

Энциклопедия труб 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 международную 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 делясь 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

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

Оглавление

Глава 1: Основные понятия и классификация труб из вольфрамовых сплавов

- 1.1 Определение и базовая структура труб из вольфрамовых сплавов
- 1.2 Введение в систему материалов труб из вольфрамовых сплавов с высоким удельным весом (W-Ni-Fe / W-Ni-Cu)
- 1.3 Основные размерные параметры, диапазон толщин стенок и стандартные формы труб из вольфрамовых сплавов
- 1.4 Классификация труб из вольфрамовых сплавов (по составу, применению и процессу)
- 1.5 Сравнительный анализ труб из вольфрамовых сплавов с вольфрамовыми стержнями, вольфрамовыми пластинами и вольфрамово-медными трубами

Глава 2: Физические и механические свойства труб из вольфрамовых сплавов

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

Глава 3: Технология изготовления и формовки труб из вольфрамовых сплавов

- 3.1 Подготовка сырья и анализ свойств порошка для труб из вольфрамовых сплавов
- 3.2 Технология прессования в порошковой металлургии для труб из вольфрамовых сплавов (литье под давлением, изостатическое прессование)
- 3.3 Процесс полый штамповки и конструкция ключевых штампов для труб из вольфрамовых сплавов
- 3.4 Технология спекания и оптимизация контроля атмосферы для труб из вольфрамовых сплавов
- 3.5 Процесс термообработки и технология повышения уплотнения для труб из вольфрамовых сплавов
- 3.6 Обработка внутренней и внешней поверхности труб из вольфрамовых сплавов (полировка, гальванопокрытие, PVD и т. д.)
- 3.7 Новые технологии изготовления труб из вольфрамовых сплавов: экструзия, прокатка и аддитивное производство

Глава 4: Эксплуатационные испытания и оценка качества труб из вольфрамовых сплавов

- 4.1 Методы испытаний внешнего вида и геометрических размеров труб из вольфрамового сплава
- 4.2 Испытание плотности труб из вольфрамового сплава и характеристика плотности микроструктуры

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.3 Стандарты испытаний механических свойств труб из вольфрамового сплава (ASTM, GB, ISO)

4.4 Металлографический анализ и микроструктурное наблюдение труб из вольфрамового сплава

4.5 Химический состав и испытание на примеси труб из вольфрамового сплава (ICP, XRF, ONH)

4.6 Методы оценки однородности толщины стенок и соосности труб из вольфрамового сплава

4.7 Методы обнаружения дефектов поверхности и внутренних стенок труб из вольфрамового сплава (вихретоковая, КТ, ультразвуковая)

Глава 5: Типичные области применения труб из вольфрамовых сплавов

5.1 Трубы из вольфрамового сплава для экранирования и структурной оболочки в атомной промышленности

5.2 Трубы из вольфрамового сплава для структурных и защитных функций в военных системах вооружения

5.3 Трубы из вольфрамового сплава для защиты и позиционирования в медицинском радиотерапевтическом оборудовании

5.4 Трубы из вольфрамового сплава для инерциальных компонентов и высокотемпературных каналов потока в аэрокосмической промышленности

5.5 Трубы из вольфрамового сплава для каналов рассеивания тепла в электронном и коммуникационном оборудовании

5.6 Трубы из вольфрамового сплава для структурной поддержки в промышленных формах и износостойких вкладышах

Глава 6: Направление исследований, разработок и инноваций в области труб из специальных вольфрамовых сплавов

6.1 Подготовка и оптимизация характеристик труб из вольфрамового сплава, армированного наночастицами

6.2 Стратегии проектирования и контроль микроструктуры микролегированных труб из вольфрамового сплава

6.3 Композитные электрические, термические и антимагнитные свойства многофункциональных труб из вольфрамового сплава

6.4 Микроструктурная термостабильность и пути термообработки высокотемпературных труб из вольфрамового сплава

