевой цепочки

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Глава 10: Границы исследований и направления развития пластин из вольфрамового сплава

- 10.1 Механизм уплотнения пластин из вольфрамового сплава сверхвысокой плотности
- 10.2 Аддитивное производство и интеллектуальные фабрики по производству пластин из вольфрамового сплава
- 10.3 Интеграция и расширение применения многофункциональных композитных пластин
- 10.4 Исследования улучшения характеристик в экстремальных условиях (облучение, высокая температура, коррозия)
- 10.5 Высокопроизводительные альтернативные материалы и будущие устойчивые стратегии для вольфрамовых пластин

Приложение

- Приложение 1: Общие физические и механические параметры пластин из вольфрамового сплава
- Приложение 2: Сравнительная таблица марок и химического состава вольфрамовых сплавов
- Приложение 3: Стандартные документы и основные справочные материалы для пластин из вольфрамового сплава
- Приложение 4: Глоссарий терминов по вольфрамовым сплавам и английские сокращения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

Core advantages: 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

Quality cost: optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

Advanced capabilities: advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

Service commitment

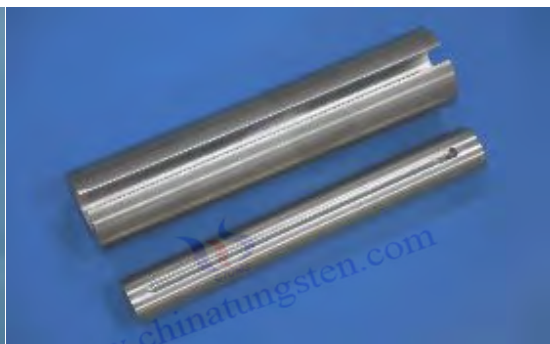
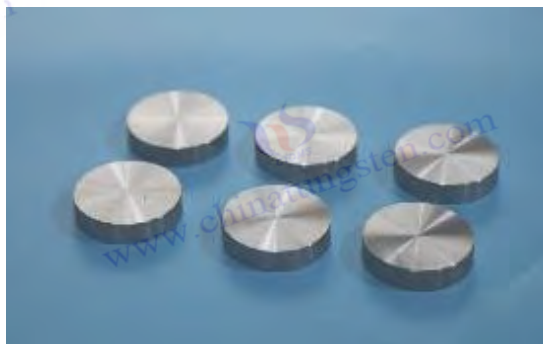
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

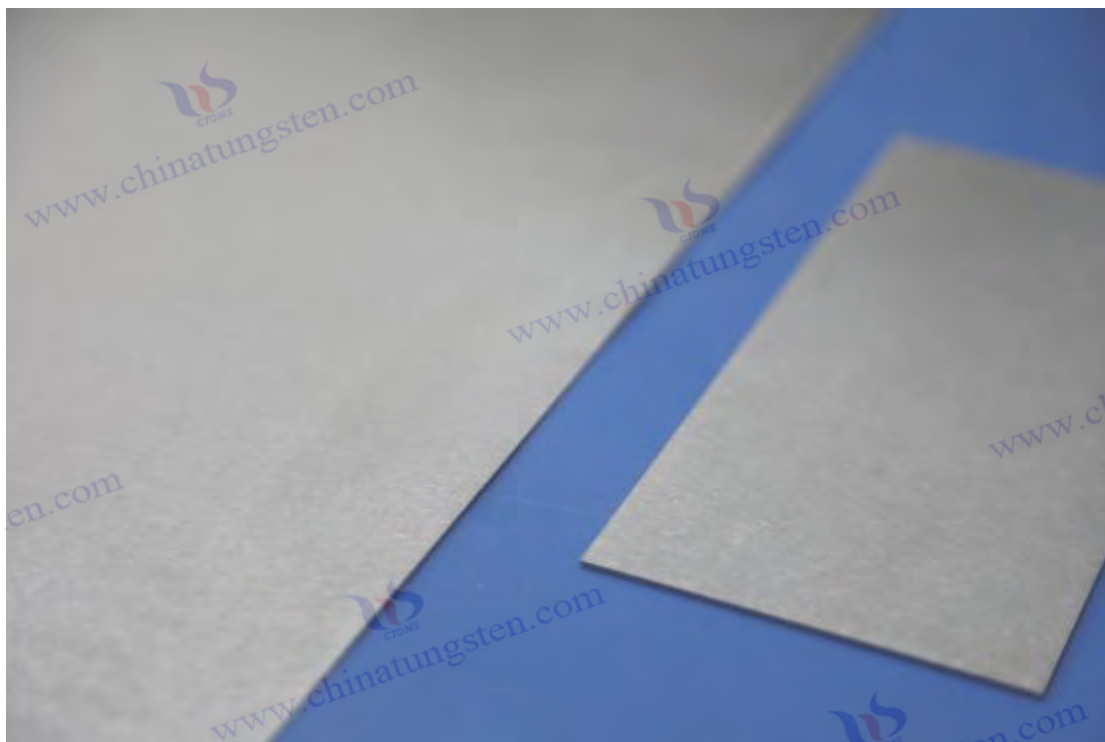
Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Глава 1. Основные понятия и история развития пластин из вольфрамового сплава

1.1 Определение и основные характеристики пластины из вольфрамового сплава

Вольфрамовый сплав – это листовой сплав, изготовленный преимущественно из вольфрама (W) с добавлением соответствующего количества никеля (Ni), железа (Fe), меди (Cu), кобальта (Co) или других элементов, добавляемых методами порошковой металлургии, горячей и холодной прокатки или аддитивного производства. Благодаря высокой температуре плавления ($3422\text{ }^{\circ}\text{C}$), превосходной плотности ($19,25\text{ г/см}^3$), хорошей теплопроводности и радиационной стойкости, вольфрамовый сплав широко используется в различных ключевых областях, включая аэрокосмическую промышленность, атомную энергетику, производство защитной брони, медицинского оборудования, высокотемпературных конструкций и электронных систем терморегулирования.

1. Определение пластины из вольфрамового сплава

С точки зрения материаловедения, пластины из вольфрамового сплава состоят в основном из высокой доли вольфрамового порошка с добавлением небольшого количества связующего металла (обычно системы Ni-Fe, Ni-Cu или Ni-Co), образуя плотную многофазную систему сплава. Обычно они представляют собой плоскую металлическую пластину прямоугольной или специальной формы толщиной от 0,1 мм до 50 мм, с регулируемой длиной и шириной. По сравнению с традиционными вольфрамовыми прутками или проволокой, пластины из вольфрамового сплава имеют большую площадь поверхности, легче режутся и могут использоваться для многофункциональных целей, таких как укрытие, экранирование и изготовление конструкционных деталей.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Основной состав и классификация пластин из вольфрамовых сплавов

В зависимости от состава сплава, способа формования и применения пластины из вольфрамового сплава можно разделить на следующие категории:

- **Классификация по системе сплавов :**
 - Пластина из сплава W-Ni-Fe (обычный тип, высокая прочность, высокая плотность, хорошие механические свойства)
 - Пластина из сплава W-Ni-Cu (немагнитного типа, используется в электронике и медицине)
 - Пластина из сплава W-Cu (высокая теплопроводность, подходит для электронного рассеивания тепла и применения в электродах)
 - Пластина из сплава W-Co (повышенная износостойкость и коррозионная стойкость)
 - Пластина из нано-вольфрамового сплава (с использованием технологии упрочнения наночастицами для повышения прочности и микростабильности)
- **Классификация по процессу производства :**
 - Лист порошковой металлургии (формование/изостатическое прессование + спекание + горячая обработка)
 - Прокатанный лист из вольфрамового сплава (горячекатаный/холоднокатаный с последующей обработкой)
 - Аддитивное производство листов из вольфрамового сплава (новые технологии, такие как лазерная плавка и 3D-печать)
 - Композитные пластины из вольфрамового сплава (такие как сэндвич-структуры W-Cu, композитные пластины из вольфрама и титана и т. д.)
- **Классификация по функции :**
 - **Конструкционная пластина из вольфрамового сплава :** конструктивные элементы, несущие статические и ударные нагрузки
 - **Функциональная пластина из вольфрамового сплава :** обладает определенными физическими функциями, такими как теплопроводность, антимагнитные свойства и защита от излучения.
 - **Защитная пластина из вольфрамового сплава :** используется для защиты от радиации, в медицинском радиотерапевтическом оборудовании и т. д.

3. Основные эксплуатационные характеристики пластин из вольфрамового сплава

1. **Высокая плотность :** плотность типичной пластины из вольфрамового сплава составляет от 17,0 до 18,5 г/см³, что в 2,2 раза превышает плотность стали того же объема. Этот материал эффективно используется для инерционных нагрузок, динамического баланса и радиационной защиты.
2. **Отличные механические свойства :** обладает высокой прочностью на разрыв (обычно до 700-1000 МПа), хорошей ударной вязкостью и технологичностью, пригоден для изготовления деталей сложной формы.
3. **Высокая температурная стабильность :** сплавы на основе вольфрама могут сохранять стабильную структуру и эксплуатационные характеристики при

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

температурах свыше 1000 °C и подходят для вакуумных высокотемпературных печей и систем термополей.

4. **Хорошая тепло- и электропроводность** : особенно в системе сплавов W-Cu теплопроводность может достигать 170-220 Вт/м·К и широко используется в теплорассеивающих структурах и электронных подложках.
5. **Отличная радиационная стойкость** : высокое атомное число и высокая плотность вольфрама обеспечивают ему превосходные экранирующие свойства от рентгеновского и гамма-излучения, значительно превосходящие традиционные свинцовые пластины.
6. **Хорошая химическая стабильность и коррозионная стойкость** : стабилен в нейтральных и слабокислых средах и превосходит другие тяжелые металлы при высоких температурах или сильных окислителях.

4. Обзор формы и характеристик пластин из вольфрамового сплава

Пластины из вольфрамового сплава обычно изготавливаются по индивидуальному заказу в соответствии с требованиями заказчика. Типичные характеристики:

- Диапазон толщины: 0,1 мм ~ 50 мм
- Диапазон ширины: от 10 мм до 600 мм
- Диапазон длин: от 10 мм до 2000 мм
- Состояние поверхности: токарная обработка, шлифовка, полировка, химическое покрытие, покрытие PVD и т. д.

Для некоторых высокоточных применений (например, ускорителей частиц и ядерного магнитного оборудования) также требуется шероховатость поверхности $Ra < 0,2$ мкм и допуск по толщине в пределах $\pm 0,01$ мм.

5. Сравнительные преимущества пластин из вольфрамового сплава и традиционных металлических пластин

Параметры производительности	Пластина из вольфрамового сплава	стереотип	Стальная пластина	Медная пластина
Плотность (г/см ³)	17,0~18,5	11.3	7.8	8.9
Температура плавления (°C)	2700+	327	1500	1083
Возможность экранирования	Очень сильный (гамма/нейтрон)	Общий (X/γ)	слабый	в целом
Теплопроводность	хороший	Разница	в целом	Отличный
Высокая температурная стабильность	Отличный	Разница	в целом	Разница
Защита окружающей среды	Высокий (нетоксичный)	Низкий (токсичный)	высокий	высокий

Пластины из вольфрамового сплава постепенно становятся альтернативой свинцу и стали в специальных функциональных областях благодаря своей прочности, плотности, термическим свойствам и характеристикам защиты окружающей среды.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Подводя итог, можно сказать, что пластины из вольфрамового сплава, являясь передовым материалом с высокой плотностью, прочностью, термостойкостью и превосходными экранирующими свойствами, представляют собой ценный материал для современного высокотехнологичного производства и прецизионных применений. Благодаря постоянному совершенствованию технологий изготовления и снижению производственных затрат, сфера их применения постепенно расширяется от военной и атомной энергетики до более широких отраслей промышленности, таких как электроника, медицина, аэрокосмическая промышленность и т.д.

1.2 Краткая история создания и развития пластин из вольфрамового сплава

Разработка пластин из вольфрамовых сплавов, являющихся важным высокопроизводительным металлическим материалом, тесно связана с развитием технологий порошковой металлургии, стратегическим освоением ресурсов вольфрама и постоянным стремлением к повышению эксплуатационных характеристик материалов в экстремальных условиях в высокотехнологичных отраслях промышленности. История развития пластин из вольфрамовых сплавов, от ранних экспериментальных применений до современного повсеместного применения в таких ключевых областях, как атомная промышленность, аэрокосмическая промышленность и медицинская защита, — это не только микрокосм эволюции технологий металлических материалов, но и отражение скачка мировой обрабатывающей промышленности от традиционных металлов к функциональным материалам со сверхвысокими эксплуатационными характеристиками.

1. Открытие и ранние исследования вольфрамовых материалов

Вольфрам (W) был впервые обнаружен человеком в середине XVIII века. В 1781 году шведский химик Карл Вильгельм Шееле впервые выделил оксид вольфрама из вольфрамата натрия, а несколько лет спустя братья Эльхуяр (Хуан Хосе и Фаусто Эльхуяр) успешно выделили металлический вольфрам. Вольфрам известен своей чрезвычайно высокой температурой плавления (3422°C) и плотностью ($19,25\text{ г/см}^3$), что быстро нашло применение в производстве нитей накаливания, электрических контактов и жаропрочных сплавов.

Однако из-за присущей вольфраму хрупкости и сложности обработки традиционные металлургические методы затрудняли его формование в тонкие листы или пластины. Поэтому первые попытки создания «пластин из вольфрамового сплава» оставались в основном на стадии лабораторных исследований, а его реальное применение в технике постепенно нашло лишь в середине XX века.

2. Развитие технологии порошковой металлургии и внедрение формовки листового металла

В начале XX века, в связи с бурным развитием технологий порошковой металлургии, учёные начали попытки перерабатывать тугоплавкие металлы (такие как вольфрам и молибден) в конструкционные детали методом прессования и спекания. Эта технология

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

интенсивно изучалась до и после Второй мировой войны, особенно в военно-промышленном комплексе США, Германии, Советского Союза и других стран, и в конечном итоге способствовала реальному производству таких изделий, как пластины из вольфрамовых сплавов.

В 1950–1970-х годах, с развитием атомной энергетики и аэрокосмических технологий, резко возрос спрос на высокоплотные, высокопрочные и радиационно-стойкие материалы. В результате систематически разрабатывались **высокоплотные вольфрамовые сплавы, такие как W-Ni-Fe и W-Ni-Cu**. В этот период пластины из вольфрамовых сплавов изготавливались преимущественно методом прессования, спекания и горячей прокатки, и первоначально было освоено промышленное производство тонколистовых деталей, которые в основном использовались для:

- Защитные пластины и поглотители нейтронов для атомных реакторов;
- Системы противовесов самолетов и ракет;
- Компоненты защиты от рентгеновского и гамма-излучения в медицине.

3. Зрелость технологий, обусловленная приложениями (1980-е–2000-е годы)

В 1980-х годах, в связи с популяризацией медицинского радиотерапевтического оборудования, бурным развитием электронной промышленности и срочными требованиями экологических норм к «заменителям свинца», спрос на пластины из вольфрамовых сплавов резко возрос. В этот период развитие технологии пластин из вольфрамовых сплавов выявило следующие важные тенденции:

- **Технология прецизионной прокатки и холодной обработки** значительно повышает точность контроля толщины и качество поверхности листа;
- Разработаны **немагнитные** сплавы W-Ni-Cu для решения проблемы магнитной интерференции в медицинской магнитно-резонансной томографии и некотором аэрокосмическом оборудовании;
- **композитные структурные пластины** (например, сэндвич-структуры W-Cu), позволяющие добиться многофункциональной интеграции;
- Система управления качеством становится все более стандартизированной, внедрено множество национальных и отраслевых стандартов, таких как ASTM B777, GB/T 3879 и т. д.

В настоящее время пластины из вольфрамовых сплавов постепенно эволюционировали от ранних конструкционных материалов до материалов, обладающих как структурой, так и функциональностью. Они широко используются во многих высокотехнологичных областях, таких как прецизионные приборы, системы терморегулирования, радиационная защита и стеновые панели высокотемпературных печей.

IV. Современный этап развития и передовые исследования (с 2000-х годов по настоящее время)

С наступлением XXI века, когда развивающиеся технологические отрасли предъявляют всё более строгие требования к эксплуатационным характеристикам материалов, разработка пластин из вольфрамовых сплавов вышла на новый этап: **высокая производительность, лёгкость, интеллектуальность и многофункциональность**. Основные достижения:

1. Оптимизация микроструктуры материала

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Была внедрена технология наноармированных W-сплавов, чтобы придать сплаву более высокий предел текучести и вязкость разрушения;
- Функционально-градиентные панели (FGM) постепенно разрабатываются для использования в системах терморегулирования в аэрокосмической отрасли и панелях ядерных реакторов с учетом многочисленных требований к физическим характеристикам.

2. Инновации в методах производства

- **Технологии аддитивного производства**, такие как селективная лазерная плавка (SLM) и электронно-лучевая плавка (EBM), начали использоваться для быстрого изготовления индивидуальных пластин из вольфрамового сплава;
- Для изготовления пластин высокой плотности используются передовые технологии, такие как вакуумное горячее изостатическое прессование и ультразвуковая прокатка, позволяющие улучшить консистенцию и структурную стабильность готовых изделий.

3. Ускоренное расширение международных приложений

- США, Япония, Германия и другие страны широко используют пластины из вольфрамового сплава в лунных исследовательских аппаратах, экспериментальных реакторах ядерного синтеза (например, проект ИТЭР) и компонентах современных ускорителей;
- Технология производства пластин из вольфрамового сплава в Китае также постепенно перешла от «сырьевой зависимости» к новой модели «независимого проектирования, массового производства и военно-гражданской интеграции», сформировав ряд ведущих предприятий и ключевых национальных лабораторий.

V. Перспективы будущих тенденций развития

С развитием новых стратегий в области материалов и ростом ценности ресурсов вольфрама будущее направление развития пластин из вольфрамовых сплавов будет сосредоточено на следующих моментах:

- **Функциональная интеграция**: многофункциональная пластина из сплава, которая объединяет теплопроводность, электропроводность и стойкость к излучению;
- **Исключительная эксплуатационная пригодность**: вольфрамовые пластины высокой плотности, стойкие к высоким температурам и ударам для сложных условий, таких как космос, ядерный синтез и глубины земли;
- **Экологичное производство и устойчивое развитие**: проектирование и крупномасштабное производство энергосберегающих, перерабатываемых и экологически чистых систем сплавов;
- **Интеллектуальная интеграция материалов**: интеграция сенсорных, самовосстанавливающихся и других функций в структуру пластины из вольфрамового сплава для адаптации к разработке будущих интеллектуальных систем.

Подводя итог, можно сказать, что разработка пластин из вольфрамовых сплавов наглядно демонстрирует глубокое взаимодействие материаловедения и промышленных потребностей. От первых образцов для физических лабораторий до современных высокоэффективных и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

высокостабильных ключевых конструкционных материалов, пластины из вольфрамовых сплавов, обладающие уникальными комплексными свойствами, играют всё более важную роль в мировой системе материаловедения. В будущем потенциал их применения в новых источниках энергии, передовом производстве, оборонной науке и технике и других областях будет продолжать расширяться.

1.3 Классификация пластин из вольфрамовых сплавов (по составу, технологии изготовления и назначению)

Пластины из вольфрамовых сплавов широко используются благодаря своему богатому ассортименту и разнообразным эксплуатационным характеристикам. Для более системного понимания эксплуатационных характеристик и сфер применения пластин из вольфрамовых сплавов необходимо классифицировать их по нескольким параметрам, таким как состав материала, процесс изготовления и область применения. Ниже подробно рассматриваются методы классификации пластин из вольфрамовых сплавов с трёх основных точек зрения: **классификация по составу, классификация по процессу изготовления и классификация по области применения**.

1. Классификация по составу сплава

Пластины из вольфрамовых сплавов изготавливаются на основе их основных сплавов. В процессе производства и применения различные связующие металлы существенно влияют на физические свойства, технологичность и функциональность пластин.

1. Пластина из сплава W-Ni-Fe (обычный тип)

- **Характеристики состава** : Содержание вольфрама обычно составляет 85–97 %, а также Ni и Fe в качестве связующих фаз, при этом соотношение приблизительно равно Ni:Fe = 7:3.
- **Эксплуатационные характеристики** : Обладает превосходной прочностью, вязкостью и сбалансированной обрабатываемостью. Является наиболее распространённым конструкционным вольфрамовым сплавом.
- **Области применения** : инерционные компоненты, противовесные плиты, защитные конструкции и т. д.

2. Пластина из сплава W-Ni-Cu (немагнитного типа)

- **Характеристики состава** : в основном вольфрам, связующая фаза в основном Ni и Cu, часто используется в случаях, чувствительных к магнитным полям.
- **Эксплуатационные характеристики** : немагнитность, хорошая проводимость, сильные экранирующие свойства, но прочность немного ниже, чем у системы W-Ni-Fe.
- **Области применения** : медицинское оборудование, компоненты магнитно-резонансной томографии (МРТ) и защитные чехлы для электронных устройств.

3. Пластина из сплава W-Cu (высокая теплопроводность)

- **Характеристики состава** : Состоит из вольфрама и меди и является типичным интерметаллическим композиционным материалом.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Эксплуатационные характеристики** : чрезвычайно высокая тепло- и электропроводность, устойчивость к тепловым ударам, подходит для систем терморегулирования.
- **Области применения** : подложки электронных корпусов, высокочастотные переключатели, электроды и радиаторы.

4. Пластина из сплава W-Co (износостойкого типа)

- **Характеристики состава** : на основе вольфрама с добавлением кобальта (Co) в качестве связующего металла.
- **Эксплуатационные характеристики** : Отличная износостойкость и коррозионная стойкость, хорошо работает в условиях экстремального механического износа.
- **Области применения** : ударопрочные защитные плиты, облицовки форм, бронебойные защитные конструкции.

5. Пластина из нано-улучшенного вольфрамового сплава

- **Характеристики состава** : Введение наночастиц или армирующих добавок второй фазы в традиционную систему вольфрамовых сплавов.
- **Эксплуатационные характеристики** : Прочность и жесткость значительно улучшены, подходят для областей с экстремальными требованиями к производительности.
- **Области применения** : обшивка термоядерного реактора, корпус космического зонда и т. д.

2. Классификация по способу формования и приготовления

Пластины из вольфрамового сплава можно изготавливать с использованием различных технологических маршрутов, и различные процессы будут существенно влиять на их микроструктуру, плотность, механические свойства и структуру стоимости.

1. Лист порошковой металлургии (ПМ)

- **Поток процесса** : вольфрамовый порошок + связующий порошок → прессование (формование или изостатическое прессование) → высокотемпературное спекание → горячая обработка или прокатка.
- **Преимущества** : плотная структура, равномерная производительность, высокая управляемость, подходит для пластин средней и большой толщины.

2. Листовой прокат горячекатаный и холоднокатаный

- **Поток процесса** : спекание заготовки → горячая прокатка (или холодная прокатка) в пластину → обработка поверхности.
- **Преимущества** : высокая точность размеров, хорошее качество поверхности, пригодность для массового производства.

3. Технология быстрого отверждения и ленточных материалов

- **Последовательность процесса** : После высокотемпературной плавки происходит быстрое охлаждение и затвердевание с образованием тонких полос или листов.
- **Преимущества** : усовершенствованная структура, подходит для высокочастотных электронных устройств.

4. Аддитивное производство пластин (3D-печать)

- **Последовательность процесса** : лазерная плавка или электронно-лучевая плавка → послойное накопление → отделка.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Преимущества** : Возможность изготовления по индивидуальному заказу пластин сложной формы, подходящих для высокотехнологичных военных и аэрокосмических компонентов.

5. Композитная пластина из слоистого вольфрамового сплава

- **Последовательность процесса** : слой вольфрамового сплава + слои других металлов (например, медь, титан) методом горячего прессования.
- **Преимущества** : позволяет создавать многофункциональные композиты и подходит для корпусирования электронных компонентов и электродных полей.

3. Классификация по назначению и функциям

Пластины из вольфрамовых сплавов подходят для многих отраслей промышленности благодаря высокой плотности, радиационной стойкости, хорошей теплопроводности и отличным эксплуатационным характеристикам. В зависимости от области применения их можно разделить на следующие категории:

1. Конструкционная пластина из вольфрамового сплава

- Используется для несущих конструкций, механических деталей или систем динамической балансировки, подчеркивая механическую прочность и размерную стабильность.
- Типичные области применения: инерционные маховики, противовесы в аэрокосмической отрасли и балансировочные пластины валов.

2. Защитная пластина из вольфрамового сплава

- Особое внимание уделяется возможностям защиты, включая защиту от гамма-лучей, рентгеновских лучей, нейтронов и т. д.
- Типичные области применения: защитные панели для радиотерапевтического оборудования, защитные слои для ядерных реакторов и пуленепробиваемые конструкции для салонов самолетов.

3. Пластина из вольфрамового сплава для терморегулирования и отвода тепла

- Особое внимание уделено теплопроводности и термостойкости.
- Типичные области применения: основание для рассеивания тепла полупроводниковых приборов, настенная пластина с тепловыми трубками, устройство охлаждения плазменного оборудования.

4. Функциональная/электронная пластина из вольфрамового сплава

- Сочетая в себе функции проводимости, немагнитности и высокой прочности, он применяется в прецизионных электронных системах.
- Типичные области применения: корпуса высокочастотных переключателей, поглотители микроволнового излучения и антимагнитные конструктивные элементы авионики.

5. Композитная пластина из вольфрамового сплава

- В нем используется многослойная структура и композитное производство разнородных материалов для достижения структурной и функциональной интеграции.
- Типичные области применения: композитные пластины из вольфрамовой меди (электронные подложки), композитные пластины из вольфрамовой меди (легкие броневые конструкции).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

IV. Сравнительная таблица сводных классификаций

Классификация	Основные типы	Ключевые слова	Области применения
Элемент	W-Ni-Fe, W-Ni-Cu, W-Cu, W-Co, нано-вольфрамовый сплав	Плотность, магнетизм, теплопроводность, износостойкость, расширенная функциональность	Военная промышленность, лечение, терморегуляция, ядерная энергетика
Технология	Порошковая металлургия, прокатка, аддитивное производство, композитное ламинирование	Плотность, размерная точность, возможность настройки, многофункциональная интеграция	Высокотехнологичное производство, массовое производство и изготовление на заказ сложных конструкций
использовать	Структурный тип, защитный тип, тип рассеивания тепла, электронный тип, композитный тип	Механическая прочность, радиационная защита, тепло- и электропроводность, интеллектуальная интеграция	Авиакосмическая промышленность, атомная энергетика, электроника, медицина

Подводя итог, можно сказать, что пластины из вольфрамового сплава, будучи универсальным и высокопроизводительным металлическим материалом, требуют многомерного и системного подхода к классификации. Уточнение соответствия между составом, обработкой и применением не только помогает промышленным потребителям выбирать целевые и подходящие продукты, но и обеспечивает чёткую техническую справочную базу для последующих исследований, разработок и установления стандартов. С постоянным развитием концепций проектирования материалов и методов обработки классификация пластин из вольфрамового сплава станет более разнообразной и интеллектуальной, адаптируясь к сложным потребностям будущего передового производства.

1.4 Сходства и различия между пластиной из вольфрамового сплава, вольфрамовым стержнем, вольфрамовой проволокой и пластиной из вольфрамовой меди

Вольфрамовые материалы широко используются в различных областях промышленности благодаря своей высокой температуре плавления, высокой плотности и превосходным термическим и механическим свойствам. На практике изделия из вольфрама, в зависимости от формы и назначения, включают в себя, в основном, пластины из вольфрамового сплава, вольфрамовые стержни, вольфрамовую проволоку и пластины из вольфрамово-медного сплава. Хотя все они относятся к системе на основе вольфрама, они существенно различаются по химическому составу, методам получения, структурным свойствам и применению. В этом разделе представлено горизонтальное сравнение этих четырёх типичных вольфрамовых материалов, чтобы помочь читателям полностью понять уникальное положение пластин из вольфрамового сплава в этой системе материалов.

1. Введение в пластину из вольфрамового сплава

Вольфрамовая пластина — это высокоплотный сплав, основным компонентом которого является вольфрам, а также никель, железо, медь, кобальт и другие элементы. Его основными характеристиками являются высокая плотность, прочность, хорошая радиационная стойкость и теплопроводность, что делает его пригодным для использования в высокопрочных конструкционных деталях, защитных экранах и элементах теплоотвода.

Основные характеристики :

- Форма: Плоская прямоугольная пластина, толщина от 0,1 мм до 50 мм;
- Подготовка: в основном порошковая металлургия, горячая прокатка, холодная прокатка, аддитивное производство и т. д.
- Применение: Широко используется в противовесах в авиации, защите при радиотерапии, системах терморегулирования, инерциальных компонентах и т. д.

2. Введение вольфрамового стержня

Вольфрамовый прут — один из основных материалов для обработки вольфрама, обычно сплошной цилиндрический, может быть изготовлен из чистого вольфрама или его сплава. Он имеет плотную структуру и используется в основном в высокотемпературных конструкционных деталях, источниках электронной эмиссии, высоковольтных электродах и других областях.

Основные характеристики :

- Форма: цилиндрический или квадратный стержень, диаметр 2 мм~100 мм;
- Подготовка: горячее изостатическое прессование/ковка или точение после спекания и прессования;
- Применение: катод электронной трубки, опорный стержень, ударный инструмент, электрод и т. д.

3. Введение в вольфрамовую нить

Вольфрамовая проволока — это тонкая проволока, вытянутая из вольфрамового слитка. Она обладает превосходной жаропрочностью и электропроводностью. Она является важным материалом для источников электрического освещения, электронных компонентов и систем электрообогрева.

Основные характеристики :

- Морфология: Длинные и тонкие нити, диаметром до микрометров;
- Подготовка: Ковка, прокатка и повторное волочение;
- Применение: нить накала, нагревательный провод для вакуумного испарения, источник электронно-лучевой эмиссии.

4. Введение вольфрамово-медной пластины

Вольфрамово-медная пластина — это композитный материал, состоящий из вольфрама и меди. Это интерметаллический композиционный материал, сочетающий высокую температуру плавления вольфрама и высокую теплопроводность меди. Он используется в системах терморегулирования и электрических контактах.

Основные характеристики :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Форма: тонкая пластина или средняя пластина, толщина 1 мм~20 мм;
- Подготовка: порошковая металлургия, прессование и спекание/горячее прессование композита;
- Применение: теплоотводящие основания, электродные пластины, высокочастотные корпуса и т. д.

5. Сравнительный анализ производительности и использования

Сравнить проекты	Пластина из вольфрамового сплава	Вольфрамовый стержень	Вольфрамовая проволока	Вольфрамовая медная пластина
Основные ингредиенты	W + Ni/Fe/Cu/Co и т. д.	Чистый W или вольфрамовый сплав	Высокая чистота W	W + Cu (обычно 50:50)
Типичная форма	Прямоугольные пластины	Круглые или квадратные стержни	Нить накала	плоский
плотность	17,0~18,5 г/см³	18,5 ~ 19,2 г/см³ (чистый W)	То же, что и выше	14,5~17,0 г/см³
Механические свойства	Высокая прочность и высокая вязкость	Высокая твердость, высокая хрупкость	Гибкий и пластичный, высокая прочность на разрыв	Умеренный, сочетающий твердость и теплопроводность
Тепловые характеристики	Хорошая теплопроводность, стойкость к тепловым ударам	Отличная стабильность при высоких температурах	Стойкость к высокотемпературному испарению и ползучести	Отличная теплопроводность (>200 Вт/м·K)
Трудность обработки	Средний, обрабатываемый и поддающийся механической обработке	Трудно поддается обработке, требует использования высокопрочного оборудования	Трудно поддается обработке, требует многократной вытяжки и отжига	Относительно легко обрабатывать
Типичные применения	Радиационная защита, противовес, компоненты терморегулирования	Электроды, кронштейны теплового поля, высокотемпературные компоненты	Нити накаливания, вакуумная электроника, нагревательные элементы	Радиаторы, электроды переключателей, электронные компоненты

6. Краткое изложение сходств и различий

Общие точки:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. Материальная основа: во всех изделиях в качестве основного элемента используется вольфрам, некоторые изделия состоят из чистого вольфрама, а некоторые — из сплавов на основе вольфрама;
2. Эксплуатационные характеристики: высокая плотность, высокая температура плавления и хорошие высокотемпературные характеристики;
3. Метод производства: Большинство из них основано на процессе порошковой металлургии, дополненном термической обработкой или последующей обработкой;
4. Основные области: Широко используется в высокотехнологичных отраслях промышленности, таких как аэрокосмическая, электронная, военная, энергетическая и медицинская.

Различия:

- Различные формы и функции: пластины в основном используются для покрытия/конструктивных деталей, стержни используются для несущих/опорных деталей, провода используются для нагрева/излучения, а пластины из вольфрамовой меди используются для теплопроводности/электрического контакта.
- Различные методы обработки: пластины обычно изготавливаются прокаткой и ковкой, прутки — в основном спеканием и ковкой, проволока требует нескольких процессов волочения, а композиционные материалы на основе вольфрама и меди требуют специальных технологий спекания и прессования.
- Различные условия использования: вольфрамовая нить подчеркивает характеристики испарения и сопротивления, вольфрамовая медная пластина подчеркивает теплоотдачу и проводимость, а пластина из вольфрамового сплава подчеркивает структурную прочность и комплексные теплофизические свойства.

7. Преимущества пластин из вольфрамового сплава

По сравнению с указанными выше материалами на основе вольфрама пластины из вольфрамового сплава обладают уникальными преимуществами в плане комплексных эксплуатационных характеристик и сфер применения:

- Высокая функциональная интеграция: высокая плотность, высокая прочность, радиационная стойкость и технологичность;
- Хорошая формоустойчивость: пластинчатая структура больше подходит для покрытия систем защиты и терморегулирования;
- Широкий спектр применения: позволяет реализовать встраивание функций и комплексное проектирование во многих областях, таких как военная промышленность, аэрокосмическая промышленность, медицина, электроника и т. д.

Подводя итог, можно сказать, что пластины из вольфрамового сплава занимают стратегически важное и ключевое положение в системе материалов на основе вольфрама. Они обладают не только механическими характеристиками вольфрамовых прутков, но и термическими характеристиками вольфрамово-медных пластин, а также более высокой структурной целостностью и радиационной защитой по сравнению с вольфрамовой проволокой. С развитием технологий производства и развитием новых направлений пластины из вольфрамового сплава продолжают играть ключевую роль в развитии многофункциональной интеграции в будущем.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.5 Обзор развития технологии пластин из вольфрамового сплава и патентов в стране и за рубежом

Вольфрамовые пластины, являясь важной отраслью производства высокоэффективных тугоплавких металлических материалов, широко используются в таких ключевых областях, как аэрокосмическая промышленность, ядерная защита, электронная упаковка, эксперименты в области физики высоких энергий и медицинское оборудование. В связи с непрерывным расширением сферы применения вольфрамовых пластин во всем мире все больше внимания уделяется технологическим инновационным возможностям, патентной защите и уровню индустриализации. В данном разделе систематически рассматриваются отечественные и зарубежные технологические разработки и структура интеллектуальной собственности в отношении вольфрамовых пластин по четырем аспектам: **процесс технологической эволюции, ключевые технические узлы, структура предприятий-представителей и содержание основных патентов и тенденции**.

1. Обзор развития и эволюции мировой технологии производства пластин из вольфрамовых сплавов

1. Ранний этап (1950–1970-е годы) – исследование защитных материалов

Первоначальное развитие технологии пластин из вольфрамовых сплавов было обусловлено, главным образом, военными потребностями времен холодной войны, особенно в области **высокоплотных защитных материалов и нейтронной защиты**. Соединённые Штаты и Советский Союз стали пионерами в разработке пластин из вольфрамовых сплавов, в основном W-Ni-Fe, методом порошковой металлургии. Эти пластины использовались в атомных подводных лодках, противовесах ракет и радиационной броне.

К числу наиболее ярких технологических прорывов относятся:

- Механизм контроля размера частиц вольфрамового порошка и низкотемпературного спекания;
- Контроль уплотнения и однородности микроструктуры горячекатаных листов;
- Создание системы немагнитных сплавов W-Ni-Cu.

2. Зрелая стадия развития (1980–2000-е годы) – высокоточные панели и многофункциональные разработки

В этот период, с быстрым развитием электронной информационной промышленности и популяризацией оборудования для лучевой терапии, технология пластин из вольфрамового сплава постепенно перешла к **интеграции структурных и функциональных характеристик** и сформировала стандартизированную систему производства в развитых странах, таких как США, Япония и Германия.

Ключевые события включают в себя:

- Технология прессования пластин высокой плотности;
- Оптимизация управления соотношением нескольких элементов (например, добавление Co, Mo, Re);
- Стандартизация процессов высокоточной холодной прокатки и обработки поверхности.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

В этот период такие компании, как General Electric (GE) из США, Plansee из Германии и Mitsubishi Materials (MMC) из Японии, занимали лидирующие позиции в области технологий и имели большое количество патентов на ключевые производственные процессы и конструкции приложений.

3. Этап передового производства (с 2000-х годов по настоящее время) – развитие технологий управления микроструктурой и интеграции композитных материалов

С вступлением в XXI век пластины из вольфрамового сплава добились непрерывного прогресса в области интеллектуального производства, экстремальных условий эксплуатации и многофункциональной интеграции.

Типичные технологии включают в себя:

- пластины из наноусиленных вольфрамовых сплавов (W-ZrO₂, W-La₂O₃ и др.);
- Для изготовления пластин из вольфрама по индивидуальному заказу используются технологии аддитивного производства, такие как селективная лазерная плавка (SLM);
- Функционально-градиентные материалы (ФГМ) интегрируются в пластины металлокерамических композитных структур.

В настоящее время пластины из вольфрамового сплава уже не являются единым «материалом с высоким удельным весом», а развиваются в направлении структурно-функциональной интеграции с множественными физическими свойствами.

2. Пути развития и достижения отечественной технологии производства пластин из вольфрамовых сплавов

Будучи страной с крупнейшими в мире запасами и добычей вольфрама, Китай поздно начал развивать технологию производства вольфрамовых сплавов, но быстро развивался и за последние годы догнал конкурентов во многих ключевых областях.

1. Первоначальная опора на импорт и имитацию (1980–1990-е годы)

Производство пластин из вольфрамовых сплавов в Китае изначально было сосредоточено в сфере национальной обороны и атомной промышленности, где основными областями были Китайская академия наук, Китайская корпорация аэрокосмической науки и промышленности и военные научно-исследовательские институты. Большая часть технологий была заимствована из советской системы или из-за рубежа.

2. Создание системы и промышленная экспансия (2000-е–2010-е годы)

С развитием отечественной технологии порошковой металлургии ряд университетов и крупных предприятий (таких как Xiamen Jinlu, China Tungsten High-Tech, AVIC New Materials и Baoti Group) постепенно сформировали полную систему процесса от приготовления вольфрамового порошка и дозирования сплава до прокатки листов.

К основным технологическим прорывам относятся:

- Прессование и спекание пластин из сплавов низкой пористости и высокой плотности;
- Оптимизация соотношения фаз связующего;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Технология горячего прессования и диффузионной сварки композиционных пластин вольфрам-медь.

3. Интеллектуальное производство и независимые инновации идут рука об руку (с 2015 года по настоящее время)

В настоящее время китайская технология производства пластин из вольфрамового сплава конкурентоспособна на международном уровне в таких областях, как высокоточные авиационные конструкционные детали, защита в ядерной медицине, электронные корпусные платы и т. д. Многие ключевые технологии получили национальные награды в области науки и техники и были применены в таких проектах, как большой самолет C919, кабина космической станции и конструкция нацеливания ядерного излучения.

3. Анализ распределения патентов на ключевые технологии пластин из вольфрамового сплава по всему миру

1. Региональное распределение патентов

По данным статистики ВОИС и Национального управления интеллектуальной собственности Китая (CNIPA), к концу 2024 года в мире насчитывалось более 4000 действующих патентов, связанных с пластинами из вольфрамового сплава, которые в основном распределяются следующим образом:

Страна/регион	Доля (%)	Основные заявители патентов
Китай	45%	China Tungsten High-Tech, Сямынь Цзиньлу, Пекинский научно-исследовательский институт цветных металлов, Баоти и т. д.
США	двадцать два%	Plansee, GE, Kennametal и др.
Япония	13%	Mitsubishi Materials, Sumitomo Electric Industries, Ltd., Tokyo Steel и др.
Германия	8%	HC Starck, Plansee и т.д.
Южная Корея, Россия	5%	POSCO, TRINITY и т. д.
Другие области	7%	Швейцария, Израиль, Индия и т. д.

2. Распределение типов патентных технологий

Содержание патента можно свести к пяти основным техническим направлениям:

Техническое направление	Репрезентативный контент
Инновационная формула сплава	Соотношение серий W-Ni-Co, W-Cu-Re, W-Mo
Регулирование микроструктуры	Механизм нанокристаллического упрочнения и контроль распределения выделений
Обработка пластин и обработка поверхности	Технология многопроходной прокатки, электролитическая полировка, плазменная обработка поверхности
Композитная структура и технология склеивания	Прессование пластин из композита вольфрам-медь, вольфрам-титан, пайка/диффузионная сварка
Проектирование адаптивности	Структура модуля защиты от радиотерапии, оптимизация

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложений	распределения нагревательных пластин и т. д.
------------	--

IV. Типичные примеры патентов в стране и за рубежом

Название патента	Уполномоченная страна	Номер патента	Краткое описание
Метод изготовления пластины из высокоплотного вольфрамового сплава W-Ni-Fe	Китай	CN108982173B	Предложен процесс оптимизации температуры спекания и параметров прессования, плотность > 99,5%
Лист из немагнитного вольфрамового сплава и способ его изготовления	США	US8574432B2	Пластина из сплава W-Ni-Cu с акцентом на немагнитные свойства и контроль пластичности
Композитная пластина из вольфрамо-медного сплава с градиентной структурой и способ ее изготовления	Япония	JP2018147022A	Разработаны функционально-градиентные пластины W/Cu, подходящие для высокочастотных теплопроводящих электрических устройств.
Модуль защитной пластины из вольфрамового сплава для оборудования радиотерапии	Китай	CN110456887A	Модульная конструкция системы соединения панелей повышает эффективность защиты и облегчает замену и обслуживание.
Порошок пластинчатого вольфрамового сплава для аддитивного производства и метод его лазерного спекания	Германия	DE102018001328A1	Предложен специальный метод контроля состава и параметров сферического порошка, подходящий для получения вольфрамовых пластин методом селективного лазерного плавления (SLM).

V. Перспективы развития технологий и интеллектуальной собственности

1. Эволюция от «единого физического действия» к «многофункциональной интеграции»

В будущем пластины из вольфрамового сплава будут не только отвечать требованиям плотности или прочности, но и будут сочетать в себе множество свойств, таких как теплопроводность, электропроводность, коррозионная стойкость и радиационная стойкость.

2. Технология аддитивного производства станет ведущей в развитии производства персонализированных плат.

3D-печать пластин из вольфрамового сплава с использованием лазера/электронного луча найдет широкое применение в сложных индивидуальных конструкциях, например, в оборонной промышленности и атомной энергетике.

3. Патенты и технологические барьеры будут еще больше возрастать

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Основные формулы, композитные структуры и контроль микроструктуры пластин станут центром внимания крупных технологических компаний, а патентная конкуренция становится все более жесткой.

4. Китай постепенно перейдет из «страны количества патентов» в «страну качества патентов».

Содействовать глобализации прав интеллектуальной собственности путем совершенствования базы данных материалов, создания системы стандартов процессов и укрепления международного сотрудничества и оформления патентов.