6.5 Исследование механизма связывания интерфейса в композитных трубах из вольфрамового сплава W-Cu/W-Ni

6.6 Поверхностные покрытия и технологии повышения коррозионной стойкости для функционализированных труб из вольфрамового сплава

Глава 7: Международные стандарты и система соответствия для труб из вольфрамовых сплавов

7.1 Китайские национальные/отраслевые стандарты для труб из вольфрамовых сплавов (GB/T, YS/T)

7.2 Интерпретация системы стандартов США (ASTM, MIL) для труб из вольфрамовых

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

сплавов

7.3 Требования международных стандартов ЕС и ISO к трубам из вольфрамовых сплавов

7.4 Требования к соблюдению экологических норм для труб из вольфрамовых сплавов (RoHS, REACH, MSDS)

7.5 Системы качества для труб из вольфрамовых сплавов в авиации, атомной энергетике и медицине (AS9100, ISO13485)

Глава 8: Технические условия на упаковку, хранение и транспортировку труб из вольфрамовых сплавов

8.1 Выбор упаковочного материала и конструкция защиты (вакуум, сушка, буферизация) для трубок из вольфрамового сплава

8.2 Условия хранения и требования к защите от коррозии и окисления для трубок из вольфрамового сплава

8.3 Международные транспортные спецификации для трубок из вольфрамового сплава

8.4 Таможенный контроль и заявка на получение лицензии на экспорт трубок из вольфрамового сплава

Глава 9: Структура отрасли и тенденции рынка труб из вольфрамовых сплавов

9.1 Обзор мировых ресурсов вольфрама и анализ цепочки производства труб из вольфрамовых сплавов

9.2 Прогноз емкости рынка и тенденций роста спроса на трубы из вольфрамовых сплавов

9.3 Введение в трубы из вольфрамовых сплавов CTIA GROUP

9.4 Влияние колебаний цен на сырье для труб из вольфрамовых сплавов и структуры затрат

9.5 Формирующийся спрос и направление политики в отношении труб из вольфрамовых сплавов в высокотехнологичном производстве

9.6 Технические барьеры и дальнейшие пути развития отрасли труб из вольфрамовых сплавов

Глава 10: Границы исследований и будущее развитие труб из вольфрамовых сплавов

10.1 Исследования по высокой плотности и формовке сложных форм труб из вольфрамовых сплавов

10.2 Исследование интеграции аддитивного производства и интеллектуального производства труб из вольфрамовых сплавов

10.3 Комплексная разработка и расширение применения многофункциональных композитных труб из вольфрамовых сплавов

10.4 Развитие эксплуатационных характеристик труб из вольфрамовых сплавов в экстремальных условиях эксплуатации

10.5 Стратегии устойчивого развития и исследования альтернативных материалов для труб из вольфрамовых сплавов

Приложение

- Приложение 1: Общие физико-механические свойства труб из вольфрамовых сплавов
- Приложение 2: Сравнение распространенных марок и химического состава труб из вольфрамовых сплавов

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

- Приложение 3: Сборник соответствующих нормативных документов и технических данных по трубам из вольфрамовых сплавов
- Приложение 4: Глоссарий терминов и английские сокращения для труб из вольфрамового сплава



Глава 1. Основные понятия и классификация труб из вольфрамовых сплавов

1.1 Определение и базовая структура трубы из вольфрамового сплава

Трубы из вольфрамовых сплавов – это современный функциональный конструкционный материал, состоящий преимущественно из тугоплавкого и плотного вольфрама (W), легированного другими металлами, такими как никель (Ni), железо (Fe), медь (Cu) и молибден (Mo) в определённых пропорциях. Эти трубы изготавливаются методом порошковой металлургии или другими методами формовки в полые, цилиндрические или фасонные трубы. Трубы из вольфрамовых сплавов сочетают в себе высокую плотность и термостойкость вольфрама с пластичностью, обрабатываемостью и комплексными физическими свойствами, обусловленными легирующими элементами. Они широко используются в атомной промышленности, аэрокосмической промышленности, военной технике, медицинской защите, электронной упаковке и высокотемпературных технологических системах.