Подводя итог, можно сказать, что глобальная эволюция технологии производства пластин из вольфрамовых сплавов характеризуется четырьмя этапами: «военное происхождение – промышленное развитие – многофункциональная интеграция – интеллектуальное производство». Патентная система становится всё более сложной, а ключевые технологии в основном олигополистические. Хотя Китай начал несколько позже, он ускоряет создание независимой и контролируемой инновационной системы, используя свои ресурсные преимущества и промышленную систему. Будущая конкуренция в области технологий производства пластин из вольфрамовых сплавов и прав интеллектуальной собственности станет важным стратегическим направлением в области новых материалов во всем мире.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

Core advantages: 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

Quality cost: optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

Advanced capabilities: advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

Service commitment

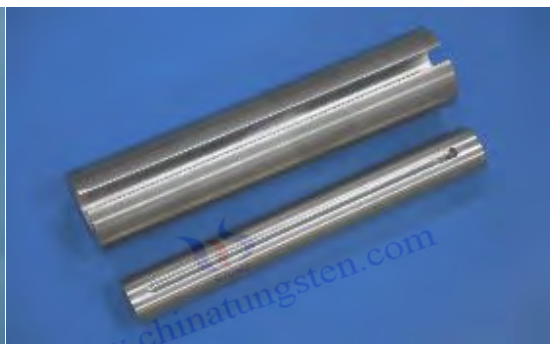
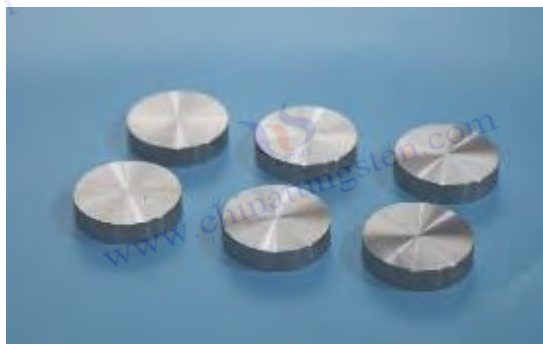
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

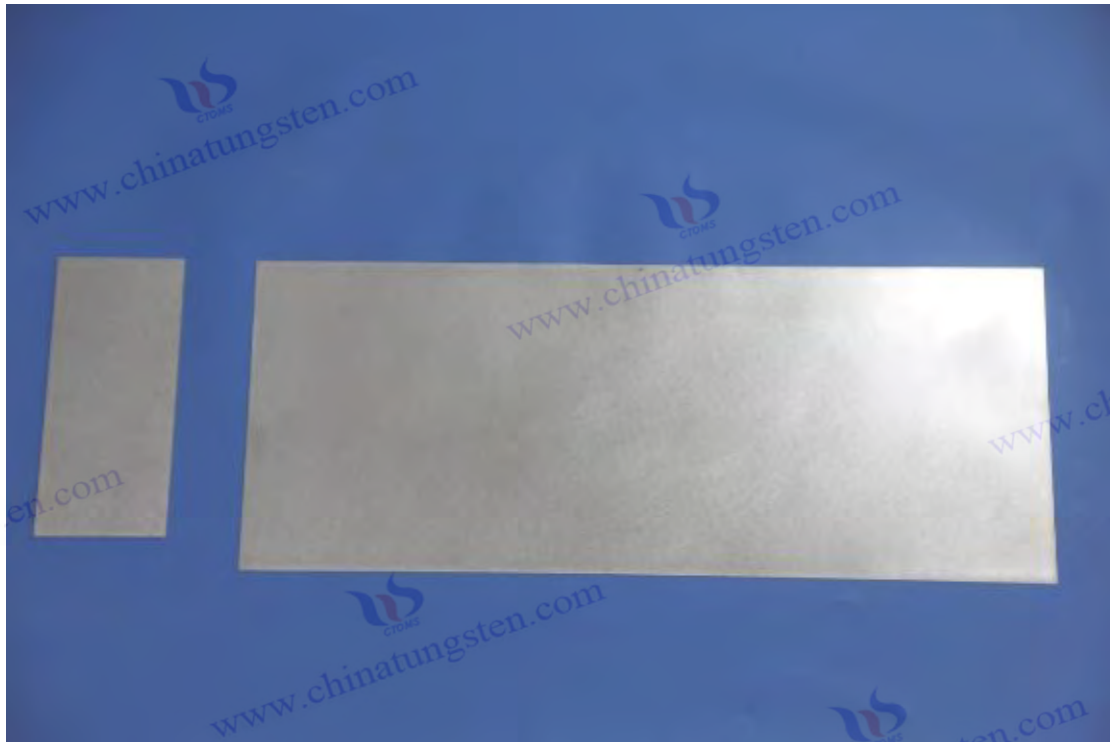
Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Глава 2 Физические и механические свойства пластин из вольфрамового сплава

2.1 Точность контроля плотности, удельного веса и размера

Вольфрамовый сплав – это высокопроизводительный металлический композиционный материал на основе вольфрама. Физические свойства пластин из вольфрамового сплава во многом зависят от **равномерности контроля плотности, постоянства удельного веса и точности размеров пластин**. В таких областях, как аэрокосмическая промышленность, атомная промышленность и производство прецизионных медицинских приборов, где требуются исключительно высокое качество и структурная точность, даже незначительные отклонения этих параметров могут привести к систематическим ошибкам, потере прочности или дисбалансу теплового расширения. Поэтому в данном разделе будут систематически рассмотрены основные показатели и технические требования к физическим свойствам пластин из вольфрамового сплава с трёх точек зрения: «Технология контроля плотности и удельного веса», «Стандарты точности контроля размеров» и «Ключевые факторы, влияющие на процесс».

1. Плотность и удельный вес пластины из вольфрамового сплава

1. Определение плотности и удельного веса

- **Плотность** : относится к массе на единицу объема, обычно выражается в г/см^3 и является основным параметром для измерения плотности материала;
- **Плотность** : отношение плотности материала к плотности чистой воды (4°C , 1 г/см^3), часто используется в качестве стандарта для интуитивной классификации сплавов высокой плотности.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Теоретическая плотность вольфрама составляет 19,25 г/см³, тогда как плотность пластины из вольфрамового сплава обычно зависит от состава ее сплава и степени уплотнения:

Тип сплава	Типичный диапазон плотности (г/см ³)
W-Ni-Fe	17,0–18,5
W-Ni-Cu (немагнитный тип)	16,5–18,0
W-Cu (теплопроводящий тип)	14,5–17,0
Нанолучшенный вольфрамовый сплав	≥18,5 (теоретически >99,9% плотности)

2. Технические моменты контроля плотности

Контроль плотности — это не простое соотношение компонентов сплава, но, что еще важнее, необходимо достичь следующих моментов во всем процессе производства:

- **Оптимизация распределения размеров частиц порошка** : регулировка соотношения мелкого и крупного порошка может эффективно снизить пористость;
- **Постоянство процесса прессования** : при формовании/изостатическом прессовании необходимо поддерживать равномерное давление на единицу объема;
- **Уплотнение высокотемпературным спеканием** : спекание с использованием жидкой фазы или многоступенчатое спекание могут значительно улучшить конечную плотность;
- **Термическая обработка и корректировка уплотнения после прокатки** : повторная гомогенизация структуры после прокатки может дополнительно улучшить плотность материала.

3. Требования к постоянству удельного веса

В машиностроении, особенно в **противовесах и инерционных компонентах**, постоянство удельного веса напрямую влияет на **динамическое равновесие и время отклика конструкции всего механизма**. Распространенные международные стандарты, такие как ASTM B777 и MIL-T-21014, устанавливают строгие требования к допускам удельного веса, как правило, требуя, чтобы отклонения удельного веса от партии к партии не превышали ±0,1 г/см³. Для некоторых прецизионных компонентов этот предел даже ограничен ±0,05 г/см³.

2. Точность контроля размера пластины из вольфрамового сплава

1. Обзор параметров размера

Пластины из вольфрамового сплава имеют три основных параметра:

- **Толщина** : обычно от 0,1 мм до 50 мм, а некоторые специальные изделия могут достигать 0,05 мм;
- **Длина и ширина** : варьируются в зависимости от области применения, обычно в диапазоне 50–500 мм;
- **Плоскостность и угол кромки** : напрямую связаны со сборкой доски и целостностью панели.

2. Стандарт точности размеров

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

К наиболее часто используемым международным стандартам допусков размеров относятся:

Номер стандарта	проект	Уровень точности	Замечание
ASTM B777	Допуск по толщине и ширине	$\pm 0,05-0,2$ мм	Классификация по толщине листа и состоянию проката
ГБ/Т 3876	Длина, диагональная разница	$\pm 0,3$ мм	Общие технические условия национального стандарта
ИСО 2768-f	Класс допуска для более точного листового металла	Отлично	Для прецизионных применений, таких как электроника и медицина

Некоторые высококачественные пластины из вольфрамового сплава, например, те, которые используются в системах коллимации радиотерапии или структурных пластинах для ядерных детекторов, требуют даже **лазерной резки и фрезерования с ЧПУ** для достижения геометрической точности в пределах $\pm 0,01$ мм.

3. Ключевые факторы процесса, влияющие на контроль размера

- **Точность пресс-формы и равномерность прессования** : напрямую влияют на размерную однородность заготовки;
- **Прогнозирование и контроль коэффициента усадки при спекании** : Линейная усадка при спекании составляет около 10–15 %, что требует точного расчета;
- **Контроль деформации прокатки и упругого отскока** : При горячей и холодной прокатке необходимо в полной мере учитывать упрочнение материала и компенсацию деформации;
- **Контроль последующей обработки** : включая шлифовку, полировку, обрезку и другие процессы, должен быть согласован с целевым показателем точности размеров.

3. Синергетическое влияние плотности и размерной точности

Пластины из вольфрамового сплава не существуют изолированно, но обладают ключевыми физическими свойствами, которые ограничивают и оптимизируют друг друга. Например:

- Высокая плотность часто сопровождается повышенной тенденцией к короблению листа, и его плоскостность необходимо оптимизировать за счет разумного пути прокатки;
- При уменьшении допуска на размеры повышаются и требования к однородности внутренней структуры пластины;
- Небольшие колебания толщины прецизионного листового металла могут усилить воздействие на оценку удельного веса и динамику функциональных компонентов.

Таким образом, в промышленной практике « двумерная система управления **плотностью и размером** » пластин **вольфрамового сплава** обычно должна опираться на **численное моделирование** (такое как конечно-элементный анализ термической деформации), **интеллектуальное измерительное оборудование** (лазерный интерферометр, трехкоординатная измерительная машина) и **систему управления качеством** (такую как

ISO 9001, AS9100), чтобы гарантировать, что конечный продукт соответствует высоким требованиям надежности.

IV. Резюме

Плотность и удельный вес пластин вольфрамового сплава являются одними из основных показателей оценки их общей физической стабильности и структурной прочности, а точность контроля размеров определяет их адаптируемость и взаимозаменяемость в высокопроизводительных производственных системах. На фоне разработки новых материалов, ориентированных на высокие характеристики, микроструктуру и интеграцию, технологии контроля плотности и размеров пластин вольфрамовых сплавов непрерывно развиваются в направлении « **высокой плотности, высокой точности и интеллектуального производства** ».

2.2 Прочность на растяжение, предел текучести и вязкость разрушения

Пластины из вольфрамового сплава являются высокоэффективным конструкционным материалом, и их механические свойства, такие как **прочность на растяжение**, предел текучести и вязкость разрушения, напрямую определяют их применимость, безопасность и долговечность при воздействии внешних нагрузок и высокотемпературных напряжений. В таких областях применения, как аэрокосмическая промышленность, физика высоких энергий и защитная броня, материал должен не только обладать высокой прочностью, но и сохранять структурную целостность в экстремальных условиях, таких как концентрация напряжений, ударные нагрузки и термическая усталость. Поэтому всестороннее понимание поведения пластин из вольфрамового сплава при механическом воздействии является основой для их проектирования, производства и применения в инженерии.

1. Основное определение предела прочности на растяжение и предела текучести

- **Прочность на разрыв (UTS):** это максимальное напряжение, которое материал может выдержать при одноосном растяжении. Единица измерения — МПа (тыс. фунтов на кв. дюйм), что отражает предельную несущую способность материала.
- **Прочность (YS):** величина напряжения, при которой материал начинает пластически деформироваться под действием внешней силы. Является важным показателем предела прочности проектируемой конструкции.

Пластины из вольфрамового сплава, благодаря высокой плотности и прочной металлической связи, обладают значительно более высокой прочностью, чем обычные конструкционные сплавы. Типичные параметры:

Система сплавов	Прочность на растяжение (МПа)	Предел текучести (МПа)	Замечание
W-Ni-Fe	700–1000	500–750	При нормальных температурных условиях
W-Ni-Cu (немагнитный тип)	600–850	450–700	Немного лучшая пластичность
Пластина из сплава	>1000	>850	Размер частиц <500 нм, с

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Nano W		упрочняющим механизмом
--------	--	------------------------

Примечание : Фактические механические свойства зависят от пропорции сплава, состояния термообработки, толщины пластины, микроструктуры и подлежат стандартам испытаний (таким как ASTM E8/E8M, GB/T 228.1).

2. Анализ микроскопического механизма интенсивности

Пластина из вольфрамового сплава в основном контролируется следующими факторами:

- Вольфрамовая матрица :** согласно закону Холла-Петча, чем мельче зерно, тем выше предел текучести. Нанокристаллические вольфрамовые сплавы обладают исключительной прочностью благодаря своей ультрамелкозернистой структуре;
- Многофазная металлическая связующая фаза (Ni, Fe, Cu) :** образует непрерывное или сетчатое распределение в процессе спекания, образует переходную фазовую границу с частицами вольфрама и повышает пластичность;
- Контроль пористости и дефектов :** Высокая плотность (>98,5%) может снизить возникновение микротрещин и повысить прочность на растяжение;
- Остаточное напряжение и состояние термообработки :** остаточное напряжение от горячей обработки или прокатки снижает однородность прочности, а отжиг помогает стабилизировать прочность;
- Механизм упрочнения элемента :** добавление Re, Mo и т. д. может образовывать упрочняющую фазу, подавлять движение дислокаций и повышать предел текучести.

3. Вязкость разрушения и поведение при разрушении

1. Определение и важность

Вязкость разрушения (K_{IC}) характеризует способность материала противостоять разрушению при наличии надрезов или трещин. Это основной параметр для измерения запаса прочности конструкции. Единица измерения — МПа·м^{1/2}.

Вольфрамовый сплав обладает высокой прочностью, однако его вязкость разрушения значительно ниже, чем у титанового или алюминиевого сплава из-за хрупкости самой вольфрамовой матрицы. Поэтому оптимизация показателей вязкости особенно важна в областях защиты и ударопрочности конструкций.

2. Типичные параметры прочности

Тип сплава	Вязкость разрушения K _{IC} (МПа·м ^{1/2})	Замечание
Обычная пластина W-Ni-Fe	15–25	Нормальное значение температурного теста
Очищенная пластина W-Ni-Cu	20–30	Немагнитный тип, немного лучшая пластичность
Пластина из наноупрочненного	30–45	Упрочнение сверхмелкозернистой стали, значительное повышение прочности

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

сплава W		
----------	--	--

3. Механизм распространения трещины

Пластина из вольфрамового сплава под растягивающей нагрузкой имеет следующие характеристики:

- **Высокая температура хрупко-пластичного перехода** : большинство пластин из сплава W демонстрируют квазихрупкое разрушение при комнатной температуре;
- **Механизм прогиба трещины** : Фаза связи Ni/Cu в многофазной структуре может частично поглощать энергию распространения трещины, что приводит к прогибу;
- **Мелкозернистая пластина из вольфрамового сплава представляет собой плоскость квазиспойлера** : часть ее представляет собой сложную форму ямочного спайности.

Для повышения вязкости разрушения часто используют следующие методы:

- Контролировать распределение размеров частиц порошка, чтобы избежать концентрации напряжений, вызванных крупными частицами;
- Улучшить непрерывность и прочность фазы склеивания;
- После термической обработки пластины производится «направленная прокатка» для пассивации трещин, проходящих вдоль интерфейса.

4. Методы и стандарты испытаний механических свойств

1. **Испытание на прочность при растяжении** : с использованием стандартных гантельных образцов в соответствии со стандартами ASTM E8 или GB/T 228.1;
2. **Испытание на вязкость разрушения** : обычно используется образец балки с надрезом с одной стороны (SENB) или компактный образец (CT), см. ASTM E399;
3. **Контроль условий испытания** :
 - Температура: от комнатной до высокой температуры (300°C–800°C);
 - Направленность: разница в производительности между направлением толщины листа и направлением прокатки значительна;
 - Размер трещины/скорость нагрузки и т. д.

5. Сравнительный анализ с другими высокопрочными материалами

Тип материала	Прочность на растяжение (МПа)	Вязкость разрушения (МПа·м ^{1/2})	Обзоры приложений
Титановый сплав Ti-6Al-4V	~900	~50–60	Отличные комплексные характеристики, подходят для авиационных конструкций.
Высокопрочный алюминиевый сплав 7075	~600	~25–35	Низкая плотность, но не такой прочный, как вольфрамовый сплав
Пластина из вольфрамового сплава	800–1000	20–30	Высокая плотность и прочность, подходит для инерционных и защитных конструкций.

(W-Ni-Fe)			
Композитная пластина из вольфрамовой меди	~600	~15	Хорошая теплопроводность, но немного меньшая прочность, подходит для компонентов теплоотвода.

Пластины из вольфрамовых сплавов значительно превосходят алюминиевые и титановые сплавы по прочности и удельному весу, но обладают несколько меньшей вязкостью. Они подходят для изготовления деталей конструкций с компактными размерами, большими нагрузками и высокими требованиями к мгновенной реакции на удар , таких как противовесы в аэрокосмической технике, защита ядерных реакторов и конструкции броневых снарядов.

VI. Резюме

Пластины из вольфрамовых сплавов обладают высокими показателями предела прочности и текучести, сохраняя при этом высокий удельный вес и жаропрочность, а также постоянно оптимизируя вязкость разрушения. Благодаря точному контролю зерна, разработке структуры связующего слоя и усовершенствованным процессам термообработки, современные пластины из вольфрамовых сплавов постепенно приобрели комплексные структурные свойства, сочетающие высокую прочность с контролируемой вязкостью. Это делает их незаменимыми материалами в таких ключевых областях, как оборонная промышленность, аэрокосмическая промышленность, медицинское оборудование и электронное охлаждение.

2.3 Твердость и износостойкость

— это современный металлический материал с высокой плотностью, прочностью, термостойкостью и коррозионной стойкостью, поэтому его **твердость и износостойкость** являются ключевыми параметрами для измерения срока службы и структурной стабильности, особенно в областях высокоскоростных движущихся деталей, поверхностей ударного контакта, условий сильного трения и т. д. Эти два свойства не только контролируются микроструктурой самого материала, но и тесно связаны с его составом, процессом подготовки и состоянием обработки поверхности.

1. Основа твердости пластины из вольфрамового сплава

1. Определение твердости и общепринятые единицы измерения

Твёрдость — это способность материала противостоять локальной пластической деформации, вдавливанию или царапанию. Твёрдость пластин из вольфрамовых сплавов обычно выражается следующими способами:

- **Твердость по Бринеллю (HB)** : применима к толстым вольфрамовым пластинам и отражает общее состояние закалки;
- **Твердость по Виккерсу (HV)** : подходит для точных измерений, особенно для исследования микроструктуры;

- **Твердость по Роквеллу (HRC/HRB)** : подходит для быстрого испытания на месте пластин из сплавов средней твердости.

2. Распространенный диапазон твердости пластин из вольфрамового сплава

Тип сплава	Типичный диапазон твердости
Пластина из сплава W-Ni-Fe	200–300 HB
Пластина из сплава W-Ni-Cu	180–260 HB
Пластина из высокопрочного вольфрамового сплава	320–400 HB
Композитная пластина из вольфрамовой меди (твердая поверхность)	150–200 HB
Пластина из нанокристаллического вольфрамового сплава	≥400 BH

В общем случае, чем выше содержание вольфрама, тем больше плотность и чем мельче зерна, тем выше твердость материала.

3. Микроскопические механизмы, влияющие на твердость

- **Собственная твердость вольфрамовой матрицы чрезвычайно высока** : твердость по Виккерсу чистого вольфрама может достигать 350–450 HV, что придает материалу общую устойчивость к деформации;
- **Упрочняющий эффект многофазной структуры** : Ni, Fe, Cu и другие связующие фазы диспергируются для улучшения способности рассеивания напряжений;
- **Измельчение и упрочнение зерна** : механизм Холла-Петча значительно повышает устойчивость к движению микроскопических дислокаций;
- **Эффекты термической обработки** : Отжиг снижает твердость и повышает пластичность; упрочнение твердым раствором и старение повышают общую твердость.

2. Износостойкость пластины из вольфрамового сплава

1. Определение и значение износостойкости

Физический износ, отслоение поверхности или микроповреждения от порезов при контактном движении. Пластины из вольфрамового сплава благодаря высокой твердости, высокой температуре плавления и прочной металлической связи часто используются в деталях трения, шаблонах для пресс-форм, вращающихся кольцах подшипников и других устройствах, где требуется **низкая скорость износа в условиях сухого трения, высоких нагрузок и коррозионных сред**.

2. Анализ механизма износостойкости

В пластинах из вольфрамового сплава в основном доминируют следующие механизмы:

- **Высокая твердая фаза определяет износостойкость** : зерна вольфрама сами по себе обладают высокой твердостью, что может эффективно предотвращать порезы посторонними частицами или кромками инструмента;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Функция контроля износа связующей фазы** : хотя металлические фазы, такие как Ni и Cu, относительно мягкие, они могут смягчать ударные нагрузки и повышать стойкость к ударному износу;
- **Контроль пористости и дефектов имеет решающее значение** : чем больше микропор, тем более поверхность подвержена усталостному отслоению;
- **Механизм улучшения обработки поверхности** : если пластину из вольфрамового сплава обработать плазменным азотированием, гальваническим никелем и напылением керамического слоя, износостойкость можно значительно повысить.

3. Типичные испытания и данные по износостойкости

К распространенным тестам относятся:

- **Испытание на сухое трение (штифт-диск)** : определение скорости объемного износа и коэффициента трения;
- **Испытание на износ шлифовального круга (ASTM G65)** : используется для оценки стойкости к эрозии и царапанию;
- **Испытание на износостойкость при высокоскоростном ударе** : имитирует среду баллистической эрозии (такую как тепло трения сердечника бронебойного снаряда).

Вот некоторые примеры результатов тестов:

Тип материала	Скорость износа (мм ³ /Н·м)	Коэффициент трения	Условия испытаний
Плата W-Ni-Fe	$2,1 \times 10^{-6}$	0,18	Сухое трение, 20 Н, RT
Поверхностное окисление пластины из сплава W	$1,3 \times 10^{-6}$	0,12	Толщина оксидного слоя составляет около 2 мкм.
Композитная пластина из напыленного циркония-W	$0,8 \times 10^{-6}$	0,10	Керамический слой значительно повышает износостойкость

3. Технические меры по повышению твердости и износостойкости

- Оптимизация дизайна материалов** :
 - Увеличить содержание вольфрама и контролировать соотношение связующей фазы;
 - Добавить упрочняющие элементы (такие как Mo, Co, Re);
 - Механизм упрочнения дисперсии наночастиц;
- Контроль микроструктуры и термическая обработка** :
 - Многостадийное спекание повышает плотность;
 - Быстрое охлаждение или отжиг при контролируемой температуре уменьшают количество крупных зерен;
- Технология обработки поверхности** :
 - Плазменное азотирование или покрытие нитридом кремния;
 - Напыление карбидного слоя или керамического слоя;
 - Лазерная наплавка образует плотное покрытие.
- Проектирование композитной конструкции** :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- износостойкие керамические композитные структурные пластины типа W-TiC и W-ZrO₂;
- Локальная закалка для создания поверхности с градиентной твердостью.

4. Типичные случаи применения

- **Теплоотводящая плата для электронного оборудования** : требует высокой твердости и устойчивости к царапинам;
- **Пуленепробиваемый и взрывозащищенный структурный слой** : ударопрочность и износостойкость значительно лучше, чем у стали;
- **Футеровка пресс-форм для высокоскоростной обработки** : стойкая к высокочастотному резанию и термическому усталостному износу;
- **Интерфейсная плата бортовых приборов** : должна выдерживать частые термомеханические нагрузки от сочленения;

Пластины из вольфрамового сплава дают им значительные преимущества при замене традиционных износостойких металлов, таких как сплавы с высоким содержанием кобальта, нержавеющая сталь и сплавы на основе никеля.

V. Резюме

Пластины из вольфрамового сплава, обладающие высокой твердостью и износостойкостью, обладают незаменимой прикладной ценностью в различных высокотехнологичных производственных процессах и экстремальных условиях эксплуатации. На твердость пластин влияют микроструктура, состав сплава и состояние термообработки, а износостойкость — результат скоординированной оптимизации твердости, состава связующего и технологии обработки поверхности. В будущем, благодаря контролю наноструктурированной микроструктуры, интеллектуальной обработке поверхности и многофункциональной интеграции композитных материалов, потенциал применения пластин из вольфрамового сплава в прецизионных системах износостойкости и высоконагруженных системах трения будет продолжать расширяться.

2.4 Теплопроводность, коэффициент теплового расширения и устойчивость к высоким температурам

Пластины из вольфрамового сплава широко используются в аэрокосмической, атомной промышленности, системах электронного охлаждения и других областях благодаря высокой плотности, прочности и превосходной термостойкости. **Теплопроводность** , **тепловое расширение** и **механические свойства материала при высоких температурах** напрямую влияют на его срок службы и безопасность в сложных температурных условиях, поэтому в данном разделе мы сосредоточимся на анализе этих показателей и влияющих на них факторов.

1. Теплопроводность

1. Определение и значение теплопроводности

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Теплопроводность — это способность материала проводить тепловую энергию, и обычно измеряется в Вт/(м·К). Высокая теплопроводность пластин из вольфрамового сплава способствует быстрому рассеиванию тепла, предотвращает накопление термических напряжений и предотвращает термическую усталость и растрескивание материала.

2. Характеристики теплопроводности пластины из вольфрамового сплава

- Теплопроводность чистого вольфрама чрезвычайно высока, около 170–180 Вт/(м·К) (при комнатной температуре);
- вольфрамовый сплав, теплопроводность снизится, но все равно останется на высоком уровне, обычно 50–100 Вт/(м·К);
- Композитные пластины из вольфрамового сплава W-Cu обладают лучшей теплопроводностью, а теплопроводность некоторых материалов может превышать 200 Вт/(м·К), что делает их пригодными для эффективного терморегулирования.

3. Факторы, влияющие на теплопроводность

- **Состав сплава** : Высокая теплопроводность меди значительно улучшает теплопроводность сплава;
- **Плотность** : Высокая пористость снижает теплопроводность;
- **Микроструктура** : размер зерна и рассеивание на границе раздела влияют на передачу теплового потока;
- **Изменения температуры** : Как правило, теплопроводность уменьшается с повышением температуры.

2. Коэффициент теплового расширения

1. Определение коэффициента теплового расширения

Коэффициент теплового расширения (КТР) показывает степень изменения размеров материала при изменении температуры и измеряется в единицах $10^{-6}/\text{K}$. Правильно подобранный КТР имеет решающее значение для предотвращения концентрации термических напряжений и разрушения конструкции.

2. Характеристики теплового расширения пластины из вольфрамового сплава

- Чистый вольфрам имеет низкий КТР, приблизительно $4,5\text{--}5,0 \times 10^{-6} / \text{K}$ (от комнатной температуры до 100 °C).
- При добавлении легирующих элементов, таких как Ni, Fe и Cu, КТР увеличивается, обычно в диапазоне $6\text{--}8 \times 10^{-6}/\text{K}$;
- Из-за высокого содержания меди КТР композитных плат W-Cu может достигать $12\text{--}16 \times 10^{-6} / \text{K}$, поэтому следует уделять внимание их согласованию с соединительными материалами.

3. Инженерное значение

КТР не соответствует другим материалам, что может легко привести к термическим напряжениям, расслоению интерфейса и структурной деформации. Строгий контроль особенно необходим в аэрокосмической и атомной энергетике с частыми циклами термоциклирования.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Высокотемпературные характеристики

1. Прочность и стабильность при высоких температурах

Пластина из вольфрамового сплава способна сохранять превосходные механические свойства при высоких температурах, что является ее важным преимуществом:

- Прочность на растяжение при высокой температуре может сохраняться при температуре 60–80 % от комнатной температуры;
- Температура термического размягчения превышает 1200°C, что позволяет использовать материал в условиях высоких температур;
- Температуры плавления таких элементов, как Ni и Fe, в сплаве значительно ниже, чем у вольфрама, что ограничивает предел высоких температур.

2. Поведение при термическом окислении

Вольфрам и вольфрамовые сплавы склонны к образованию хрупких оксидных пленок в условиях высокотемпературного окисления, что влияет на их срок службы:

- Обычно для замедления окисления **требуется защитное покрытие** или инертная атмосфера;
- Технология нанопокрывтия и конструкция композитного материала могут эффективно повысить стойкость к окислению.

IV. Заключение

Пластины из вольфрамового сплава обладают превосходной теплопроводностью и низким коэффициентом теплового расширения, что делает их пригодными для использования в условиях высоких температур и интенсивного теплового потока. Благодаря разработке сплава и обработке поверхности, термостойкость и стойкость материала к окислению постоянно улучшаются для удовлетворения различных промышленных потребностей.

2.5 Электрические свойства, магнитная реакция и радиационная стойкость

Пластины из вольфрамового сплава не только славятся своими превосходными механическими и термическими свойствами, но и демонстрируют уникальные преимущества в области электроники, электромагнетизма и ядерной энергетики. **Электрические свойства, магнитные характеристики и радиационная стойкость** являются основными показателями, определяющими стабильность и безопасность его эксплуатации в таких ключевых областях применения, как высокотехнологичное оборудование, конструкции ядерных реакторов и защитные материалы.

1. Электрические свойства

1. Проводимость и удельное сопротивление

- Сам по себе вольфрам является переходным металлом с высокой электропроводностью, однако после легирования его электропроводность снижается из-за легирования такими элементами, как Ni, Fe и Cu.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Удельное сопротивление пластин из вольфрамового сплава обычно составляет от 5 до 15 мкОм·см (при комнатной температуре), что значительно выше, чем у чистой меди (около 1,68 мкОм·см), но ниже, чем у керамических материалов.
- Удельное сопротивление зависит от состава сплава, процесса изготовления, размера зерна и температуры. С повышением температуры удельное сопротивление обычно демонстрирует положительный температурный коэффициент.

2. Инженерное значение электрических свойств

- В электронных конструкциях для рассеивания тепла пластины из вольфрамового сплава могут эффективно снижать перегрев электронных компонентов благодаря своей хорошей электро- и теплопроводности.
- В некоторых случаях применения электромагнитного экранирования резистивные свойства пластин из вольфрамового сплава также полезны для снижения электромагнитных помех.

2. Характеристики магнитного отклика

1. Магнитный тип

- Вольфрам и большинство вольфрамовых сплавов являются парамагнитными или слабо диамагнитными. Добавление Ni и Fe может вызвать магнитный отклик, но ферромагнетизм в реальных сплавах обычно подавляется высокой плотностью и кристаллической структурой вольфрама.
- Сплав W-Ni-Fe демонстрирует слабый магнетизм при определенных соотношениях и в основном используется в специальных приложениях, требующих контроля магнитных свойств.

2. Параметры магнитных характеристик

- Магнитная проницаемость низкая, подходит для высокочастотной электроники и радиочастотного оборудования;
- Интенсивность магнитного насыщения низкая, что позволяет избежать резких изменений свойств материала, вызванных магнитными полями;
- Некоторые немагнитные вольфрамовые сплавы (например, W-Ni-Cu) широко используются в аэрокосмической и медицинской областях для предотвращения помех со стороны магнитного поля.

3. Стойкость к радиации

1. Механизм радиационной стойкости

- Пластина из вольфрамового сплава имеет очень высокий атомный номер ($Z=74$) и высокую плотность, и может эффективно блокировать и поглощать гамма-лучи, рентгеновские лучи и нейтронное излучение;
- Стабильная структура решетки и сильная сила связи позволяют сохранять целостность материала в условиях высокоэнергетического излучения, уменьшая расширение материала, его хрупкость или деградацию, вызванные радиацией;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Такие элементы, как Ni и Fe в составе сплава, могут повысить способность к устранению радиационных повреждений.

2. Сценарии применения

- В качестве защитного экранирующего материала в ядерных реакторах он эффективно поглощает нейтроны и гамма-лучи;
- Защитные чехлы медицинского радиационного оборудования и составных частей аппаратов радиотерапии;
- Радиационная защита электронного оборудования космических аппаратов.

3. Стабильность работы в условиях радиации

- Эксперименты показывают, что механические свойства вольфрамовых сплавов мало изменяются после воздействия высоких доз радиации, а микроструктурные повреждения ограничены;
- Для дальнейшего повышения стойкости к окислению и радиационному излучению необходимо объединить технологии покрытия поверхностей.

4. Заключение.

Пластина из вольфрамового сплава обладает превосходной способностью к регулировке электрических характеристик, низким магнитным полем и превосходной радиационной стойкостью, что может удовлетворить потребности многих высокотехнологичных областей, таких как электроника, защита ядерной энергетики и аэрокосмическая промышленность. Благодаря разработке состава материала и оптимизации структуры композита, её характеристики в электромагнитной и радиационной среде будут ещё более улучшены, и она имеет широкий потенциал развития в будущем.

2.6 Анализ коррозионной стойкости и химической стабильности

Пластины из вольфрамовых сплавов часто подвергаются воздействию сложных условий окружающей среды в промышленных условиях, таких как влажность, атмосферное окисление, кислотнo-щелочная коррозия и высокотемпературное окисление. Их **коррозионная стойкость и химическая стабильность** имеют решающее значение для обеспечения долговременной и стабильной работы и продления срока службы материала. В этом разделе систематически анализируются коррозионная стойкость, механизмы химических реакций и соответствующие стратегии защиты пластин из вольфрамовых сплавов.

1. Характеристики коррозионной стойкости пластин из вольфрамового сплава

1. Химическая устойчивость

вольфрама: сам металл вольфрам обладает высокой коррозионной стойкостью, особенно в нейтральных и слабощелочных средах. Высокая температура плавления вольфрама и его высокая прочность связей замедляют его реакцию в большинстве кислотных и щелочных растворов, что приводит к образованию на его поверхности плотной оксидной пленки, обеспечивающей защиту.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Влияние легирующих элементов.

Вольфрамовые сплавы обычно содержат легирующие элементы, такие как никель, железо и медь. Коррозионная стойкость этих элементов относительно низкая, и они могут стать причиной коррозии, особенно в сильных агрессивных средах, таких как хлорид-ионы и серная кислота.

3. Коррозионная

стойкость. Пористость и микротрещины могут легко привести к локальной коррозии и способствовать коррозионному растрескиванию под напряжением (КРН).

2. Химическая стабильность и механизм коррозии

1. Окисление в атмосфере.

Вольфрамовый сплав обладает высокой устойчивостью к окислению в атмосфере при комнатной температуре, и на его поверхности может образовываться плотная оксидная пленка вольфрама (WO_3), защищающая внутренние слои металла от дальнейшего окисления. Однако при высоких температурах скорость окисления увеличивается, что приводит к утолщению оксидной пленки и хрупкости.

2. Кислотная и щелочная коррозия

- **Кислотная среда** : например, азотная кислота, соляная кислота и т. д., может привести к растворению поверхности вольфрамового сплава или возникновению водородной хрупкости, а фазы Ni и Fe более подвержены коррозии;
- **Щелочная среда** : вольфрам и его оксиды, как правило, стабильны и неустойчивы к щелочной коррозии, но некоторые сильные основания, такие как гидроксид натрия, при высоких концентрациях все же могут повредить поверхность материала.

3. Электрохимическая коррозия

В электролитных средах вольфрамовые сплавы могут образовывать эффект микробатареи, что приводит к усилению локальной коррозии. Вольфрамовая фаза действует как катод, а связующая фаза сплава может выступать в качестве анода, формируя коррозионный ток.

3. Технические меры по повышению коррозионной стойкости

1. Оптимизация дизайна материалов

- Увеличить содержание вольфрама и уменьшить долю коррозионно-чувствительной фазы;
- Для повышения общей стабильности добавляются коррозионно-стойкие элементы, такие как молибден и хром.

2. Технология защиты поверхности

- Поверхностная оксидная обработка образует защитную оксидную пленку;
- Нанести антикоррозийное покрытие (керамическое, металлическое);
- Гальваническое покрытие слоев металла, например, никеля и хрома, может повысить стойкость поверхности к коррозии.

3. Экологический контроль

- Избегать контакта с агрессивными средами высокой концентрации;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Контролируйте температуру и влажность, чтобы снизить риск электрохимической коррозии.
- 4. **Улучшение процесса**
- Улучшить плотность и уменьшить поры и микротрещины;
- Усовершенствованная термическая обработка для улучшения однородности ткани.

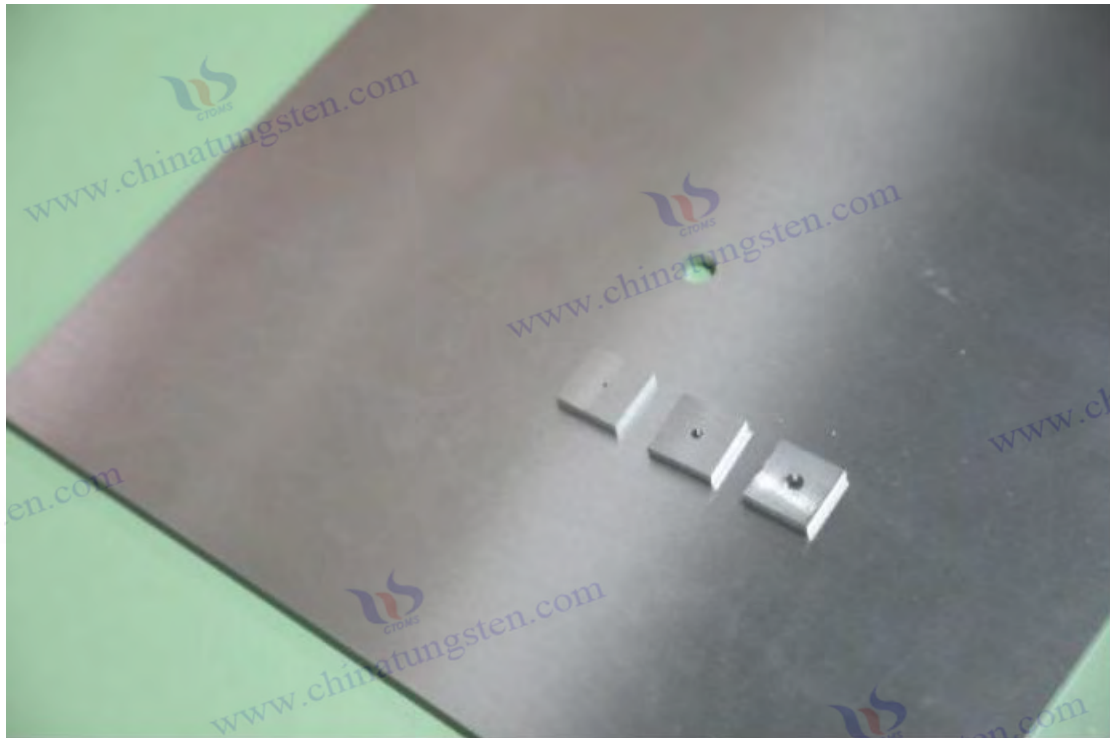
4. Примеры защиты от коррозии в типичных применениях

- **Атомная промышленность** : При использовании защитных материалов из вольфрамовых сплавов для предотвращения окислительной коррозии часто применяют инертную атмосферу или вакуумную упаковку.
- **Медицинское оборудование** : Устройства для радиотерапии из вольфрамового сплава требуют строгой биосовместимости и коррозионной стойкости и часто защищены биоинертными покрытиями.
- **Авиационно-космическая промышленность** : в условиях высоких температур и влажности для повышения стабильности материала требуется азотирование поверхности или напыление антикоррозионных покрытий.

V. Резюме

Пластины из вольфрамового сплава, благодаря высокому содержанию вольфрама и стабильной структуре кристаллической решетки, обладают хорошей коррозионной стойкостью и химической стабильностью в большинстве сред. Благодаря разработке сплава, обработке поверхности и контролю окружающей среды процесс коррозии можно эффективно замедлить, обеспечив долгосрочную и надежную работу материала в суровых условиях.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Глава 3. Технология изготовления и формовки пластин из вольфрамового сплава

3.1 Выбор сырья и переработка вольфрамового порошка и связующего металла

Производство пластин из вольфрамового сплава зависит от выбора и обработки сырья, особенно от качества вольфрамового порошка и связующего металла, которое напрямую определяет стабильность характеристик и эффективность формования готовой пластины из сплава. В данном разделе подробно рассматриваются характеристики вольфрамового порошка, типы и функции связующих металлов, а также технология предварительной обработки сырья.

1. Выбор и характеристики вольфрамового порошка

1. Физические и химические свойства вольфрамового порошка

Вольфрамовый порошок является каркасным материалом вольфрамового сплава и должен обладать следующими основными свойствами:

- **Высокая чистота** : содержание вольфрама обычно составляет $\geq 99,9\%$, что снижает влияние примесей на свойства сплава;
- **Подходящий размер частиц** : распределение размеров частиц равномерное, обычно от 1 до 10 мкм. Мелкий порошок способствует уплотнению при спекании, а крупный — текучести и формованию.
- **Правильная форма частиц** : сферические или субсферические порошки обладают хорошей текучестью и способствуют равномерному прессованию;
- **Низкое содержание кислорода** : предотвращает образование оксидов, влияющих на плотность и механические свойства.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Способ приготовления вольфрамового порошка

- **Метод восстановления водородом** : вольфрамат восстанавливается до металлического вольфрамового порошка с контролируемым размером частиц;
- **Метод карботермического восстановления** : использование угольного порошка для восстановления соединений вольфрама, который имеет низкую стоимость, но более крупный размер частиц;
- **Метод распылительной сушки** : для получения сферического вольфрамового порошка и улучшения текучести;
- **Механическое легирование** : используется для приготовления нано-вольфрамового порошка и улучшения эффекта упрочнения.

2. Типы и выбор связующих металлов

1. Основной связующий металл

- **Никель (Ni)** : широко используемая связующая фаза с хорошей смачиваемостью и прочностью при высоких температурах, которая может эффективно улучшить связь между порошками вольфрама;
- **Железо (Fe)** : используемое в сочетании с никелем, может повысить прочность и твердость сплава и снизить затраты;
- **Медь (Cu)** : используется в некоторых композитных материалах на основе вольфрама и меди для улучшения теплопроводности и электрических свойств, но имеет плохую способность к связыванию;
- **Кобальт (Co)** : используется в некоторых высокопроизводительных вольфрамовых сплавах для повышения износостойкости и эксплуатационных характеристик при высоких температурах.

2. Физические требования к связанным металлам

- Размер частиц порошка однороден и обычно мельче, чем у вольфрамового порошка (0,5–5 мкм);
- Высокая чистота, исключая наличие примесей, вызывающих дефекты материала;
- Хорошая текучесть и смешиваемость обеспечивают равномерное смешивание.

3. Технология предварительной обработки сырья

1. Смешивание порошков

- Используйте механические методы смешивания, такие как измельчение в шаровой мельнице и перемешивание, чтобы гарантировать равномерное распределение порошка вольфрама и связующего металла;
- Соответствующее добавление добавок может улучшить диспергируемость и избежать агломерации.

2. Сушка и дезоксигенация порошка

- После смешивания порошок обычно необходимо высушить, чтобы удалить влагу и органические остатки;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Раскислительная обработка в вакууме или атмосфере водорода позволяет снизить содержание кислорода и окисление во время спекания.