1. Дайте определение иерархическому анализу

С точки зрения структуры состава, сердечник трубы из вольфрамового сплава на 90–98% состоит из вольфрама. Образуя плотную и однородную металлическую матрицу с добавлением от 1 до 10% таких элементов, как Ni, Fe и Cu, он не только сохраняет высокий удельный вес вольфрама (плотность может достигать 17,0–18,5 г/см³), но и приобретает определённую степень пластичности и обрабатываемости.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

С точки зрения конструкции, трубы из вольфрамовых сплавов обычно представляют собой полые трубчатые изделия круглого или прямоугольного сечения. Толщина стенки, длина, внутренний и наружный диаметры могут быть гибко изменены в соответствии с требованиями заказчика. Типичная толщина стенки составляет от 0,5 до 10 мм, а длина может достигать десятков сантиметров и даже метров. В зависимости от условий эксплуатации, формы поперечного сечения могут быть также эллиптическими, многоугольными или слоистыми композитными, что позволяет обеспечить распределение напряжений в конкретных условиях эксплуатации.

Что касается методов производства, трубы из вольфрамовых сплавов изготавливаются преимущественно методом порошковой металлургии, которая включает в себя пропорциональное смешивание порошка на основе вольфрама с легирующими элементами, прессование и формование смеси, а затем её уплотнение и спекание в высокотемпературной защитной атмосфере для получения высокоплотной и прочной заготовки из вольфрамового сплава. Затем она подвергается механической обработке, прокатке или экструзии для получения полрой трубы с требуемыми размерами и точностью поверхности. Кроме того, в последние годы для высокопроизводительного производства труб из вольфрамовых сплавов также применяются передовые производственные процессы, такие как холодное изостатическое прессование (ХИП), горячее изостатическое прессование (ГИП) и лазерная аддитивная технология.

2. Конструктивные характеристики и эксплуатационные преимущества

Трубки из вольфрамового сплава имеют значительные преимущества в функциональном применении благодаря своей трубчатой структуре:

1. Синергетические свойства высокого удельного веса и полрой конструкции :

Высокая плотность вольфрама позволяет трубкам из вольфрамового сплава достигать большого распределения массы в малом объеме, что делает их особенно подходящими для использования в качестве инерционных деталей, элементов противовеса, защитных рукавов от излучения и т. д. Трубчатая структура помогает снизить нагрузку на нефункциональные области и повысить эффективность интеграции системы.

2. Хорошие тепловые и электрические свойства :

Трубки из вольфрамовых сплавов обладают превосходной термостойкостью и теплопроводностью при высоких температурах, что делает их пригодными для использования в качестве высокотемпературных трубопроводов для жидкостей, тепловых полевых конструкций и теплозащитных кожухов в вакуумных приборах. Кроме того, их низкое удельное сопротивление позволяет использовать их в некоторых системах электромагнитного экранирования, разрядных устройствах и электронагревательных элементах.

3. Высокая управляемость при структурной обработке :

по сравнению с чистым вольфрамом, вольфрамовый сплав обладает определённой обрабатываемостью при сохранении базовой прочности благодаря введению легирующих элементов с более

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

высокой пластичностью. Он позволяет получать высокоточные размеры внутреннего и внешнего диаметра, а также шероховатость поверхности посредством токарной обработки, шлифовки внутреннего диаметра, полировки и т.д., что отвечает высоким требованиям к сборке.

4. **Высокая радиационная стойкость, коррозионная стойкость и усталостная прочность** : трубы из вольфрамовых сплавов в основном используются в условиях высокой радиации, таких как атомные электростанции и радиотерапевтическое оборудование. Благодаря превосходным экранирующим свойствам и структурной стабильности они являются предпочтительным материалом для изготовления нейтронопоглощающих втулок и компонентов, блокирующих гамма-излучение. Поверхностная обработка (например, никелирование и PVD-покрытия) может дополнительно повысить коррозионную стойкость и продлить срок службы.

3. Структурные различия с точки зрения классификации

Трубы из вольфрамовых сплавов часто демонстрируют различные характеристики в структурном проектировании в соответствии с различными методами классификации, такими как:

- **соотношению внутреннего диаметра к толщине стенки** : тонкостенные трубы из вольфрамового сплава (толщина стенки < 1 мм) в основном используются в ситуациях со строгими требованиями к качеству и пространству, например, в инерционных деталях аэрокосмической техники; толстостенные трубы из вольфрамового сплава используются в средах, подверженных давлению и ударам, например, в оболочках сердечников и цилиндрах давления.
- **Классификация по способу формования** : формованный тип, полый прессованный тип, прокатный сварной тип и т. д., каждый из которых соответствует различной точности размеров и возможностям контроля затрат.
- **Классификация по функции применения** : тип структурной опоры (например, направляющие трубы, каркасные трубы), тип экранирования и защиты (например, крышки радиационной защиты), тип теплопередачи и электропроводности (например, высокотемпературные тепловые полевые трубки) и т. д.

4. Различия между трубками из вольфрамового сплава и традиционными трубками

По сравнению с традиционными трубами, такими как трубы из нержавеющей стали, медных сплавов и титановых сплавов, трубы из вольфрамовых сплавов уникальны в следующих аспектах:

- Более высокая плотность, более высокая стойкость к радиации и возможность достижения такого же или более высокого барьерного эффекта при более тонких стенках трубки;
- Высокая температура плавления (вольфрам достигает 3410°C) обеспечивает ему превосходную структурную стабильность при высоких температурах;
- Электромагнитная непрозрачность делает его пригодным для экранирующих и подавляющих конструкций в специальных диапазонах;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Прочность конструкции выше, чем у титанового сплава, износостойкость лучше, чем у медного сплава, а стойкость к коррозии может быть повышена за счет нанесения покрытия.

V. Резюме

Подводя итог, можно сказать, что трубы из вольфрамовых сплавов представляют собой тип полого конструкционного материала, сочетающего в себе высокую плотность, прочность, превосходную термостойкость и функциональное разнообразие. Его определение не ограничивается формой «трубы», а представляет собой систему конструкционных материалов с чрезвычайно прочными композитными свойствами. Благодаря постоянному совершенствованию технологий изготовления и повышению требований к применению, структурная форма и функциональная конфигурация труб из вольфрамовых сплавов будут продолжать развиваться в сторону повышения точности, снижения веса и развития более интегрируемых направлений.

1.2 Знакомство с системой материалов труб из тяжелых вольфрамовых сплавов (W-Ni-Fe / W-Ni-Cu)

Трубы из вольфрамового сплава высокой плотности – это многофазный металлический материал, состоящий из вольфрама (W) в качестве основного элемента (обычно от 85% до 98%) с добавлением никеля (Ni), железа (Fe) или меди (Cu). Благодаря чрезвычайно высокой плотности (обычно $\geq 17,0$ г/см³), превосходной механической прочности и хорошей обрабатываемости, он широко используется в таких высокотехнологичных областях, как защитные конструкции, инерционные компоненты, радиационно-стойкие оболочки и трубопроводы для атомной промышленности.

Среди систем вольфрамовых сплавов для изготовления труб наиболее популярными в настоящее время являются системы из вольфрамовых сплавов высокой плотности **W-Ni-Fe** и **W-Ni-Cu**. Благодаря различному соотношению элементов и методам управления микроструктурой, они обеспечивают гармоничный баланс механических и электромагнитных свойств, а также эксплуатационную стабильность при сохранении высокой плотности.