3. Скрининг и классификация

- Контролировать распределение размера частиц путем сортировки по ситам или воздушному потоку для обеспечения равномерности и плотности прессования;
- Удаляет аномальные частицы, которые слишком велики или слишком малы.

4. Контроль качества и тестирование

- **Анализ химического состава** : для определения содержания вольфрама и легирующих элементов используются методы ICP, XRF и другие;
- **Определение распределения размеров частиц** : лазерный анализатор размера частиц или микроскопический анализ;
- **Определение содержания кислорода** : с использованием термодесорбции, анализа углерода и серы и других приборов для контроля;
- **Испытание на текучесть** : используйте оборудование для измерения угла потока или скорости потока, чтобы проверить текучесть порошка.

V. Резюме

Производство пластин из вольфрамового сплава основано на отборе высококачественного сырья – вольфрамового порошка и связующего металла – и научно обоснованном процессе предварительной обработки. Разумный контроль размера частиц порошка, чистоты, содержания кислорода и равномерности смешивания – ключ к обеспечению плавного процесса формования и спекания, а также стабильного качества продукции. В будущем, с развитием нанопорошка и порошка с функционализированной поверхностью, эксплуатационные характеристики пластин из вольфрамового сплава будут еще больше улучшены.

3.2 Процесс получения порошковой металлургии (прессование, изостатическое прессование, спекание)

Производство пластин из вольфрамового сплава основано на технологии порошковой металлургии. В результате смешивания, формования и спекания вольфрамового порошка и связующего порошка получают пластины из сплава высокой плотности и с высокими эксплуатационными характеристиками. В этом разделе систематически рассматриваются ключевые процессы получения материалов методом порошковой металлургии и влияние технологических параметров на качество материала.

1. Смешивание и приготовление порошка

- Вольфрамовый порошок и порошок связующего металла смешиваются строго в пропорции, обеспечивающей однородность состава;
- Использовать такие процессы, как измельчение в шаровой мельнице и механическое перемешивание, для улучшения диспергируемости порошка;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Высушите и раскислите смешанный порошок, чтобы избежать окисления во время спекания;
- Крупные частицы и агломераты удаляются путем просеивания, что обеспечивает текучесть и равномерность прессования.

2. Процесс прессования

1. Одноосное прессование

- Равномерно перемешанный порошок помещают в форму и прессуют под однонаправленным давлением;
- Преимущества: простота оборудования, высокая эффективность производства, подходит для изготовления слитков вольфрамовых сплавов простой формы;
- Недостатки: распределение плотности в процессе прессования неравномерно, возможно возникновение градиента плотности, что влияет на плотность спекания.

2. Холодное изостатическое прессование (ХИП)

- Порошок помещают в герметичный резиновый мешок, погружают в жидкую среду и подвергают равномерному изостатическому давлению;
- Преимущества: получение плотного и однородного сырца, уменьшение внутренних дефектов и пор;
- Подходит для производства пластин из вольфрамового сплава сложной формы или с требованиями к высокой плотности;
- Диапазон давлений обычно составляет 100–300 МПа.

3. Горячее изостатическое прессование (ГИП)

- Сочетая высокую температуру и высокое давление, порошковое тело подвергается давлению и спеканию в среде инертного газа (например, аргона);
- Преимущества: спекание и уплотнение происходят одновременно, что улучшает механические свойства и однородность сплава;
- Подходит для изготовления высококачественных пластин из вольфрамового сплава, позволяет значительно повысить прочность на разрыв и твердость.

3. Процесс спекания

1. Принцип спекания

- При нагревании до высокой температуры порошок вольфрама и связующий металл диффундируют и растворяются, тем самым укрепляя связь между частицами;
- Устранить поры между порошками и добиться уплотнения материала.

2. Атмосфера спекания

- Для защиты от окисления и загрязнения примесями обычно используют водород, азот или инертный газ высокой чистоты;
- Атмосфера водорода оказывает восстановительное действие и препятствует образованию оксидов.

3. Контроль температуры и времени

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Температура спекания обычно контролируется в пределах 1350–1600 °C и определяется составом сплава и оборудованием для спекания;
- Время выдержки должно обеспечивать адекватную диффузию порошка и обычно составляет от 30 минут до нескольких часов;
- Слишком высокая температура может вызвать рост зерна и повлиять на механические свойства.

4. Последующая обработка и уплотнение

- Некоторые процессы будут сочетать горячее изостатическое прессование (ГИП) для вторичного уплотнения;
- Термическая обработка регулирует организационные свойства и повышает прочность и твердость;
- Отжиг перед механической обработкой улучшает пластичность материала и его технологические свойства.

5. Влияние параметров процесса на производительность

Процесс	Ключевые параметры	Влияние на эксплуатационные характеристики пластины из вольфрамового сплава
подавлять	Величина давления и время выдержки	Влияет на плотность сырца, а равномерность плотности определяет качество спекания.
спекание	Температура, атмосфера, время	Влияет на размер зерна, прочность связи и плотность
Горячее изостатическое прессование	Температура, давление, время	Дальнейшее улучшение плотности и механических свойств

VI. Резюме

Технология порошковой металлургии является основой производства пластин из вольфрамовых сплавов. Рациональный выбор методов прессования и контроль параметров процесса спекания являются ключом к получению высокопроизводительных пластин из вольфрамовых сплавов. Благодаря постоянному совершенствованию оборудования и технологических процессов, применение передовых технологий, таких как горячее изостатическое прессование, позволило значительно улучшить механические свойства, плотность и структурную однородность пластин из вольфрамовых сплавов, что позволило им соответствовать самым высоким требованиям к применению.

3.3 Процессы горячей и холодной прокатки

После формования пластины из вольфрамового сплава методом порошкового спекания часто требуется механическая обработка, такая как **горячая и холодная прокатка**, для дальнейшего улучшения структуры и эксплуатационных характеристик пластины,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

повышения плотности и механической прочности, а также качества поверхности и точности размеров. В этом разделе подробно описаны технологический процесс, технические аспекты горячей и холодной прокатки и их влияние на эксплуатационные характеристики пластины из вольфрамового сплава.

1. Процесс горячей прокатки

1. Обзор процесса

- Горячая прокатка — это процесс, при котором слябы из вольфрамового сплава нагреваются до подходящей температуры (обычно в диапазоне 800–1200 °C) и пластически деформируются путем приложения давления в прокатном стане.
- Горячая прокатка позволяет эффективно измельчать зерна, улучшать внутреннюю структуру сплава, а также повышать прочность и пластичность.

2. Контроль температуры горячей прокатки

- Правильная температура нагрева обеспечивает хорошую пластичность материала и исключает появление трещин и изломов;
- Слишком высокая температура может вызвать рост зерна и снизить механические свойства;
- Слишком низкая температура увеличит сопротивление деформации и может привести к появлению трещин на поверхности пластины.

3. Деформация горячей прокатки и скорость прокатки

- Деформация контролируется в разумных пределах (обжатие толщины за одну прокатку обычно составляет 10–30%), чтобы обеспечить однородность структуры;
- Скорость прокатки влияет на распределение температуры и должна регулироваться в зависимости от состояния оборудования и материала, чтобы предотвратить возникновение напряжений, вызванных неравномерным охлаждением.

4. Отжиг

- После горячей прокатки часто требуется отжиг для устранения внутренних напряжений и восстановления прочности материала;
- Температура отжига обычно немного ниже температуры горячей прокатки, а время корректируется в зависимости от толщины листа и свойств материала.

2. Процесс холодной прокатки

1. Обзор процесса

- Холодная прокатка заключается в проведении многократной пластической обработки горячекатаной пластины из вольфрамового сплава при комнатной температуре для дальнейшего повышения точности пластины и качества поверхности;
- Холодная прокатка позволяет значительно повысить прочность и твердость материала, что делает его пригодным для изготовления высокопроизводительных пластин из вольфрамового сплава.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Схема деформации и прокатки в холодном состоянии

- Единичная деформация невелика, обычно 5–15%, чтобы предотвратить растрескивание пластины;
- Многократная прокатка и прерывистый отжиг для восстановления пластичности и предотвращения чрезмерного упрочнения.

3. Контроль качества поверхности и размеров

- Холодная прокатка может эффективно снизить шероховатость поверхности и улучшить гладкость;
- Точно контролируйте толщину пластины для достижения высокой точности размеров и однородности.

3. Комплексное применение горячей и холодной прокатки

- Как правило, применяется комбинированный процесс горячей прокатки с последующей холодной прокаткой, чтобы обеспечить пластичность и плотность материала, достигая при этом высокой прочности и отличного качества поверхности.
- Пластины из вольфрамового сплава можно оптимизировать за счет рационального проектирования маршрута прокатки и процесса термической обработки.

4. Влияние процесса на эксплуатационные характеристики пластины из вольфрамового сплава

Процесс	Ключевые параметры	Влияние
Горячая прокатка	Температура, деформация, скорость	Измельчение зерна, снятие внутренних напряжений и повышение прочности
Холодная прокатка	Деформация, количество проходов	Повышенная прочность и твердость, гладкая поверхность и высокая точность размеров

3.4 Технология обработки поверхности (полировка, травление, гальванопокрытие, PVD)

После изготовления пластины из вольфрамового сплава обычно требуется ряд процессов поверхностной обработки для улучшения качества поверхности, коррозионной стойкости и функциональных свойств. Обработка поверхности не только улучшает внешний вид и размерную точность материала, но и повышает его износостойкость, стойкость к окислению и электропроводность. В этом разделе рассматриваются четыре наиболее распространённых технологии поверхностной обработки пластин из вольфрамового сплава: полировка, травление, гальваническое покрытие и физическое осаждение из паровой фазы (PVD).

1. Полировка (механическая полировка)

1. Цель полировки

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Удалить оксидный слой, заусенцы и следы обработки с поверхности пластины из вольфрамового сплава;
- Улучшить плоскостность и гладкость поверхности, а также уменьшить шероховатость поверхности;
- Обеспечивает хорошую основу для последующих процессов, таких как гальванопокрытие и нанесение покрытий.

2. Процесс полировки

- Используйте наждачную бумагу, абразивную пасту и полировальный круг для постепенной шлифовки;
- Крупный, средний и тонкий помол осуществляются поэтапно, при этом размер частиц постепенно уменьшается;
- Автоматизированное полировальное оборудование используется в современных процессах для повышения однородности и эффективности.

3. Примечания

- Контролируйте температуру шлифования, чтобы избежать перегрева поверхности и деформации ткани;
- Выбирайте подходящие абразивные материалы, чтобы предотвратить появление царапин и выбоин на поверхности.

2. Травление (химическая обработка)

1. Маринование

- Удалить поверхностные окислы, ржавчину и загрязнения;
- Улучшают поверхностную активность и способствуют адгезии покрытия или гальванического слоя;
- Отрегулируйте шероховатость поверхности и улучшите смачиваемость.

2. Травильный агент и параметры процесса

- Обычно используемые травильные растворы: разбавленная соляная кислота, серная кислота или смешанная кислота;
- Температура, концентрация и время травления должны строго контролироваться, чтобы предотвратить чрезмерную коррозию;
- После травления необходимо своевременно провести нейтрализацию и очистку, чтобы не допустить появления остаточной кислоты.

3. Безопасность и охрана окружающей среды

- Очистные сооружения отходящих газов и жидких отходов должны быть оборудованы таким образом, чтобы предотвращать загрязнение кислыми газами и сточными водами;
- Для обеспечения безопасности операторы должны носить средства индивидуальной защиты.

3. Технология гальванопокрытия

1. Цель гальванизации

- Нанесение слоя металла (например, никеля, хрома, меди и т. д.) на поверхность пластины из вольфрамового сплава для повышения коррозионной стойкости и износостойкости;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Улучшить электропроводность и производительность сварки;
- Улучшить эстетику и твердость поверхности.

2. Обычно используемые гальванические металлические слои

- **Никелирование** : широко используется для повышения коррозионной стойкости и твердости, а также улучшения смазочных свойств;
- **Хромирование** : обеспечивает высокую твердость и износостойкость, блестящую поверхность;
- **Гальваническое покрытие медью** : улучшает проводимость и подходит для электронной промышленности.

3. Процесс гальванизации

- Предварительная обработка поверхности (обезжиривание, травление);
- Активационная обработка для стимуляции адсорбции ионов металлов;
- Погружая его в гальваническую ванну, подается ток для осаждения покрытия;
- Постобработка (пассивация, очистка, сушка).

4. Контроль качества гальванопокрытия

- Контроль толщины и равномерности покрытия;
- Не допускайте образования пузырей, проколов и осыпания покрытия;
- Регулярно проверяйте адгезию и твердость покрытия.

4. Физическое осаждение из паровой фазы (PVD)

1. Введение в технологию PVD

- тонкопленочная технология, при которой целевой материал испаряется или распыляется в вакуумной среде и осаждается на поверхности пластины из вольфрамового сплава;
- Обычные материалы покрытий включают карбиды (например, TiC, WC), нитриды (TiN, CrN) и металлические слои.

2. Преимущества PVD-покрытия

- Покрытие обладает высокой прочностью сцепления, оно плотное и однородное, а также имеет значительно улучшенную износостойкость и коррозионную стойкость;
- Экологически чистый и не загрязняющий окружающую среду, соответствующий современным требованиям зеленого производства;
- Толщину и состав покрытия можно контролировать для достижения функционального дизайна поверхности.

3. Процесс нанесения PVD-покрытия

- Очистка и предварительная обработка материалов;
- Помещенная в вакуумную камеру мишень нагревается или распыляется;
- Нанесение покрытия, последующее охлаждение и последующая обработка.

4. Типичные области применения

- пластины из вольфрамового сплава в аэрокосмической и военной областях;
- Рассеивание тепла электронного оборудования и улучшение поверхности контактных частей;
- Износостойкие и биосовместимые покрытия для медицинских изделий.

V. Резюме

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Обработка поверхности — ключевой этап в повышении общих эксплуатационных характеристик пластин из вольфрамового сплава. Полировка обеспечивает превосходное качество поверхности, травление эффективно удаляет загрязнения и оксидные слои, гальваническое покрытие обеспечивает коррозионно-стойкий и функциональный защитный слой металла, а технология PVD, передовая технология нанесения покрытий, обеспечивает отличную износостойкость и коррозионную стойкость. Рациональное сочетание и оптимизация этих процессов обработки поверхности позволяют значительно повысить эксплуатационные характеристики и срок службы пластин из вольфрамового сплава.

3.5 Применение лазерной наплавки и аддитивного производства пластинчатых материалов

Благодаря постоянному развитию передовых производственных технологий, лазерная наплавка и аддитивное производство (3D-печать) постепенно применяются для изготовления и ремонта пластин из вольфрамовых сплавов. Эти технологии обеспечивают локальное плавление и осаждение материалов с помощью высокоточных лазерных лучей высокой плотности энергии, обладают превосходными характеристиками формовки и использования материала, а также значительно расширяют область применения и возможности повышения эксплуатационных характеристик пластин из вольфрамовых сплавов.

1. Введение в технологию лазерной наплавки

1. Принцип процесса:

лазерная наплавка использует мощный лазерный луч для частичного расплавления металлического порошка или проволоки и осаждения их на поверхность подложки, образуя плотный слой сплава. Этот слой обладает хорошей прочностью сцепления и градиентом рабочих характеристик, а также может улучшить износостойкость, коррозионную стойкость и термостойкость подложки.

2. Технологические преимущества

- Точно контролировать толщину и состав облицовочного слоя для достижения функционально-градиентной конструкции материала;
- Малая зона термического влияния, малая деформация подложки и низкие остаточные напряжения;
- Он способен устранять дефекты поверхности пластин из вольфрамового сплава и продлевать срок их службы.

3. Сценарий применения

- пластина из вольфрамового сплава упрочнена для повышения износостойкости и коррозионной стойкости;
- Локальный ремонт производственных дефектов, а также износа или коррозии, возникших в процессе эксплуатации;
- Нанесение высокотвердого плакирующего покрытия на поверхность пластины из вольфрамового сплава.

2. Технология аддитивного производства и ее преимущества

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. Обзор аддитивного производства.

Аддитивное производство (АП) позволяет формировать пластины из вольфрамового сплава, близкие к заданной форме, путем послойного наложения металлического порошка в сочетании с источниками энергии, такими как лазеры и электронные лучи. К наиболее распространённым технологиям относятся селективная лазерная плавка (СЛП) и электронно-лучевая плавка (ЭЛП).

2. Технологические преимущества

- Высокая степень свободы проектирования, позволяющая изготавливать сложные конструкции и функционально градуированные детали;
- Высокая степень использования материалов, снижение отходов и затрат;
- Быстрое прототипирование сокращает цикл разработки продукта.

3. Проблемы процесса

- Порошок вольфрамового сплава имеет высокую температуру плавления и высокую теплопроводность, что затрудняет контроль плавления;
- Возникает вероятность образования трещин и отверстий, поэтому необходимо оптимизировать параметры процесса и качество порошка;
- Плотность и механические свойства формованных деталей нуждаются в дальнейшем улучшении.

3. Технологическая схема лазерной наплавки и аддитивного производства

Процесс	Основное содержание
Приготовление порошка	Выбирайте порошок вольфрамового сплава с соответствующим размером частиц и морфологией, чтобы обеспечить текучесть и чистоту.
Подготовка оборудования	Отладка мощности лазера, скорости сканирования, системы газовой защиты и других параметров
Предварительная обработка	Поверхность подложки чистая, что обеспечивает прочное соединение облицовочного слоя с подложкой.
Облицовка/Печать	Лазерный луч сканирует расплавленный порошок, обеспечивая послойное наложение.
Постобработка	Термическая обработка, механическая обработка и полировка поверхности для улучшения структуры и эксплуатационных характеристик

4. Анализ случая применения

1. В аэрокосмической отрасли

технология лазерной наплавки используется для упрочнения поверхности пластин из вольфрамового сплава с целью повышения их высокотемпературной стойкости и износостойкости для удовлетворения высоких эксплуатационных требований к компонентам двигателей.

2. В атомной промышленности

используется аддитивное производство для изготовления сложных защитных

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

пластин из вольфрамового сплава, позволяющих добиться легкой и эффективной защиты, тем самым повышая безопасность и срок службы ядерных реакторов.

3. Пресс-форма изготавливается путем лазерной

наплавки слоя сплава высокой твердости на поверхность пластины из вольфрамового сплава для повышения износостойкости и коррозионной стойкости пресс-формы, а также продления срока ее службы.

V. Тенденции и проблемы развития

- **Оптимизация технологий** : постоянное совершенствование параметров лазера и процессов подготовки порошка для устранения таких дефектов, как трещины и отверстия;
- **Инновации в области материалов** : разработка порошка вольфрамового сплава, пригодного для лазерной наплавки и аддитивного производства для улучшения качества формовки;
- **Производство многокомпонентных композитных материалов** : реализация эффективного производства функционально-градиентных материалов и композитных структур;
- **Интеллектуальное управление** : внедрение искусственного интеллекта и мониторинга в режиме реального времени для повышения стабильности процесса и однородности готовой продукции.

VI. Резюме

Лазерная наплавка и технологии аддитивного производства предлагают новое решение для подготовки и повышения эксплуатационных характеристик пластин из вольфрамовых сплавов. Благодаря точному нанесению материала и проектированию конструкции, они позволяют не только эффективно восстанавливать и укреплять поверхность пластин из вольфрамовых сплавов, но и способствуют развитию производства пластин из вольфрамовых сплавов в сторону высокой производительности, сложных форм и персонализации. В будущем, по мере развития технологий и инноваций в области материалов, лазерное производство будет играть всё более важную роль в области вольфрамовых сплавов.

3.6 Технология армирования наночастицами и изготовления функционально-градиентных пластин

Благодаря непрерывному развитию материаловедения, нанотехнологии и функционально-градиентные материалы (FGM) стали ключевыми направлениями в улучшении характеристик пластин из вольфрамовых сплавов. Введение фаз армирования наночастицами и достижение градиентного распределения состава и структуры позволяет значительно улучшить механические свойства, износостойкость и термическую стабильность пластин из вольфрамовых сплавов, что позволяет удовлетворить более сложные и требовательные требования к применению.

1. Технология улучшения наночастиц

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. Типы и функции наночастиц

- **Обычно используемые наночастицы** : карбиды (такие как WC, TiC), оксиды (такие как Al_2O_3 , ZrO_2), углеродные нанотрубки (УНТ) и графен и т. д. ;
- **Механизм улучшения** : наночастицы повышают прочность и твердость матрицы за счет измельчения зерен, препятствия движению дислокаций и формирования равномерно распределенной второй фазы;
- **Укрепление интерфейса** : наночастицы образуют прочную связь интерфейса с вольфрамовой матрицей, повышая общую прочность материала.

2. Технология дисперсии наночастиц

- **Механическое легирование** : высокоэнергетическое измельчение в шаровой мельнице позволяет равномерно распределить наночастицы в порошке вольфрама;
- **Модификация поверхности** : улучшение совместимости наночастиц с матрицей и предотвращение агломерации химическими или физическими методами;
- **Добавление диспергатора** : введение поверхностно-активных веществ для содействия равномерному распределению.

3. Проблемы процесса и пути их решения

- Наночастицы склонны к агломерации, и процесс диспергирования необходимо оптимизировать;
- Прочность соединения интерфейса и соответствие тепловому расширению должны быть разумно спроектированы, чтобы избежать концентрации термических напряжений;
- Контролируйте содержание наночастиц, чтобы предотвратить появление хрупкости из-за их чрезмерного количества.

2. Технология подготовки функционально-градиентных пластин

1. Введение в функционально-градиентные материалы

- Функционально-градиентные пластины из вольфрамового сплава оптимизируют пространственное распределение производительности за счет достижения градиентов различных составов или структур в направлении толщины или на поверхности.
- Основная цель — одновременное удовлетворение нескольких требований, таких как прочность, ударная вязкость, износостойкость и коррозионная стойкость.

2. Способ приготовления

- **Послойное спекание** : слой за слоем корректируйте соотношение порошка и спекайте до получения нужной формы;
- **Градиентная термообработка** : использование условий термообработки в разных зонах для формирования градиента производительности;
- **Лазерная наплавка или аддитивное производство** : градиенты достигаются путем локализованного осаждения материалов с различным составом;
- **Прокатка и экструзия композита** : пластины с различным составом или структурой композиционно соединяются, а затем подвергаются механической обработке для формирования градиентной структуры.

3. Типичная конструкция градиента

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Износостойкий слой высокой твердости на поверхности и подшипниковый слой высокой прочности внутри;
- Коэффициент теплового расширения постепенно изменяется в сторону уменьшения термического напряжения;
- Функциональные зоны обладают соответственно токопроводящими, коррозионно-стойкими или радиационно-стойкими свойствами.

3. Повышение эффективности наноулучшения и подготовки градиента

Показатели эффективности	Эффект усиления наночастиц	Преимущества функционально-градуированного дизайна
предел прочности	Значительно улучшено	Региональная оптимизация для повышения общей прочности и вязкости
твердость	Значительно улучшено	Упрочнение поверхности, отличная износостойкость
прочность	Умеренное улучшение	Градиентная структура снимает концентрацию напряжений
Термическая стабильность	Улучшенные характеристики при высоких температурах	Согласование теплового расширения для уменьшения термического растрескивания
Коррозионная стойкость	Наночастицы и усиление интерфейса	Поверхностный функциональный слой улучшает коррозионную стойкость

IV. Перспективы применения и тенденции развития

- Пластины из вольфрамового сплава, армированные наночастицами, подходят для использования в аэрокосмической, атомной промышленности и высокотехнологичной электронике и особенно важны для компонентов с высокими требованиями к прочности и износостойкости;
- Функционально-градиентные пластины открывают новые идеи для применения вольфрамовых сплавов в экстремальных условиях, таких как тепловая защита, защита от радиации и оптимизация механических свойств;
- В сочетании с передовой технологией аддитивного производства можно добиться точного контроля и эффективного производства сложных градиентных структур.

V. Резюме

Технология улучшения наночастиц и подготовки функционального градиента обеспечивают надежную поддержку повышения эксплуатационных характеристик пластин из вольфрамового сплава. Благодаря сочетанию дизайна материала и передовых технологий, пластины из вольфрамового сплава могут достичь синергетического улучшения прочности, ударной вязкости, износостойкости, коррозионной стойкости и других свойств, что способствует продвижению пластин из вольфрамового сплава в высокотехнологичные и сложные области применения.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

Core advantages: 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

Quality cost: optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

Advanced capabilities: advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

Service commitment

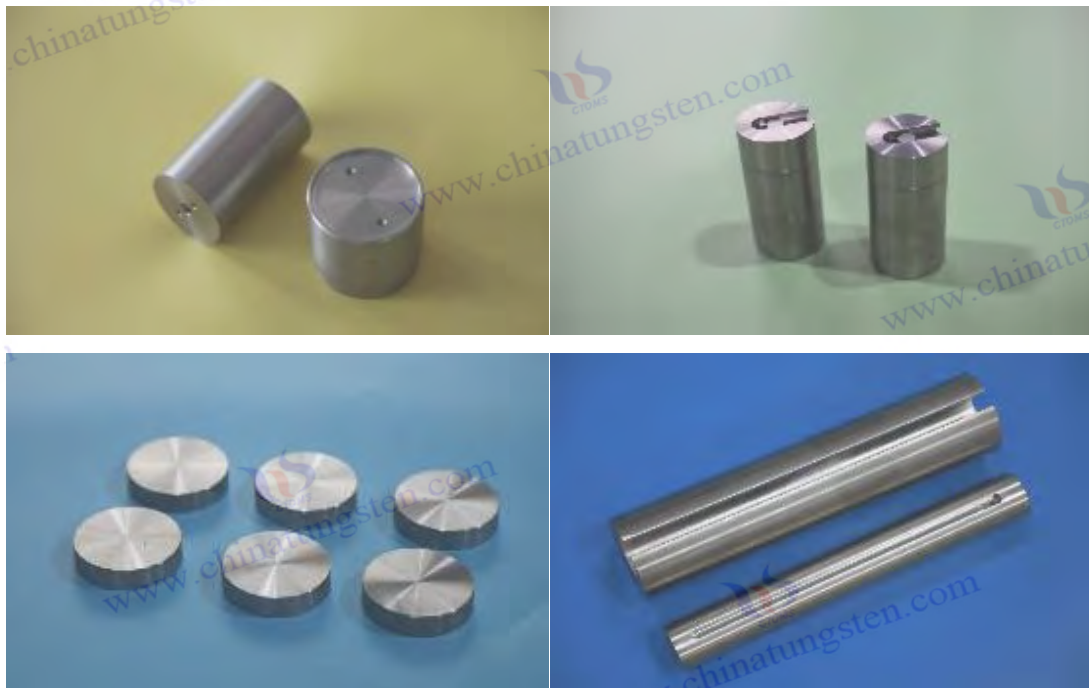
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Глава 4. Контроль качества и оценка эксплуатационных характеристик пластин из вольфрамового сплава

4.1 Проверка геометрических размеров и плоскостности поверхности

Геометрические размеры и плоскостность поверхности пластин из вольфрамового сплава являются важными показателями, обеспечивающими точность сборки и эксплуатационные характеристики. Точные размеры и безупречное состояние поверхности напрямую влияют на механическую прочность, контактные характеристики и качество последующей обработки пластин. В этом разделе рассматриваются широко используемые методы испытаний, приборы и оборудование, а также процессы испытаний, обеспечивающие соответствие пластин из вольфрамового сплава требованиям конструкции и стандартам применения.

1. Определение геометрических размеров

1. Основные параметры теста

- Длина, ширина, толщина: Используйте высокоточные измерительные инструменты для измерения основных размеров пластины;
- Прямолинейность: измеряет степень деформации изгиба пластины в направлении длины;
- Ровность: Оцените общую ровность поверхности доски.

2. Обычно используемое испытательное оборудование

- Штангенциркули и микрометры : подходят для грубого измерения длины и толщины с точностью обычно 0,01 мм;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Координатно-измерительная машина (КИМ)** : высокоточное, многопараметрическое измерение, подходит для сложных форм и требований высокой точности;
- **Лазерный сканер** : бесконтактное измерение, быстрое получение данных облака точек поверхности и анализ плоскостности;
- **Пластина и щуп** : традиционные инструменты для проверки прямолинейности и плоскостности, простые и экономичные.

3. Процесс тестирования

- Поместите пластину на испытательный стол, чтобы убедиться, что она надежно закреплена;
- Выбрать точки и направления измерений в соответствии с требованиями проекта;
- Многоточечное измерение для получения данных о размерах и кривой плоскостности;
- Соответствие диапазону допусков определяется путем статистического анализа.

2. Определение плоскостности поверхности

1. Определение плоскостности

- Плоскостность поверхности — это степень отклонения поверхности пластины из вольфрамового сплава от идеальной плоскости, что влияет на герметичность, контактные характеристики и внешний вид.

2. Метод обнаружения

- **Метод линейки и щупа** : положите линейку на поверхность и с помощью щупа измерьте зазор, чтобы быстро определить плоскостность;
- **Оптический интерферометр** : использует интерференционные полосы для точного измерения поверхностных колебаний на микронном уровне;
- **Лазерный профилировщик** : сканирует профиль поверхности и строит трехмерную модель поверхности;
- **Профилометр со щупом** : механический щуп сканирует поверхность, получая данные об изменении высоты.

3. Критерии оценки

- Установить допуски плоскостности в соответствии с национальными и отраслевыми стандартами (такими как GB, ISO);
- Сорта поверхности различаются в зависимости от области применения: высокоточные применения предъявляют более строгие требования.

3. Факторы влияния и контроля

- Равномерность прессования и деформация спекания в процессе приготовления;
- Стабильность последующей обработки и точность оборудования;
- Температура окружающей среды и влажность влияют на точность обнаружения, поэтому испытание следует проводить в условиях постоянной температуры и влажности.

IV. Резюме

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Контроль геометрических размеров и плоскостности поверхности является важным аспектом контроля качества пластин из вольфрамового сплава. Сочетание передового измерительного оборудования и научных методов испытаний позволяет гарантировать соответствие пластины требованиям конструкции и применения, создавая прочную основу для последующей оценки эксплуатационных характеристик и применения.

4.2 Микроструктура и характеристика плотности (СЭМ, РСА)

Пластины из вольфрамовых сплавов имеют ключевые характеристики, влияющие на их механические свойства, износостойкость и стабильность. Анализ микроструктуры позволяет глубже понять морфологию зерен, фазовый состав, распределение пор и состояние межфазных связей материала, что позволяет оптимизировать параметры процесса и повысить его качество. В данном разделе рассматриваются наиболее часто используемые методы анализа микроструктуры и методы определения плотности.

1. Анализ с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ)

1. Технический принцип

- СЭМ использует электронный луч для сканирования поверхности образца и получает изображения морфологии поверхности и микроструктуры с высоким разрешением путем обнаружения вторичных электронов и обратно рассеянных электронов;
- Можно наблюдать и анализировать различные фазы, распределение частиц, поры, трещины и другие микродефекты.

2. Содержание приложения

- Анализ размера и морфологии зерна: определение размера и однородности зерна с помощью изображений, полученных с помощью СЭМ;
- Распределение частиц и межфазная связь: наблюдение за состоянием связи между вольфрамовой матрицей и армирующей фазой (например, Ni, Fe, Cu и т. д.);
- Обнаружение пористости и дефектов: выявление пор, трещин и включений в материалах;
- Морфология поверхностной коррозии: анализ механизма коррозии и распределения продуктов коррозии.

3. Подготовка образца

- Образцы пластин из вольфрамового сплава необходимо предварительно обработать путем полировки, коррозионного травления и т. д., чтобы выявить микроструктуру;
- Размеры и форма образца должны соответствовать требованиям оборудования СЭМ.

2. Рентгеноструктурный анализ (РФА)

1. Технический принцип

- Рентгеновская дифракция определяет кристаллическую структуру и фазовый состав путем регистрации картины дифракции образца материала в падающем рентгеновском луче;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Положение, интенсивность и ширина дифракционного пика отражают тип кристаллической фазы, кристалличность и размер зерна материала.

2. Содержание приложения

- Идентификация фазового состава: подтверждение металлической фазы или сложной фазы, образованной фазой вольфрама и другими легирующими элементами в вольфрамовом сплаве;
- Анализ кристаллической структуры: определение параметров решетки и типов кристаллов каждой фазы;
- Измерение размера зерна и напряжения: расчет размера зерна и внутреннего напряженного состояния с помощью анализа ширины пика;
- Контроль качества: мониторинг влияния обработки материалов на структуру кристаллов.

3. Подготовка образца

- Поверхность образца должна быть плоской, чтобы избежать шероховатости, влияющей на результаты дифракции;
- Для анализа можно использовать как объемные, так и порошкообразные образцы.

3. Метод определения плотности

1. Теоретическая плотность и фактическая плотность

- Теоретическая плотность рассчитывается на основе химического состава и кристаллической структуры вольфрама и легирующих элементов;
- Фактическая плотность получается путем экспериментального измерения и является важным показателем для оценки плотности материалов.

2. Распространенные методы измерения

- **Метод Архимеда** : расчёт плотности путём измерения разности масс образца в жидкости. Подходит для образцов правильной формы.
- **Геометрический метод** : измерение размера и массы образца для расчета плотности, что подходит для образцов правильной формы и отсутствия пор;
- **Метод газопроницаемости** : оценивает пористость и косвенно отражает плотность.

3. Связь между плотностью и производительностью

- Чем выше плотность, тем лучше механические свойства и коррозионная стойкость материала;
- Высокая пористость снижает прочность материала и срок его службы.

4. Комплексный анализ и применение

- Сочетание анализа СЭМ и рентгеновской дифракции позволяет систематически изучить микроструктурные характеристики и фазовый состав пластин вольфрамового сплава;
- Испытание плотности помогает оценить степень уплотнения материала и эффект оптимизации процесса;
- Обеспечить научную основу для корректировки технологических процессов и усовершенствования материалов, а также улучшить эксплуатационные характеристики пластин из вольфрамового сплава.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

V. Резюме

Микроструктура и характеристики плотности являются ключевыми элементами исследования эксплуатационных характеристик и контроля качества пластин из вольфрамовых сплавов. Применение технологий СЭМ и рентгеновской дифракции позволяет глубоко изучить микроструктуру и кристаллическое состояние материала; измерение плотности позволяет количественно оценить степень уплотнения материала. Систематические методы характеризации обеспечивают надежную гарантию высокопроизводительного производства и применения пластин из вольфрамовых сплавов.

4.3 Стандарты испытаний механических свойств (ASTM, GB, ISO)

Вольфрамовые сплавы – важный высокопроизводительный материал, поэтому точные испытания и оценка механических свойств пластин из них имеют решающее значение для обеспечения качества продукции и соответствия требованиям к применению. Для стандартизации методов испытаний и обеспечения точности и сопоставимости данных как на международном, так и на национальном уровне разработан ряд стандартов испытаний механических свойств. В данном разделе рассматриваются основные стандарты испытаний механических свойств, обычно используемые для пластин из вольфрамовых сплавов, включая соответствующие спецификации Американского общества по испытаниям и материалам (ASTM), Китайского национального стандарта (GB) и Международной организации по стандартизации (ISO).

1. Основные механические свойства

- **на растяжение** : максимальное напряжение, которое может выдержать материал при испытании на растяжение;
- **Предел текучести** : напряжение, при котором материал подвергается остаточной деформации;
- **Удлинение** : процент удлинения до разрыва материала, отражающий пластичность;
- **Твердость** : способность материала сопротивляться локальной пластической деформации;
- **Ударная вязкость** : способность материала противостоять ударным повреждениям.

2. Стандартная система ASTM

1. ASTM E8/E8M — Метод испытания на растяжение

- Подходит для измерения прочности на растяжение, предела текучести и удлинения металлических материалов;
- В нем указаны размер образца, скорость испытания, методы сбора данных и расчетов;
- Пластины из вольфрамового сплава обычно испытывают с помощью плоских образцов на растяжение.

2. ASTM E23 — Метод испытания на удар (метод Шарпи)

- Используется для измерения ударной вязкости материалов и оценки свойств разрушения;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Использовать стандартные образцы с надрезами, указывать температуру испытания и определение поглощения энергии;
- Подходит для оценки показателей вязкости пластин из вольфрамового сплава при динамических нагрузках.

3. ASTM E92 — Испытание на твердость по Виккерсу

- Подходит для измерения твердости твердых сплавов и металлов высокой твердости;
- Укажите диапазон нагрузки и метод измерения вдавливания для обеспечения точности данных.

3. Китайский национальный стандарт (GB)

1. GB/T 228 — Метод испытания на растяжение при комнатной температуре для металлических материалов

- Подобно ASTM E8, он подходит для испытаний на растяжение различных металлических материалов;
- Подробные спецификации по подготовке образцов, испытательному оборудованию и обработке данных.

2. GB/T 229 — Метод испытания металлических материалов на удар (испытание по Шарпи)

- Устанавливает стандартные методы и условия проведения испытаний на удар;
- Подходит для оценки сопротивления разрушению пластин из вольфрамового сплава.

3. GB/T 4340 — Испытание металлических материалов на твердость

- Содержит методы определения твердости по Бринеллю, Виккерсу и Роквеллу;
- Соответствующий метод испытания на твердость может быть выбран в соответствии с конкретным применением пластины из вольфрамового сплава.

4. Международные стандарты ИСО

1. ISO 6892 — Испытание металлических материалов на растяжение

- Общие спецификации испытаний на растяжение в международных стандартах;
- Особое внимание уделяется стандартизации процесса тестирования и надежности тестовых данных.

2. ISO 148 — Испытание на удар по Шарпи

- Стандартизировать подготовку образцов для испытаний на удар и условия испытаний;
- Содействовать обеспечению согласованности и сопоставимости данных между странами.

3. ISO 6507 — Испытание на твердость по Виккерсу

- Подробно опишите технические требования к испытаниям на твердость;
- Он широко используется для оценки твердости твердых материалов, таких как вольфрамовые сплавы.

5. Испытательное оборудование и контроль окружающей среды

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Испытательное оборудование должно отвечать техническим требованиям соответствующих стандартов для обеспечения точности нагрузки и точности сбора данных;
- Условия окружающей среды (температура, влажность) оказывают существенное влияние на результаты испытаний и должны оставаться стабильными;
- Пластины из вольфрамового сплава требуют использования специальных приспособлений и измерительных приборов.

6. Примечания к стандартному применению

- Подготовка образцов должна осуществляться строго в соответствии со стандартными размерами и формой, чтобы избежать концентрации напряжений и дефектов, влияющих на результаты;
- Пластины из вольфрамового сплава для различных целей могут выбирать соответствующие стандарты испытаний и параметры в соответствии с фактическими требованиями к эксплуатационным характеристикам;
- В сочетании с различными испытаниями механических свойств проводится всесторонняя оценка свойств материалов для оптимизации процесса и проектирования приложений.

VII. Резюме

Совершенная система стандартов испытаний механических свойств обеспечивает научную основу для исследований и разработок, производства и контроля качества пластин из вольфрамовых сплавов. Стандарты ASTM, GB и ISO обладают собственными особенностями и дополняют друг друга, способствуя интернационализации и стандартизации методов испытаний пластин из вольфрамовых сплавов. Предприятия и научно-исследовательские институты должны обоснованно выбирать стандарты испытаний в соответствии с реальными потребностями, чтобы гарантировать точность и надёжность результатов испытаний.

4.4 Анализ элементного состава и содержания примесей (ИСП, РФА, ОНН)

Качество пластин из вольфрамовых сплавов во многом зависит от точного контроля их химического состава и строгого соблюдения предельно допустимого содержания примесей. Точное определение элементного состава не только помогает обеспечить проектные характеристики материала, но и играет ключевую роль в мониторинге и контроле качества производственного процесса. В этом разделе рассматриваются широко используемые методы анализа элементного состава и содержания примесей, включая эмиссионную спектроскопию с индуктивно связанной плазмой (ИСП), рентгенофлуоресцентную спектроскопию (РФС) и анализатор кислорода, азота и водорода (ОНВ), а также обсуждается их применение при испытании пластин из вольфрамовых сплавов.

1. Оптическая эмиссионная спектроскопия с индуктивно связанной плазмой (ИСП)

1. Технический принцип

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- ИСП использует высокотемпературную плазму для возбуждения атомов и ионов в образце с целью получения характерных спектров;
- По интенсивности и длине волны спектра излучения можно количественно проанализировать содержание множества элементов в образце.

2. Область применения

- Точно определять содержание основных элементов (вольфрам, никель, железо, медь и др.) и микроэлементов в пластинах из вольфрамового сплава;
- Обнаружение следов примесей, таких как свинец, сера, фосфор и т. д., для обеспечения чистоты материалов;
- Высокая чувствительность и возможность одновременного многоэлементного анализа, подходящая для сложных систем сплавов.

3. Подготовка образца

- Обычно твердые образцы необходимо растворить в растворе, обычно с использованием кислотного растворения (например, царской водки);
- Предварительная обработка образцов должна строго регулироваться, чтобы избежать загрязнения и потери элементов.

2. Рентгеновская флуоресцентная спектроскопия (РФС)

1. Технический принцип

- РФА основан на излучении характеристических флуоресцентных рентгеновских лучей образцами после возбуждения рентгеновскими лучами, а идентификация и количественное определение элементов достигаются путем анализа их энергии и интенсивности;
- Не требует растворения образца, подходит для прямого обнаружения твердых, порошкообразных и хлопьевидных образцов.

2. Область применения

- Экспресс-определение содержания основного элемента в пластинах из вольфрамового сплава;
- Используется для быстрого определения элементного состава и контроля качества на производственных площадках;
- Глубина обнаружения ограничена и характеризует в основном поверхностные или приповерхностные компоненты образца.

3. Преимущества и недостатки

- Скорость обнаружения высокая, а эксплуатация простая, но чувствительность ниже, чем у ICP;
- Возможности обнаружения легких элементов (таких как кислород, азот и водород) ограничены.

3. Анализатор кислорода, азота и водорода (ONH)

1. Технический принцип

- Анализатор ONH измеряет содержание кислорода, азота и водорода, выделяющихся при сжигании или пиролизе образца;
- Количественный анализ проводится с использованием детектора теплопроводности или метода инфракрасного поглощения.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Область применения

- Точно измерить содержание неметаллических примесей, таких как кислород, азот и водород, в пластинах из вольфрамового сплава;
- Неметаллические примеси оказывают существенное влияние на механические свойства и коррозионную стойкость пластин из вольфрамовых сплавов;
- Важный показатель контроля качества.

3. Требования к образцам

- Форма и вес образца должны строго контролироваться для обеспечения повторяемости испытаний;
- Поверхность образца должна быть чистой, без следов жира и загрязнений.

4. Комплексное применение и контроль качества

- Три технологии дополняют друг друга, образуя комплексную систему обнаружения химического состава пластин из вольфрамового сплава;
- ИСП подходит для точного количественного определения сложных элементных систем, РФА подходит для быстрого обнаружения на месте, а ОНХ — для неметаллических примесей;
- Регулярные испытания помогают контролировать производственный процесс, оптимизировать параметры процесса и обеспечивать стабильное качество продукции.

V. Резюме

Точный анализ элементного состава и содержания примесей является основой обеспечения высоких эксплуатационных характеристик пластин из вольфрамовых сплавов. Технологии ICP, XRF и ОНХ обладают своими преимуществами. Их совместное применение позволяет удовлетворить различные требования к испытаниям пластин из вольфрамовых сплавов и обеспечивает научную основу для контроля производства и инноваций в области НИОКР.

4.5 Обнаружение поверхностных дефектов (ультразвуковой, КТ, вихретоковый, магнитопорошковый)

Качество поверхности пластин из вольфрамового сплава, являющегося ключевым высокопроизводительным материалом, напрямую влияет на срок службы и стабильность эксплуатационных характеристик изделия. Своевременное и точное обнаружение поверхностных и приповерхностных дефектов имеет решающее значение для обеспечения общего качества и безопасности пластин из вольфрамового сплава. К широко используемым технологиям обнаружения поверхностных и приповерхностных дефектов относятся ультразвуковой контроль (УЗК), компьютерная томография (КТ), вихретоковый контроль (ВТ) и магнитопорошковый контроль (МПК). В данном разделе подробно описаны принципы, области применения и преимущества этих технологий.