1. Введение в трубку из вольфрамового сплава системы W-Ni-Fe

1. Характеристики системы

Системы сплавов W-Ni-Fe обычно состоят из вольфрама (90–97%) в качестве основной матрицы, а никель и железо образуют связующий металл (обычно в соотношении Ni:Fe = 7:3–1:1). Они имеют двухфазную или трёхфазную структуру: частицы вольфрама окружены непрерывной матрицей из сплава γ -Ni-Fe. Такая структура обеспечивает **высокую прочность, пластичность и хорошую обрабатываемость**.

2. Преимущества применения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Высокая прочность и высокая ударная вязкость** : типичная прочность на растяжение может достигать 800–1000 МПа, а относительное удлинение составляет 10–30%, что подходит для конструктивных элементов, подверженных сложным нагрузкам.
- **Отличная свариваемость и обрабатываемость** : по сравнению с чистыми вольфрамовыми материалами система W-Ni-Fe имеет более высокую производительность обработки, что удобно для обработки глубоких отверстий, внутренней и внешней круговой полировки и прецизионной сварки.
- **Высокая радиационная стойкость** : высокое содержание вольфрама обеспечивает превосходные возможности защиты от гамма- и рентгеновского излучения и широко используется в полых конструкциях, защитных кожухах, каналах терморегулирования и т. д. в атомной промышленности.

3. Типичные сценарии применения

- Нейтронные поглощающие трубы ядерных реакторов и защитные кожухи оборудования по переработке ядерных отходов;
- Защитный цилиндр медицинского радиотерапевтического аппарата;
- Высокоплотные инерционные рукава или структурные стабилизаторы в ракетах или космических аппаратах.

2. Знакомство с трубкой из вольфрамового сплава системы W-Ni-Cu.

1. Характеристики системы

Система W-Ni-Cu также использует вольфрам в качестве основного компонента, дополненного никелем и медью в качестве связующей фазы. Соотношение Cu/Ni обычно регулируется в диапазоне от 1:1 до 3:7. В этой системе Cu заменяет Fe в качестве вторичного элемента, образуя **немагнитную связующую фазу** . Это обычно приводит к более однородной структуре и лучшей электро- и теплопроводности.

2. Преимущества применения

- **Система немагнитных материалов** : структура без содержания железа делает ее пригодной для использования в высокочувствительных к магнитному полю средах, таких как МРТ, магниточувствительное детекторное оборудование и другое оборудование.
- **Лучшая электро- и теплопроводность** : он имеет меньшее удельное сопротивление и большую теплопроводность, чем система W-Ni-Fe, и может играть важную роль в электромагнитном экранировании и каналах теплопроводности.
- **Диапазон контролируемой плотности** : Диапазон контроля плотности широкий (16,5~18,0 г/см³), который можно точно настроить в соответствии с требованиями различных конструкций труб.

3. Типичные сценарии применения

- Каналы терморегулирования для компоновки авионики;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Немагнитные компоненты детекторов для оборудования физики высоких энергий;
- Радиационный экранирующий слой в высокочастотном оборудовании или системе микроволновой защиты.

3. Сравнительный анализ двух основных систем (применительно к трубкам из вольфрамового сплава)

Сравнительное измерение	Система W-Ni-Fe	Система W-Ni-Cu
Организационная структура	Частицы вольфрама + связующая фаза Ni-Fe	Частицы вольфрама + связующая фаза Ni-Cu
Сила/выносливость	Выше (прочность на разрыв 800~1000 МПа, удлинение 15%~30%)	Высокая (прочность на разрыв 600~800 МПа, удлинение 10%~20%)
Производительность обработки	Хорошо, подходит для механической обработки и сварки.	Лучше, особенно подходит для точного формования и глубокого сверления отверстий
Электромагнитные свойства	слабый магнетизм	Немагнитный
Электро- и теплопроводность	середина	Лучше
Инструкция по применению	Несущие конструкции, защитные трубопроводы, военные сооружения	Медицинская защита, электронный термоконтроль, магнитный контроль обнаружения