1. Ультразвуковой контроль (УЗК)

1. Технический принцип

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Когда высокочастотные ультразвуковые волны распространяются внутри материала и сталкиваются с дефектами, они генерируют отраженные волны, а отраженные сигналы регистрируются для определения местоположения и размера дефектов.
- Датчик передает и принимает ультразвуковые волны для осуществления неразрушающего контроля внутренних и поверхностных дефектов.

2. Область применения

- Подходит для обнаружения таких дефектов, как внутренние трещины, включения, поры и межслоевые расслоения пластин из вольфрамового сплава;
- Имеет хорошую чувствительность к обнаружению внутренних дефектов толстых листовых материалов;
- Может использоваться для онлайн и офлайн обнаружения.

3. Преимущества

- Неразрушающий, не загрязняющий окружающую среду, большая глубина обнаружения, высокое разрешение;
- Размер и форму дефекта можно количественно проанализировать.

2. Компьютерная томография (КТ)

1. Технический принцип

- пластину из вольфрамового сплава под разными углами с помощью рентгеновских лучей и реконструировать трехмерное изображение с помощью компьютера;
- Точно отображать трехмерное пространственное распределение и морфологию внутренних дефектов.

2. Область применения

- Высокоточная инспекция сложных внутренних структур для выявления мельчайших трещин, пор и включений;
- Подходит для НИОКР и высокоточного контроля качества;
- Для более толстых пластин из вольфрамового сплава существуют определенные ограничения, и параметры необходимо корректировать в соответствии с мощностью оборудования.

3. Преимущества

- Предоставлять интуитивно понятные трехмерные изображения для облегчения определения местоположения дефектов и анализа морфологии;
- Возможность детальной оценки структурной целостности.

3. Вихретоковый контроль (ВТ)

1. Технический принцип

- Переменное магнитное поле используется для возбуждения вихревых токов на поверхности проводящего материала. Распределение вихревых токов в дефекте изменяется, а характеристики дефекта отражаются путем регистрации сигнала вихревых токов.
- В основном используется для обнаружения поверхностных и околоповерхностных дефектов.

2. Область применения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Подходит для обнаружения поверхностных трещин, коррозии и локальных повреждений пластин из вольфрамового сплава;
- Может быстро сканировать большие поверхности;
- Бесконтактное обнаружение, подходит для деталей сложной формы.

3. Преимущества

- Высокая скорость отклика и высокая чувствительность;
- Процесс испытания является неразрушающим и не требует специальной подготовки.

4. Магнитопорошковая дефектоскопия (МТ)

1. Технический принцип

- Магнитный материал намагничивается путем приложения внешнего магнитного поля, а на поверхностных и приповерхностных дефектах создается магнитное поле рассеяния, а местоположение дефекта выявляется путем адсорбции магнитного порошка;
- Подходит для обнаружения поверхностных и околоповерхностных трещин.

2. Область применения

- Вольфрамовый сплав содержит элементы сплава железа и обладает определенным магнетизмом, что подходит для магнитопорошкового контроля;
- Подходит для обнаружения поверхностных трещин, пор и усталостных трещин;
- В основном используется для быстрого обнаружения производственных линий.

3. Преимущества

- Простота эксплуатации и низкая стоимость;
- Подходит для быстрого тестирования на месте.

V. Комплексная стратегия обнаружения

- Выбрать соответствующие методы контроля в зависимости от объекта контроля и типа дефекта;
- Рекомендуется использовать комбинацию нескольких технологий обнаружения сложных дефектов и ключевых компонентов для повышения точности обнаружения;
- Разработать стандартизированные процессы тестирования для обеспечения надежности и повторяемости результатов испытаний.

VI. Резюме

Технологии ультразвуковой, компьютерной, вихретоковой и магнитопорошковой дефектоскопии представляют собой комплексный инструментарий для выявления поверхностных и приповерхностных дефектов пластин из вольфрамовых сплавов. Рациональное применение этих технологий неразрушающего контроля позволяет в полной мере выявить распределение дефектов внутри и на поверхности материала, гарантировать качество и безопасность пластин из вольфрамовых сплавов, а также создать надежную гарантию для исследований, разработок и промышленного применения пластин из вольфрамовых сплавов.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.6 Оценка шероховатости поверхности и адгезии покрытия

Пластина из вольфрамового сплава не только влияет на свой внешний вид, но и напрямую влияет на её механические свойства, коррозионную стойкость и эффективность последующей обработки. Шероховатость поверхности является ключевым показателем для оценки ровности и чистоты поверхности материала, а адгезия покрытия определяет стабильность и долговечность защитного или функционального слоя в процессе эксплуатации. В данном разделе рассматриваются метод измерения шероховатости поверхности пластины из вольфрамового сплава и технология оценки адгезии покрытия.

1. Измерение шероховатости поверхности

1. Важность

- Шероховатость поверхности напрямую влияет на точность сопряжения и характеристики трения пластин из вольфрамового сплава и других компонентов;
- Слишком высокая шероховатость может вызвать концентрацию напряжений и сократить усталостную долговечность;
- Хорошая шероховатость поверхности способствует равномерному прилеганию покрытия.

2. Распространенные методы измерения

- **Контактный профилометр** : сканирует профиль поверхности с помощью щупа для получения параметров шероховатости (таких как Ra, Rz и т. д.);
- **Оптический профилометр** : бесконтактное измерение с использованием интерференции лазера или белого света, подходит для анализа шероховатости в микронах и нанометрах;
- **Атомно-силовой микроскоп (АСМ)** : подходит для сверхточного измерения морфологии поверхности, в основном используется в научных исследованиях и высокотехнологичных приложениях.

3. Ключевые параметры

- **Ra (средняя арифметическая шероховатость)** : отражает среднее значение неровностей поверхности и является наиболее часто используемым показателем;
- **Rz (десятибалльная шероховатость)** : отражает разницу между пиками и впадинами и оценивает максимальную степень волнистости поверхности;
- **Rq (среднеквадратическая шероховатость)** : статистическое среднеквадратичное значение, подходящее для оценки сложных поверхностей.

2. Оценка адгезии покрытия

1. Важность адгезии

- Покрытие защищает пластину из вольфрамового сплава от воздействия окружающей среды, такого как коррозия, износ и высокие температуры;
- Хорошая адгезия обеспечивает длительную стабильность покрытия в процессе эксплуатации;
- Плохая адгезия может привести к отслаиванию покрытия, что сокращает срок службы материала и ухудшает его эксплуатационные характеристики.

2. Методология оценки

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Испытание на отрыв** : используйте специальное оборудование для измерения максимального усилия отрыва, необходимого для отрыва покрытия от подложки, и количественно оцените адгезию;
- **Испытание на царапание** : царапайте с постепенно увеличивающейся силой, чтобы наблюдать за отслоением покрытия и оценить прочность сцепления;
- **Испытание на удар** : оценка противоотслаивающих свойств покрытия с помощью ударной нагрузки;
- **Метод снятия ленты** : быстро снимите ленту после наклеивания, наблюдайте за процессом отслоения покрытия и проведите быстрый качественный тест.

3. Условия эксперимента

- Температура и влажность в месте проведения испытания должны поддерживаться стабильными, чтобы не оказывать влияния на результаты;
- Поверхность образца должна быть предварительно обработана и очищена для обеспечения равномерности адгезии покрытия;
- Выберите соответствующие стандарты и методы испытаний, чтобы обеспечить сопоставимость результатов.

3. Связь между шероховатостью поверхности и адгезией

- Умеренно шероховатая поверхность может усилить механическое сцепление покрытия и улучшить адгезию;
- Слишком шероховатая или слишком гладкая поверхность повлияет на эксплуатационные характеристики покрытия;
- Шероховатость поверхности необходимо оптимизировать в зависимости от типа покрытия и условий эксплуатации.

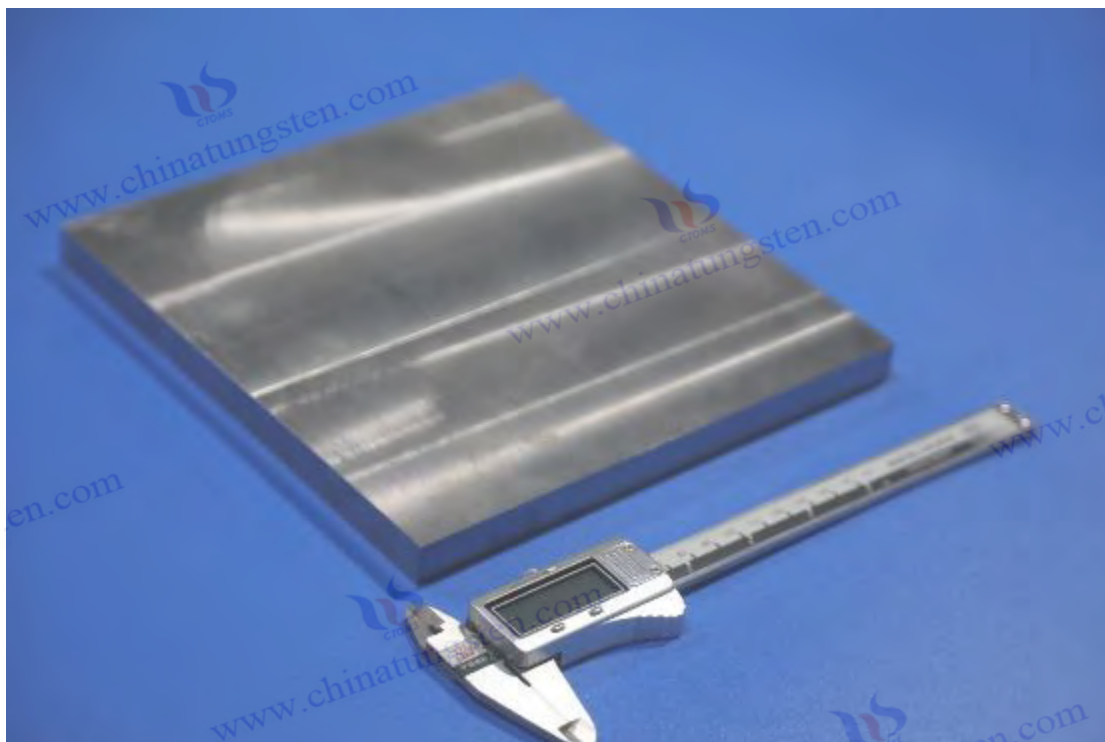
4. Контроль качества и оптимизация процессов

- Контролировать критические параметры в процессе производства, регулярно измеряя шероховатость и адгезию;
- Оптимизировать процессы шлифования, полирования и предварительной обработки поверхности для улучшения качества поверхности;
- На основе характеристик материалов покрытий формулируются научные и обоснованные стандарты обработки поверхностей.

V. Резюме

Шероховатость поверхности и адгезия покрытия являются важными показателями, влияющими на функциональность и срок службы пластин из вольфрамового сплава. Использование передовых методов измерения и оценки позволяет эффективно контролировать качество продукции, улучшать комплексные характеристики пластин из вольфрамового сплава и обеспечивать надежные гарантии их широкого применения.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Глава 5. Типичные области применения пластин из вольфрамового сплава

5.1 Защитные пластины и устройства терморегулирования для атомной промышленности

Пластины из вольфрамового сплава широко используются в ядерной энергетике в целях защиты и терморегулирования благодаря своей высокой плотности, высокой температуре плавления и превосходной радиационной стойкости, играя ключевую роль. С развитием ядерных технологий предъявляются всё более высокие требования к радиационной стойкости, механической прочности и термической стабильности материалов. Пластины из вольфрамового сплава стали идеальным выбором благодаря своим уникальным свойствам.

1. Роль и востребованность защитных пластин в атомной промышленности

1. Защита от радиации

- Ядерные реакторы, установки по переработке ядерных отходов, оборудование ядерной медицины и другие места должны эффективно защищать от радиации, чтобы гарантировать безопасность операторов;
- Пластина из вольфрамового сплава обладает превосходной поглощающей способностью по отношению к гамма-лучам и рентгеновским лучам благодаря своему высокому атомному номеру ($Z=74$) и высокой плотности (около $17,0-18,5 \text{ г/см}^3$);
- Он способен заменить традиционную свинцовую защиту и избежать токсичности свинца и загрязнения окружающей среды.

2. Поглощение нейтронов

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- В ядерных реакторах некоторые вольфрамовые сплавы улучшают способность поглощать нейтроны путем добавления определенных элементов (таких как никель и железо);
- Защитная пластина должна обладать хорошей структурной устойчивостью и стойкостью к радиационному воздействию для обеспечения длительного срока службы.

3. Требования к механическим и термическим характеристикам

- Необходимость выдерживать высокие температуры, высокое давление и радиационную среду, требующая от пластин из вольфрамового сплава высокой прочности и превосходной термостойкости;
- Коэффициент теплового расширения должен соответствовать коэффициенту других конструкционных материалов, чтобы предотвратить растрескивание и деформацию, вызванные термическим напряжением.

2. Особенности применения устройств терморегулирования

1. Терморегулирование

- Ядерные реакторы и ядерные установки генерируют большое количество тепловой энергии, что требует использования материалов с высокой теплопроводностью для эффективного отвода тепла;
- Пластина из вольфрамового сплава лучше других тяжелых металлических материалов, что помогает поддерживать стабильную температуру системы.

2. Высокая термостойкость

- Пластины из вольфрамового сплава способны сохранять структурную целостность и стабильную работу в условиях высоких температур и подходят для изготовления компонентов терморегулирования;
- Специальная конструкция сплава повышает механическую прочность и стойкость к окислению при высоких температурах.

3. Структурная поддержка

- В устройстве терморегулирования пластины из вольфрамового сплава выполняют роль несущих и опорных элементов, обеспечивая безопасную работу системы;
- Он обладает хорошими характеристиками обработки и может удовлетворить потребности в изготовлении изделий сложной формы.

3. Преимущества пластин из вольфрамового сплава в атомной промышленности

- **Преимущество высокой плотности** : обеспечивает эффективную защиту от радиации и уменьшает толщину и вес экранирования;
- **Высокая радиационная стойкость** : противостоит деградации материала под воздействием радиации и продлевает срок службы;
- **Отличная термостойкость** : адаптируются к изменениям температуры в сложных условиях работы в атомной промышленности;
- **Экологически чистый и нетоксичный** : заменяет токсичные свинцовые материалы и соответствует современным требованиям по охране окружающей среды.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. Типичные случаи применения

- защитные панели отражателей на атомных электростанциях;
- вкладыши для контейнеров хранения и транспортировки ядерных отходов;
- Панели радиационной защиты в медицинском радиотерапевтическом оборудовании;
- Опорная конструкция теплового регулирования в системе ядерного топливного цикла.

V. Тенденции и проблемы развития

- Пластины из вольфрамового сплава в атомной промышленности будут иметь тенденцию превращаться в высокопроизводительные, многофункциональные композитные материалы;
- Основное внимание в исследованиях и разработках уделяется повышению стойкости к высоким температурам, стойкости к окислению и стойкости к радиационному повреждению;
- Обеспечение массового производства крупногабаритных пластин из вольфрамового сплава высокой плотности и снижение затрат являются отраслевыми задачами.

VI. Резюме

Пластины из вольфрамового сплава играют незаменимую роль в устройствах экранирования и терморегулирования. Благодаря постоянным технологическим инновациям и оптимизации технологических процессов, характеристики пластин из вольфрамового сплава будут продолжать совершенствоваться, отвечая требованиям безопасности, охраны окружающей среды и эффективности эксплуатации в атомной промышленности.

5.2 Аэрокосмические защитные конструкции и противовесные плиты

Пластины из вольфрамового сплава играют важную роль в защитных конструкциях и системах противовесов в аэрокосмической отрасли благодаря своей высокой плотности, прочности и превосходной радиационной и термостойкости. С непрерывным развитием аэрокосмических технологий требования к эксплуатационным характеристикам материалов становятся всё более строгими. Пластины из вольфрамового сплава стали ключевым материалом для повышения безопасности и эксплуатационных характеристик воздушных судов благодаря своим уникальным преимуществам.

1. Применение в защитных конструкциях

1.1. Защитная радиационная защита

- Авиакосмические аппараты подвергаются воздействию космических лучей и солнечной радиации на большой высоте или в условиях космоса. Пластины из вольфрамового сплава эффективно поглощают высокоэнергетические частицы и лучи, обеспечивая безопасность электронного оборудования и персонала космических аппаратов.
- По сравнению с традиционными материалами вольфрамовый сплав обладает более высокой эффективностью защиты от радиации, уменьшает толщину и вес защиты, а также повышает несущую способность самолета.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Пуленепробиваемая и ударопрочная конструкция

- В ключевых деталях военных самолетов и космических аппаратов пластины из вольфрамового сплава используются для изготовления пуленепробиваемой брони и ударопрочных слоев, эффективно противостоящих воздействию высокоскоростных снарядов и микрометеоритов;
- Вольфрамовый сплав делает его идеальным защитным материалом, обеспечивающим безопасность оборудования и персонала.

3. Система термозащиты

- Во время полёта температура поверхности космического корабля резко меняется. Пластины из вольфрамового сплава обладают превосходной термостойкостью и характеристиками теплового расширения и могут использоваться в качестве теплоизоляционных слоёв и теплозащитных экранов.
- Помогает защитить конструкции от высокотемпературной абляции и повреждений, вызванных термической усталостью.

2. Ключевая роль противовесной плиты

1. Баланс центра тяжести и устойчивость полета

- Пластины из вольфрамового сплава используются в системе противовесов аэрокосмических аппаратов для регулирования центра тяжести летательного аппарата и обеспечения управления положением и устойчивости во время полета;
- Высокая плотность делает противовес небольшим по размеру, экономя пространство и отвечая требованиям компактной конструкции.

2. Подавление вибрации

- Противовесы из вольфрамового сплава могут эффективно снижать вибрацию самолета, уменьшать механическую усталость и продлевать срок службы оборудования;
- Помогает повысить комфорт полета и надежность системы.

3. Компактный дизайн

- Пластины из вольфрамового сплава позволяют проектировать более тонкие и легкие конструкции противовесов, что способствует снижению общего веса.
- Поддерживает индивидуальную обработку сложных форм для удовлетворения требований к конструкции различных самолетов.

3. Преимущества пластин из вольфрамового сплава

- **Высокий удельный вес** : значительно повышает эффективность противовеса и уменьшает объем и вес;
- **Отличные механические свойства** : обеспечивают прочность и жесткость защитной конструкции;
- **Высокая термостойкость** : адаптируется к высоким температурам и экстремальным условиям;
- **Отличная радиационная стойкость** : обеспечение безопасности электронных систем космических аппаратов.

4. Типичные случаи применения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Системы радиационной защиты и противовеса на спутниковых платформах;
- Пуленепробиваемая броня и противовесы для регулировки центра тяжести истребителей и военных беспилотников;
- Теплоизоляционные панели и конструктивные противовесы для аэрокосмических аппаратов.

V. Тенденции и проблемы развития

- В связи с растущим спросом на легкие и высокопроизводительные изделия оптимизация микроструктуры и интеграция композитных материалов в пластины из вольфрамового сплава стали актуальными направлениями исследований;
- Повышение сопротивления термической усталости и ударной вязкости пластин из вольфрамового сплава является ключевой технической задачей;
- Технологии малозатратного, высокоэффективного крупномасштабного производства срочно нуждаются в прорыве.

VI. Резюме

Пластины из вольфрамового сплава играют важнейшую роль в защитных конструкциях и системах противовесов в аэрокосмической отрасли. Их уникальные физико-механические свойства не только отвечают требованиям высокопрочной защиты и точного противовеса, но и способствуют безопасной, стабильной и эффективной эксплуатации воздушных судов. В будущем, благодаря инновационным материалам и совершенствованию технологических процессов, пластины из вольфрамового сплава найдут более широкое применение в аэрокосмической отрасли.

5.3 Высокоплотные защитные пластины в медицинских радиотерапевтических устройствах

Пластины из вольфрамового сплава широко используются в медицинском радиотерапевтическом оборудовании благодаря своей высокой плотности и превосходным свойствам защиты от облучения. Они, в основном, используются для изготовления эффективных пластин радиационной защиты. Безопасная эксплуатация радиотерапевтического оборудования предъявляет строгие требования к радиационной защите пациентов и медицинского персонала. Пластины из вольфрамового сплава стали важным материалом для обеспечения безопасности радиотерапии благодаря своим превосходным физико-механическим свойствам.

1. Необходимость радиационной защиты в радиотерапевтическом оборудовании

- Рентгеновское и гамма-излучение, генерируемое во время лучевой терапии, обладает чрезвычайно высокой проникающей способностью и высокой энергией. Без эффективной защиты оно может вызвать радиационное поражение окружающего персонала и оборудования.
- Защитная пластина должна эффективно поглощать и блокировать излучение, предотвращать утечку излучения и обеспечивать безопасность лечебной среды.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Преимущества защитных свойств пластины из вольфрамового сплава

1. Превосходный экранирующий эффект благодаря высокой плотности

- Плотность пластин из вольфрамового сплава обычно составляет 17–19 г/см³, что значительно выше, чем у традиционных материалов, таких как свинец. Он позволяет достичь такого же или даже лучшего экранирующего эффекта при меньшей толщине.
- Сделать общую конструкцию оборудования для лучевой терапии более компактной и простой в проектировании и установке.

2. Отличная механическая прочность и долговечность

- Пластины из вольфрамового сплава обладают хорошей механической прочностью и ударной вязкостью, что позволяет им соответствовать требованиям долгосрочного использования медицинского оборудования;
- Устойчивость к коррозии и износу продлевает срок службы защитной пластины и снижает затраты на техническое обслуживание.

3. Экологическая безопасность

- По сравнению с такими токсичными материалами, как свинец, пластины из вольфрамового сплава более экологичны, исключают риск токсичности свинца и больше соответствуют современным медицинским стандартам безопасности.

3. Формы заявлений и типовые конфигурации

- **Защитная крышка и экранирующая дверь** : для изготовления защитной крышки и двери используется пластина из вольфрамового сплава, предотвращающая утечку радиации;
- **Ограничитель и фильтр пучка излучения**: точно контролируют направление и интенсивность излучения с помощью пластин из вольфрамового сплава;
- **Кронштейны и накладки для оборудования** : повышают структурную прочность оборудования для лучевой терапии и обеспечивают радиационную безопасность.

4. Требования к производству и обработке

- Плотность и однородность пластины из вольфрамового сплава должны быть обеспечены во избежание микропор и дефектов, влияющих на эффект экранирования;
- Строгие требования к обработке поверхности для обеспечения гладкости и антикоррозионных свойств;
- Прецизионная обработка для удовлетворения особых конструктивных и размерных требований радиотерапевтического оборудования.

V. Тенденции и проблемы развития

- Продвигать сочетание пластин из вольфрамового сплава и композитных материалов для дальнейшего повышения эффективности экранирования и снижения веса;
- защитные материалы из вольфрамового сплава для нового радиотерапевтического оборудования;
- Решить проблему производства крупногабаритных высокопроизводительных пластин из вольфрамового сплава и сократить затраты.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

VI. Резюме

В качестве высокоплотного защитного материала в медицинских устройствах для лучевой терапии пластины из вольфрамового сплава обеспечивают безопасность и эффективность лучевой терапии благодаря своим превосходным экранирующим и механическим свойствам. С развитием медицинских технологий пластины из вольфрамового сплава будут играть всё более важную роль в защите оборудования для лучевой терапии и способствовать постоянному повышению уровня медицинской безопасности.

5.4 Пластина из вольфрамового сплава для высокотемпературных стенок печи и тепловой среды

Пластины из вольфрамового сплава широко используются в стенках высокотемпературных печей и в различных тепловых средах благодаря своим превосходным высокотемпературным характеристикам, термической стабильности и коррозионной стойкости, став ключевым конструкционным и защитным материалом для высокотемпературного оборудования. С развитием технологий высокотемпературных процессов предъявляются более высокие требования к жаростойкости и механической прочности материалов. Пластины из вольфрамового сплава, обладая уникальными преимуществами, продемонстрировали превосходную эффективность в экстремальных условиях эксплуатации.

1. Требования к эксплуатационным характеристикам материалов стенок высокотемпературных печей

1. Высокая термостойкость

- Материал стенки печи должен выдерживать высокие температуры от сотен до тысяч градусов Цельсия, чтобы обеспечить длительную стабильную работу;
- Пластина из вольфрамового сплава имеет температуру до 3422 °C. Она обладает превосходной термостойкостью и эффективно противостоит термической коррозии и окислению.

2. Согласование теплового расширения

- Пластина из вольфрамового сплава имеет низкий коэффициент теплового расширения и хорошо сочетается с другими материалами печей, снижая концентрацию термических напряжений и предотвращая растрескивание и деформацию.

3. Механическая прочность и ударная вязкость

- Он должен сохранять достаточную прочность и ударную вязкость в условиях высоких температур, чтобы выдерживать термические удары и механические нагрузки;
- Вольфрамовый сплав улучшает свои комплексные механические свойства при высоких температурах за счет регулирования элементов сплава и процесса термической обработки.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Особенности применения пластин из вольфрамового сплава в термических условиях

1. Термостойкие конструктивные элементы

- Используется в качестве конструкционного материала для стен высокотемпературных печей, теплообменников и теплозащитных устройств, обеспечивая целостность конструкции оборудования;
- Пластины из вольфрамового сплава могут эффективно предотвращать окисление и коррозию в высокотемпературных средах.

2. Защита от теплового излучения

- В термической среде пластины из вольфрамового сплава способны эффективно отражать и поглощать тепловое излучение, а также защищать чувствительные части оборудования благодаря своей высокой плотности и высокой температуре плавления.
- Это помогает поддерживать стабильное распределение теплового поля и повышать тепловую эффективность.

3. Сопротивление термической усталости

- Пластина из вольфрамового сплава имеет специальную организационную конструкцию, которая повышает устойчивость материала к термической усталости и стабильность при термоциклировании, тем самым продлевая срок его службы.

3. Типичные примеры применения

- Высокотемпературная футеровка печей и защитные плиты, используемые в металлургии, печах для спекания керамики и производства полупроводников;
- Конструктивные элементы термических печей и вакуумных печей;
- Жаростойкие изоляционные панели для высокотемпературных реакторов и теплообменников.

4. Обработка материалов и ключевые моменты технологии

- Пластины из вольфрамового сплава должны проходить прецизионную термическую обработку и поверхностное упрочнение для повышения стойкости к высоким температурам и стойкости к окислению;
- Оптимизировать микроструктуру пластины, улучшить плотность и однородность, а также улучшить высокотемпературные механические свойства;
- Для обеспечения соответствия размера и формы пластины требованиям установки оборудования используются передовые технологии формовки.

V. Тенденции развития и технические проблемы

- Улучшить комплексные эксплуатационные характеристики пластин из вольфрамового сплава в экстремальных температурных условиях, включая стойкость к окислению и термическую стабильность;
- Исследование и разработка многофункциональных композитных материалов из вольфрамового сплава для достижения сочетания высокой термостойкости, коррозионной стойкости и терморегулирования;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Снизить стоимость производства пластин из высокотемпературного вольфрамового сплава и реализовать их широкомасштабное применение.

VI. Резюме

Пластины из вольфрамового сплава обеспечивают надежную и безопасную работу высокотемпературного промышленного оборудования благодаря своей превосходной термостойкости и структурной стабильности. В будущем, благодаря непрерывному развитию материаловедения и технологий обработки, пластины из вольфрамового сплава будут играть все более важную роль в области высоких температур.

5.5 Композитная пластина из штампованной стали и футеровка механических деталей

Пластины из вольфрамового сплава широко используются в качестве композитных пластин для литейных форм и облицовочных материалов для механических деталей благодаря своей высокой плотности, прочности, превосходной износостойкости и термостойкости, что повышает эксплуатационные характеристики и срок службы всей конструкции. Благодаря сочетанию со сталью литейных форм и другими материалами, пластины из вольфрамового сплава не только повышают износостойкость и ударопрочность деталей, но и эффективно противостоят воздействию высоких температур и коррозионных сред, обеспечивая эффективную и стабильную работу механических конструкций.

1. Предпосылки применения и преимущества композитных стальных пластин

1. Требования к заявке

- В процессе эксплуатации форма подвергается воздействию высокого давления, высокой температуры и высокоскоростного трения, поэтому материал формы должен обладать высокой твердостью, высокой износостойкостью и термостойкостью;
- Композитная пластина из вольфрамового сплава и штамповая сталь позволяют достичь оптимального сочетания поверхностной твердости и внутренней прочности.

2. Преимущества пластин из вольфрамового сплава

- Пластины из вольфрамового сплава обладают высокой твердостью и превосходной износостойкостью, что эффективно продлевает срок службы формы;
- Высокая плотность способствует повышению общей жесткости и устойчивости формы к деформации;
- Хорошая теплопроводность способствует равномерному распределению тепла и снижает концентрацию термических напряжений.

2. Функции и требования к футеровке механических деталей

1. Износостойкость и коррозионная стойкость

- Футеровки для механических деталей часто используются в средах с высоким износом и коррозией, например, в седлах подшипников, внутренних стенках корпусов клапанов и т. д.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Футеровка пластинами из вольфрамового сплава повышает твердость поверхности и коррозионную стойкость деталей, а также снижает частоту технического обслуживания.

2. Грузоподъемность и устойчивость

- Пластины из вольфрамового сплава повышают несущую способность и ударопрочность конструкции футеровки;
- Улучшить общую стабильность и срок службы механических частей.

3. Композитные технологии и процессы

1. Композитный материал, полученный методом порошковой металлургии

- вольфрамовый сплав и штамповая сталь изготавливаются методом порошковой металлургии, что обеспечивает плотное и не содержащее трещин соединение;
- Он позволяет достичь градиентного перехода состава и снизить напряжение, вызванное разницей в тепловом расширении.

2. Механическое соединение и сварка

- Для соединения пластины из вольфрамового сплава и стали используется технология механического крепления или лазерной сварки с гибким процессом;
- Качество сварки оказывает существенное влияние на эксплуатационные характеристики композита, поэтому параметры процесса должны строго контролироваться.

3. Обработка поверхности

- Поверхность композита из вольфрамового сплава шлифуется, полируется и покрывается покрытием для улучшения качества поверхности и стойкости к коррозии;
- Покрытия, такие как керамические покрытия, дополнительно повышают износостойкость и устойчивость к высоким температурам.

4. Типичные случаи применения

- Высокоизносостойкие композитные пластины для формования пластмассовых изделий и штамповки металлов;
- Седла подшипников механического оборудования и прокладки клапанов для повышения износостойкости и коррозионной стойкости;
- Футеровочный материал для деталей механических конструкций, подвергающихся высоким нагрузкам, для продления срока службы оборудования.

V. Тенденции и проблемы развития

- Исследование и разработка высокопрочных и высокопрочных композиционных материалов на основе вольфрамовых сплавов для удовлетворения потребностей сложных условий работы;
- Оптимизировать структуру композитного интерфейса для улучшения прочности сцепления и термостойкости;
- Снижение затрат на производство композитных изделий и содействие промышленному применению композитных пластин из вольфрамового сплава.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

VI. Резюме

Использование вольфрамовых сплавов в композитных стальных пластинах для литейных форм и облицовке механических деталей эффективно повышает износостойкость, коррозионную стойкость и термостойкость механических деталей, способствуя эффективной и долговечной работе оборудования. Благодаря передовым композитным технологиям и обработке поверхности, композиционные материалы из вольфрамовых сплавов открывают широкие перспективы применения в области машиностроения.

5.6 Теплоотводящие/антирадиационные конструкции в прецизионных приборах и электронных изделиях

С развитием электронных технологий и прецизионных приборов предъявляются всё более высокие требования к эффективности теплоотвода, размерной стабильности и радиационной стойкости материалов. Пластины из вольфрамовых сплавов, обладающие высокой плотностью, высокой теплопроводностью и превосходной радиационной стойкостью, стали ключевыми теплоотводящими и защитными конструкционными материалами в прецизионных приборах и электронных изделиях, широко применяясь в высокотехнологичном электронном оборудовании, базовых станциях связи, лазерных устройствах и космических электронных системах.

1. Ключевая роль структуры теплоотвода

1. Высокая теплопроводность

- Пластины из вольфрамового сплава обладают хорошей теплопроводностью, что позволяет эффективно и быстро отводить тепло, вырабатываемое электронными компонентами, предотвращая перегрев;
- Отличная теплопроводность обеспечивает стабильную температуру устройства при работе на высокой мощности, повышая надежность и срок службы.

2. Размерная стабильность

- Пластина из вольфрамового сплава имеет низкий коэффициент термического расширения, что обеспечивает стабильность размеров конструкции при изменении температуры и предотвращает ухудшение характеристик, вызванное термической деформацией;
- Он особенно подходит для кронштейнов теплоотвода в микроэлектронных устройствах, требующих чрезвычайно высокой точности размеров.

2. Требования к применению радиационно-стойких конструкций

1. Антиэлектромагнитное излучение

- В аэрокосмическом, военном и медицинском электронном оборудовании пластины из вольфрамового сплава используются в качестве экранирующих материалов для эффективного блокирования электромагнитных помех (ЭМП);
- Обеспечить стабильную передачу электронных сигналов и нормальную работу оборудования.

2. Антиядерное излучение

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Пластины из вольфрамового сплава, используемые в оборудовании ядерной медицины и приборах обнаружения радиоактивного излучения, могут защищать частицы высокой энергии и чувствительные компоненты;
- Обеспечить долгосрочную стабильную работу оборудования и повысить безопасность.

3. Типичные сценарии применения

- Теплоотводящая подложка для базовых станций высокочастотной связи для обеспечения стабильной работы оборудования связи;
- Кронштейны для отвода тепла и защитные кожухи в лазерах и оптических приборах;
- Радиационная защита для аэрокосмической электроники;
- Компоненты радиационной защиты и рассеивания тепла в медицинском электронном оборудовании.

4. Требования к проектированию и обработке

- Пластины из вольфрамового сплава должны иметь высокую чистоту и однородную микроструктуру для обеспечения теплопроводности и механических свойств;
- эффективность теплового контакта с другими компонентами;
- При необходимости можно нанести поверхностное покрытие для улучшения коррозионной стойкости и характеристик электромагнитного экранирования.

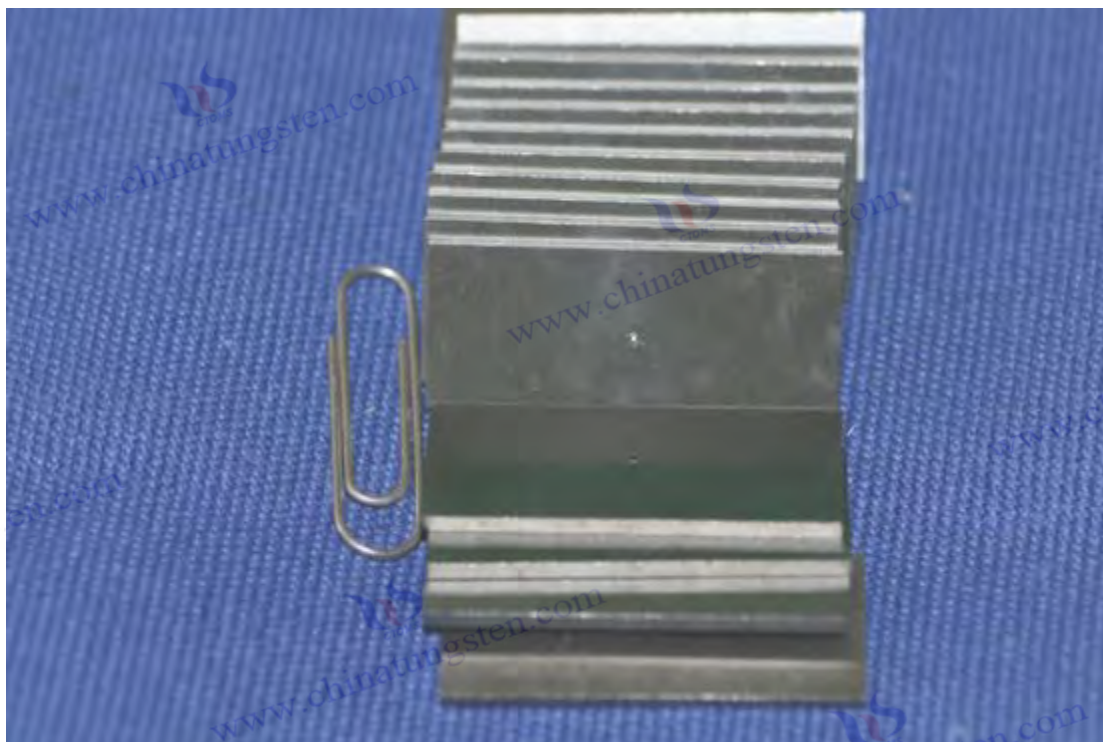
V. Тенденции развития и технические проблемы

- Интегрированная, легкая конструкция теплорассеивающей конструкции в сочетании с вольфрамовым сплавом и другими функциональными материалами для создания многофункционального композита;
- Улучшить контроль микроструктуры пластин из вольфрамового сплава для дальнейшего повышения теплопроводности и радиационной стойкости;
- Снижение производственных затрат и содействие популяризации и применению в области гражданской электроники.

VI. Резюме

Пластины из вольфрамового сплава стали важным материалом для обеспечения производительности и срока службы оборудования, а также для отвода тепла и защиты от радиации в конструкциях прецизионных приборов и электронных изделий благодаря своей превосходной теплопроводности и радиационной защите. С непрерывным развитием электронных технологий пластины из вольфрамового сплава продемонстрируют свою незаменимую ценность в более сложных электронных областях.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Глава 6 Исследования, разработки и инновации в области пластин из специального вольфрамового сплава

Получение и свойства пластин наноструктурированного вольфрамового сплава

С развитием материаловедения нанотехнологии постепенно стали применяться при изготовлении пластин из вольфрамовых сплавов, что значительно улучшило механические свойства, термическую стабильность и функциональные характеристики традиционных пластин из вольфрамовых сплавов. Наноструктурированные пластины из вольфрамовых сплавов обеспечивают измельчение зерна, упрочнение интерфейса и оптимизацию фазового состава за счёт регулирования микроструктуры, что значительно улучшает комплексные эксплуатационные характеристики материала и открывает новые возможности для высокотехнологичных применений.

1. Технология изготовления пластин наноструктурированного вольфрамового сплава

1. Приготовление нанопорошка

- Наноразмерный вольфрамовый порошок и порошок сплава изготавливаются с использованием передовых технологий, таких как высокоэнергетическое шаровое измельчение, осаждение из паровой фазы и химическое восстановление;
- Размер частиц порошка уменьшается до десятков нанометров, что улучшает уплотнение материала и сцепление интерфейсов.

2. Высокоэнергетическое шаровое измельчение и равномерное смешивание

- Равномерное смешивание и улучшенное механическое легирование порошков достигаются за счет высокоэнергетического шарового измельчения;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Эффективно измельчает зерна и равномерно распределяет упрочняющие фазы для повышения механической прочности и ударной вязкости.

3. Технология быстрого спекания

- Использовать быстрые процессы спекания, такие как искровое плазменное спекание (ИПС) и микроволновое спекание, чтобы сократить время спекания и замедлить рост зерна;
- Сохранение наноструктуры зерна для обеспечения высокой плотности и превосходной производительности.

4. Оптимизация термообработки

- Использовать процесс низкотемпературной термообработки для стабилизации нанокристаллической структуры и снижения внутренних напряжений;
- Отрегулируйте состояние ткани для достижения оптимального баланса производительности.

2. Эксплуатационные преимущества пластин из наноструктурированного вольфрамового сплава

1. Улучшенные механические свойства

- Измельчение зерна значительно повышает прочность на растяжение и предел текучести, достигая высокого сочетания прочности и вязкости;
- Механизм усиления наноинтерфейса увеличивает вязкость разрушения и улучшает ударопрочность.

2. Термическая стабильность и износостойкость

- Наноструктурированные пластины из вольфрамового сплава обладают превосходной термической стабильностью и могут противостоять росту зерна и ухудшению характеристик при высоких температурах;
- Твердость поверхности и износостойкость значительно повышены для адаптации к тяжелым условиям эксплуатации.

3. Отличные теплопроводность и электроизоляционные свойства

- Наноструктура зерен оптимизирует путь теплопроводности и повышает эффективность теплопроводности;
- Он обладает хорошей электропроводностью и может удовлетворить требования по отводу тепла от электронных устройств и высокочастотного оборудования.

3. Типичные области применения

- Высокопрочные и легкие конструкционные детали для аэрокосмической отрасли;
- Радиационно-стойкие защитные панели для атомной промышленности;
- Высокопроизводительная электронная подложка для рассеивания тепла;
- Прецизионные формы и износостойкие механические детали.

IV. Проблемы и направления будущего

- Высокая стоимость приготовления нанопорошка и сложный процесс производства ограничивают его широкомасштабное применение;
- Нанокристаллы имеют тенденцию расти в условиях высоких температур, что влияет на долгосрочную стабильность их работы;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Процессы спекания и термической обработки требуют дальнейшей оптимизации для достижения баланса между производительностью и стоимостью.

V. Резюме

Наноструктурированные пластины из вольфрамового сплава значительно повышают механическую прочность, вязкость и функциональные свойства материалов благодаря тонкому регулированию микроструктуры, что способствует применению и совершенствованию пластин из вольфрамового сплава в высокотехнологичных областях. В будущем, благодаря постоянному совершенствованию технологий изготовления и снижению затрат, наноструктурированные пластины из вольфрамового сплава станут важным направлением развития технологии материалов из вольфрамовых сплавов.

6.2 Стратегии микролегирования и проектирования многокомпонентных сплавов

В связи с расширением требований к эксплуатационным характеристикам вольфрамовых сплавов микролегирование и разработка многокомпонентных сплавов стали ключевыми техническими направлениями для комплексного улучшения эксплуатационных характеристик пластин из вольфрамовых сплавов. Введение микролегирующих элементов и многокомпонентных сплавов позволяет значительно улучшить механические свойства, термическую стабильность и функциональные характеристики вольфрамовых сплавов, а также точно контролировать эксплуатационные характеристики материалов для удовлетворения строгих требований аэрокосмической, атомной промышленности и высокотехнологичного производства.

1. Обзор технологии микролегирования

1. Определение и механизм действия

- Микролегирование подразумевает добавление легирующих элементов в очень низких концентрациях (обычно менее 1%) к сплавам на основе вольфрама;
- Эти микроэлементы повышают прочность и вязкость сплава посредством таких механизмов, как упрочнение твердого раствора, дисперсионное упрочнение и упрочнение границ зерен;
- Микролегирующие элементы также могут измельчать зерна, оптимизировать микроструктуру и улучшать общие эксплуатационные характеристики материалов.

2. Часто используемые микролегирующие элементы

- Титан (Ti), ниобий (Nb), ванадий (V), цирконий (Zr), алюминий (Al), молибден (Mo) и т. д.;
- Различные элементы по-разному влияют на твердость, прочность и термостойкость вольфрамового сплава. Выбор правильного сочетания элементов — ключ к успеху.

2. Стратегия проектирования многоэлементных сплавов

1. Конструкция многокомпонентной сплавной системы

- Принять конструкцию с многоэлементным соотношением для достижения синергетического эффекта легирующих элементов;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Оптимизировать микроструктуру и градиент производительности за счет правильного подбора матрицы и упрочняющих элементов;
- Например, W-Ni-Fe-Ti, W-Ni-Cu-Mo и другие системы.