4. Исследование других материальных систем

Помимо систем W-Ni-Fe и W-Ni-Cu, исследования трубок из вольфрамовых сплавов также распространяются на другие системы многоэлементных сплавов, включая:

- Труба из сплава W-Ni-Co : используется для коррозионно-стойких конструкций в условиях высоких температур и высокого давления ;
- Трубка из сплава W-Mo-Ni : сплав молибдена улучшает эксплуатационные характеристики при высоких температурах;
- трубка из вольфрама-молибдена-никеля-железа : многофазная структура сосуществования с лучшей стойкостью к тепловым ударам и долговечностью.

Этот тип многоэлементной контролируемой системы сплавов используется в таких передовых областях, как устройства ядерного синтеза и компоненты защиты от экстремальных условий окружающей среды, и станет одним из важных направлений исследований в области труб из вольфрамовых сплавов в будущем.

V. Резюме

Системы тяжелых сплавов W-Ni-Fe и W-Ni-Cu являются двумя оплотами производства и применения труб из вольфрамовых сплавов. Первая фокусируется на прочности и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

структурной безопасности, что делает ее пригодной для тяжелых условий эксплуатации, таких как военная и ядерная энергетика. Последняя, известная своими немагнитными свойствами и превосходной тепло- и электропроводностью, широко используется в электронике, медицине и точном машиностроении. Каждая из них обладает преимуществами в производительности и применении, образуя двойную конструкцию для системы материалов труб из вольфрамовых сплавов. С непрерывным развитием технологий, таких как порошковая металлургия, композитные материалы и аддитивное производство, система материалов труб из вольфрамовых сплавов также будет иметь тенденцию быть более диверсифицированной, интеллектуальной и функционально интегрированной для удовлетворения более сложных и меняющихся промышленных задач.

1.3 Основные размерные параметры, диапазон толщин стенок и стандартные формы труб из вольфрамовых сплавов

Трубы из вольфрамовых сплавов, являясь функциональными металлическими трубами с высокой плотностью, прочной структурой и коррозионной стойкостью, широко используются в военной, атомной, медицинской, аэрокосмической промышленности и производстве высокотехнологичного оборудования. Поскольку их применение часто требует чрезвычайно высокой точности конструкции, эксплуатационной стабильности и технологической адаптируемости, контроль размеров труб из вольфрамовых сплавов становится основным показателем качества. В данном разделе систематически рассматриваются ключевые размерные параметры, диапазон толщины стенки и стандартные характеристики формы труб из вольфрамовых сплавов, применяемых в реальных производственных и инженерных условиях, что служит подробной основой для проектирования, выбора материалов и стандартизации производства.

1. Определение и методы измерения основных размерных параметров

Трубы из вольфрамового сплава имеют следующие основные параметры:

1. **Наружный диаметр (OD)** : максимальный диаметр внешней окружности трубки из вольфрамового сплава, обычно используемые единицы измерения — миллиметры (мм) или дюймы (дюймы).
2. **Внутренний диаметр (ВД)** : диаметр внутренних пор трубки из вольфрамового сплава, который является ключевым показателем, влияющим на поток жидкости и проникающую способность внутри трубки.
3. **Толщина стенки** : половина разницы между наружным и внутренним диаметрами. Толщина стенки определяет структурную прочность, прочность на сжатие и радиационную стойкость трубки из вольфрамового сплава.
4. **Длина** : осевой размер трубки из вольфрамового сплава, который можно разделить на фиксированные длины (например, 100 мм, 300 мм, 500 мм) и индивидуальные длины в соответствии с потребностями.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