2. Применение концепции высокоэнтروпийных сплавов

- Внедрение концепции проектирования высокоэнтропийных сплавов с использованием эквимольного смешивания нескольких элементов для повышения стабильности материала и его стойкости к термической усталости;
- Благодаря этому пластины из вольфрамового сплава демонстрируют превосходную долговечность в экстремальных условиях.

3. Микролегирование и повышение эксплуатационных свойств многокомпонентных сплавов

1. Механические свойства

- Микролегирующие элементы способствуют упрочнению мелкозернистой структуры, повышению предела текучести и прочности на растяжение;
- Контролируя фазу осаждения, можно улучшить вязкость разрушения и ударопрочность материала.

2. Термическая стабильность

- Микролегирующие элементы подавляют рост зерна и фазовые превращения, а также улучшают эксплуатационные характеристики при высоких температурах;
- Улучшить согласование теплового расширения, снизить термическое напряжение и увеличить срок службы при термической усталости.

3. Особенности

- Оптимизировать электропроводность и магнитные свойства для удовлетворения потребностей электронных и магнитных приложений;
- Улучшить радиационную стойкость и повысить надежность материалов, используемых в атомной промышленности.

4. Процесс подготовки и технические сложности

- Равномерное распределение легирующих элементов затруднено и требует точного контроля процессов смешивания и спекания порошков;
- Проектирование состава сплава является сложным и требует сочетания компьютерного моделирования и экспериментальной проверки;
- Процесс получения высокоэнтропийных многокомпонентных сплавов все еще находится на стадии исследований, а для их промышленного применения необходимо преодолеть технические узкие места.

V. Направление будущего развития

- В сочетании с передовыми достижениями вычислительного материаловедения разрабатываются высокопроизводительные микролегированные вольфрамовые сплавы;
- Разработать недорогие и высокоэффективные процессы подготовки для крупномасштабного производства многокомпонентных сплавов;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- эксплуатационные характеристики и потенциал применения микролегированных вольфрамовых сплавов в экстремальных условиях эксплуатации.

VI. Резюме

Микролегирование и разработка многокомпонентных сплавов представляют собой важный способ повышения эксплуатационных характеристик пластин из вольфрамовых сплавов. Благодаря точному контролю состава компонентов и синергетическому эффекту множества компонентов механические свойства и функциональные характеристики материала полностью оптимизируются. В будущем, благодаря непрерывному развитию теории и технологий, пластины из микролегированных вольфрамовых сплавов будут играть всё большую роль в сфере высокотехнологичного производства.

6.3 Оптимизация организации и термическая обработка пластин из жаропрочных

вольфрамовых сплавов. Стабильность и эксплуатационные характеристики пластин из вольфрамовых сплавов в условиях высоких температур напрямую влияют на их применение в аэрокосмической, атомной промышленности и высокотемпературном производстве. Благодаря разумной оптимизации организации и разработке процесса термической обработки, можно значительно повысить жаростойкость пластин из вольфрамовых сплавов, включая термическую стабильность, стойкость к окислению и механическую прочность, для удовлетворения требований экстремальных условий эксплуатации.

1. Ключевые факторы, влияющие на термостойкость пластин из вольфрамового сплава

1. Микроструктура

- Размер зерна, характеристики границ зерен и распределение второй фазы напрямую влияют на термическую стабильность материала;
- Измельченные зерна и равномерно распределенные упрочняющие фазы помогают сдерживать рост зерен и повышают прочность при высоких температурах.

2. Состав материала

- Легирующие элементы, такие как титан (Ti), молибден (Mo) и ниобий (Nb), повышают стойкость к высокотемпературному окислению и сопротивление ползучести за счет образования стабильных фаз;
- Разумное соотношение может оптимизировать характеристики теплового расширения и снизить термическое напряжение.

2. Стратегия организационной оптимизации

1. Измельчение и гомогенизация зерна

- Применение высокоэнергетической шаровой мельницы, быстрого спекания и других технологий для получения мелкозернистой и однородной структуры;
- Механизм упрочнения границ зерен эффективно предотвращает рост зерен при высоких температурах.

2. Укрепление второй фазы

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Введение небольших и стабильных частиц второй фазы для укрепления границ зерен и повышения сопротивления ползучести;
- Частицы второй фазы распределяются равномерно, чтобы избежать образования зон концентрации напряжений.

3. Проектирование процесса термообработки

1. Термическая обработка перед спеканием

- Регулировать размер частиц порошка и однородность его состава для предотвращения дефектов при спекании;
- Подберите подходящую температуру и атмосферные условия для ускорения уплотнения.

2. Высокотемпературная обработка раствором

- В результате высокотемпературной термической обработки на твердый раствор происходит растворение и разделение фаз, равномерное распределение легирующих элементов и повышение однородности материала;
- Предотвращать осаждение грубых фаз и поддерживать организационную стабильность.

3. Своевременность обработки

- Контролировать размер и распределение выделившейся фазы для повышения высокотемпературной прочности;
- Оптимизируйте температуру и время старения для достижения оптимальных механических свойств.

4. Контроль атмосферы

- Термическая обработка проводится в защитной атмосфере (например, аргона, азота) для уменьшения окисления;
- В некоторых процессах используется вакуумная термообработка для обеспечения качества поверхности и внутренней чистоты.

4. Эффект повышения производительности

- После термической обработки пластина из вольфрамового сплава имеет мелкозернистую структуру, однородную структуру и значительно улучшенное сопротивление ползучести;
- Значительно улучшены прочность при высоких температурах и вязкость разрушения для адаптации к высоким температурным нагрузкам и тепловому удару;
- Повышенная термостойкость продлевает срок службы материала в условиях высоких температур.

5. Примеры применения и тенденции развития

- Высокотемпературные защитные материалы для лопаток турбин и конструктивных деталей авиационных двигателей;
- Жаростойкие конструкционные материалы для высокотемпературных элементов ядерных реакторов;
- Основные термостойкие компоненты высокотемпературных промышленных печей и оборудования для термообработки.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

В будущем, в сочетании с передовой технологией определения характеристик микроструктуры и численным моделированием, организационная конструкция и процесс термической обработки пластин из жаропрочного вольфрамового сплава будут дополнительно оптимизированы для достижения постоянного прогресса в эксплуатационных характеристиках материалов.

VI. Резюме

Оптимизация структуры и тонкая термическая обработка являются основными способами повышения эксплуатационных характеристик пластин из жаропрочных вольфрамовых сплавов. Контролируя размер зерна, распределение фаз упрочнения и параметры процесса термической обработки, можно значительно повысить термостойкость и высокотемпературные механические свойства материала, обеспечивая надежную гарантию надежного применения пластин из вольфрамовых сплавов в экстремальных условиях.

6.4 Механизм соединения интерфейсных пластин композита вольфрам-медь/вольфрам-никель

Композитные листы из вольфрамовой меди (W-Cu) и вольфрамоникеля (W-Ni) сочетают в себе высокую плотность, высокую температуру плавления и механическую прочность вольфрама с хорошей электропроводностью, теплопроводностью и ударной вязкостью меди и никеля и широко используются в области электронного теплоотвода, терморегулирования и высокотемпературных конструкционных материалов. Характеристики композитных листов во многом зависят от качества и механизма соединения в области интерфейса. Глубокое понимание процесса соединения в области интерфейса имеет решающее значение для оптимизации свойств материалов и производственных процессов.

1. Характеристики структуры интерфейса композитной пластины вольфрам-медь/вольфрам-никель

- Между вольфрамом, медью и никелем существуют значительные различия в физических и химических свойствах, включая температуру плавления, коэффициент теплового расширения, структуру решетки и т. д.
- В области интерфейса обычно имеется переходный слой или диффузионный слой, который влияет на механическую прочность связи и теплопроводность интерфейса;
- Для превосходного сцепления на границе раздела необходимы хорошая смачиваемость и металлургическая связь между металлами, а также уменьшение количества трещин и пор на границе раздела.

2. Анализ механизма привязки интерфейса

1. Механическое склеивание

- В результате физического прессования и пластической деформации вольфрам и медь, никелевый порошок или пластина плотно контактируют, образуя предварительное соединение;
- Механическое соединение обеспечивает базовую структурную поддержку интерфейса, но прочность соединения ограничена.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Металлургическая связь

- В процессе высокотемпературного спекания или термодиффузии вольфрам диффундирует и растворяется с атомами меди и никеля;
- Формирование переходного диффузионного слоя для улучшения сцепления интерфейса и теплопроводности;
- Вольфрам и никель образуют определенный твердый раствор или фазу внедрения, которая повышает прочность интерфейса.

3. Диффузия и межфазные реакции

- Элементы диффундируют на границе раздела, образуя тонкие фазы сплава или переходные фазы, которые облегчают передачу напряжений;
- Управление процессом диффузии позволяет избежать образования хрупких фаз и повысить стабильность интерфейса.

3. Ключевые факторы, влияющие на эффективность соединения интерфейсов

1. Размер и распределение частиц порошка

- Мелкий и однородный порошок способствует образованию плотного интерфейса;
- Большие различия в размерах частиц могут привести к дефектам интерфейса.

2. Температура и атмосфера спекания

- Температура спекания должна быть достаточно высокой, чтобы способствовать диффузии и металлургической связи, но при этом следует избегать чрезмерного роста зерен;
- Защитная атмосфера предотвращает окисление интерфейса и сохраняет его чистым.

3. Снижение давления и времени

- Достаточное давление помогает устранить межфазные поры и улучшить механическое сцепление;
- Время спекания влияет на глубину диффузии и однородность структуры интерфейса.

4. Влияние соединения интерфейсов на производительность

- Хорошее соединение интерфейсов улучшает теплопроводность и электропроводность композитной платы, отвечая требованиям эффективного рассеивания тепла;
- Прочность связи на границе раздела напрямую определяет механическую прочность и сопротивление термической усталости материала;
- Плохое соединение на границе раздела может привести к образованию трещин и снижению общей надежности материала.

5. Технологии проектирования и оптимизации интерфейсов

- Обработка поверхности активацией, такая как плазменная очистка, улучшает смачиваемость и качество сцепления;
- Добавление активаторов интерфейса или материалов интерфейсного слоя для улучшения диффузионной связи и стабилизации интерфейса;
- Для устранения разницы в тепловом расширении и снижения термического напряжения применяется конструкция интерфейса из градиентного сплава.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6. Примеры применения

- Композитные пластины из вольфрамовой меди широко используются в качестве подложек для рассеивания тепла в электронных устройствах и мощных коммутационных устройствах;
- Вольфрамо-никелевые композитные пластины применяются для изготовления износостойких, высокопрочных конструкционных деталей и защитных материалов в атомной промышленности;
- Оптимизация соединения интерфейсов увеличивает срок службы и стабильность характеристик композитных панелей в экстремальных условиях.

VII. Резюме

Композитные пластины из вольфрамовой меди и вольфрамоникеля играют ключевую роль в определении эксплуатационных характеристик материала. Оптимизация механического соединения, металлургической диффузии и проектирования интерфейсов позволяет получать высокопрочные, высокотеплопроводные и высокопрочные композитные материалы, отвечающие строгим требованиям к рассеиванию тепла в электронных системах и высокотемпературным конструкционным материалам. В будущем развитие технологий проектирования и управления интерфейсами будет способствовать дальнейшему повышению эксплуатационных характеристик и расширению сферы применения композитных пластин из вольфрамовых сплавов.

6.5 Исследования и разработки поверхностных покрытий и износостойких и коррозионностойких листов

Пластины из вольфрамовых сплавов часто сталкиваются со сложными проблемами, такими как механический износ, коррозия и высокотемпературное окисление во многих промышленных применениях. Для повышения износостойкости и коррозионной стойкости пластин из вольфрамовых сплавов технология нанесения покрытий стала ключевым направлением исследований и разработок. Благодаря разнообразию материалов покрытий и передовым технологиям нанесения покрытий не только значительно улучшились поверхностные свойства пластин из вольфрамовых сплавов, но и расширились области их применения.

1. Обзор износа и коррозии поверхности пластин из вольфрамового сплава

- Пластины из вольфрамового сплава подвержены поверхностному износу в условиях высоких нагрузок и частого трения, что влияет на их срок службы.
- Высокотемпературное окисление и химическая коррозия приводят к деградации поверхности, снижению механической прочности и общих эксплуатационных характеристик;
- Дефекты поверхности и микротрещины могут легко стать источниками коррозии, приводя к более масштабным повреждениям материала.

2. Виды и особенности технологий нанесения покрытий

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. Керамическое покрытие

- Обычно используемые материалы включают оксид алюминия (Al_2O_3), оксид титана (TiO_2), нитрид кремния (Si_3N_4) и т. д.
- Обладает высокой твердостью, высокой износостойкостью и превосходной стойкостью к высоким температурам;
- Подходит для использования в условиях экстремального износа и высоких температур.

2. Металлическое покрытие

- Металлические покрытия, такие как медь, никель и хром, наносятся гальванопокрытием, распылением и другими методами;
- Улучшить поверхностную проводимость и стойкость к коррозии;
- Подходит для электронного охлаждения и защиты.

3. Композитное покрытие

- Керамо-металлическое композитное покрытие сочетает в себе преимущества обоих материалов: твердость и прочность;
- Он изготавливается с использованием передовых процессов, таких как физическое осаждение из паровой фазы (PVD) и химическое осаждение из паровой фазы (CVD).

4. Технология нанопокрывтия

- Использовать наноматериалы для получения покрытий со сверхтонкой структурой, повышающих адгезию и износостойкость;
- Обладает превосходными самовосстанавливающимися и антикоррозионными свойствами.

3. Процесс подготовки покрытия

1. Физическое осаждение из паровой фазы (PVD)

- Тонкая пленка наносится методом испарения или напыления, покрытие получается плотным и равномерным;
- Обычно используется для изготовления твердых керамических и металлических композиционных покрытий.

2. Химическое осаждение из газовой фазы (CVD)

- Подходит для равномерного покрытия больших площадей, обеспечивает прочную адгезию покрытия;
- Состав и толщину покрытия можно контролировать в соответствии с конкретными эксплуатационными требованиями.

3. Гальваника и напыление

- Процесс гальванизации прост и эффективен, подходит для нанесения покрытий на металлы;
- Технология распыления гибкая и подходит для толстых покрытий и деталей сложной формы.

4. Роль поверхностного покрытия в улучшении эксплуатационных характеристик

- Значительно повысить твердость поверхности и износостойкость пластин из вольфрамового сплава и продлить срок их службы;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Эффективно предотвращает окисление и химическую коррозию, а также защищает структуру материала;
- Улучшить теплопроводность и электрические свойства поверхности для удовлетворения потребностей высокотехнологичной электроники и точных приборов.

V. Прогресс и проблемы НИОКР

- Продолжают появляться новые функциональные материалы покрытий, такие как сверхтвердая керамика и нанокompозиты;
- Прочность сцепления и согласование теплового расширения между покрытием и подложкой из пластины из вольфрамового сплава представляют собой технические трудности;
- Необходимо разработать низкотемпературные процессы нанесения покрытий, чтобы снизить термическую нагрузку на подложку и ухудшение ее характеристик;
- Примите во внимание экологичность и экономическую эффективность покрытия и продвигайте его промышленное применение.

VI. Направление будущего развития

- Исследование и разработка многофункциональных композиционных покрытий для достижения комплексной износостойкости, коррозионной стойкости, теплопроводности и радиационной стойкости;
- Технологии интеллектуальных покрытий, такие как самовосстанавливающиеся и экологически безопасные материалы покрытий;
- В сочетании с наноструктурой поверхности адгезия и эксплуатационные характеристики еще больше улучшаются;
- Оптимизируйте технологический процесс для достижения эффективной и энергосберегающей подготовки покрытия.

VII. Резюме

Технология нанесения покрытия на поверхность — ключевой способ повышения износостойкости и коррозионной стойкости пластин из вольфрамового сплава. Благодаря инновационным материалам и оптимизации технологических процессов срок службы и надежность пластин из вольфрамового сплава в суровых условиях эксплуатации значительно увеличились, что обеспечивает надежную гарантию их применения в аэрокосмической, атомной промышленности, электронной технике и других областях.

6.6 Конструкция тепло- и электропроводящей/антимагнитной функциональной пластины из вольфрамового сплава

Пластины из вольфрамового сплава широко используются в таких высокотехнологичных областях, как электроника, аэрокосмическая промышленность и атомная энергетика, благодаря своей высокой плотности, прочности и высокой температуре плавления. С развитием технологий функциональные характеристики пластин из вольфрамового сплава постепенно расширялись, расширяясь в сторону теплопроводности, электропроводности и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

антимагнитных свойств, что позволяет удовлетворять разнообразные потребности в сложных условиях эксплуатации. Контроль состава, проектирование микроструктуры и композитные технологии позволяют эффективно улучшить теплопроводность, электропроводность и магнитные свойства пластин из вольфрамового сплава.

1. Принцип конструкции тепло- и электропроводящей пластины из вольфрамового сплава

1. Контроль состава сплава

- Введение металлических элементов с высокой теплопроводностью, таких как медь (Cu), серебро (Ag) и алюминий (Al), значительно улучшает теплопроводность и электропроводность материала;
- Отрегулируйте соотношение вольфрама к другим элементам, чтобы добиться разумного распределения матрицы и проводящей фазы, принимая во внимание как прочность, так и проводимость.

2. Оптимизация микроструктуры

- Оптимизировать размер зерна и морфологию вольфрамовой матрицы, снизить тепловое сопротивление границ зерен и повысить эффективность теплопроводности;
- Интерфейс фаз контролируется с помощью порошковой металлургии и процесса быстрого спекания для снижения сопротивления интерфейса и термического сопротивления.

3. Проектирование композитных материалов

- Использовать вольфрамо-медные, вольфрамо-серебряные и другие композитные системы для формирования непрерывной проводящей сети, обеспечивающей высокую тепло- и электропроводность;
- Разработать функционально градуированные материалы для достижения зональной оптимизации поверхностных и внутренних характеристик.

Стратегия проектирования пластины из антимагнитного вольфрамового сплава

1. Управление магнитным элементом

- Сократить или исключить использование сильных магнитных элементов (таких как железо Fe, кобальт Co, никель Ni), чтобы уменьшить магнитный отклик материала;
- В качестве легирующих элементов используют немагнитные или слабомагнитные металлы, обеспечивающие общую низкую магнитную проницаемость.

2. Кристаллическая структура и контроль дефектов

- Измельчение зерен и уменьшение структуры магнитных доменов приводит к увеличению магнитной анизотропии и снижению макроскопических магнитных характеристик;
- Контролировать морфологию и распределение осажденной фазы и уменьшать агрегацию магнитной фазы.

Эксплуатационные характеристики пластины из функционального вольфрамового сплава

1. Высокая тепло- и электропроводность

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Теплопроводность может в несколько раз превышать теплопроводность традиционных вольфрамовых сплавов, что отвечает потребностям рассеивания тепла электронных устройств и высокочастотной связи;
- Удельное сопротивление снижено, что обеспечивает хорошие электрические свойства и пригодно для контактных материалов и электродных конструкций.

2. Низкие характеристики магнитного отклика

- Низкая магнитная проницаемость и превосходные антимагнитные свойства, подходят для прецизионного управления магнитным полем и медицинского магнитно-резонансного оборудования;
- Уменьшите помехи магнитного поля и повысьте стабильность системы и точность измерений.

4. Области применения

- Высокопроизводительные подложки для рассеивания тепла электронных устройств и проводящие структурные части;
- Конструкции приборов и оборудования в аэрокосмической технике, чувствительные к магнитным помехам;
- Для атомной промышленности требуются защитные материалы, учитывающие как теплоотвод, так и антимагнитные свойства;
- Основные конструкционные материалы в медицинском магнитно-резонансном оборудовании (МРТ).

5. Проблемы проектирования и производства

- Баланс между тепло- и электропроводностью и механической прочностью требует комплексной оптимизации во многих аспектах;
- Контроль теплового сопротивления и электрического сопротивления композитного интерфейса затруднен, а процесс подготовки предъявляет высокие требования;
- Улучшение антимагнитных свойств предъявляет более высокие требования к выбору легирующих элементов и контролю микроструктуры.

6. Тенденции будущего развития

- Использование вычислительного материаловедения для управления проектированием компонентов и достижения точного контроля теплопроводности, электропроводности и антимагнитных свойств;
- Разработать наноструктурированные и функционально-градиентные материалы для улучшения характеристик интерфейса и общей стабильности;
- Содействовать применению технологии аддитивного производства функциональных пластин из вольфрамового сплава для достижения комплексного производства сложных конструкций;
- Изучите технологию интеллектуальных материалов для достижения динамического отклика и регулировки характеристик пластин из вольфрамового сплава.

VII. Резюме

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Благодаря научному проектированию состава и контролю микроструктуры, теплопроводящие, электропроводящие и антимагнитные пластины из функционального вольфрамового сплава отвечают многочисленным требованиям к терморегулированию, электрическим и магнитным свойствам в высокотехнологичных приложениях. С развитием технологий материалов и производственных процессов этот тип функциональных пластин из вольфрамового сплава будет играть всё более важную роль в аэрокосмической промышленности, электронной связи, атомной промышленности и медицинском оборудовании.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

Core advantages: 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

Quality cost: optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

Advanced capabilities: advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

Service commitment

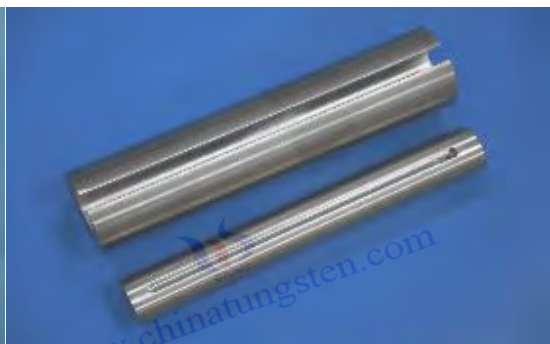
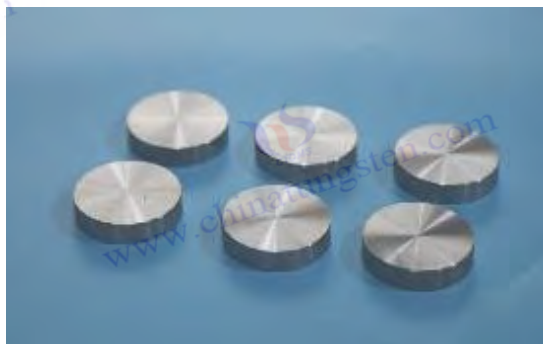
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Глава 7 Международные стандарты и система качества пластин из вольфрамового сплава

7.1 Китайские стандарты на пластины из вольфрамового сплава (GB/T, YS/T)

Будучи одним из крупнейших мировых поставщиков вольфрамового сырья и производителей вольфрамовых материалов, Китай разработал относительно полную систему стандартов для изделий из вольфрама и вольфрамовых сплавов, охватывающую технические условия, методы испытаний, допуски размеров, качество поверхности, эксплуатационные характеристики и условия испытаний пластин из вольфрамовых сплавов. Национальный стандарт (GB/T) и отраслевой стандарт цветной металлургии (YS/T) совместно составляют основу качества и отраслевые стандарты для пластин из вольфрамовых сплавов на китайском рынке.

1. Обзор стандартной системы

1. Национальный стандарт (GB/T)

- Стандарты GB/T являются рекомендуемыми национальными стандартами, обладающими высокой авторитетностью и универсальностью;
- Он в основном используется для руководства по размерам, допускам, техническим условиям и методам испытаний пластин из вольфрамового сплава;
- Он применим к показателям оценки качества в различных общепромышленных областях, экспортной продукции и контрактах на внутренние закупки.

2. Отраслевой стандарт (YS/T)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Стандарт YS/T** разработан Ассоциацией цветной металлургии Китая и отражает новейший технический уровень отрасли;
- Более конкретные и подробные, часто используемые в технических требованиях к индексу специальных пластин из вольфрамового сплава;
- Он обладает большей дальновидностью и применимостью для изделий из вольфрамовых сплавов с новыми материалами и новыми процессами.

2. Примеры общепотребимых национальных стандартов (GB/T)

Номер стандарта	Стандартное имя	Содержание
ГБ/Т 4187	Вольфрамовая пластина	Определяет классификацию, размер, внешний вид, механические свойства и методы испытаний вольфрамовых пластин.
ГБ/Т 3462	Допуски размеров для листов редких металлов	Охватывает стандарты допусков толщины и ширины для вольфрамовых, молибденовых и других пластин.
ГБ/Т 2040	Методы химического анализа вольфрамовых изделий	Применимо для анализа W, Fe, Ni, Cu и других элементов в пластинах из вольфрамового сплава.
ГБ/Т 8170	Правила округления чисел	контроль размеров и проверка вольфрамовых пластин

Примечание: в реальных закупках и приемке в качестве основного стандарта часто широко используется GB/T 4187.

3. Примеры общепринятых стандартов цветной металлургии (YS/T)

Номер стандарта	Стандартное имя	Область применения
YS/T 519	Изделия из тяжелых вольфрамовых сплавов	применимо к пластинам из вольфрамоникелевого железа, вольфрамоникелевой меди и другим изделиям
YS/T 795	Пластина из вольфрамового сплава	Обеспечить четкие показатели производительности и внешнего вида толстых, средних и тонких пластин.
YS/T 670	Методы испытаний вольфрамовых материалов, полученных методом порошковой металлургии	Спецификации испытаний микроскопических свойств, таких как плотность и пористость
YS/T 629	Метод анализа химического состава сплава на основе вольфрама	Высокоточные аналитические методы, включающие одновременное обнаружение нескольких элементов

IV. Основные показатели содержания стандарта

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. Контроль размеров и допусков

- Отклонение толщины, отклонение ширины, плоскостность поверхности доски;
- Однородность кромок, контроль коробления и т. д.

2. Механические свойства

- Прочность на растяжение, предел текучести, относительное удлинение;
- Показатель твердости (HV, HB), ударная вязкость и т. д.

3. Качество поверхности

- Не допускаются трещины, шелушения, окалина и включения;
- Шероховатость поверхности $Ra \leq$ указанному значению, допускаются незначительные царапины.

4. Внутренние дефекты и организационный контроль

- Укажите методы испытаний, такие как ультразвуковой, компьютерный и другие неразрушающие испытания;
- Микроструктура однородная, без существенных включений и отверстий.

5. Диапазон химического состава

- Содержание основных и примесных элементов, таких как W, Ni, Fe, Cu, Mo;
- Соответствует определенным классификациям (например, класс 1, класс 2, специальный класс).

V. Стандартная практика внедрения и сертификации качества

1. Применимые объекты

- Для производственных предприятий, закупочных подразделений, научно-исследовательских институтов и отделов контроля качества;
- Оказывать единую техническую поддержку торговым, экспортным и проектным торгам.

2. Соответствие международным стандартам

- В последние годы китайские стандарты приближаются к ISO и ASTM;
- Улучшить международную совместимость стандартов путем принятия эквивалентного преобразования, дополнительных пояснений и других методов.

3. Стандарты внутреннего контроля предприятия

- Некоторые ведущие предприятия разработали более строгие технические спецификации предприятия, основанные на внедрении GB/T и YS/T;
- Например, более высокая точность размеров, более низкие пределы содержания примесей и более высокое качество поверхности.

VI. Резюме

Система стандартов на пластины из вольфрамовых сплавов Китая обеспечивает базовую основу и техническую поддержку для проектирования, производства, испытаний и обращения продукции. Стандарт GB/T отражает национальные единые технические требования к управлению, а стандарт YS/T отражает уровень технологического развития отрасли. С расширением использования пластин из вольфрамовых сплавов в высокотехнологичных областях применения эти стандарты также постоянно пересматриваются и совершенствуются, играя ключевую роль в обеспечении качества продукции и содействии технологическому прогрессу.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.2 Интерпретация американских стандартов (ASTM, MIL)

Будучи важным лидером в мировой индустрии высококачественных материалов, Соединенные Штаты создали относительно полную и широко используемую систему стандартов для вольфрама и вольфрамовых сплавов. Эта система в основном состоит из **стандартов ASTM (Американского общества по испытаниям и материалам)** и **MIL (военных стандартов США)**. Она не только устанавливает технические спецификации для отечественной военной, аэрокосмической, электронной и других отраслей, но и играет важную роль в мировой торговле, управлении качеством и международной сертификации.

1. Обзор системы стандартов ASTM

1. Характер стандарта

Стандарты ASTM (Американское общество по испытаниям и материалам) представляют собой **признанную на международном уровне систему технических стандартов**, которая подчеркивает свойства материалов, методы испытаний и общие спецификации и широко используется в промышленном производстве, контроле качества, соблюдении норм торговли и других областях.

Типичные стандарты ASTM, касающиеся пластин из вольфрамового сплава

Номер стандарта	Стандартное имя	Область применения
ASTM B702	Технические условия на изделия порошковой металлургии из тяжелых вольфрамовых сплавов	Включая технические требования к различным изделиям, таким как плиты, прутки, круглые заготовки и поковки
ASTM B777	Стандарт на продукцию из высокоплотного вольфрамового сплава	Уточнить механические свойства, химический состав и допуски размеров материалов
ASTM B760	Технические условия на пластины, листы и полосы из вольфрама и молибдена	Подходит для подготовки и контроля качества толстых и тонких пластин.
ASTM E1477	Эталонные методы обнаружения редких металлов	Спектральный, термический анализ и структурное обнаружение таких материалов, как вольфрам и молибден

3. Ключевые положения стандарта

- **Требования к составу** : указать содержание вольфрама, соотношение легирующих элементов и пределы содержания примесей;
- **Размеры и допуски** : включая толщину, ширину, плоскостность и форму кромок;
- **Механические свойства** : прочность на растяжение, предел текучести, пластичность;
- **Методы испытаний** : включая испытание на растяжение, испытание на твердость, ультразвуковой контроль и т. д.;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Качество поверхности** : четко видны следы окисления, шелушения, включения и т. д.

2. Обзор системы военных стандартов MIL

1. Характер стандарта

MIL-STD (военный стандарт) — система стандартов на продукцию военного назначения, разработанная Министерством обороны США и широко применяемая в высокотехнологичных приложениях, таких как производство вооружений, аэрокосмическая техника и точное машиностроение. Система делает акцент на надежности, безопасности и стабильности характеристик в экстремальных условиях.

Типичные стандарты, касающиеся пластин из вольфрамового сплава

Номер стандарта	Стандартное имя	Функции
MIL-T-21014	Стандарт материала на основе вольфрамового сплава высокой плотности	Включая требования к размерам, производительности и технологическим процессам пластин, стержней и колец
MIL-C-14550	Стандарты процесса никелирования металлических поверхностей	Требования к гальванопокрытию и экологическая адаптивность материалов на основе вольфрама
MIL-STD-45662	Стандарты контроля измерительного и испытательного оборудования	Для контроля материалов и управления прослеживаемостью качества
MIL-STD-883	Стандарты тестирования электронных компонентов	Подходит для вольфрамовых сплавов, используемых в опорных пластинах чипов или материалах для рассеивания тепла.

3. Характеристики военного стандарта

- **Высокие требования к адаптации к окружающей среде** : особое внимание уделяется стабильной работе в условиях высоких температур, радиации и ударных воздействий;
- **Строгая механическая надежность** : четкие нижние пределы прочности, вязкости разрушения и усталостных характеристик;
- **Строгий контроль однородности партии** : требуется хорошая прослеживаемость и проверка однородности;
- **Одинаковое внимание уделяется сертификации по безопасности и охране окружающей среды** : ограничения по вредным элементам, испытаниям на старение материалов и т. д.

3. Взаимодополняемость стандартов ASTM и MIL

Сравнительные размеры	Стандарты ASTM	Стандарт MIL
Применимые	Общепромышленное, гражданское	Аэрокосмическая, оборонная и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

области	применение, научные исследования	военная промышленность
Стандартный тип	Технические характеристики продукта + Методы испытаний	Производительность приложений + адаптивность к окружающей среде
Фокус инспекции	Свойства материала	Надежность системы и соответствие рабочим условиям
Стандартная открытость	Государственные ресурсы, широко принятые	Военное прошлое, частично конфиденциально

Примечание: При фактическом проектировании и производстве высококачественных пластин из вольфрамового сплава компаниям часто необходимо соблюдать требования как ASTM, так и MIL.

4. Применение в производстве и экспорте пластин из вольфрамового сплава

- **Техническая основа контракта** : ASTM B702, B777 и т. д. часто используются в качестве базовых стандартов для международных закупок и технических соглашений;
- **Интерфейс системы менеджмента качества** : стандарты MIL требуют совместимости с ISO 9001, AS9100 и другими системами;
- **Международная сертификация** : соответствие стандартам ASTM/MIL помогает выйти на такие высококласные рынки, как рынки Северной Америки и Европейского Союза;
- **Руководство по методам испытаний** : Физические и химические методы испытаний, указанные в стандарте, широко принимаются в качестве основы для испытаний.

V. Резюме

Системы стандартов ASTM и MIL являются важным элементом управления качеством материалов из вольфрамовых сплавов в США. Их строгость, систематичность и авторитетность признаны во всем мире. ASTM устанавливает общие критерии оценки эксплуатационных характеристик материалов, в то время как стандарт MIL фокусируется на надежности эксплуатации в экстремальных условиях. В условиях международной конкуренции китайским компаниям следует активно ориентироваться на стандарты ASTM/MIL для повышения международной адаптивности и конкурентоспособности своей продукции на рынке высокого класса.

7.3 Сборник европейских и ISO стандартов на пластины из вольфрамовых сплавов

С развитием и расширением применения технологий производства вольфрамовых сплавов по всему миру, Европа и Международная организация по стандартизации (ISO) также разработали ряд систем стандартов, связанных с пластинами из вольфрамовых сплавов, обладающих широким применением и высокой авторитетностью. Эти стандарты не только служат целям местного промышленного производства, торгового надзора и соблюдения экологических норм в Европе, но и стали признанным на международном уровне эталоном,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

значительно способствуя широкому применению пластин из вольфрамовых сплавов в таких высокотехнологичных областях, как атомная энергетика, авиация, электроника и медицина.

1. Введение в международную систему стандартов ISO

1. Характер стандартов ИСО

- ISO (Международная организация по стандартизации) — самая авторитетная и влиятельная организация по разработке стандартов в мире;
- Стандарты на вольфрамовые материалы в основном разрабатываются техническими комитетами, такими как ISO/TC 119 (технический комитет по порошковой металлургии) и ISO/TC 261 (аддитивное производство);
- Стандарты ISO ориентированы на универсальность, координацию и взаимное признание и широко используются в международной торговле, сертификации и проверках соответствия.

2. Примеры общих стандартов ISO для вольфрамовых сплавов

Номер стандарта	Стандартное имя	Вовлеченный контент
ИСО 4499	Метод анализа микроструктуры металлического порошка и его изделий	из порошка вольфрама и спеченной пластины из вольфрамового сплава
ИСО 5755	Метод определения плотности вольфрамового материала	Определение плотности архимедовым и геометрическим методами
ИСО 6892-1	Испытание металлических материалов на растяжение. Часть 1: Метод испытания при комнатной температуре	Применяется для испытания на растяжение пластины из вольфрамового сплава
ИСО 3928	Испытание на изгиб металлического материала	Испытание пластичности и поведения при разрушении пластин из вольфрамового сплава

Стандарты ISO в основном используют общие методы испытаний, дополняющие ASTM, а некоторые из них интегрированы со стандартами ЕС.

2. Обзор европейской системы стандартов EN

1. Стандартный источник

- Стандарты EN (европейские нормы) единообразно формулируются Европейским комитетом по стандартизации (CEN);
- в отношении пластин из вольфрамового сплава в основном используются стандарты стран-членов, такие как немецкий DIN, французский NF, британский BS и испанский UNE;
- Он имеет юридическую силу на территории ЕС и является основой соответствия продукции, поступающей на европейский рынок.

2. Примеры типичных стандартов EN

Номер	Стандартное имя	Оригинальный	национальный
-------	-----------------	--------------	--------------

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

стандарта		стандарт
ЕН 2516	Технические характеристики материала из вольфрамового сплава высокой плотности	Разработано на основе французского стандарта авиационной промышленности (NF L)
ЕН 10204	Стандарты документов по сертификации качества материалов	Широко используется в системе прослеживаемости качества пластин из вольфрамового сплава.
EN ISO 6507	Метод определения твердости металлов по Виккерсу	Эквивалент ISO 6507 для испытаний на твердость
EN ISO 9001	Требования к системе менеджмента качества	для производителей пластин из вольфрамового сплава

3. Внедрение и характеристики европейских стандартов

1. Уточнение технических индикаторов

- Имеются более подробные характеристики для контроля толщины листа, класса допуска, формы кромок и т. д.
- Предъявляются высокие требования к контролю качества поверхности, микроструктуры, неметаллических включений и т. д.

Высокие требования к охране окружающей среды и соблюдению нормативных требований

- Особое внимание уделяется соблюдению требований RoHS (Ограничение использования опасных веществ) и REACH (Регистрация и оценка химических веществ);
- Установление строгих ограничений на содержание вредных примесей, таких как свинец, кадмий и ртуть;
- Необходимы паспорт безопасности (SDS/MSDS) и полная информация о жизненном цикле материала.

3. Система сертификации строго стандартизирована.

- Продукция должна пройти сертификацию на соответствие маркировке CE, декларацию о соответствии RoHS и сторонние испытания;
- Компания должна пройти сертификацию по стандартам ISO 9001, ISO 14001 (экология) и другим системам менеджмента;
- Цепочки поставок в сфере военной, атомной энергетики и авиации должны дополнительно соответствовать передовым системам, таким как EN 9100 и ISO/TS 16949.

4. Международное значение стандартов ISO и EN

- **Приняты во всем мире** : стандарты ISO широко используются в технических документах и протоколах приемки для международной торговли;
- **Техническая координация** : стандарты EN ISO ускоряют взаимное признание европейских и международных стандартов качества;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Содействие экспорту** : если китайские производители пластин из вольфрамового сплава пройдут сертификацию по стандарту ISO/EN, им будет легче выйти на высокотехнологичные рынки Европы и США;
- **Интеграция технологий** : большинство европейских импортеров и конечных пользователей предпочитают использовать продукцию с двойной сертификацией ISO/EN.

5. Последствия для китайских производственных предприятий

направление	предположение
Обновление технологий	Сравнительный анализ EN 2516, ISO 4499 и других стандартов для улучшения структуры и производительности продукта
Система качества	Внедрить систему контроля качества на всех этапах производства, соответствующую требованиям ISO/EN.
Соблюдение экологических норм	Укрепить исследования и внедрение экологических норм, таких как RoHS и REACH.
Международная сертификация	Активно получать сертификаты CE, ISO и EN для усиления международного влияния бренда.

VI. Резюме

Система европейских и ISO-стандартов на пластины из вольфрамовых сплавов отличается высокой степенью стандартизации, экологичностью и технологической продвинутой, что является единственным способом для китайских и мировых производителей выйти на рынок высококачественной продукции. Содержание стандартов не только фокусируется на эксплуатационных характеристиках материалов и методах контроля, но и включает более системные требования, такие как экологическая безопасность, управление жизненным циклом и сертификация систем. Для всех участников цепочки производства пластин из вольфрамовых сплавов, как восходящих, так и нисходящих, активный бенчмаркинг и адаптация к этим стандартам являются ключевым шагом на пути к повышению международной конкурентоспособности и обеспечению устойчивого развития.

7.4 Требования по охране окружающей среды RoHS, REACH и MSDS

В связи с растущим во всем мире вниманием к защите окружающей среды и здоровью человека, производство, использование и обращение пластин из вольфрамовых сплавов также должно соответствовать ряду международных экологических норм и стандартов безопасности материалов. Система соответствия, представленная **Директивой ЕС RoHS, регламентом REACH и **Паспортом безопасности материалов (MSDS)****, стала необходимым условием для выхода на международный рынок. Производителям пластин из вольфрамовых сплавов необходимо уделять особое внимание целостности и точности информации о составе материалов, химическому составу и раскрытию информации.

1. Директива RoHS (Ограничение использования некоторых опасных веществ)

1. Введение в RoHS

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Директива об ограничении использования опасных веществ (RoHS) — обязательная экологическая директива Европейского союза, ограничивающая использование некоторых опасных веществ в электронных и электротехнических изделиях. Её цель — защита здоровья человека и окружающей среды, а также содействие постепенной замене вредных веществ в электронных изделиях.

2. Применимость пластин из вольфрамового сплава

Хотя пластины из вольфрамового сплава не являются типичными готовыми электронными и электрическими изделиями, при их использовании в конструктивных деталях электронного оборудования, радиаторах, теплопроводящих базовых пластинах или упаковочных компонентах они должны соответствовать требованиям RoHS, особенно при экспорте в Европу или использовании в электронных окончательных изделиях.

3. Ограниченные вещества и предельные значения

Ограниченные вещества	Максимально допустимая концентрация (в однородном материале)
Свинец (Pb)	0,1% (1000 частей на миллион)
Кадмий (Cd)	0,01% (100 частей на миллион)
Ртуть (Hg)	0,1% (1000 частей на миллион)
Шестивалентный хром (Cr ⁶⁺)	0,1%
Полибромированные бифенилы (ПББ)	0,1%
Полибромированные дифениловые эфиры (ПБДЭ)	0,1%
Фталаты (DEHP, BBP, DBP, DIBP)	0,1% каждый

4. Меры по обеспечению соответствия

- Строго контролировать источник сырья для сплавов и примесных элементов;
- Внедрить систему тестирования RoHS (например, рентгенофлуоресцентный анализ);
- Получить декларацию о соответствии RoHS или отчет об испытаниях от третьей стороны;
- Символ RoHS должен быть указан на упаковке и этикетках продукции.

2. Регламент REACH (регистрация, оценка, авторизация и ограничение химических веществ)

1. Введение в REACH

REACH (Регистрация, оценка, разрешение и ограничение использования химических веществ) — самый строгий регламент в сфере химических веществ в ЕС. Он распространяется на все химические вещества и продукты, содержащие химические вещества, производимые или поставляемые на рынок в ЕС, и направлен на оценку их воздействия на здоровье человека и окружающую среду.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Требования к пластинам из вольфрамового сплава

- Хотя сам вольфрам не ограничен, если пластина из вольфрамового сплава содержит **особо опасные вещества (SVHC)**, такие как некоторые примеси тяжелых металлов, клеи, материалы поверхностного покрытия и т. д., это необходимо декларировать;
- Листы из сплавов, годовой объем производства или импорта которых превышает 1 тонну, подлежат регистрации;
- О продуктах, содержащих $\geq 0,1\%$ особо опасных веществ, необходимо заблаговременно уведомлять потребителей и направлять информацию в ЕСНА (Европейское химическое агентство) для уведомления.

3. Стратегия соответствия

- Всегда обновляйте список особо опасных веществ, публикуемый ЕСНА;
- классификация соответствия химических веществ, используемых в пластинах из вольфрамового сплава;
- Сотрудничество с заказчиками по цепочке поставок для заполнения деклараций REACH;
- Создайте систему отслеживания для обеспечения прозрачности цепочки поставок.

3. MSDS (паспорт безопасности материала)

1. Роль и статус паспортов безопасности материалов

MSDS (паспорт безопасности материала) — это принятый на международном уровне информационный документ о химической безопасности, в котором содержится информация о составе материала, его физических и химических свойствах, опасностях, экстренной обработке, транспортировке и утилизации и т. д. Это основная информация для экспортной торговли, управления безопасностью, использования потребителем и декларирования соответствия.

2. Требования MSDS к пластинам из вольфрамового сплава

- Пластины из вольфрамового сплава обычно считаются **твердыми изделиями**, но паспорт безопасности материала по-прежнему требуется для справки потребителя, особенно при наличии пыли или контакта со смазочно-охлаждающей жидкостью;
- MSDS должен содержать информацию обо всех легирующих элементах, примесях и рисках обработки;
- Должен соответствовать формату GHS (Согласованная на глобальном уровне система классификации и маркировки химических веществ).

3. Элементы содержания образца паспорта безопасности (всего 16 пунктов)

1. Информация о продукте и компании
2. Ингредиенты
3. Идентификация опасностей
4. Меры первой помощи

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5. Меры пожаротушения
6. Экстренная помощь при утечке
7. Требования к обращению и хранению
8. Контроль воздействия и индивидуальная защита
9. Физические и химические свойства
10. Стабильность и реактивность
11. Токсикологическая информация
12. Экологическая информация
13. Методы утилизации
14. Информация о доставке
15. Нормативная информация
16. Другая информация

Примечание: Паспорт безопасности материала (MSDS) должен быть подготовлен на английском языке, а при необходимости следует предоставить многоязычные версии (например, на китайском, немецком, японском и т. д.).

4. Методы и рекомендации по обеспечению соответствия для предприятий по производству пластин из вольфрамовых сплавов

Дирекция по обеспечению соответствия	Стратегия реагирования предприятия
Выбор материала	Избегайте использования запрещенных или вызывающих повышенные опасения элементов и создайте систему проверки сырья.
Система тестирования	Экспресс-скрининг RoHS/REACH/XRF и тестирование с использованием ИСП на этапе закупок
Управление файлами	Создайте файлы соответствия MSDS, RoHS, REACH и другим стандартам и регулярно их обновляйте.
Сотрудничество с клиентами	Проактивно предоставлять заявления о соответствии, отчеты об испытаниях и документы технической поддержки
Сертификация третьей стороной	Повысьте доверие с помощью сертификации от авторитетных организаций, таких как SGS, TÜV и Intertek

V. Резюме

RoHS, REACH и MSDS представляют собой три основные системы соответствия экологическим требованиям для продукции из вольфрамовых сплавов, поступающей на международный рынок, особенно в ЕС. Эти правила не только ограничивают использование и выбросы опасных веществ в пластинах из вольфрамовых сплавов, но и требуют от компаний большей ответственности за состав материала, характеристики безопасности и воздействие на окружающую среду. Столкнувшись с постоянно ужесточающимися глобальными экологическими барьерами, производители пластин из вольфрамовых сплавов должны разработать систематический механизм управления соблюдением экологических требований, усовершенствовать концепции экологичного проектирования и всесторонне повысить устойчивую конкурентоспособность своей продукции.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.5 Системы менеджмента качества в области авиации, атомной энергетики и медицины (AS9100, ISO 13485 и др.)

Пластины из вольфрамовых сплавов широко используются в таких ключевых отраслях, как аэрокосмическая промышленность, атомная энергетика и медицинское оборудование, благодаря своей высокой плотности, прочности, термостойкости и радиационной стойкости. Однако в этих отраслях предъявляются чрезвычайно строгие требования к надежности, безопасности, прослеживаемости и однородности материалов. Поэтому, если компании хотят выйти на эти высокотехнологичные рынки с пластинами из вольфрамовых сплавов, они должны полностью внедрить и соблюдать отраслевые системы менеджмента качества, такие как AS9100 (аэрокосмическая промышленность), ISO 13485 (медицинское оборудование), NQA-1 (атомная энергетика) и другие стандартные системы.

1. AS9100: Система управления качеством в аэрокосмической отрасли

1. Введение в стандарт

AS9100 — это стандарт системы менеджмента качества для аэрокосмической отрасли, разработанный Международной группой по качеству в аэрокосмической отрасли (IAQG). Он расширяет возможности ISO 9001 и учитывает уникальные требования авиационной, аэрокосмической и оборонной отраслей. Это общий глобальный стандарт цепочки поставок для таких компаний, как Boeing, Airbus, NASA и Lockheed.

2. Ключевые требования

- **Прослеживаемость продукции** : процесс производства, источник сырья, параметры процесса и протоколы испытаний каждой партии пластин из вольфрамового сплава должны прослеживаться;
- **Управление рисками** : выявление и контроль таких рисков, как дефекты сырья, отклонения в процессе и задержки поставок;
- **Контроль изменений** : любые изменения в конструкции продукта, процессе или материалах должны быть строго одобрены;
- **Возможности защиты от подделок и помех** : предотвращение попадания в авиационную систему поддельных и некачественных материалов;
- **Постоянное совершенствование и удовлетворенность клиентов** : особое внимание уделяется сотрудничеству в процессах и постоянной оптимизации между поставщиками и клиентами.

3. Значение применения вольфрамовых сплавов в пластинах

Если пластины из вольфрамового сплава используются в качестве таких компонентов, как конструкции аэрокосмических аппаратов, противовесы спутников, инерциальные элементы и т. д. , они должны пройти контроль AS9100, чтобы доказать, что они соответствуют всеобъемлющим требованиям авиационной отрасли к надежности материала, механическим свойствам и однородности.

2. ISO 13485: Система менеджмента качества медицинских изделий

1. Введение в стандарт

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ISO 13485 — это международный стандарт менеджмента качества, разработанный для медицинских изделий. Он применим ко всем компаниям, занимающимся проектированием, производством, установкой и обслуживанием медицинских изделий, уделяя особое внимание безопасности продукции, соблюдению нормативных требований и контролю рисков.

2. Основное содержание

- **Последовательность регулирования** : требование, чтобы продукты соответствовали соответствующим медицинским нормам на различных рынках по всему миру (например, EU MDR, US FDA и т. д.);
- **Контроль гигиены и предотвращение загрязнения** : сырье, полуфабрикаты и готовая продукция должны избегать биологического загрязнения или перекрестного заражения;
- **Оценка биосовместимости** : если пластины из вольфрамового сплава используются для защиты оборудования для лучевой терапии, компонентов устройств визуализации и т. д., необходимо оценить безопасность их контакта с окружающей средой;
- **Управление записями и документацией** : создание подробных записей о качестве, информации о прослеживаемости и механизма рассмотрения жалоб клиентов;
- **Управление рисками** : охватывает проектирование, производство, хранение и переработку жизненного цикла продукции.

3. Сценарии применения

Для пластин из сплава, используемых в компонентах защиты медицинских ускорителей, рентгеновских экранах, устройствах-носителях для ядерной медицины и т. д., необходимо установить контроль производства и процессы проверки качества на основе ISO 13485.

3. NQA-1 / ASME / RCC-M: Требования к качеству для атомной энергетики

1. Обзор стандартов атомной энергетики

- **NQA-1 (Обеспечение качества в ядерной отрасли)** : разработанный ASME (Американским обществом инженеров-механиков), это стандарт обеспечения качества для ядерных установок и поставок ядерных материалов;
- **ASME Sec III** : Технические стандарты по проектированию, изготовлению и проверке оборудования и материалов для ядерных энергетических систем;
- **RCC-M (Французские нормы проектирования и производства конструкций ядерных объектов)** : используются для оценки материалов и конструкций европейских проектов атомной энергетики.

2. Применение и требования к качеству пластин из вольфрамовых сплавов

Пластины из вольфрамового сплава широко используются в области ядерной энергетики:

- Защитная конструкция активной зоны ядерной установки;
- стержни управления и компоненты поглотителя нейтронов;
- Контейнеры для транспортировки и хранения радиоактивных материалов.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Ключевые факторы контроля качества

Контрольное измерение	Описание запроса
Состав материала	Строго ограничивать радиоактивные примеси и нейтронно-активируемые вещества (такие как бор, кобальт и т. д.)
Механические свойства	Отвечают требованиям по прочности при высоких температурах и сопротивлению ползучести в условиях облучения
Неразрушающий контроль	Все пластины из вольфрамового сплава должны проходить комплексный неразрушающий контроль, такой как ультразвуковой контроль, рентгеноструктурный контроль и магнитопорошковый контроль.
Целостность файлов	Отслеживаемые файлы качества и отчеты об оценке третьих сторон должны храниться более 20 лет.

IV. Рекомендации по системной интеграции и сертификации

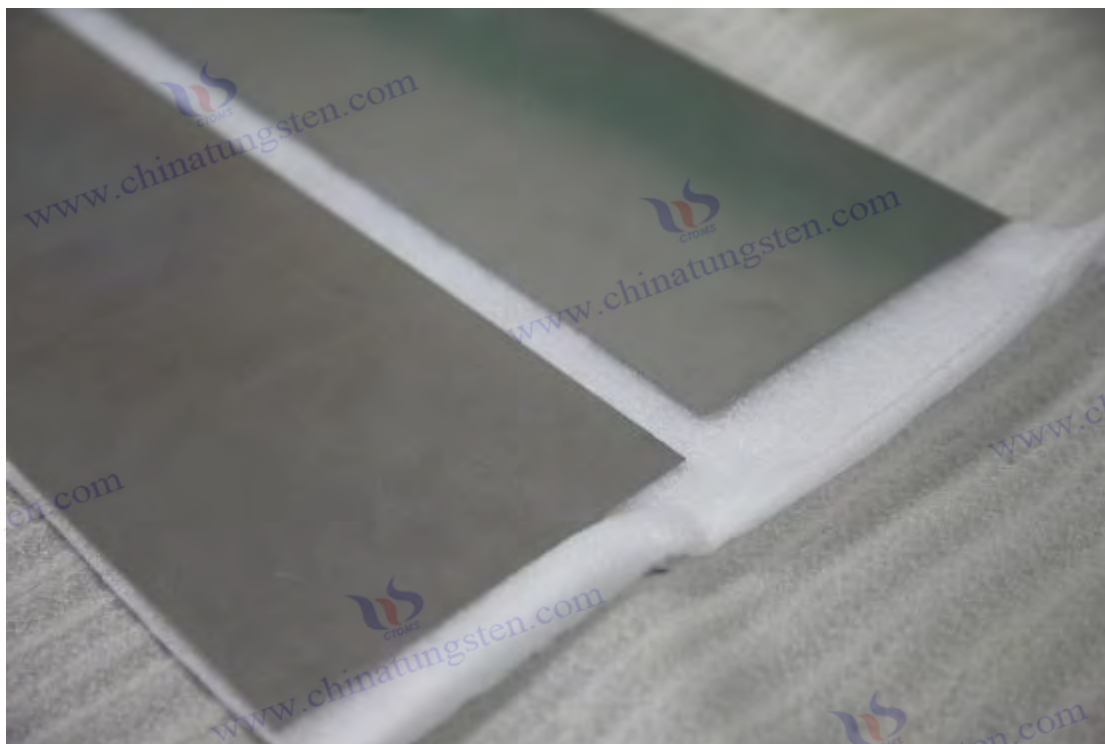
Имя системы	Применимые области	Рекомендуемые практики
AS9100	Аэрокосмическая промышленность	Внедрить профессиональную систему документооборота и контроля инженерных изменений
ISO 13485	Медицинские приборы	Оптимизировать контроль очистки, проверку цепочки поставок и оценку биологической безопасности
NQA-1 / ASME	Атомная энергетика	Укрепить систему учета качества и принять авторизацию, сертификацию и надзор третьих лиц

Предприятия могут достичь стандартной интеграции и оптимизации затрат с помощью ****Интегрированной системы управления (ИСУ)****, например, используя ISO 9001 в качестве общей структуры и добавляя модули AS9100 или ISO 13485 для повышения эффективности управления.

V. Резюме

Производство пластин из вольфрамовых сплавов в сфере авиации, атомной энергетики и медицины осуществляется на основе комплексной системы строгого контроля качества, охватывающей проектирование, материалы, производство и послепродажное обслуживание. Такие стандарты, как AS9100, ISO 13485 и NQA-1, не только символизируют качество продукции, но и являются важным шагом на пути к выходу на международный рынок. Если китайская промышленность вольфрамовых сплавов стремится к достижению высокого уровня и интернационализации, ей необходимо начать с разработки системы и создания механизма контроля качества на всех этапах процесса, соответствующего мировым техническим стандартам.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Глава 8 Упаковка, хранение и транспортировка пластин из вольфрамового сплава

8.1 Упаковочные материалы и формы (вакуумная упаковка, осушитель, лотковая упаковка)

Пластины из вольфрамового сплава обладают высокой плотностью, высокой добавленной стоимостью и чрезвычайно высокими требованиями к качеству поверхности и точности. После производства и испытаний упаковка — это не только простой этап логистического процесса, но и важный способ обеспечения стабильности качества и сохранности внешнего вида при транспортировке, хранении и доставке. Разумный выбор упаковочных материалов, продуманная форма упаковки и эффективная изоляция от воздействия окружающей среды имеют решающее значение для защиты пластин из вольфрамового сплава от окисления, коррозии, механических повреждений, деформации и других проблем при транспортировке.

1. Основные принципы и цели упаковки

Упаковка пластин из вольфрамового сплава должна соответствовать следующим основным принципам:

- Антиокислительный, влагостойкий, пыленепроницаемый и ударопрочный ;
- Легко переносить, укладывать и перевозить ;
- Соблюдать требования международного торгового и таможенного регулирования ;
- Четкая идентификация и строгая прослеживаемость ;
- Предпочтение отдается зеленому, экологически чистым и перерабатываемым материалам .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Упаковка не только отвечает потребностям логистики, но и должна быть включена в управление всем производственным процессом как часть системы контроля качества поставки продукции.

2. Распространенные упаковочные материалы и их функции

Тип материала	Основная функция	Заметки по применению
Полиэтиленовая (ПЭ) пленка	Защита от влаги и пыли	Используется для покрытия поверхности вольфрамовых пластин с целью предотвращения окисления и прилипания частиц.
Вакуумная алюминиево-пластиковая композитная пленка	Влагостойкий и антиокислительный	Вакуумная упаковка пластин из вольфрамового сплава для длительного хранения или экспорта
Прокладка из пеноматериала/жемчужный хлопок EPE	Амортизация и ударопрочность	Поместите в зазор между пластинами, чтобы предотвратить трение или поломку.
Осушитель (силикагель/молекулярное сито)	Поглощение влаги и осушение	Поместите в герметичную упаковку для сохранения сухости.
Деревянные поддоны (фумигированные или нефумигированные)	Поддержка и обработка	Перевозка готовых изделий из пластин из вольфрамового сплава, удобная для погрузки и разгрузки с помощью вилочного погрузчика, а также для контейнерной перевозки.
Уплотнительная лента/стрейч-пленка	Фиксированная внешняя структура упаковки	Предотвращает соскальзывание листов и растрескивание упаковки

3. Типичная форма упаковки пластины из вольфрамового сплава

1. Вакуумная упаковка

Подходит для длительного хранения, экспортных перевозок или в случаях, когда заказчики предъявляют особо высокие требования к качеству поверхности.

- Используйте алюминиево-пластиковую композитную пленку для герметизации одной или нескольких вольфрамовых пластин в пакете;
- Перед герметизацией поместите осушитель (обычно силикагель, молекулярное сито или активированный уголь);
- Откачать до давления выше -0,08 МПа и запаять;
- Может использоваться с заменой газа (например, азота) для повышения стойкости к коррозии;
- Внешняя часть защищена жесткими картонными коробками или деревянными ящиками для предотвращения общего столкновения.

Преимущества: Эффективно изолируют воздух и влагу, а также продлевают срок службы блестящей поверхности вольфрамовой пластины.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Сложенная упаковка (межплатная буферизация + пластиковая герметизация)

- Между каждой пластиной из вольфрамового сплава поместите поролон или перламутровую вату толщиной 1–2 мм;
- Весь штабель обматывается полиэтиленовой стрейч-пленкой или композитной пластиковой пленкой;
- Если позволяют условия, добавьте картон для усиления защиты поверхности доски;
- Подходит для пассивированных плат или кратковременной транспортировки.

Преимущества: мощная буферизация, удобство эксплуатации, низкая стоимость, подходит для внутреннего распределения.

3. Упаковка на поддоны и в деревянные ящики

Используется для массовых поставок, особенно подходит для условий экспорта и морских перевозок.

- Вся доска укладывается на деревянный поддон (его необходимо закрепить с помощью клейкой ленты);
- Дополнительная защита деревянного ящика или стального бокового ящика;
- В зависимости от веса необходимо выбирать поддон с высокой грузоподъемностью или усиленную конструкцию;
- В нижней части поддона должны быть предусмотрены отверстия для вилочного погрузчика для облегчения погрузки и разгрузки.

Экспортируемая упаковочная древесина должна соответствовать **международным фитосанитарным стандартам ISPM 15** и изготавливаться из материалов, не прошедших термическую обработку или фумигацию.

4. Идентификация упаковки и управление этикетками

Научное управление этикетками для упаковки — это не только компонент управления качеством, но и важный способ предотвращения логистических ошибок и путаницы в идентификации клиентов. Оно должно включать следующую основную информацию:

- **Наименование товара, спецификация, модель, количество, номер партии ;**
- **Вес нетто, вес брутто, размеры, дата упаковки ;**
- **Название производителя и контактная информация ;**
- **Маркировка соответствия :** например, RoHS, REACH, номер MSDS ;
- **Транспортные знаки :** значки, такие как «влагонепроницаемый», «стойкий к давлению», «вверх» и «центр тяжести»;
- **Индивидуальная информация для клиента** (например, номер проекта, номер заказа и т. д.).

Системы штрих-кодов или QR-кодов могут использоваться для поддержки интеллектуального управления прослеживаемостью.

5. Особые требования к упаковке и индивидуальные услуги

При выполнении индивидуальных заказов высокого уровня некоторые клиенты (например, агентства по атомной энергетике, аэрокосмические компании и научно-исследовательские институты) выдвигают следующие особые требования к упаковке:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Чистая упаковка** : вакуумная упаковка выполняется в чистом помещении класса 1000;
- **Многослойная металлическая вакуумная защита** : предотвращает проникновение радиоактивных защитных материалов или впитывание влаги;
- **Антистатическая упаковка** : используется для пластин из вольфрамового сплава для электронного оборудования;
- **Комбинированное упаковочное решение** : различные размеры классифицированной упаковки, фиксированная конструкция рукавной трубки.

стандартная база данных упаковочных решений и индивидуальный механизм реагирования на упаковочные потребности, основанный на потребностях клиентов.

VI. Резюме

Вольфрамовые пластины обеспечивают не только внешний вид и безопасность продукта, но и стабильность качества материала и удовлетворенность клиентов при транспортировке. Выбор подходящих упаковочных материалов, структурных форм и систем управления этикетками, а также сочетание дифференцированного дизайна с отраслевыми особенностями заказчика позволяют эффективно снизить транспортные риски, а также улучшить имидж бренда и экспортные возможности компании. По мере повышения порога доступа на международные рынки экологичная упаковка, интеллектуальная идентификация и стандартизированные системы поддонов станут важными направлениями развития упаковки из вольфрамовых пластин.

8.2 Требования к условиям хранения и меры защиты от окисления и влаги

Вольфрамовые пластины — это материал высокой плотности, точности и высокой добавленной стоимости. В случае ненадлежащего хранения после производства пластины из вольфрамового сплава подвержены окислению поверхности, образованию пятен коррозии, расширению размеров или повреждению упаковки из-за влажности окружающей среды, воздействия кислорода, загрязнения пылью или перепадов температур. Это серьезно влияет на их доступность и удовлетворенность клиентов. Поэтому крайне важно разработать научные и стандартизированные стандарты условий хранения, а также практические меры по защите от влаги и окисления для обеспечения качества и безопасности вольфрамовых пластин при краткосрочном и долгосрочном хранении.

1. Основные требования к среде хранения

Пластины из вольфрамового сплава должны соответствовать следующим контрольным показателям:

Факторы контроля	Рекомендуемый диапазон	проиллюстрировать
температура	5°C~30°C	Избегайте резких колебаний температуры, конденсации или теплового расширения.
относительная	≤ 50% относительной	Слишком высокая относительная влажность

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

влажность	влажности	ускорит окисление поверхности вольфрама и водородную коррозию.
Чистота воздуха	Среда без пыли или с низким содержанием пыли (класс ISO 8 или выше)	Предотвращайте прилипание частиц пыли, избегайте механических царапин и токопроводящих загрязнений.
Прямые солнечные лучи	избегать	Воздействие ультрафиолета может привести к изменению цвета поверхности или старению материала.
Коррозионный газ	Запрещено (например, NH ₃ , Cl ₂ , H ₂ S и т. д.)	Газы, содержащие серу и хлор, будут медленно реагировать с вольфрамом.
Расход воздуха	Хорошая вентиляция, но недостаточно мощная вентиляция	Поддерживайте воздух сухим и не допускайте накопления влаги.

Если у предприятия есть условия, оно может организовать склад с постоянной температурой и влажностью или чистый склад для обеспечения долгосрочного и точного управления хранением высококачественных пластин из вольфрамового сплава.

2. Распространенные антиокислительные технологии и меры

Хотя сам вольфрам обладает хорошей химической стабильностью, пластины из вольфрамовых сплавов (особенно сплавов, содержащих связующие металлы, такие как Ni и Cu) могут подвергаться лёгкому окислению или электрохимической коррозии **во влажной или богатой кислородом среде**. Поэтому для повышения стойкости к окислению следует принять следующие меры:

1. Пассивация поверхности

- После травления, промывки щелочью или нейтральной промывки пластины из вольфрамового сплава обработайте ее пассивирующим средством;
- Он может образовывать на поверхности плотную защитную пленку, препятствующую реакции между кислородом и водой;
- К распространенным пассиваторам относятся лимонная кислота, хроматы, фосфаты и т. д.;
- Он особенно подходит для обработки готовой продукции перед отправкой с завода для повышения стабильности при хранении.

2. Вакуумная или азотная герметизация

- Готовую пластину из вольфрамового сплава герметизируют вакуумом или заполняют азотом, чтобы предотвратить проникновение кислорода и водяного пара;
- Подходит для пластин с особо высокими требованиями к гладкости и состоянию поверхности;
- Обычно его используют вместе с пакетами из алюминиево-пластикового композита и высокобарьерными пленками.

3. Метод микромасляного покрытия (герметизированное масло)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Нанесите тонкий слой нейтрального герметизирующего масла на поверхность доски, чтобы сформировать слой физической изоляции;
- Может эффективно изолировать прямой контакт с кислородом, водяным паром и сероводородом в воздухе;
- Перед использованием его можно очистить спиртом или щелочной водой;
- Обычно используется для средне- и долгосрочного хранения промышленных вольфрамовых пластин.

3. Меры контроля влажности и управление влажностью

При хранении пластин из вольфрамового сплава во влажной среде их поверхность склонна к потемнению из-за медленного окисления под действием водяного пара и даже межкристаллитной коррозии. Меры по обеспечению влагонепроницаемости должны быть реализованы одновременно в трёх аспектах: упаковка, складское оборудование и контроль окружающей среды:

1. Добавьте осушитель в процессе упаковки.

- Используйте осушающие материалы, такие как пакеты с силикагелем и активированные минеральные адсорбенты;
- Осушитель необходимо поместить в вакуумный пакет или герметичную коробку;
- Регулярно проверяйте осушитель на предмет его насыщения и при необходимости заменяйте его.

2. Используйте осушитель воздуха/кондиционер постоянной влажности для контроля влажности на складе.

- место хранения пластин из вольфрамового сплава;
- Круглосуточная работа особенно необходима в дождливый сезон или в климате со обильными дождями;
- Поддержание относительной влажности $\leq 50\%$ особенно важно для пластин из вольфрамового сплава с блестящей поверхностью.

3. Место для хранения на возвышении/влагонепроницаемая подкладка

- Пластины из вольфрамового сплава должны избегать прямого контакта с землей или стенами;
- Для поддержки используйте поддоны, полки и деревянные каркасные конструкции с влагонепроницаемыми перегородками внизу;
- Не допускайте воздействия влаги и конденсата на вольфрамовую пластину.

4. Стратегия многоуровневого хранения и управление циклами

В зависимости от различных вариантов использования и сроков хранения пластин из вольфрамового сплава следует сформулировать иерархическую стратегию управления:

Классификация	Типичные применения	Рекомендуемый метод	Рекомендуемый
---------------	---------------------	---------------------	---------------

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

		хранения	срок хранения
Высокочистый картон	Медицина, ядерная энергетика, электронные устройства	Вакуумная герметизация + осушитель + камера постоянной влажности	12-18 месяцев
Стандартная промышленная доска	Формы и механические конструкции	ПЭ-покрытие + сушильная печь	6-12 месяцев
Временная текущая доска	Для внутренней обработки	Обычная упаковка, кратковременное хранение	≤ 3 месяцев

Пластины с длительным циклом необходимо регулярно проверять на состояние поверхности и размерную стабильность, чтобы убедиться, что они по-прежнему соответствуют эксплуатационным требованиям перед использованием.

V. Резюме

Управление пластинами из вольфрамовых сплавов требует системного подхода. Необходимо не только учитывать физические свойства материала и чувствительность состава сплава к окружающей среде, но и разработать стратегию защиты от влаги и окисления, которая будет обладать высокой адаптивностью и высокой эксплуатационной надежностью в сочетании с условиями хранения, климатическими условиями и циклами использования. В связи с постоянным совершенствованием мировых стандартов хранения и транспортировки высокопроизводительных материалов, компаниям крайне необходимо создать комплексный механизм оценки рисков при хранении и систему контроля качества запасов для обеспечения стабильности, надежности и постоянства поставок пластин из вольфрамовых сплавов по всей цепочке поставок.

8.3 Меры предосторожности и правила при внутренних и международных перевозках

Транспортировка пластин из вольфрамового сплава, являющегося металлом с высоким удельным весом, коррозионной стойкостью и высокой добавленной стоимостью, связана не только с физической безопасностью и экономическими потерями, но и со сроками доставки клиентам, международным контролем соответствия и репутацией бренда. Особенно в сложных ситуациях, таких как трансграничная торговля, авиаперевозки и морские контейнерные перевозки, если способ транспортировки или процесс декларирования не стандартизированы, очень легко вызвать такие проблемы, как повреждение пластин, ржавчина, неправильное декларирование и даже возврат. Поэтому поставщикам материалов, сотрудникам внешнеэкономической деятельности, а также менеджерам по складированию и логистике крайне важно освоить основные меры предосторожности и нормативные требования при транспортировке пластин из вольфрамового сплава внутри страны и за рубежом.

1. Основные проблемы и риски при транспортировке пластин из вольфрамового сплава

Пластины из вольфрамового сплава в основном сталкиваются со следующими проблемами при транспортировке:

- **Деформация и повреждение под действием высокой нагрузки** : плотность пластины из вольфрамового сплава может достигать 17–19 г/см³. Если опора неустойчива при длительной транспортировке, она легко может быть сдавлена, изогнута и повреждена по углам;
- **Царапины и потертости на поверхности, вызванные вибрацией и ударами** : Неправильная упаковка в грузовиках и каютах кораблей может привести к трению пластин друг о друга или о металл поддона;
- **Окисление, конденсация или гигроскопическое расширение, вызванные изменениями температуры и влажности** : особенно при транспортировке через климатические зоны без защиты от высыхания;
- **Неполные материалы экспортной декларации приводят к задержкам таможенного оформления или возвратам** : таможня осуществляет строгий контроль за товарами из редких металлов, и неполные декларации могут привести к задержанию;
- **Различия в действующих нормах безопасности транспортировки и охраны окружающей среды** : например, некоторые европейские и американские страны классифицируют некоторые вольфрамовые сплавы как стратегические или военные материалы, для использования которых требуется специальное разрешение.

2. Меры предосторожности при внутренних перевозках

При доставке пластин из вольфрамового сплава по суше или воздуху в пределах Китая следует учитывать следующие моменты:

1. Стабильность упаковки и контроль штабелирования

- Поддоны должны быть изготовлены из массива дерева или пластика с высокой несущей способностью и однородной нижней пластиной;
- пластины из вольфрамового сплава и используйте защитные угловые накладки на четырех углах;
- Используйте нейлоновые ленты, термоусадочную пленку или стальные ленты, чтобы предотвратить скольжение всей упаковки;
- другие тяжелые предметы на вольфрамовой пластине, чтобы избежать сдавливания и деформации.

2. Выбор вида транспорта и оценка маршрута

- Для дорогостоящих или прецизионных вольфрамовых пластин рекомендуется отдавать приоритет доставке **специальным транспортом, авиаэкспрессом** или **логистическими каналами с низким уровнем вибрации** ;
- При транспортировке на большие расстояния избегайте зон риска, таких как сезоны с высокой температурой и высокой влажностью, концентрированные длительные праздники и ухабистые дороги в горной местности;
- Мы можем сотрудничать с опытными сторонними профессиональными компаниями по логистике металлов, такими как SF Express Large Cargo, Deppon Heavy Cargo и Sinotrans Logistics.

3. Четкая маркировка и инструкции по обращению

- На внешней стороне упаковки должны быть напечатаны значки, такие как «Поднимать тяжелые предметы», «Влагонепроницаемо» и «Не переворачивать»;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Если общий вес поддона превышает 500 кг, его следует перемещать с помощью вилочного погрузчика или крана. Ручная принудительная разгрузка строго запрещена.

III. Международные транспортные стандарты и управление их соблюдением

1. Распространенные методы экспортной транспортировки

Вид транспорта	Применимые сценарии	Функции
Морские перевозки (FCL/LCL)	Крупномасштабный экспорт	Цикл транспортировки длительный и требуется влагозащитная обработка.
Авиаперевозки (DHL, FedEx, SF Express)	Срочный заказ, световая пластина	Высокая стоимость, требуется авиационная сертификация
Железнодорожный/Китайско-Европейский Экспресс	Экономично и практично для экспорта в Европу	Скорость средняя, требуется таможенное оформление.
Международная экспресс-доставка (UPS и т. д.)	Образцы небольших партий	Удобное таможенное декларирование, ограниченные размеры и вес

2. Стандарты таможенного декларирования и классификация кодов

Пластины из вольфрамового сплава обычно классифицируются в Таможенном кодексе Китая (код HS) следующим образом:

- **8101.99.10** : Плиты и листы из вольфрамового сплава (необработанные или предварительно обработанные)
- **8101.99.90** : Прочие изделия из вольфрама (с указанием состава сплава и назначения)

Необходимые документы для экспорта включают в себя:

- Счет-фактура на продукцию и упаковочный лист;
- Сертификат происхождения (например, китайская продукция, экспортируемая в страны ЕС или страны ВРЭП);
- Подтверждение таможенного кода и стандартизированного описания наименования товара;
- Если речь идет о военном, ядерном или высокотехнологичном использовании, **может потребоваться экспортная лицензия** или заявление о конечном использовании .

3. Заметки о транспортных контейнерах

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Старайтесь использовать тяжелые 20-футовые шкафы (20GP) для загрузки пластин из вольфрамового сплава и избегайте складирования и смешивания в обычных деревянных ящиках;
- Между каждым поддоном с пластинами необходимо предусмотреть буферное пространство для предотвращения столкновений при транспортировке на большие расстояния;
- Установите пакеты с осушителем и влагонепроницаемые коврики, чтобы обеспечить относительную влажность внутри контейнера менее 60%;
- На внешней стороне двери шкафа следует разместить этикетки с надписями «Изделие из тяжелого металла высокой плотности» и «Расположение точки подъема».

4. Международная сертификация и соответствие требованиям безопасности перевозок

При экспорте продукции в Европу, Америку, Японию, Южную Корею и другие регионы с высокими требованиями следует обратить внимание на соблюдение следующих условий транспортировки:

- **Паспорт безопасности материала MSDS** : в нем должны быть указаны физические и химические свойства вольфрамового сплава, а также рекомендации по транспортировке и хранению;
- **Описание RoHS/REACH** : Сертифицирует, что продукт не содержит вредных тяжелых металлов или органических загрязнителей;
- **Декларация о применимых правилах транспортировки (неопасные грузы)** : большинство пластин из вольфрамового сплава не классифицируются как опасные грузы, но для упрощения таможенной очистки требуется заявление о стабильности материала;
- **Маркировка ООН на упаковке или описание единицы товара, не относящееся к ООН** : требуется для указания того, что перевозимый товар не содержит предметов, включенных в Список опасных грузов Организации Объединенных Наций.

IV. Механизм предотвращения и страхования транспортных происшествий

Повреждение, утеря или неправильная доставка пластин из вольфрамового сплава во время транспортировки часто приводит к значительным экономическим потерям. Поэтому рекомендуется разработать механизм реагирования на риски:

- **Делайте фотографии и архивируйте их перед тем, как покинуть завод** : фиксируйте статус готовой продукции в качестве основы для логистических претензий;
- **Полное транспортное страхование** : вы можете выбрать «полное транспортное страхование», чтобы покрыть убытки, повреждения, задержку доставки и т. д.
- **Соглашение о сотрудничестве в области логистики** : Подпишите договор с транспортной компанией, чтобы четко определить границы ответственности и избежать двусмысленности в обязанностях;
- **Используйте систему GPS-отслеживания логистики** : мониторинг маршрутов транспортировки ключевых заказов в режиме реального времени.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

V. Резюме

Пластины из вольфрамового сплава – одно из звеньев цепочки поставок, наиболее подверженное воздействию окружающей среды и управления. На внутреннем и международном уровнях, от методов упаковки до процессов декларирования, требуется многомерная координация для обеспечения «безопасности, соответствия требованиям и эффективности» с точки зрения физики, нормативных требований и клиентского опыта. Для экспортно-ориентированных компаний создание развитой системы транспортных стандартов, библиотеки шаблонов таможенных деклараций и механизма реагирования на логистические риски значительно повысит доверие клиентов и возможности поставок на рынок.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

Core advantages: 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

Quality cost: optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

Advanced capabilities: advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

Service commitment

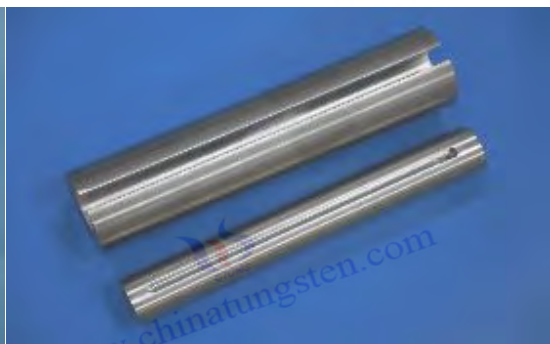
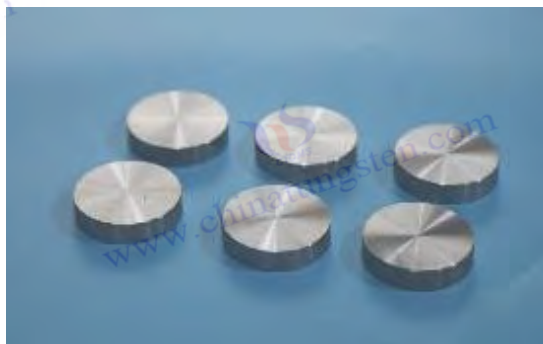
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

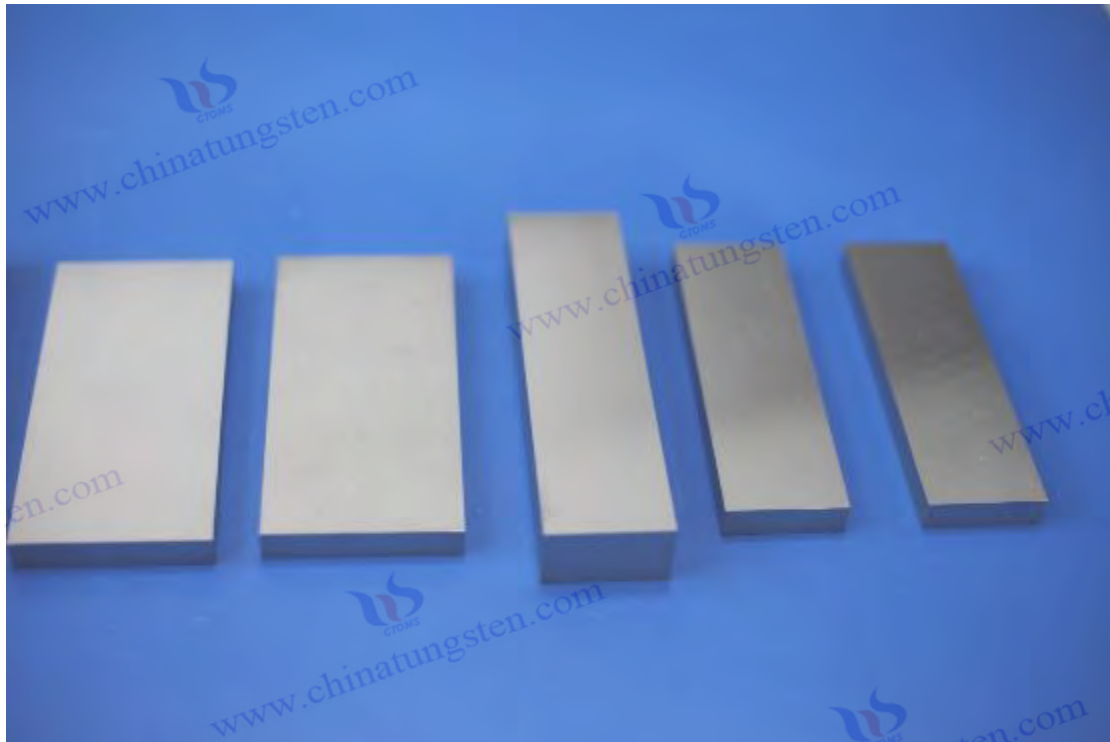
Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Глава 9. Структура промышленности и тенденции рынка пластин из вольфрамового сплава

9.1 Глобальное состояние ресурсов вольфрама и цепочка обработки пластин

Вольфрам – стратегический редкий металл. Благодаря высокой температуре плавления, высокой плотности, твёрдости и хорошим термическим, электрическим и механическим свойствам он широко используется в таких ключевых областях, как национальная оборона, аэрокосмическая промышленность, атомная энергетика, электроника и медицина. Пластины из вольфрамовых сплавов являются важной частью продуктов глубокой переработки вольфрама и ключевым промежуточным продуктом для достижения высоких эксплуатационных характеристик, структурных и функциональных свойств вольфрамовых материалов. Развитие его производственной цепочки тесно связано с глобальным распределением ресурсов вольфрама.

1. Глобальное распределение ресурсов вольфрама и структура запасов

По данным Геологической службы США (USGS) за 2024 год, мировые разведанные запасы вольфрама составляют около 3,5 млн тонн металла, при этом их распределение отражает региональную концентрацию и особенности отдельных стран :

Страна/регион	Запасы вольфрамовой руды (10 000 тонн)	Глобальная доля	Основные районы добычи
Китай	190	Около 54%	Даю, Цзянси, Шичуюань, Хунань, Луаньчуань, Хэнань
Россия	120	Около 34%	Забайкальский край, Дальний Восток

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Вьетнам	9	< 3%	Перей Майн
Боливия	5	< 2%	Провинция Оруро
Другие страны (Португалия, Австрия, Южная Корея и др.)	Менее 5%	Более разбросанный	—

Китай является крупнейшим в мире владельцем и основным производителем вольфрамовых ресурсов. Он не только контролирует более половины минеральных ресурсов, но и контролирует более 70% мирового экспорта вольфрамового сырья и мощностей по его первичной переработке, оказывая существенное влияние на глобальную цепочку вольфрамовой промышленности.

2. Добыча и первичная плавка вольфрамовых руд

Вольфрам встречается преимущественно в вольфраматных минералах, включая вольфрамит (с высоким содержанием WO_3), шеелит и тунгстенил. Промышленный процесс его извлечения осуществляется следующим образом:

- Горнодобывающая промышленность и обогащение руд** : Подземная и открытая добыча используется для получения высококачественного вольфрамового концентрата путем гравитационного разделения, флотации и электромагнитного разделения;
- Химическое преобразование** : Вольфрамовый концентрат преобразуется в паравольфрамат аммония (АРТ) или вольфрамат натрия путем щелочного разложения, осаждения кислотой и кристаллизации.
- Восстановительная плавка** : АРТ восстанавливается водородом для получения высокочистого вольфрамового порошка;
- Подготовка порошка для глубокой переработки** : Вольфрамовый порошок классифицируется по размеру частиц и используется для прессования в порошковой металлургии или высокотемпературного литья;

Этот процесс представляет собой исходную ресурсную базу для производства пластин из вольфрамового сплава.

3. Структура производственной цепочки пластин из вольфрамового сплава

Пластины из вольфрамового сплава состоят из «минеральные ресурсы → металлургическая очистка → конструкция сплава → формовка пластин → обработка поверхности → интеграция применения», которую можно разделить на следующие звенья:

1. Сырье

- Включая АРТ, порошок металлического вольфрама, порошок сплава вольфрама-никеля-железа, порошок сплава вольфрама-меди и т. д.;
- Требуются высокая чистота, контролируемый размер частиц и хорошая равномерность распределения.

2. Легирование и прессование

- молибден и другие связующие металлы в пропорции;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Плита формируется методом компрессионного формования или изостатического прессования.

3. Спекание и термическая обработка

- Высокотемпературное спекание (1300~1600°C) в водородной или инертной атмосфере;
- Последующие процессы вторичной обработки включают горячую прокатку, горячее изостатическое прессование, вакуумную обработку и т. д.

4. Обработка поверхности пластины и оптимизация производительности

- Включая полировку, травление, гальванопокрытие, физическое осаждение из паровой фазы (PVD) и т. д.
- Для улучшения качества поверхности, теплопроводности, стойкости к окислению и других свойств.

5. Интегрированные приложения нисходящего потока

- Детали конструкций аэрокосмической техники, броня для радиационной защиты, маски для радиотерапии, детали конструкций высокотемпературных вакуумных печей, компоненты электронного охлаждения и другие области.

4. Характеристика глобальной производственной цепочки производства пластин из вольфрамовых сплавов

Пластины из вольфрамового сплава отражают очевидные характеристики **глобального разделения труда и региональной координации** :

- **Китай** : страна имеет наиболее полную цепочку производства вольфрама, включая добычу, выплавку, легирование и формовку листов, и является основным мировым источником поставок;
- **Страны Европы и Америки** : они сильны в областях применения с высокой добавленной стоимостью, военных технологиях и испытаниях стандартных систем. Некоторые специальные пластины из вольфрамовых сплавов требуют импорта или обработки на заказ;
- **Япония и Южная Корея** : специализируется на прецизионной обработке вольфрамовых сплавов, вакуумной термообработке и технологиях нанесения покрытий на поверхность. Продукция используется в высокотехнологичной электронной и медицинской промышленности.
- **Развивающиеся страны** (например, Вьетнам и Боливия): богаты ресурсами, но слабы в плане перерабатывающих мощностей, в основном служат направлениями экспорта сырья.

V. Резюме

Ресурсы вольфрама определяют высокий порог и высокотехнологичность отрасли производства вольфрамовых пластин. Будучи крупнейшей в мире страной по запасам вольфрама и центром его переработки, Китай обладает преимуществами на всех этапах цепочки производства — от добычи до производства пластин. Однако Китай также сталкивается с многочисленными проблемами, такими как **повышение технических стандартов, диверсификация конечного спроса и усиление международной рыночной конкуренции** . В этом контексте создание экологичной, эффективной и высокодоходной

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

системы переработки вольфрамовых пластин, а также расширение международного рынка высококачественной продукции станут основными направлениями будущего развития.

9.2 Анализ емкости рынка пластин из вольфрамового сплава и будущего роста

Продукция глубокой переработки вольфрама, пластины из вольфрамовых сплавов, благодаря своим превосходным физическим и химическим свойствам занимают незаменимое место во многих высокотехнологичных областях. В последние годы, в связи с развитием высокотехнологичной мировой обрабатывающей промышленности, военной промышленности и стратегии энергетической безопасности, а также ростом спроса на развивающихся рынках, таких как медицина и электроника, емкость рынка пластин из вольфрамовых сплавов демонстрирует устойчивую тенденцию к расширению. В данном разделе будут проанализированы производственные мощности, структура спроса, факторы роста рынка и будущие тенденции развития пластин из вольфрамовых сплавов на мировом и китайском рынках.