для выполнения высокоточного размерного контроля с целью обеспечения соответствия изделия требованиям проекта используются такие приборы, как **лазерные измерители диаметра, микрометры внутреннего диаметра, ультразвуковые толщиномеры, оптические системы измерения изображений и т. д.**

2. Общие характеристики размеров и стандартный ассортимент

В соответствии с отраслевой практикой и потребностями заказчиков размерные параметры труб из вольфрамовых сплавов обычно находятся в следующих диапазонах:

проект	Общие диапазоны (метрические единицы)	проиллюстрировать
внешний диаметр	φ1 мм ~ φ150 мм	Специальные применения могут достигать более φ200 мм.
внутренний диаметр	φ0,5 мм ~ φ145 мм	Обеспечить толщину стенки $\geq 0,25$ мм, как правило, не менее 10% наружного диаметра.
толщина стенки	0,25 мм до 30 мм	Сверхтонкостенные трубы используются для прецизионной медицинской помощи, а толстостенные трубы подходят для защитных конструкций.
длина	от 10 мм до 2000 мм	Обычно ≤ 500 мм, длинные трубы требуют контроля поддержки горячего изостатического прессования
Отклонение толщины стенки	от $\pm 0,01$ мм до $\pm 0,2$ мм	Прецизионные изделия соответствуют более строгим стандартам допусков

К трубам из вольфрамовых сплавов различного назначения предъявляются различные требования по точности размеров, например:

- **Трубки из вольфрамового сплава для радиотерапии** : допуск внутреннего диаметра должен быть не более $\pm 0,02$ мм для обеспечения герметичности конструкции разъема;
- **Трубка из вольфрамового сплава с инерционным весом** : обычно основное внимание уделяется постоянству общей массы и толщины стенки, а допуск внешнего диаметра может быть снижен до $\pm 0,1$ мм;
- **Компоненты ядерного реактора** : особое внимание следует уделять контролю шероховатости внутренних стенок и осевой прямолинейности, чтобы избежать концентрации напряжений во время эксплуатации.

3. Соотношение между расчетной толщиной стенки и требованиями к эксплуатации

Трубы из вольфрамового сплава не только обладают несущей способностью, но и влияют на сложность обработки, охлаждающую способность, теплопроводность и срок службы. В целом:

- **Тонкостенная структура (толщина стенки < 1 мм)** : подходит для небольшого медицинского оборудования, микроканального охлаждения, прецизионных

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

направляющих потоков и других областей. Сложно поддается обработке, но обладает отличными характеристиками терморегуляции.

- **Структура со средней толщиной стенки (1 мм ~ 5 мм) :** наиболее распространенная, подходит для многоцелевого использования, например, для изготовления противовесов высокой плотности, военных наконечников, компонентов ядерной защиты и т. д., принимая во внимание как прочность, так и технологичность.
- **Толстостенные конструкции (> 5 мм) :** в основном используются в конструкциях, требующих высокой ударопрочности, коррозионной стойкости и защиты от радиации, таких как хвостовые отсеки ракет, упаковка ядерных отходов и другие. Для устранения внутренних остаточных напряжений обычно требуется горячее изостатическое прессование.

При реальном проектировании толщину стенки необходимо определять комплексно, исходя из следующих факторов:

- Требуемые показатели прочности и жесткости;
- Максимальная разница внутреннего и внешнего давления;
- Требования к эффективности теплопередачи;
- ограниченные пространственные ограничения;
- Контроль затрат на материалы.

4. Стандартная геометрия трубки из вольфрамового сплава

Хотя основная форма трубы из вольфрамового сплава — цилиндрическая, ей можно придавать различные геометрические формы в зависимости от условий использования и методов обработки:

1. Стандартная круглая труба

- Самый распространенный тип, подходящий для всех типов муфтовых, проточных и коаксиальных конструкций.
- Хорошую concentricity можно обеспечить, используя ротационные штампы или изостатическое прессование.