1. Обзор мирового рынка пластин из вольфрамового сплава

По данным Международной ассоциации вольфрамовой промышленности (ITIA) и ряда исследовательских институтов, к 2024 году емкость мирового рынка пластин из вольфрамовых сплавов составит приблизительно от 1,4 до 1,6 млрд долларов США , при среднегодовом темпе роста от 6% до 8% и будет демонстрировать следующие характеристики:

1. Диверсифицированная структура рынка

Пластины из вольфрамового сплава широко используются во многих областях, включая национальную оборону, аэрокосмическую промышленность, энергетику, медицину, машиностроение и точную электронику.

Промышленность	Доля (оценка на 2024 год)
Аэрокосмическая и военная промышленность	30%
Ядерная энергия и новая энергия	20%
Медицинское облучение и защита	15%
Высокотемпературная металлургия и производство оборудования	10%
Корпуса полупроводников и электроники	15%
Прочее (формы, научные исследования и т. д.)	10%

Особенно в пластинах радиационной защиты, пластинах конструкций рассеивания тепла и компонентах высокотемпературных тепловых полей пластины из вольфрамового сплава обладают преимуществами, которые не могут быть заменены традиционными материалами, такими как свинец, сталь и медь.

2. Увеличилась доля продукции с высокой добавленной стоимостью

По мере того, как области применения становятся всё более точными и функциональными, рыночный спрос на пластины из высокочистых, высокопрочных и высокоплотных вольфрамовых сплавов продолжает расти. Доля продукции, включающей наноструктурированные пластины, функциональные градиентные материалы и композитные пластины с покрытием, увеличивается с каждым годом.

2. Тенденции развития рынка пластин из вольфрамового сплава в Китае

Китайская промышленность по производству вольфрамовых пластин, являющаяся крупнейшим в мире источником и производителем вольфрама, за последнее десятилетие преобразовалась из отрасли «экспорта ресурсов» в отрасль «глубокой переработки материалов». В настоящее время объём китайского рынка вольфрамовых пластин оценивается более чем в 3 млрд юаней (примерно 400 млн долларов США) и продолжает расти в следующих областях:

1. Высокий спрос на производство высокотехнологичного оборудования

Такие национальные стратегии, как «Высокотехнологичное производство 2025» и «Военно-гражданская интеграция», способствовали значительному росту использования пластин из вольфрамовых сплавов в следующих областях:

- Противовес и теплозащитная конструкция гиперзвукового аппарата;
- Защита активной зоны реактора и пластины для поглощения нейтронов;
- Прецизионные защитные компоненты в системах лучевой терапии и КТ-визуализации;
- Теплоизоляционные элементы в лазерном технологическом оборудовании и плазменном оборудовании.

2. Быстрое расширение производственных мощностей и непрерывная технологическая итерация

Ряд ключевых предприятий, представленных China Tungsten High-Tech, AVIC Matt, Xiamen Golden Heron, CTIA GROUP LTD и другими предприятиями, продолжили увеличивать инвестиции в сферу пластин из вольфрамового сплава и запланировали следующее:

- Линия по производству пластин из порошковой металлургии высокой плотности;
- Линия по производству вакуумного горячекатаного листа;
- Линия по нанесению композитных покрытий на поверхности;
- Система высокоточного производства пластин высокой чистоты для медицинских пластин ядерной защиты.

Этот ряд инвестиций не только улучшил возможности внутреннего рынка поставок, но и повысил конкурентоспособность экспорта на международном рынке.

3. Основная движущая сила роста рынка

Рынок пластин из вольфрамового сплава в основном обусловлен следующими аспектами:

1. Новые требования к приложениям продолжают появляться

Например, ядерная энергетика третьего поколения, устройства ядерного синтеза, аэрокосмическая ядерная энергетика, экстремально высокотемпературная металлургия и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

материалы с высокой теплопроводностью для корпусирования электронных микросхем — все это выдвигает более высокие требования к эксплуатационным характеристикам пластин из вольфрамового сплава и обуславливает рост спроса на этот материал.

2. Глобальная стратегия ресторации производства и замещения внутреннего производства

Такие производственные гиганты, как США, Германия и Япония, способствуют возвращению высокотехнологичных отраслей промышленности и непрерывной закупке функциональных материалов на основе вольфрама; в то же время Китай осуществляет внутреннюю замену «узких мест» и ускоряет прорывы в производстве пластин из высокопроизводительных вольфрамовых сплавов в ключевых областях.

3. Материальная модернизация, вызванная политикой защиты окружающей среды

В условиях ограничений экологических норм, таких как RoHS и REACH, пластины из вольфрамового сплава обладают очевидными преимуществами в качестве заменителей свинца в материалах для радиационной защиты и электроники, и темпы их проникновения на рынок продолжают расти.

IV. Прогноз роста рынка на следующие пять лет (2025–2030 гг.)

Принимая во внимание глобальные политические ориентиры, интенсивность спроса в конечном итоге и скорость технологического развития, ожидается, что рынок пластин из вольфрамового сплава сохранит тенденцию к среднему или высокому росту в течение следующих пяти лет :

годы	Размер мирового рынка (млрд долларов США)	Размер рынка Китая (100 млн юаней)	Примечания
2024	15.5	30	Текущие оценки
2025	16.8	34	Спрос на ядерную энергетику и электронику значительно вырос
2026	18.5	39	Медицина и новая энергетика стимулируют выпуск новых производственных линий
2027	20.3	44	Многоэлементные сплавы и интеллектуальная производственная интеграция
2028	22.0+	50+	Нанолисты и композитные функциональные материалы становятся все более популярными

Среди них наиболее быстрорастущими сегментами рынка станут защитные панели высокой плотности для медицинского применения , панели со сверхпроводящей электронной охлаждающей структурой и панели с покрытием для лазерной теплозащиты.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

V. Резюме

Пластины из вольфрамовых сплавов приобретают всё большую популярность в мировой высокотехнологичной обрабатывающей промышленности, особенно играя ключевую роль на стыке стратегических и функциональных материалов. Благодаря постоянному расширению сфер применения, постоянному повышению стандартов производительности и ужесточению экологических требований, рынок пластин из вольфрамовых сплавов будет развиваться в сторону **высокой точности, функциональности и эффективности**. Ключом к успеху компаний, производящих пластины из вольфрамовых сплавов, в ближайшие пять лет станет своевременное использование возможностей модернизации производственных цепочек и глобального спроса.

9.3 CTIA GROUP LTD Пластина из вольфрамового сплава

Являясь важным промоутером в области новых материалов из вольфрамовых сплавов в Китае, CTIA GROUP LTD Компания специализируется на исследованиях и разработках, производстве и промышленном применении вольфрама и материалов для глубокой переработки на его основе. В области пластин из вольфрамовых сплавов компания создала системную и полную техническую систему и матрицу продуктов, обладающую мощными возможностями технической интеграции, возможностями разработки оборудования и влиянием в отрасли, и занимает важное место на внутреннем рынке высококачественных пластин из вольфрамовых сплавов.

1. Обзор корпорации и стратегическое позиционирование

Компания CTIA GROUP LTD позиционирует себя как «поставщик высококачественных решений в области материалов на основе вольфрамовых сплавов». Опираясь на промышленное преимущество Китая в области ресурсов вольфрама, металлургических технологий, оборудования для порошковой металлургии и т.д., компания специализируется на систематической разработке **высокоплотных вольфрамовых сплавов, высокочистых вольфрамовых пластин и конструкционных деталей из вольфрамовых сплавов специальной формы**. Её продукция широко используется в таких высокотехнологичных областях, как аэрокосмическая промышленность, атомная энергетика, медицинское оборудование, высокотемпературное оборудование и прецизионная электроника. Компания фокусируется на дифференцированных конкурентных стратегиях и фокусируется на следующих стратегических направлениях:

- **Замена высококачественных вольфрамовых пластин: достижение внутреннего прорыва** в производстве импортозависимых вольфрамовых пластин, таких как пластины для ядерной защиты, прецизионные пластины терморегулирования, медицинские защитные пластины и т. д.;
- **Разнообразные индивидуальные услуги** : Мы можем разработать различные системы сплавов (такие как W-Ni-Fe, W-Ni-Cu, W-Mo-Ti и т. д.) и спецификации размеров пластин в соответствии с требованиями заказчика;
- **Интеллектуальная модернизация процесса: содействие** созданию интегрированных интеллектуальных производственных линий для обработки порошков - прессования - спекания - прокатки - отделки;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Экологичное производство и соответствующий экспорт:** строгое соблюдение систем защиты окружающей среды, таких как RoHS, REACH, ISO14001, и создание качественных каналов сбыта на международных рынках, таких как Европа, Америка, Япония и Южная Корея.

2. Основная система производства пластин из вольфрамового сплава

China Tungsten Intelligence в основном охватывает следующие типы:

Категория доски	Система сплавов	Типичная плотность (г/см³)	Области применения
Вольфрамовая пластина с высоким удельным весом	W-Ni-Fe, W-Ni-Cu	17,0~18,5	Авиационно-космическая техника, инерциальные компоненты, балансировочные грузы
Медицинская защитная пластина	W-Ni-Cu немагнитного типа	17,0~17,8	Оборудование для радиотерапии, радиационная защита при КТ
Панель защиты от ядерной энергии	W-Mo, W-Re	18.0~19.0	Защита ядерного реактора, структура поглощения нейтронов
Прецизионный радиатор	Высокая чистота W или W-Cu	17,5~19,0	Теплоотвод для микроэлектроники, подложка для упаковки
Сверхвысокотемпературные структурные панели	W-Ti-Cr	18,0~18,8	Компоненты теплового поля, футеровка реакционного устройства
Функционально градуированные пластины	Композитная структура W-FGM	Проектируемый	Многофункциональная ламинированная структура

Диапазон размеров продукции составляет **толщину от 0,3 мм до 50 мм, ширину от 10 мм до 300 мм, длину от 20 мм до 1500 мм** . Пластины специальной формы, перфорированные пластины, рифленые пластины, пластины с покрытием и другие конструктивные детали могут быть изготовлены по индивидуальному заказу в соответствии с чертежами.

3. Основные технологические преимущества

Технические преимущества компании CTIA GROUP LTD в области пластин из вольфрамовых сплавов в основном отражаются в следующих аспектах:

1. Приготовление порошка и контроль гранулометрического состава

- Самостоятельно разработали многоступенчатый восстановительный процесс получения порошка вольфрама;
- Достижение контроля размера частиц в диапазоне 0,5~10 мкм и поддержка настраиваемых параметров распределения;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Оптимизировать механизм активного рассеивания в соответствии с различными соотношениями систем сплавов.

2. Возможность многопроцессного формирования траектории

- Компрессионное формование: подходит для стандартных размеров и массового производства;
- Изостатическое прессование: используется в случаях, когда требуется высокая плотность и сложная форма;
- Горячая прокатка + вакуумный отжиг: улучшение однородности листа и производительности обработки;
- Поверхностная шлифовка/травление/вакуумная обработка композитных материалов PVD отвечает многочисленным эксплуатационным требованиям, таким как теплопроводность и коррозионная стойкость.

3. Интеллектуальная производственная система

- Внедрение системы управления MES для обеспечения прослеживаемости данных на протяжении всего производственного процесса;
- Создать автоматическую систему распознавания изображений дефектов номерных знаков;
- Самостоятельная разработка устройства защиты от низкого содержания кислорода для повышения чистоты платы.

IV. Результаты отраслевого сотрудничества и рыночного применения

Пластины из вольфрамового сплава компании CTIA GROUP LTD широко используются во многих ключевых отечественных и корпоративных проектах, включая:

- Совместная разработка сверхплотных пластин для инерционных противовесов с **Китайской корпорацией аэрокосмической науки и технологий**;
- Поставка защитных пластин ядерного класса для **CGN и CNNC Engineering**;
- защитные пластины из вольфрамового сплава для производителей медицинского оборудования, таких как **Shanghai United Imaging и Mindray Medical**;
- Поставка теплопроводящих вольфрамовых пластин и теплорассеивающих композитных структурных деталей компаниям **Huawei, BYD Electronics и т. д.**

V. Проблемы и перспективы развития

Несмотря на то, что компания CTIA GROUP LTD заняла прочные позиции на внутреннем рынке, в будущем ей предстоит решить следующие задачи:

- Высокочистое сырье импортируется и имеет ограничения по стоимости;
- Между нами и международными гигантами все еще существует разрыв в плане систем тестирования и технических барьеров;
- Необходимо усилить фундаментальные исследования в таких специальных областях, как поглощение нейтронов и высокочастотное рассеивание тепла.

С этой целью компания сосредоточится на следующих направлениях:

- Построить **собственную линию по производству высокочистого порошка** для снижения затрат и контроля рисков;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Тесно сотрудничать с научно-исследовательскими институтами для содействия передовым исследованиям и разработкам **вольфрамовых функциональных пластин** ;
- Укрепить индивидуальное сотрудничество с конечными потребителями и разработать комплексное решение «вольфрамовая пластина + обработка + упаковка + применение».

VI. Резюме

В отрасли производства пластин из вольфрамовых сплавов компания CTIA GROUP LTD преобразовалась из традиционного производителя материалов в поставщика комплексных решений. Постоянная оптимизация производственных линий, технологических возможностей и разработки приложений не только повысила общее качество отечественных высокопроизводительных вольфрамовых пластин, но и придала новый импульс развитию мировой отрасли производства пластин из вольфрамовых сплавов благодаря стратегии «Производственные мощности Китая + Интеллектуальное производство Китая».

9.4 Анализ связи между ценами на сырье, ценами на энергоносители и ценами на листовой прокат

На стоимость пластин из вольфрамовых сплавов влияют колебания цен на сырье на начальных этапах производства, затраты на энергоносители, сложность производственного процесса и колебания спроса на последующих этапах. Среди них сырье (вольфрамовый порошок, связующий металл), энергия (электричество, атмосферный газ), инвестиции в оборудование и затраты на рабочую силу занимают ключевое место в структуре себестоимости пластин из вольфрамовых сплавов. В этом разделе будет подробно проанализирован внутренний механизм формирования цен на пластины из вольфрамовых сплавов, а также изучены пути передачи и цикл реакции изменений цен на сырье и энергоносители на рыночные цены пластин из вольфрамовых сплавов.

1. Анализ структуры затрат на пластину из вольфрамового сплава

В общем случае себестоимость изготовления пластины из вольфрамового сплава состоит из следующих частей:

Компоненты затрат	Процентный диапазон (типичная оценка)
Затраты на сырье (АПТ, вольфрамовый порошок, Ni/Cu/Fe)	45% ~ 60%
Потребление энергии (электричество, водород, инертный газ)	10% ~ 20%
Процесс производства и амортизация оборудования	10% ~ 15%
Расходы на оплату труда и управление	5% ~ 10%
Обработка поверхности и контроль качества	5% ~ 10%

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Видно, что основными переменными, определяющими колебания цен на пластины из вольфрамового сплава, являются **цены на сырье и потребление энергии**.

2. Механизм передачи цены на вольфрамовый порошок и АРТ на цену пластины

1. Влияние колебаний цен на сырье в добывающей отрасли

Вольфрамовые пластины в основном изготавливаются из паравольфрамата аммония (АРТ), который восстанавливается водородом для получения вольфрамового порошка с последующим добавлением Ni, Cu и других связующих металлов. Цена АРТ тесно связана с ценой вольфрамового концентрата и имеет определённую периодичность и резкость колебаний. Колебания цен на вольфрамовый порошок отражаются на конечной цене пластин из вольфрамового сплава следующим образом:

Цена на вольфрамовый концентрат $\uparrow \rightarrow$ Цена АРТ $\uparrow \rightarrow$ Цена на вольфрамовый порошок $\uparrow \rightarrow$ Стоимость порошка сплава $\uparrow \rightarrow$ Цена за единицу пластины растёт
период задержки в этом процессе передачи составляет около 2–4 недель, но если это долгосрочное изменение тенденции, производственные компании часто снижают риски, подписывая квартальные/годовые контракты на закупку и корректируя стратегии управления запасами.

2. Синергия цен на металлы

- **Цены на никель (Ni) колеблются в широких пределах** и в последние годы существенно зависят от спроса на новую энергию (батареи);
- **Цены на медь (Cu) и железо (Fe) ближе к циклическим колебаниям промышленных металлов**, но их общие колебания оказывают меньшее влияние, чем на вольфрамовый порошок.

Хотя изменения стоимости связующего металла не столь радикальны, как изменения стоимости вольфрамового порошка, ее колебания в пластинах из объемного сплава (например, системы W-Ni-Cu) также существенно повлияют на конечную цену.

3. Влияние цен на энергоносители на себестоимость производства листов

Производство пластин из вольфрамового сплава — весьма энергоёмкий процесс, при этом основное потребление энергии сосредоточено на:

- **Стадия спекания в защитной атмосфере водорода**;
- **Высокотемпературная электрическая печь, необходимая для горячей прокатки и отжига**;
- **Для холодной обработки и обработки поверхности требуется обслуживание сжатого воздуха, охлаждающей воды и электролита**.

Цены на энергию на вольфрамовых пластинах следующие:

Цены на электроэнергию и водород $\uparrow \rightarrow$ Стоимость единицы энергии для листового металла $\uparrow \rightarrow$ Предельная себестоимость производства листового металла $\uparrow \rightarrow$ Рост рыночных цен

Если взять в качестве примера изменения цен на промышленную электроэнергию в некоторых провинциях Китая с 2022 по 2024 год, то рост цен на электроэнергию на 15–30% может привести к увеличению удельной стоимости потребления энергии для пластин из

вольфрамового сплава на 3–5%, особенно для компаний, использующих вакуумные электрические печи и процессы изостатического прессования и спекания.

4. Цикличность колебаний цен на пластины из вольфрамового сплава и рыночные связи

Пластины из вольфрамового сплава демонстрируют следующие **регулярные характеристики** :

1. Циклический тип: эффект суперпозиции сырьевого цикла и промышленных запасов.

- При поступлении АПТ или вольфрамового порошка в восходящий канал предприятия готовят материалы заранее, что приводит к удорожанию пластин;
- Когда спрос на листовом прокате недостаточен, а запасы накапливаются, цены на листовую прокат начнут падать с задержкой.

2. Тип конструкции: ценовая дифференциация между панелями премиум-класса и стандартными панелями

- высокочистые, высокоплотные, тонкие пластины, а также пластины небольшого размера, изготовленные по индивидуальному заказу, подвержены большим колебаниям и в большей степени зависят от затрат труда и энергии;
- Стандартные панели характеризуются значительной экономией за счет масштаба и относительно стабильными ценами, что позволяет легко превратить их в справочные цены в отрасли.

3. Региональный: в разных странах действуют разные механизмы передачи цен.

- В Китае в основном используется ценообразование на основе затрат, а на цены сильно влияет связь между НППТ и энергоносителями;
- Европейские и американские компании, как правило, придерживаются долгосрочных соглашений о поставках и функционального ценообразования (например, ценообразования, основанного на эффективности радиационной защиты), что делает колебания цен более «сглаженными».

5. Резюме и обзор тенденций

Цены на пластины из вольфрамовых сплавов отражают тройственную взаимосвязь: **сырье играет ведущую роль, энергия играет синергетический эффект, а рынок играет регулирующую роль** . Ожидается, что в течение следующих пяти лет, в связи с ужесточением глобальных стратегий в отношении ресурсов вольфрама и сохраняющимися высокими ценами на электроэнергию и водород, цены на пластины из вольфрама продолжат колебаться в рамках модели «высоких колебаний и структурной дифференциации».

Производители пластин из вольфрамового сплава должны:

- Укрепить возможности закупок, ведения переговоров и резервирования АРТ и вольфрамового порошка;
- Повысить энергоэффективность процессов и степень автоматизации оборудования;
- Избегайте ценовых рисков за счет функционального ценообразования и дифференцированных продуктовых стратегий.

Только так мы сможем добиться стабильной прибыли и повысить устойчивость рыночного риска в условиях нестабильной ресурсной и энергетической среды.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

9.5 Технические барьеры и стратегия углубленного развития отраслевой цепочки

Будучи представителем высококачественных металлических функциональных материалов, пластины из вольфрамового сплава широко используются в ядерной защите, аэрокосмической промышленности, медицинском оборудовании, прецизионной электронике, высокотемпературном производстве и других областях, предъявляющих чрезвычайно высокие требования к производительности, точности, стабильности и надежности. В связи с этим в этой области существуют значительные технические барьеры и барьеры для входа на рынок. В то же время глобальная производственная цепочка расширяется в сторону высокой точности, кастомизации и экологичности, что создает все более сложные задачи для комплексной координации процессов на всех этапах.

В этом разделе будут проанализированы основные барьеры и стратегические планы реагирования в отрасли производства пластин из вольфрамовых сплавов с точки зрения технических пороговых значений, сложностей основных процессов, механизмов координации на верхних и нижних звеньях цепочки, узких мест внутреннего замещения и путей углубленного развития.

1. Анализ основных технических барьеров пластин из вольфрамового сплава

Пластины из вольфрамовых сплавов охватывают множество междисциплинарных дисциплин, таких как металлургия, теплотехника, материаловедение и технология обработки поверхности. Технические барьеры, возникающие в этой области, в основном отражаются в следующих аспектах:

1. Технология контроля чистоты сырья и порошка

- Производство пластин из высокопроизводительного вольфрамового сплава должно основываться на высокочистом АРТ, а примеси (такие как Mo, Si, P, O, C) должны контролироваться на уровне ppm;
- Распределение размеров частиц порошка необходимо точно контролировать в диапазоне 1–10 мкм. Различные размеры частиц оказывают существенное влияние на скорость уплотнения, плотность спекания и однородность структуры.
- Контроль активности порошка (например, содержания поверхностного кислорода) напрямую связан с пластичностью листа и контролем усадки при спекании.

2. Технология спекания и уплотнения

- Оборудование для изостатического спекания при высоких температурах и давлении является дорогостоящим и сложным в управлении;
- Управление защитной атмосферой водорода требует точной регулировки потенциала кислорода, скорости потока и распределения теплового поля;
- Для пластин специальной формы и пластин сверхбольших размеров существуют такие проблемы, как сложность контроля деформации спекания и риск растрескивания под напряжением.

3. Процесс прокатки и термообработки листов

- вольфрамовые сплавы приводят к очень узкому диапазону горячей прокатки, что подвержено таким дефектам, как трещины кромок, коробление и крупное зерно;
- Холодную прокатку необходимо сочетать с промежуточным отжигом, чтобы предотвратить концентрацию напряжений, приводящую к образованию трещин;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Точный контроль толщины листа, плоскостности и допусков (в пределах $\pm 0,02$ мм) необходим для рынков с высокой добавленной стоимостью, таких как производство медицинских панелей.

4. Обработка поверхности и контроль композитных функций

- Высокотемпературное окисление, контроль шероховатости поверхности и высокие требования к адгезии гальванопокрытий;
- Технологии функционально-градиентных панелей и многослойных композитных панелей все еще находятся на стадии пилотных проектов и еще не вышли на широкомасштабное коммерческое использование;
- Регулирование поверхностной активности (гидрофильность/гидрофобность, радиационная стойкость) по-прежнему осуществляется с использованием импортных высокопроизводительных мембранных материалов.

2. Основные узкие места в цепочке производства пластин из вольфрамовых сплавов

1. Феномен «узкого места» в сырьевом звене

- Производство высокочистого АПТ и высокоактивного вольфрамового порошка по-прежнему сосредоточено в нескольких ведущих компаниях, а чистота и стабильность сырья оказывают большое влияние на выход конечной продукции;
- Связующие металлы (такие как Ni, Re и Mo) в основном импортируются или выплавляются мелкими партиями, чувствительны к цене и имеют хрупкие цепочки поставок.

2. Современное оборудование зависит от импорта

- Большая часть ключевого технологического оборудования, такого как печи для высокотемпературного вакуумного спекания, прецизионные прокатные станы, системы плазменного осаждения из газовой фазы и оборудование для неразрушающего контроля КТ, импортируется из Европы, США, Японии и Южной Кореи и имеет такие проблемы, как длительные циклы технического обслуживания оборудования, техническая конфиденциальность и высокие затраты на модернизацию.

3. Несовершенная система контроля качества

- Крупные заказчики (атомная энергетика, военная промышленность и медицина) предъявляют чрезвычайно высокие требования к постоянству и стабильности от партии к партии, однако системы качества некоторых отечественных компаний им не соответствуют;
- Отсутствуют стандартизированные платформы неразрушающего контроля и высокоточные системы физического моделирования.

3. Международное сравнение: технологический разрыв и направление прорыва

проект	Европа, Америка, Япония и Южная Корея (компании-представители)	Текущая ситуация в Китае (представители предприятий)	Направление разрыва
Чистота пластины и	Plansee, Tosoh, Hitachi	CTIA GROUP	Контроль

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

однородность ткани		LTDПроизводство	однородности размера частиц и уплотнения при спекании
Композитные структурные панели и функциональная интеграция	Toshiba、 MolyWorks	Большинство из них — экспериментальные или военные проекты.	PVD-покрытие, технология FGM
Система точного контроля и испытаний	GE, Bruker, Zeiss	Зависимость от некоторых видов импорта	Высококласное оборудование КТ/НК
Система сертификации качества военной/атомной продукции	Идеально (AS9100, MIL-SPEC, ISO13485)	Ускорение прогресса	Большинство все еще находятся на стадии сопоставления и конверсии.

4. Предложения по стратегии углубленного развития цепочки производства пластин из вольфрамовых сплавов

1. Расширение производства: достижение самодостаточности в производстве высокочистого вольфрамового порошка и высококачественных связующих металлов.

- Содействовать интеграции возможностей глубокой переработки ресурсов вольфрама и расширить возможности очистки АРТ и многоступенчатого восстановления;
- Поддерживать строительство отечественных линий по производству микросплавов редких и драгоценных металлов (таких как Re и Ta);
- Создать комплексную систему производства порошка сплава на основе вольфрама для достижения интегрированного контроля размера частиц, чистоты и текучести.

2. Прорыв в области добычи нефти и газа: интеллектуальные технологии производства и независимая разработка ключевого оборудования

- Внедрение интеллектуальной системы управления для достижения замкнутого цикла регулирования спекания-прокатки-холодной обработки-термической обработки;
- Преодолеть проблему отечественной замены печей изостатического прессования/вакуумного спекания и содействовать цифровой интеграции оборудования;
- Создайте платформу «пилотного тестирования на уровне производственной линии + совместного тестирования с заказчиком» для ускорения проверки серийного производства новых материалов.

3. Сотрудничество на последующих этапах: разработка функциональных панелей и совместные инновации с конечными пользователями

- Глубоко интегрировать компании, работающие в сфере электроники, атомной энергетики и медицинского оборудования, и разрабатывать индивидуальные

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

продукты, основанные на принципе «интеграция производительности + снижение веса конструкции + точное соответствие»;

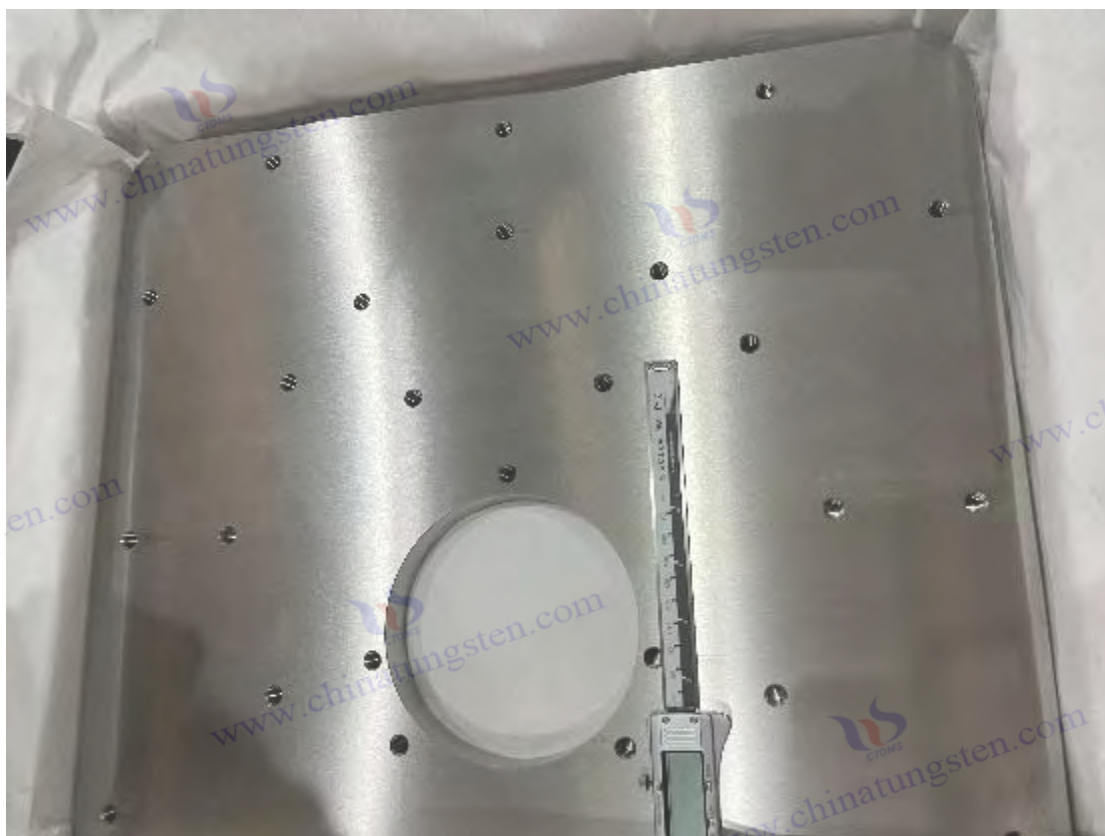
- Развивать возможности комплексных поставок: от сырья и пластин из вольфрамового сплава до полуфабрикатов и сборочных единиц;
- Продвигать цифровую систему прослеживаемости качества и создать возможность отслеживания всего жизненного цикла материалов, продуктов и приложений.

4. Стандартная система и построение проекта талантов

- Разработать технические стандарты и спецификации испытаний, охватывающие всю цепочку порошково-листовых-композитных конструкций;
- Создать комплексную команду НИОКР, охватывающую науку о вольфрамовых материалах, технологию поверхностей, физическое моделирование и т. д.;
- Поощрять университеты, научно-исследовательские институты и предприятия к совместному созданию «Исследовательского центра передовых технологий производства пластин из вольфрамового сплава».

V. Резюме

Отрасль производства пластин из вольфрамовых сплавов должна перейти от «ресурсоориентированного» подхода к «технологически ориентированному» и преодолеть ряд технических барьеров, таких как использование высокочистого сырья, плотного спекания, функциональных композитов, технологии поверхностной обработки и прецизионной обработки, а также содействовать совместным инновациям на всех этапах производственной цепочки. Только благодаря глубокой интеграции производственной цепочки, внедрению интеллектуальных производственных систем и совершенствованию системы стандартов, можно обеспечить конкурентоспособность бренда и стратегическую инициативу пластин из вольфрамовых сплавов «Made in China» в условиях жесткой конкуренции на мировом рынке.



Глава 10. Границы исследований и направления развития пластин из вольфрамовых сплавов

10.1 Механизм уплотнения пластины из сверхвысокоплотного вольфрамового сплава

В связи с экстремальным стремлением к плотности материалов в областях защиты ядерной энергетики, поглощения частиц высокой энергии, инерционных противовесов, высокоточного медицинского оборудования и т. д., пластины из сверхвысокой плотности вольфрамового сплава (плотность $\geq 18,5$ г/см³) становятся новым направлением исследований вольфрамовых материалов. Сам вольфрам имеет чрезвычайно высокую собственную плотность (19,25 г/см³), но в процессе легирования и формования пластин конечная плотность продукта часто оказывается ниже теоретического значения из-за таких факторов, как органическая пористость, примесные включения или необоснованное соотношение связующего металла. Достижение **предельной плотности (почти полной плотности)** пластин из вольфрамового сплава является одним из ключевых узких мест в промышленном применении высококачественных вольфрамовых пластин.

В этом разделе будут систематически обсуждаться микроскопический механизм, влияющие факторы, основные методы и последние достижения в исследованиях уплотнения пластин из вольфрамового сплава.

1. Основные принципы и определения уплотнения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Уплотнение представляет собой процесс устранения пор между частицами и уменьшения расстояния между атомами посредством нагрева и повышения давления в процессе формования методом порошковой металлургии, что позволяет улучшить объемную плотность и структурную целостность материала.

****Относительная плотность**** — важный показатель качества пластин из вольфрамового сплава. Метод расчёта следующий:

$$\text{Плотность (\%)} = \text{фактическая плотность} / \text{теоретическая плотность} \times 100\%$$

В пластинах из вольфрамового сплава теоретическая плотность зависит от соотношения вольфрама и связующего металла (например, Ni, Cu), тогда как фактическая плотность зависит от таких факторов, как морфология частиц, усадка при спекании и остаточные поры.

2. Микроскопический механизм процесса уплотнения

1. Перераспределение частиц порошка и оптимизация контактов

В процессе прессования зазоры между частицами минимизируются за счет формования или изостатического прессования, оптимизируется контактный угол между частицами и формируется предварительный структурный каркас.

2. Поверхностная диффузия и образование шейки

В начале нагрева на поверхности частицы происходит диффузия, образующая «шейку спекания», и атомы мигрируют вдоль поверхности в область с низкой энергией, сужая поры.

3. Межчастичные связи и объемная диффузия

На высокотемпературной стадии происходит зернограничная и объемная диффузия, поры сжимаются, между частицами образуются интерметаллические связи и постепенно устанавливается плотная структура.

4. Закрытие пор и сокращение

На дальнейшей стадии спекания закрытые поры диффундируют газ наружу, микропоры сжимаются, организация становится однородной и формируется микроструктура, близкая к теоретической плотности.

3. Ключевые факторы, влияющие на уплотнение

1. Характеристики пороха

- **Распределение размеров частиц** : мелкий порошок более способствует высокому уплотнению, но легко окисляется; крупный порошок снижает активность спекания;
- **Морфология и структура** : Сферический порошок обладает хорошей текучестью, что способствует прессованию и формованию, а также однородной плотностью;
- **Содержание кислорода и примесей** : высокое содержание кислорода приведет к образованию остатков WO_3 , препятствующих уплотнению и влияющих на стабильность ткани.

2. Соотношение фаз связующего

- Такие металлы, как Ni и Cu, в качестве связующих фаз могут значительно улучшить плотность и пластичность, но слишком высокая их доля снизит конечную плотность;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Оптимальное соотношение требует сбалансированной конструкции плиты по прочности, пластичности и плотности.

3. Давление подавления и методы

- Хорошую начальную плотность можно получить, контролируя давление формования в диапазоне 150~300 МПа;
- Изостатическое прессование (CIP) позволяет эффективно устранить направленность формования и улучшить постоянство плотности.

4. Температура и атмосфера спекания

- пластина из вольфрамового сплава имеет температуру 1350~1550 °С, и ее необходимо проводить в среде водорода высокой чистоты или вакуума;
- Время спекания влияет на закрытие пор и однородность микроструктуры.

5. Постобработка

- Горячее изостатическое прессование (ГИП) дополнительно повышает скорость уплотнения после спекания;
- Промежуточная прокатка + повторный отжиг позволяют устранить микропоры и улучшить плотность зерна.

4. Основные технические пути повышения уровня уплотнения

Технический путь	Преимущества	Ключевые моменты
CIP	Равномерное давление и высокая толерантность к сложности формы	Высокопрочная форма + технология точной упаковки порошка
Жидкофазное спекание	Добавьте связующий металл с низкой температурой плавления, чтобы облегчить диффузию.	Контроль соотношения металла и связи + оптимизация температурного окна
Горячее изостатическое прессование (ГИП)	Устранить остаточные микропоры и улучшить микроскопическую однородность	Контроль за средой высокой температуры и высокого давления + герметичная конструкция полости
Гомогенизация нанопорошка + ультратонкий	Увеличить скорость диффузии и улучшить эффективность формирования шейки	Контроль наноагломерации + обработка поверхности для предотвращения окисления
Многократная холодная прокатка + промежуточный отжиг	Уменьшить пористость и повысить плотность текстуры	Контролируемая скорость деформации + снятие остаточных напряжений
Лазерный переплав/электрошлаковый переплав и другие новые процессы	Уплотнение поверхности + ремоделирование микроструктуры	Равномерность подвода тепла + контроль зернистости поверхности

5. Новейшие исследования и будущие направления

1. Многомасштабное моделирование спекания

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Для моделирования эволюции пор и пути распространения напряжений в процессе спекания пластин из вольфрамового сплава, а также для оптимизации пути уплотнения используются метод конечных элементов (FEM), молекулярная динамика (MD), моделирование фазового поля (Phase-Field) и другие технологии.

2. Технология быстрой консолидации (например, SPS)

Метод искрового плазменного спекания обладает такими преимуществами, как высокий тепловой эффект и высокая степень сжатия, а также позволяет за короткое время достичь плотности, близкой к теоретической, что подходит для быстрой подготовки и экспериментального скрининга вольфрамовых пластин.

3. Разработка высокоплотных композитных структурных панелей

Разработать структуру градиентной плотности, многослойную пластину из вольфрамового сплава (высокая плотность в середине, прочность на поверхности) или пластину с покрытием для достижения баланса нескольких свойств.

4. Исследование технологического пути «высокое уплотнение + низкая деформация»

Благодаря сочетанию предварительного спекания при средне-низкой температуре и высоком давлении с вторичным вакуумным отжигом, вспомогательным спеканием под давлением и другими композитными процессами решается противоречие между сверхвысокой плотностью и деформационной стабильностью, что подходит для изготовления пластин сверхбольшой площади.

VI. Резюме

Пластины из вольфрамовых сплавов – это не только ключевой путь к повышению их структурной прочности, радиационной стойкости и терморегулирующих свойств, но и основа конкурентоспособности технологии обработки вольфрамовых сплавов. В будущем углубленные исследования механизма уплотнения продолжат способствовать технологическим прорывам в таких ключевых областях, как контроль свойств порошков, физические модели спекания и процессы прессования композитов, что позволит расширить применение пластин из вольфрамовых сплавов в экстремальных условиях и в высокотехнологичном оборудовании.

10.2 Аддитивное производство и интеллектуальные пластины из вольфрамового сплава

По мере того, как обрабатывающая промышленность переходит от традиционной пакетной обработки к цифровизации, кастомизации и интеллектуальным технологиям, технологии аддитивного производства (АП) постепенно проникают в высокопроизводительные системы материалов, включая вольфрамовые сплавы. В частности, для компонентов из пластин вольфрамовых сплавов со сложной структурой, индивидуальными требованиями и высокими требованиями к производительности АП предлагает новый путь преодоления ограничений традиционных процессов. Более того, с развитием Индустрии 4.0 интеллектуальные производственные системы, объединяющие интеллектуальные датчики, разработку на основе данных и замкнутый цикл управления, формируют производственную парадигму нового поколения для пластин из вольфрамовых сплавов.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

В этом разделе будут систематически обсуждаться прорывные изменения, вызванные интеллектуальным и аддитивным производством в области пластин из вольфрамового сплава, с точки зрения принципов технологии аддитивного производства, адаптивности пластин из вольфрамового сплава, интеграции интеллектуальной производственной системы и ее промышленных перспектив.

1. Потенциал применения аддитивной технологии производства пластин из вольфрамового сплава

1. Введение в аддитивное производство

Аддитивное производство — это **послойный** производственный процесс, в ходе которого трехмерная структура создается на основе цифровой модели с помощью лазера, электронного луча, струйной обработки, осаждения из расплава и т. д. Он подходит для изготовления металлических листов, сложных оболочек, структур с внутренними полостями и функциональных интегрированных деталей.

2. Проблемы и прогресс аддитивного производства вольфрамовых сплавов

Высокая температура плавления вольфрамового сплава ($>3400\text{ }^{\circ}\text{C}$), высокая теплопроводность и низкая пластичность приводят к следующим проблемам в традиционной технологии АП:

- Вероятно появление трещин, а также серьезная деформация и коробление;
- Лазерный/электронный луч имеет высокую отражательную способность и низкую скорость поглощения энергии;
- Порошок трудно сфероидизируется и имеет плохую текучесть.

Однако благодаря развитию следующих технологий АМ добилась прорыва в изготовлении пластин из вольфрамовых сплавов:

- **Электронно-лучевая плавка (ЭЛП)** : плавит вольфрамовый порошок в вакууме, чтобы уменьшить окисление и образование трещин;
- **Направленное энергетическое осаждение (DED)**: подходит для ремонта и близкой к чистой формовки крупногабаритных пластин из вольфрамового сплава;
- **Лазерная плавка порошка (LPBF)**: отличная плотность ($>98\%$) при изготовлении небольших высокоплотных вольфрамовых деталей;
- **Плазменная наплавка** : создание композита из функционально-градиентного вольфрамового слоя и подложки.

2. Преимущества аддитивного производства в улучшении характеристик пластин из вольфрамового сплава

Ограничения традиционных процессов	Аддитивное производство приносит прорыв
Трудно контролировать постоянство толщины пластины	Возможность послойной печати с точным контролем толщины и текстуры.
Сложные структуры трудно обрабатывать	Пористые структуры и функциональные полости можно создавать одновременно.
Высокий уровень отходов материала	Форма близка к чистой, высокий коэффициент использования материала (до 90%)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Конструкция пресс-формы с длительным циклом изготовления зависит от	Устраните этапы формования и быстро изготавливайте прототипы
Однородность ингредиентов трудно контролировать	Возможность создания индивидуальных ингредиентов и градиентных композиций

функциональные структуры, такие как **каналы теплопроводности, микроструктурные слои и системы охлаждения** в пластине, для достижения эволюции «интеграции структуры и функции» пластин из вольфрамового сплава.

3. Тенденция к интеграции интеллектуального производства в производство пластин из вольфрамового сплава

1. Система контроля качества на основе данных

Процесс спекания/прокатки контролируется с помощью мониторинга датчиков (температурное поле, мощность лазера, морфология расплавленной ванны) и обратной связи с помощью цифровой модели двойника, что значительно повышает однородность производства вольфрамовых пластин.

2. Автономная оптимизация производственных процессов

аддитивных параметров (путь сканирования, мощность лазера) и т. д. на основе исторических данных и самообучающихся алгоритмов для достижения адаптивного производства.

3. Интеграция производственной линии и гибкие производственные подразделения

Благодаря интеграции систем MES (система управления производством), ERP и CAM мы создали полнофункциональную интеллектуальную производственную линию «вольфрамовый порошок → вольфрамовая пластина → прецизионные компоненты» для удовлетворения потребностей в мелкосерийном, крупносерийном и высокоточном производстве.

4. Проектирование материалов и выявление дефектов с помощью ИИ

- Использовать алгоритмы машинного обучения для прогнозирования влияния состава сплава на производительность и ускорения цикла проектирования материалов;
- Используйте модели распознавания изображений для анализа КТ или металлографических изображений с целью быстрого неразрушающего обнаружения дефектов, таких как микротрещины и включения.

4. Основные технические проблемы и меры противодействия аддитивному производству пластин из вольфрамового сплава

Технические трудности	Анализ причин	Путь ответа
Трудно приготовить порошок	Металлы с высокой температурой плавления трудно распыляются и имеют плохую сферичность.	Разработано оборудование для распыления инертным газом и плазменной сфероидизации

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Трещины склонны к появлению, а термическое напряжение велико.	Большой градиент высоких температур + плохая пластичность	Оптимизированная стратегия сканирования + термообработка + наносплавление
Трудно контролировать деформацию пластины	Скорость усадки материала большая , а формирующийся слой тонкий .	Применяйте опорные конструкции , оптимизируйте пути сканирования и печатайте с использованием сэндвич-панелей
Консистенция продукта АМ нестабильна	Изменение партии порошка + узкое технологическое окно	Внедрение системы онлайн-мониторинга + обратной связи по замкнутому циклу данных
Отсутствие стандартов и методов тестирования	Индустрия производства пластин из вольфрамовых сплавов все еще находится на ранних стадиях развития.	Содействие разработке стандартов, связанных с ISO/ASTM + создание базы данных процессов

5. Будущие тенденции и передовые направления

1. Гибридное производство: традиционная прокатка + аддитивная реконструкция

Прокатывая крупноформатную матрицу, АМ создает функциональные локальные области для достижения единства структурной прочности и функциональных требований.

2. Совместное производство нескольких материалов

Лазерная синхронная подача порошка используется для изготовления многофункциональных композитных вольфрамовых пластин, таких как **вольфрам-медь** и **вольфрам-керамика**, которые могут адаптироваться к сложным нагрузкам и экстремальным условиям работы.

3. Цифровые близнецы и материальная генная инженерия

Благодаря интеграции базы данных параметров аддитивного производства, больших данных об организационной эффективности и модели прогнозирования эффективности создается замкнутый контур интеллектуального управления полным циклом пластин вольфрамового сплава с концепцией «проектирование-производство-производительность».

4. Разработка вольфрамового порошка для аддитивного производства

Разработка порошка вольфрамового сплава с высокой сферичностью, высокой текучестью и низким содержанием кислорода специально для аддитивного производства позволит значительно улучшить однородность продукции и качество формовки.

VI. Резюме

Аддитивное и интеллектуальное производство становятся ключевыми двигателями трансформации и модернизации отрасли производства пластин из вольфрамовых сплавов. Они не только расширяют границы сложности структуры пластин и интеграции их характеристик, но и способствуют существенному скачку в эффективности производства, использовании материалов и персонализации производственных возможностей. Благодаря глубокой интеграции лазеров, систем управления, алгоритмов искусственного интеллекта и порошковой металлургии в будущем появится новое поколение высокопроизводительных, настраиваемых и интеллектуально управляемых пластин из вольфрамовых сплавов, полностью отвечающих многочисленным требованиям ядерной энергетики.

высокотехнологичного оборудования, аэрокосмической промышленности и других отраслей к «лёгким, точным, прочным и интеллектуальным» материалам.

10.3 Интеграция и расширение области применения многофункциональных композитных панелей

В контексте развития высокотехнологичного производства, оборудования для экстремальных условий эксплуатации и многофункциональных устройств сопряжения металлические пластины с одним единственным свойством больше не могут удовлетворять разнообразные и систематические инженерные потребности. ****Многофункциональные композитные пластины на основе вольфрама****, являясь новым поколением конструкционных материалов, способствуют эволюции пластин из вольфрамового сплава от «конструктивной опоры» к «конструкции + функции» посредством структурного проектирования, проектирования интерфейсов и функциональной интеграции.

В этом разделе будут подробно рассмотрены типы, механизмы интерфейсных соединений, методы подготовки и потенциал расширения многофункциональных композитных панелей в различных сценариях применения, а также проанализированы текущие технические проблемы и будущие тенденции развития.

1. Виды и конструктивные решения многофункциональных композитных панелей

Множество функциональных свойств, таких как тепловые, силовые, электрические, магнетические и радиационные, в матрице из вольфрамового сплава, достигаемых за счет структурного проектирования или введения материала. Основные категории включают:

тип	Структура композиции	Основные характеристики
Композитная пластина из вольфрама и меди (W-Cu)	Вольфрамовая матрица + медная сетка/промежуточный слой	Высокая теплопроводность, низкое тепловое расширение, антикоррозионная стойкость, противодуговая стойкость
Композитная пластина из вольфрамовой стали (W-SS)	Вольфрамовая матрица + основание/поверхность из нержавеющей стали	Прочная и жесткая комбинация, ударопрочность, хорошая обрабатываемость
Вольфрамо-керамическая композитная пластина (W-Al ₂ O ₃ и т.д.)	Вольфрам + керамические частицы/покрытие	Защита от износа, коррозии, стойкость к окислению при высоких температурах
Ламинаты из вольфрамово-полимерной/композитной смолы	Слой вольфрама + слой полимера, армированного углеродным волокном	Легкий, экранирующий электромагнитные помехи, улучшающий амортизацию и поглощение энергии
Функционально-градиентные материалы (FGM)	Изменения состава или микроструктуры по градиенту толщины	Снятие напряжения, баланс термических напряжений, многослойная функциональная интеграция

Этот тип композитных структур широко востребован в устройствах ядерного синтеза, элементах терморегулирования плазмы, авиационных радиаторах, защитных кожухах и т. д.

2. Механизм соединения интерфейса и ключевые факторы управления композитными пластинами из вольфрамового сплава

Характеристики композитных пластин зависят от качества интерфейса между различными материалами. Из-за различий в коэффициентах теплового расширения и диффузионной способности вольфрамового сплава по сравнению с другими материалами (такими как медь, сталь и керамика) возможны концентрация напряжений на границе раздела, расслоение и микротрещины. Поэтому укрепление металлургической связи посредством проектирования интерфейса имеет решающее значение.

1. Метод соединения интерфейсов

- **Механический тип захвата** : усиление трения интерфейса через шероховатую поверхность;
- **Интерметаллическая диффузионная связь** : атомная взаимодиффузия в условиях нагрева образует переходный слой;
- **Реакционно-диффузионная сварка (например, промежуточный слой Ti, Cr)** : введение активных элементов между вольфрамом и другими металлами для образования интерметаллических соединений для улучшения прочности связи;
- **Поверхностная металлургическая наплавка** : Переходный слой формируется локально с помощью лазерной/дуговой плавки для достижения металлургического соединения между слоями.

2. Ключевые факторы влияния

- **Тепловое соответствие**: коэффициенты теплового расширения двух материалов близки, что снижает термическую усталость;
- **Межфазная активность**: формирование мягкого межфазного реакционного слоя вместо хрупкой межфазной фазы;
- **Методы предварительной обработки**: включая удаление оксидной пленки, придание шероховатости и нанесение слоя сплава;
- **Технологический процесс**: необходимо скоординировать последовательность прессования, атмосферу спекания и температурную кривую.

3. Основные методы изготовления композитных пластин на основе вольфрама

Процесс подготовки	Введение в принципы	Возможности приложения
Метод взрывного компаундирования (EXW)	Ударная волна взрыва заставляет металлы сталкиваться на высокой скорости, достигая металлургической связи.	Высокая прочность межслоевого соединения, подходит для плакирования больших площадей пластин из вольфрамовой стали и вольфрамовой меди.
Процесс горячего	Прессование порошков и	Высокая плотность, подходит для

изостатического прессования (ГИП) композитных материалов	диффузионная сварка при высокой температуре и высоком давлении	сплавления неоднородных порошков и сетчатых структур
Метод горячей прокатки композита	Многослойные композиционные материалы нагреваются и прокатываются для формирования металлургических связей.	Применимо к композитным материалам с градиентным слоем из нескольких металлов, обеспечивает высокий уровень контроля однородности.
Лазерная наплавка/направленное осаждение	-situ осаждение функциональных слоев или буферных прослоек на поверхность вольфрамовой пластины	Толщину можно точно контролировать, что подходит для индивидуального производства небольших партий высокопроизводительных компонентов.
Холодный спрей	Высокоскоростной транспортирующий газ толкает микропорошок к подложке, образуя механическую связь.	Щадящий процесс, подходит для термочувствительных композитных систем (например, вольфрам + полимер)
Склеивание/плакирование + спекание композита	Внедрение/внедрение различных материалов, повышение общей плотности и прочности соединения путем вакуумного спекания	Гибкий процесс, подходящий для сложных форм или микроструктурированных композитных панелей

4. Расширение типового применения многофункциональных вольфрамовых композитных пластин

1. Защита и структурные компоненты атомной промышленности

- первая конструкция стенки в устройствах ядерного синтеза;
- Композитные пластины из вольфрамовой меди используются для **плазменных тепловых компонентов в термоядерных реакторах** и обладают превосходной теплопроводностью и стойкостью к абляции.

2. Аэрокосмическая промышленность

- Композитные пластины с высокой теплопроводностью W-Cu используются в радиаторах спутников и двигательных установках космических аппаратов;
- Функционально-градиентные структуры вольфрамовых пластин демонстрируют преимущества многослойного поглощения энергии в противомикрометеорной/противоударной броне.

3. Сфера медицинского оборудования

- Вольфрамо-полимерные композитные пластины используются в легких и регулируемых защитных конструкциях для **радиотерапевтических аппаратов**;
- Композитные вольфрамовые пластины используются для подавления рассеяния и улучшения изображения в высокоразрешающем оборудовании ОФЭКТ/ПЭТ.

4. Высокотемпературная промышленность и теплотехника

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Вольфрамо-керамические композитные пластины широко используются в отражающих слоях вакуумных печей, деталях конструкций высокотемпературных тепловых полей и футеровках для выращивания кристаллов;
- Микроканальные композитные пластины используются для быстрой передачи тепла в лазерном и электронно-лучевом оборудовании.

V. Текущие проблемы и будущие направления развития

Ключевые вопросы	Соответствующие проблемы	Возможные решения
Тепловое несоответствие разнородных материалов	Нарушение сцепления интерфейса, трещины термической усталости	Внедрение слоя градиентного перехода и проектирование буферной структуры
Параметры составного процесса трудно стандартизировать	Каждая составная система должна быть настроена независимо	Развитие построения базы данных и термодинамического моделирования интерфейсов
Качество композитного интерфейса трудно контролировать	Внутренние микротрещины и включения трудно обнаружить неразрушающим методом.	Внедрение технологий КТ, фазированной ультразвуковой диагностики и распознавания дефектов с помощью искусственного интеллекта
Высокая стоимость и сложность приготовления	Высокопроизводительные приложения ограничены	Модульное производство + прецизионное изготовление + формовка серийного оборудования
Длительный цикл проверки надежности приложения	Особенно в сценариях с высокими требованиями к надежности, таких как ядерная энергетика и аэрокосмическая промышленность.	Создание экспериментальной системы моделирования поведения при долгосрочном обслуживании и адаптации к окружающей среде

VI. Резюме

Многофункциональные композитные пластины из вольфрамового сплава являются ключевым достижением в расширении применения вольфрамовых материалов от структурной поддержки до многополевых соединений. Благодаря композитному дизайну и управлению интерфейсом пластины из вольфрамового сплава могут сочетать в себе множество свойств, включая механическую прочность, теплопроводность, радиационную стойкость и коррозионную стойкость, отвечая комплексным требованиям к эксплуатационным характеристикам в сложных условиях. В будущем, с развитием моделирования материалов, аддитивного производства и высокопроизводительных технологических платформ, многофункциональные композитные вольфрамовые пластины будут использоваться в широком спектре стратегических отраслей, включая оборонную, энергетическую, аэрокосмическую, здравоохранение и электронику, предлагая превосходное сочетание производительности, высокую надежность и более гибкие производственные процессы.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10.4 Исследование эволюции эксплуатационных характеристик в экстремальных условиях (облучение, высокая температура, коррозия)

Пластины из вольфрамового сплава широко используются в экстремальных условиях эксплуатации, таких как ядерная энергетика, аэрокосмическая промышленность, системы терморегулирования и военная защита, благодаря своей высокой температуре плавления, высокой плотности, низкому давлению паров и превосходной термической стабильности. Однако в суровых условиях эксплуатации, таких как сильное излучение, перепады высоких температур и агрессивная среда (например, галогенные газы, расплавленные соли и плазма), их эксплуатационные характеристики могут претерпевать сложные изменения, включая структурную эволюцию, снижение производительности и ухудшение характеристик интерфейса. Поэтому углубленные исследования эксплуатационных свойств пластин из вольфрамового сплава в экстремальных условиях имеют большое значение для повышения их долгосрочной надежности и инженерной применимости.

В этом разделе будет проведен систематический анализ воздействия радиации, реакции на высокотемпературную термическую нагрузку, механизма деградации в коррозионной среде, а также целевых методов проектирования и оценки для построения «панорамной картины изменения эксплуатационных характеристик» пластин вольфрамового сплава в экстремальных условиях.

1. Микроструктурные изменения и механические эффекты в условиях сильного облучения

1. Источники излучения и типичные уровни энергии

- Нейтронное облучение (ядерные реакторы деления/синтеза): $>10^{18}$ н/см² ;
- Ионная имплантация (He⁺, H⁺, Fe⁺): может имитировать смещение повреждений и эффекты пузырьков;
- Гамма-лучи/рентгеновские лучи: имитируют тепловые и ионизационные эффекты излучения.

2. Эволюция микроструктуры

- **Дислокационные петли и агрегация вакансий** : образование наномасштабных дефектов облучения, снижение пластичности;
- **Образование и агрегация пузырьков** : осаждение на границах зерен или вторичных фаз, легко вызывающее охрупчивание и растрескивание;
- **Сегрегация, вызванная облучением** : локальное обогащение легирующих элементов, таких как Ni и Fe, изменяющее энергию границ зерен;
- **Измельчение и реорганизация зерна** : Нанокристаллизационное поведение может быть вызвано длительным облучением.

3. Снижение производительности макросов

- Уменьшить удлинение и ударную вязкость, а также повысить чувствительность к хрупкому разрушению;
- Уменьшаются модуль упругости и теплопроводность;
- Долговечность при термической усталости сокращается, а характер разрушения меняется с пластического на хрупкое разрушение.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Снижение производительности и организационная эволюция в условиях эксплуатации с высокими температурами

Пластины из вольфрамового сплава работают при температурах свыше 1000 °C, они сталкиваются с такими явлениями, вызванными высокими температурами, как укрупнение зерен, ухудшение интерфейса и миграция элементов, которые влияют на их структурную стабильность и теплопроводность.

1. Высокотемпературный микроскопический механизм

- **Рост зерна** : обусловлен поверхностной энергией, особенно в системах чистого вольфрама или сплавов со слабой энергией границ зерен;
- **Перераспределение элементов** : легирующие элементы (такие как Ni и Cu) выделяются или испаряются при высоких температурах;
- **Вторая фаза превращения растворение/осаждение** : влияет на твердость и ползучесть;
- **Рост пустот и трещин** : микропустоты, вызванные термическим напряжением, превращаются в микротрещины и в конечном итоге разрушаются.

2. Ухудшение механических свойств при высокой температуре

- Предел текучести уменьшается (температура начала ползучести уменьшается);
- Скорость ползучести увеличивается, а срок службы сокращается;
- Циклы термической усталости приводят к проскальзыванию границ зерен и межслойному расслоению.

3. Поведение связи тепловой нагрузки

- Высокочастотные циклы нагревания-охлаждения ускоряют разрушение интерфейса;
- Температурный градиент вызывает миграцию компонентов и накопление внутренних напряжений;
- Необходимо учитывать устойчивость к тепловому удару при кратковременных высокотемпературных импульсах (например, при возвращении космического корабля и импульсном разряде термоядерных устройств).

3. Пути отказа и стратегии защиты в коррозионных средах

Вольфрамовый сплав может подвергаться серьезному риску коррозии в определенных средах, особенно в таких средах, как галогенный газ, высокотемпературный водяной пар, кислые расплавленные соли и электролит.

1. Тип и среда коррозии

- **Газофазная коррозия** (Cl_2 , H_2O , O_2) : приводит к образованию и отслаиванию оксидного слоя;
- **Коррозия в расплавленных солях** (NaCl-KCl , LiF-BeF_2): проникает через границы зерен и образует хрупкий слой;
- **Электрохимическая коррозия** : система вольфрам-медь особенно чувствительна в медицинских электронных компонентах, электродах и других приложениях;
- **Плазменная коррозия** : Высокая температура побуждает частицы бомбардировать поверхность, вызывая абляцию и атомную десорбцию.

2. Механизм коррозионного разрушения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Локальное анодное растворение или окисление границ зерен приводит к осыпанию зерен;
- После разрушения пассивирующей пленки поверхности коррозия усиливается;
- Чередующийся окислительно-восстановительный процесс ослабляет поверхностную плотность;
- В сочетании с высокой температурой/облучением скорость коррозии значительно возрастает.

3. Защитные меры

- **Поверхностное покрытие** (CrN, Al₂O₃, SiC): обеспечивает высокотемпературную пассивационную защиту;
- **Оптимизация элементов сплава** : введение антикоррозионных элементов (Re, Ta, Mo) для повышения стойкости к окислению твердых растворов;
- **Конструкция композитной конструкции** : использование композитных пластин W-SS/W-Cu для предотвращения расширения коррозионного слоя;
- **Процесс уплотнения поверхности** : лазерная наплавка, PVD и т. д. используются для уменьшения пористости поверхности.

4. Прогресс в методах испытаний и исследованиях моделирования в экстремальных условиях

1. Платформа для ускоренных ресурсных испытаний и имитационного моделирования

- Использовать оборудование внешнего облучения реактора и ионной имплантации для имитации ядерной среды;
- Высокочастотный циклический нагревательный стол и устройство переходного теплового удара имитируют тепловые нагрузки в аэрокосмической отрасли;
- Высокотемпературный соляной туман, камера электрохимической коррозии и камера распыления плавиковой кислоты имитируют промышленные коррозионные среды.

2. Моделирование многополевого взаимодействия

- Создание многополевой численной модели тепло-механики-облучения-коррозии для прогнозирования изменения эксплуатационных характеристик;
- Использовать метод фазового поля, молекулярную динамику, Монте-Карло и т. д. для моделирования поведения границ зерен;
- Объединяя механику разрушения и теорию усталости, построена модель прогнозирования срока службы.

3. Онлайн-мониторинг и оценка ущерба

- Лазерный интерферометр для измерения деформации;
- Инфракрасная термография для оценки температурных градиентов;
- Неразрушающий контроль (ультразвук, рентгеновская КТ) для контроля развития внутренних повреждений;
- Распознавание изображений на основе искусственного интеллекта используется для отслеживания микротрещин и количественной оценки развития коррозии.

V. Направление будущего развития и стратегии инженерного реагирования

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Направление развития	Инженерное значение
Создание базы данных Extreme Service	Предоставление базы данных для выбора материалов и прогнозирования срока службы
Интеллектуальное восприятие + система управления с обратной связью	Формирование системы мониторинга повреждений в режиме реального времени и самонастройки производительности для повышения безопасности материалов в эксплуатации.
Разработка многофункциональных композитных конструкций	Интеграция коррозионной стойкости, радиационной стойкости, стойкости к тепловым ударам и других характеристик для улучшения эксплуатационных характеристик в экстремальных условиях
Метод расчета ресурса с высокой надежностью для термоядерной/аэрокосмической промышленности	Соответствие строгим требованиям к сроку службы вольфрамовых пластин для стратегических проектов, таких как ИТЭР, исследование космоса и сверхвысокотемпературные двигатели

VI. Резюме

Пластины из вольфрамового сплава в экстремальных условиях, таких как интенсивное облучение, высокие температурные градиенты и сильная коррозия, контролируются сложными микроскопическими механизмами, а законы структурной стабильности и изменения эксплуатационных характеристик непосредственно определяют их инженерную надежность. Глубокое понимание вызванных облучением микроструктурных изменений, эволюции зерен и механизмов повреждения межфазных границ при высоких температурах, а также путей разрушения в коррозионных средах, позволит направлять разработку новых систем материалов и проектирование новых конструкций. В будущем необходимо усилить междисциплинарную интеграцию, численный анализ и взаимодействие в полевых условиях для продвижения пластин из вольфрамового сплава к цели создания «конструкционных материалов, адаптивных к экстремальным условиям».

10.5 Высокопроизводительные альтернативные материалы и будущие устойчивые стратегии для вольфрамовых пластин

В условиях развития мировой промышленности в сторону снижения веса, повышения производительности и экологичности пластины из вольфрамовых сплавов обладают уникальными преимуществами, такими как чрезвычайно высокая плотность, высокая температура плавления и радиационная безопасность. Однако их высокая стоимость, дефицит ресурсов, сложность обработки и чувствительность к воздействию окружающей среды также ограничивают их широкомасштабное применение. Чтобы достичь функциональной эквивалентности или частичной замены, одновременно снижая зависимость от вольфрамовых ресурсов, материаловедческое сообщество активно изучает различные высокопроизводительные альтернативные материалы и рассматривает пути устойчивого развития самих вольфрамовых пластин.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

В этом разделе будут рассмотрены четыре аспекта пути замещения материалов, технологии экологически чистого производства, системы переработки и устойчивой стратегии отрасли, а также будут предложены возможные решения для пластин из вольфрамового сплава, которые позволят и впредь сохранять их конкурентоспособность в будущем высокотехнологичном производстве.

1. Направление разработки высокоэффективных функциональных альтернативных материалов

Хотя пластины из вольфрамового сплава во многих случаях сложно полностью заменить, уже существует несколько систем материалов с конкурентоспособными характеристиками и ценовыми преимуществами в некоторых областях применения. Основные альтернативные типы включают:

1. Система металлических материалов с высокой температурой плавления

- **Пластина из молибденового сплава (Mo, TZM)** : немного меньшая плотность (10,2 г/см³), хорошая теплопроводность, лучшая обрабатываемость, чем у вольфрама, подходит для использования в условиях горячих полей;
- **Сплавы на основе гафния и ниобия** : отличная жаропрочность, но плохая коррозионная стойкость;
- **Материалы на основе рения** : они обладают превосходной стабильностью в условиях сверхвысоких температур (>2000 °C), но чрезвычайно дороги и используются только в специальных аэрокосмических устройствах.

2. Композитные материалы высокой плотности

- **Композитная пластина из вольфрамового полимера (W-полимер)** : изготовлена из легкой защитной пластины методом литья под давлением или склеивания, подходит для медицинских целей и задач радиационной защиты;
- **Функциональная композитная плата W-Cu** : сочетая высокую плотность и высокую теплопроводность, она подходит для отвода тепла в космических аппаратах и терморегулирования электронных устройств;
- **Композитные пластины из оксидов редкоземельных металлов (например, Gd-W, La₂O₃-W)** : повышают способность поглощать излучение и улучшают стойкость к термическим ударам.

3. Керамика и керамические матричные композиты

- **Керамические пластины, армированные карбидом кремния (SiC) и нитридом бора (BN)** : обладают превосходной стойкостью к высокотемпературному окислению и диэлектрическими свойствами и могут использоваться для защиты от теплового регулирования;
- **Интерметаллические соединения (такие как TiAl, MoSi₂)**: легкие, с хорошей прочностью при высоких температурах, но ограниченной теплопроводностью.

4. Новые функционально-градиентные материалы (ФГМ)

Постепенно изменяя состав или структуру по толщине, можно добиться регулирования термических напряжений и снятия напряжений на границе раздела, частично заменяя многослойную структуру вольфрамовых пластин и обеспечивая лучшую инженерную регулируемость.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Стратегия устойчивого производства пластин из вольфрамового сплава

Помимо замены, сама вольфрамовая пластина нуждается в систематической оптимизации с точки зрения «энергосбережения, снижения потребления и сокращения выбросов углерода» при сохранении ее высоких эксплуатационных преимуществ.

1. Технология зеленой порошковой металлургии

- Разработать низкотемпературные и высокоплотные спекающие добавки;
- Использовать плазменную сфероидизацию, высокоэнергетическое измельчение в шаровой мельнице и другие методы для повышения производительности;
- Уменьшить долю инертного газа, используемого при спекании в атмосфере, и способствовать восстановлению чистого водорода.

2. Технология аддитивного производства (3D-печать)

- вольфрамовые конструкционные детали сложной конфигурации, для изготовления по требованию заказчика используют методы направленного лазерного осаждения энергии (DED) и электронно-лучевой плавки (EBM) с целью сокращения отходов материала;
- Эффективное повышение эффективности производства мелкосерийных/индивидуальных пластин из вольфрамового сплава.

3. Энергосберегающая обработка поверхностей и композитные технологии

- Использовать осаждение зеленых тонких пленок, такое как PVD и CVD, вместо гальванопокрытия;
- Использовать нетермические методы обработки, такие как лазерная модификация поверхности, холодное напыление, плазменное напыление и т. д., для снижения потребления энергии;
- Развивать композитную структуру возобновляемой подложки и поверхностного слоя вольфрама для улучшения общего соотношения производительности и стоимости.

3. Переработка и повторное использование пластин из вольфрамового сплава

Вольфрам является ключевым стратегическим металлом страны, а его восстановление и переработка стали основным звеном в устойчивом развитии отрасли.

1. Методы переработки вольфрамовых пластин

- Промышленные отходы напрямую перерабатываются или подвергаются механической переработке;
- Извлечь порошок металлического вольфрама из вышедших из строя устройств и подготовить новые пластины из сплава;
- Поверхностное покрытие снимается, а затем прессуется/спекается для формирования вторичного листа.

2. Реконструкция и цепочка процессов «без отходов»

- Для решения проблемы снижения производительности при регенерации вольфрамовых пластин введено регулирование микросплава;
- Восстановление целостности кристалла вольфрама с использованием технологии плазменного лизиса/термической обработки;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Содействовать реализации пилотного проекта по переработке пластин из вольфрамового сплава, использованного на списанном оборудовании атомной энергетики и военного назначения.

3. Установление национальных и международных стандартов переработки отходов

- Создать систему сертификации для переработки материалов на основе вольфрама (например, GRS, ISO 14021);
- Содействовать расширению ответственности за «зеленую переработку» в ключевых областях использования, таких как медицинское и авиационное оборудование;
- Используйте блокчейн и платформы больших данных для отслеживания всего жизненного цикла вольфрамовых материалов.

4. Низкая карбонизация и стратегические перспективы пластин из вольфрамовых сплавов в будущем

Путь устойчивого развития	Ключевые цели	Возможные реализации
Уменьшить углеродный след и общий объем выбросов	Соблюдение ограничений политики глобального пика выбросов углерода/углеродной нейтральности	Использовать экологически чистую электроэнергию для плавки, внедрять низкоуглеродные технологии и интегрировать механизм торговли квотами на выбросы углерода в промышленную цепочку.
Откройте «зеленый замкнутый цикл» промышленной цепочки	Построить замкнутый цикл ресурсов → продукции → переработки → регенерации	Устанавливать отраслевые стандарты, поддерживать платформы по переработке отходов и устанавливать квоты на переработку
Разработка функциональных панелей по индивидуальному заказу для высокотехнологичного производства	Удовлетворение новых требований к структурно-функциональной интеграции в экстремальных условиях эксплуатации	Продвижение трансграничного композита «вольфрам +», модульных конструкционных пластин и многофункционального аддитивного производства
Диверсификация, безопасность и стабильность глобальных цепочек поставок	Снизить зависимость от одного ресурса/источника	Разработка зарубежных ресурсов и строительство местных линий переработки нефти и интеллектуального производства

V. Резюме

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Вольфрамовые пластины по-прежнему занимают незаменимое место в высокотехнологичном производстве. Однако в условиях глобальной нехватки ресурсов, ужесточения требований к охране окружающей среды и ускоренного технического прогресса, изучение альтернативных материалов, оптимизация процессов производства вольфрамовых пластин, а также содействие переработке и экологичному производству станут единственным способом достижения долгосрочного устойчивого развития. Будущее вольфрамовых пластин – это уже не конкуренция отдельных материалов, а комплексная конкуренция «система материалов + технологическая система + отраслевой путь». Только продолжая упорно работать над экологичностью, низким уровнем выбросов углерода, высокой производительностью и интеллектуальностью, вольфрамовые пластины смогут продолжать играть важную роль в будущей производственной системе.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Приложение

Приложение 1: Общие физико-механические параметры пластин из вольфрамового сплава

Название проекта	единица	Пластина из чистого вольфрама (W)	Пластина из сплава W-Ni-Fe	Пластина из сплава W-Ni-Cu	Композитная плата W-Cu
Теоретическая плотность	г/см ³	19.25	17,0~18,5	17,0~18,2	14,5~17,0
Температура плавления	°C	3410	3300~3400	3200~3400	~3000 (приблизительно)
Удельная теплоемкость (нормальная температура)	Дж/(кг·K)	134	140~160	140~160	170~180
Теплопроводность (25°C)	Вт/(м·K)	170~180	70~110	80~120	180~220
Коэффициент теплового расширения	10 ⁻⁶ /K	4,5~5,0	5,0~8,0	6,0~8,5	6,5~10,0
Удельное сопротивление (20°C)	мкОм·см	5.4~5.7	15~35	20~40	2~4
предел прочности	МПа	700~1000	700~1000	600~900	400~600
Предел текучести	МПа	600~850	600~900	550~850	300~500
Удлинение	%	<3	10~30	10~30	5~15
Твердость по Бринеллю (HB)	-	>300	200~300	180~280	120~220
Твердость по Шору (HRB)	-	>100 (приблизительный HRC)	80~95	75~90	60~85
Коррозионная стойкость (в атмосфере нормальной температуры)	-	отличный	хороший	хороший	в целом
магнитный	-	никто	иметь	Низкие магнитные свойства (есть у некоторых)	никто
Эффективность радиационной защиты	d=10 мм степень блокировки	>85%	>80%	>80%	>75%

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(гамма-лучи)

проиллюстрировать:

- Чистый вольфрамовый лист (W): обладает самой высокой плотностью, температурой плавления и твёрдостью и часто используется в экстремальных условиях эксплуатации, таких как высокотемпературная терморегуляция и защита от радиации. Недостатком является сложность обработки и хрупкость.
- Пластина из сплава W-Ni-Fe: является представителем сплавов высокой плотности, обладает хорошей механической прочностью и сбалансированной плотностью, широко используется в инерционных деталях и защитных пластинах;
- Пластина из сплава W-Ni-Cu: обладает хорошей теплопроводностью и немагнитна, подходит для электромагнитного экранирования и противовеса высокой плотности;
- Композитная плата W-Cu: обладает преимуществами теплопроводности, электропроводности и плотности и часто используется в электронных структурах терморегулирования и опорах микроволновых компонентов.

Приложение 2: Сравнительная таблица марок вольфрамовых сплавов и их химического состава

Код бренда/станд арта	Страна/Стандарт	Тип сплава	Основные химические компоненты (массовая доля, %)	Функции
W1 (ASTM B760)	ASTM	Чистый вольфрам	$W \geq 99,95$	Лист вольфрама высокой чистоты, используемый в тепловых полях, вакуумных устройствах и т. д.
W-3Ni-7Fe (тяжелый вольфрамовый сплав)	Общая промышленная номенклатура	сплав W-Ni-Fe	$W \approx 90, Ni \approx 3, Fe \approx 7$	Вольфрамовый сплав высокой плотности, обладающий как структурной прочностью, так и ударной вязкостью
W-7Ni-3Cu	Общая промышленная номенклатура	сплав W-Ni-Cu	$W \approx 90, Ni \approx 7, Cu \approx 3$	Немагнитный вольфрамовый сплав, подходящий для использования в электронике и системах защиты.
WCu75 (или WCu25)	Общая промышленная номенклатура	Композитный материал на основе вольфрамовой меди	$W \approx 75, Cu \approx 25$	Пластина из вольфрамовой меди с высокой теплопроводностью для рассеивания тепла и заземления конструкции
YW1 (YS/T 798)	Стандарты цветной металлургии Китая	Вольфрам-никель-железо	$W \geq 90, Ni:Fe \approx 7:3$	Общая оценка для военных инерциальных компонентов и противовесных пластин
YW2 (YS/T 798)	Стандарты цветной металлургии Китая	Система вольфрам-никель-медь	$W \geq 90, Ni:Cu \approx 7:3$	Немагнитный лист с высоким удельным весом, используемый в медицине, инструментах и т. д.
G26F	Военный	сплав W-Ni-Fe	$W \approx 90, Ni \approx 6,$	Вольфрамовый сплав

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

(MIL-T-21014)	стандарт США MIL		Fe $\approx$ 4	военного образца, бронебойный снаряд, хвостовой отсек ракеты и т. д.
W90NiFe (ISO 3767)	Международные стандарты ИСО	сплав W-Ni-Fe	W $\approx$ 90, Ni + Fe $\approx$ 10	Стандартное описание общих сплавов высокой плотности
K20W (DIN EN)	Немецкие стандарты DIN/EN	Композиты W-Cu	W $\approx$ 80, Cu $\approx$ 20	Европейский стандарт высокопроводящего вольфрамово- медного сплава, подходит для устройств терморегулирования.
WL10 (легированный чистым вольфрамом)	Используется на международном уровне (ASTM/ISO)	Легированный вольфрам	W $\geq$ 98,5, La ₂ O ₃ $\approx$ 1,0~1,2	Вольфрамовый материал, легированный лантаном, улучшает термостабильность и трещиностойкость
WD100 (фирменная марка)	CTIA GROUP LTD(внутренний код)	Микролегированная вольфрамовая пластина	W $\geq$ 92, сумма микролегирующих элементов, таких как Ni, Re, Ta $\leq$ 5	Сплав собственной разработки с учетом прочности, радиационной стойкости и теплопроводности
TCW6025	Японский корпоративный бренд	сплав W-Cu	W $\approx$ 60, Cu $\approx$ 40	Подходит для компонентов микроволновых печей, пластин радиаторов и т. д.
WC20 (для электродов)	ИСО 6848	Легированный вольфрам	W $\geq$ 98, CeO ₂ $\approx$ 2,0	Легированный вольфрам обычно используется для сварочных электродов, но некоторые пластины также используют

проиллюстрировать:

- Пластины из вольфрамового сплава серии W-Ni-Fe / W-Ni-Cu являются наиболее часто используемыми типами вольфрамовых сплавов с высоким удельным весом;
- Серия WCu в основном используется для тепло- и электропроводящих конструкций, таких как электронные корпуса и модули рассеивания тепла;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Легирование вольфрамом (например, La_2O_3 , CeO_2)** может улучшить термостойкость, сохраняя при этом прочность при высоких температурах;
- Хотя стандарты разных стран немного отличаются, их можно сравнивать и идентифицировать по интервалу компонентов и логике бренда;
- Собственные бренды компании (например, серия CTIA GROUP LTDWD) обычно изготавливаются по индивидуальному заказу и используются для удовлетворения особых потребностей.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Приложение 3: Стандартные документы и основные справочные материалы для пластин из вольфрамового сплава

1. Внутренние стандарты и отраслевые правила

1. GB/T 18928-2017 Национальный стандарт технических условий на пластины из вольфрама и вольфрамовых сплавов устанавливает технические требования, методы испытаний и правила контроля для пластин из вольфрама и вольфрамовых сплавов.
2. YS/T 798-2012 Технические условия на прутки из вольфрамовых сплавов — это стандарт цветной металлургии, который охватывает состав, свойства и методы испытаний материалов из вольфрамовых сплавов.
3. Техническая спецификация на пластины из вольфрамового сплава высокой плотности для атомных электростанций Стандартизирует требования к материалам и стандарты применения пластин из вольфрамового сплава для атомной энергетики.
4. Q/ZW 001-2020 CTIA GROUP LTDT Стандарт предприятия по пластинам из вольфрамового сплава — это внутренний стандарт компании, охватывающий проектирование, производство и контроль качества пластин из вольфрамового сплава.

II. Международные стандарты и нормы

1. ASTM B760-17 Стандартная спецификация для пластин из вольфрама и вольфрамовых сплавов.
Стандарт Американского общества по испытаниям и материалам, в котором подробно описаны свойства и методы испытаний пластин из вольфрама и вольфрамовых сплавов.
2. Стандарт ISO 3767-1:2017 «Вольфрам и вольфрамовые сплавы. Часть 1. Плиты и листы»
был опубликован Международной организацией по стандартизации и охватывает классификацию и технические требования к пластинам из вольфрамовых сплавов.
3. Военная спецификация MIL-T-21014D: Пластины, прутки и стержни из тяжелого вольфрамового сплава.
Военный стандарт США для военного использования и контроля качества тяжелых вольфрамовых сплавов.
4. EN 1654-1:2018 Тяжелые металлы и сплавы высокой плотности. Технические условия поставки. Часть 1. Изделия из тяжелых вольфрамовых сплавов.
Это европейский стандарт, регулирующий условия поставки и спецификации испытаний для вольфрамовых сплавов.

3. Важные технические книги и документы

1. «Технический справочник по вольфраму и вольфрамовым сплавам», Издательство металлургической промышленности, 2020 г.
Подробно описывает физические свойства, процессы производства и технологии применения вольфрама и вольфрамовых сплавов.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Вольфрам и вольфрамовые сплавы, справочник по металлам, том 2, ASM International, 1990 г.
Международный авторитетный справочник по металлам, основы материалов на основе вольфрамовых сплавов и анализ эксплуатационных характеристик.
3. «Разработка и применение тяжелых вольфрамовых сплавов в аэрокосмической отрасли», журнал «Materials Science», 2018 г.
, подробно описывает последние достижения в исследованиях и разработках тяжелых вольфрамовых сплавов в аэрокосмической отрасли.
4. Исследование технологии порошковой металлургии вольфрамовых сплавов и ее промышленного применения, выпуск 5, 2019 г.

IV. Типичная патентная литература

1. CN101234567B Изобретение раскрывает способ изготовления пластины из вольфрамового сплава с высокой плотностью
и относится к технологии изготовления пластин из вольфрамового сплава с использованием нового процесса порошковой металлургии.
2. US9876543B2 Лист из вольфрамового сплава с улучшенной теплопроводностью
Конструкция композитного материала с улучшенной теплопроводностью листа из вольфрамового сплава.
3. EP3456789A1 Способ нанесения покрытия на пластины из вольфрамового сплава
Технология нанесения покрытия на поверхность и противозносной обработки пластин из вольфрамового сплава.

5. Научные конференции и отраслевые отчеты

1. Международная конференция по вольфраму
объединяет новейшие технологии и тенденции отрасли в области вольфрамовых материалов.
2. В ходе ежегодного собрания отделения вольфрама и молибдена Китайского общества цветных металлов
основное внимание было уделено технологическому прогрессу и анализу рынка вольфрамовых сплавов Китая.
3. «Отчет об анализе тенденций рынка пластин из вольфрамовых сплавов»,
отраслевой отчет CTIA GROUP LTD за 2024 год
, содержит подробную информацию о мировом производстве и продажах пластин из вольфрамовых сплавов, а также о будущих тенденциях.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Приложение 4: Глоссарий терминов по вольфрамовым сплавам и английские сокращения

Терминология (китайский)	Терминология (английский)	Интерпретация и объяснение
Вольфрамовый сплав	Вольфрамовый сплав	с вольфрамом в качестве основного компонента и добавленными металлами, такими как никель, железо и медь.
Порошковая металлургия	Порошковая металлургия	Процесс получения металлических материалов путем формования порошков и спекания.
спекание	Спекание	Процесс уплотнения частиц порошка при высоких температурах.
Изостатическое прессование	Изостатическое прессование	Технология, которая использует равномерное давление для прессования порошка в определенную форму.
Термическая обработка	Термическая обработка	Метод изменения структуры и свойств материалов путем нагрева, изоляции и охлаждения.
Микроструктура	Микроструктура	Внутренние структурные характеристики материала под микроскопом.
плотность	Плотность	Масса на единицу объема, обычно выражается в г/см ³ .
предел прочности	Предел прочности	Максимальное напряжение материала при растяжении.
Предел текучести	Предел текучести	Напряжение, при котором материал начинает пластически деформироваться.
Удлинение	Удлинение	Способность материала пластически деформироваться перед разрушением, выраженная в процентах.
твёрдость	Твёрдость	Способность сопротивляться локальной деформации часто измеряется с помощью таких показателей, как твердость по Бринеллю (HB) и твердость по Роквеллу (HR).
Коэффициент теплового расширения	Коэффициент теплового расширения	Скорость, с которой материал расширяется в ответ на изменение температуры.
Теплопроводность	Теплопроводность	Способность материала передавать тепло, измеряемая в Вт/(м·К).
Удельное сопротивление	Электрическое сопротивление	Текущее сопротивление материала, измеряемое в мкОм·см.
Коррозионная стойкость	Коррозионная стойкость	Способность материала противостоять химической или электрохимической коррозии.
Защита от гамма-излучения	Защита от гамма-излучения	Способность вольфрамового сплава поглощать и блокировать гамма-лучи высокой энергии.
Неразрушающий контроль	Неразрушающий контроль (НК)	Методы испытаний, не нарушающие целостность материала, такие как ультразвуковой, рентгеновский и магнитопорошковый контроль.
Размер частиц	Размер частиц	Размер частиц порошка влияет на плотность и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

		эксплуатационные характеристики материала.
ПВД	Физическое осаждение из паровой фазы	Физическое осаждение из паровой фазы — технология нанесения покрытий на поверхности.
Аддитивное производство	Аддитивное производство (АП)	Технология изготовления деталей путем послойного наложения материалов широко известна как 3D-печать.
AS9100	Управление качеством в аэрокосмической отрасли	Стандарты систем менеджмента качества для аэрокосмической промышленности.
ИСО 13485	Система качества медицинских изделий	Стандарты систем менеджмента качества медицинских изделий.
RoHS	Ограничение использования опасных веществ	Директива ЕС об ограничении использования некоторых опасных веществ.
ДОСТИГАТЬ	Регистрация, оценка, разрешение и ограничение химических веществ	Правила ЕС по регистрации, оценке, авторизации и ограничению использования химических веществ.
Паспорт безопасности материала	Паспорт безопасности материала	Паспорта безопасности материалов содержат информацию о безопасном использовании химических веществ.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

CTIA GROUP LTD, a customization expert in high-density tungsten alloy design and production with 30 years of experience.

Core advantages: 30 years of experience: deeply familiar with tungsten alloy production, mature technology.

Precision customization: support high density (17-19 g/cm³), special performance, complex structure, super large and very small parts design and production.

Quality cost: optimized design, optimal mold and processing mode, excellent cost performance.

Advanced capabilities: advanced production equipment, RMI, ISO 9001 certification.

100,000+ customers

Widely involved, covering aerospace, military industry, medical equipment, energy industry, sports and entertainment and other fields.

Service commitment

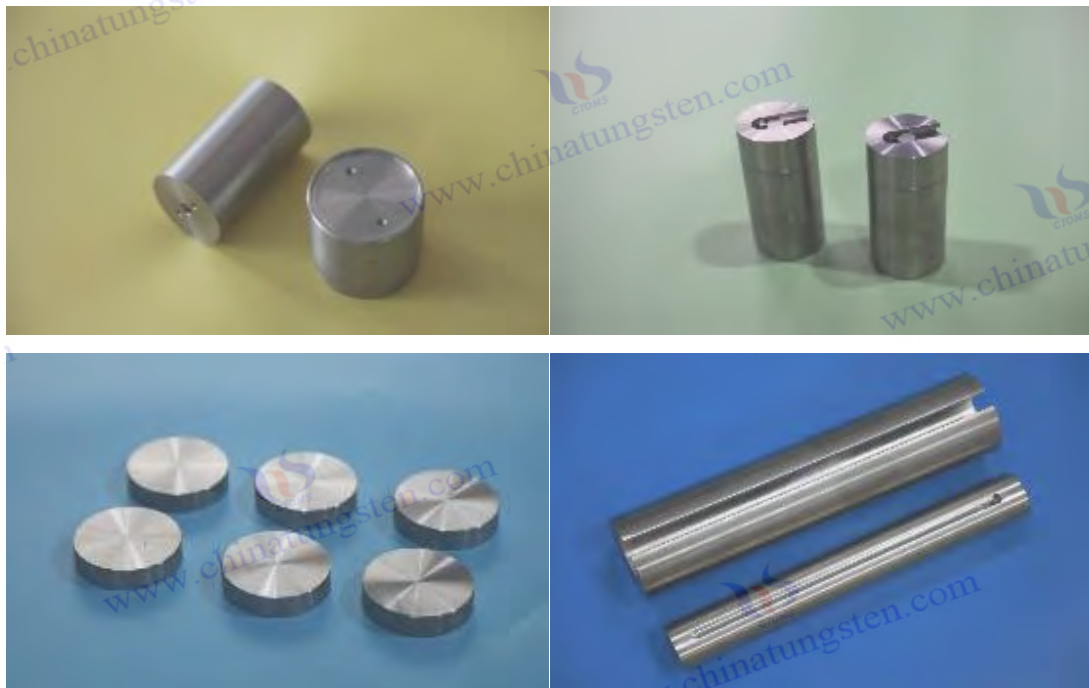
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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