2. Квадратные трубы и трубы специальной формы

- Его часто используют в местах со строгими требованиями к сочетанию конструкций и их размещению.
- Процесс производства относительно сложен, а формование требует направленного прессования формы.

3. Многоканальная трубка из вольфрамового сплава

- Трубка с пористой структурой для распределения воздушного потока и поддержки микроструктуры;
- Его часто можно увидеть в экспериментах по физике высоких энергий и в системах охлаждения ядерного оборудования.

4. Функциональная трубка с резьбой или позиционной канавкой

- Облегчить последующую сборку, соединение или крепление;
- Большинство из них представляют собой индивидуальные конструкции.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5. Стандарты точности размеров и международное сравнение

Единый глобальный стандарт продукции для труб из вольфрамовых сплавов. Для проектирования или приемки часто используются следующие системы стандартов:

- **Китай:** GB/T 3874, YS/T 798 и т. д.
- **США:** ASTM B777, MIL-T-21014 и т. д. ;
- **Европа/ISO:** классы допуска ISO 2768, ISO 286 и т. д.

В зависимости от реальных потребностей его можно разделить на следующие уровни точности:

оценка	Допуск толщины стенки	Допуск OD/ID	Применимые области
Обычный	$\pm 0,2$ мм	$\pm 0,3$ мм	Противовес, общие конструктивные элементы
Класс точности	$\pm 0,05$ мм	$\pm 0,1$ мм	Медицинские, ядерные, аэрокосмические инерциальные компоненты
Сверхточный класс	В пределах $\pm 0,01$ мм	В пределах $\pm 0,02$ мм	Компоненты лазерных приборов, источники света высокой энергии

Преимуществом труб из вольфрамовых сплавов в обработке материалов и применении в производстве является их способность

обеспечивать чрезвычайно жесткие допуски размеров и сложную структуру, сохраняя при этом исключительно высокую плотность и прочность. Правильный выбор наружного и внутреннего диаметров, толщины стенки и длины, а также соответствующие технологии формовки и испытаний имеют основополагающее значение для обеспечения их соответствия инженерным требованиям. С развитием аддитивного производства, прецизионной обработки и интеллектуальных технологий испытаний синергетический эффект стандартизации размеров и персонализации труб из вольфрамовых сплавов будет продолжать расти, что будет способствовать их широкому применению в высокотехнологичном производстве и экстремальных условиях эксплуатации.

1.4 Классификация труб из вольфрамовых сплавов (по составу, применению и процессу)

Трубы из вольфрамовых сплавов, являясь специальным материалом для изготовления труб, обладающим высокой плотностью, высокой температурой плавления, превосходной механической прочностью и хорошей коррозионной стойкостью, играют ключевую роль в различных областях. Для лучшего соответствия различным инженерным задачам, требованиям к обработке и стандартам материалов трубы из вольфрамовых сплавов тщательно классифицируются по нескольким типам в процессе производства и эксплуатации. Эти стандарты классификации обычно ориентированы на **систему состава сплава, типичные области применения и производственные процессы**, что позволяет выбирать

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

конструкцию, оценивать эксплуатационные характеристики и стандартизировать производство.

В этом разделе будут систематически представлены общепринятые в инженерной практике методы классификации труб из вольфрамовых сплавов, обеспечивающие базовую основу для сравнения характеристик, выбора технологий и сопоставления областей применения в последующих главах.

1. Классификация по компонентной системе

По сочетанию и соотношению металлических элементов трубы из вольфрамовых сплавов в основном подразделяются на следующие категории:

1. Трубка из сплава вольфрама-никеля-железа (трубка из вольфрамо-никелевого-железа)

- **Особенности** : Высокая плотность, хорошая прочность и сильная магнитная проводимость.
- **Типичное соотношение** : на долю вольфрама приходится 90–97 %, остальное — Ni и Fe в соотношении 7:3 или 1:1.
- **Применение** : инерционный противовес, пуленепробиваемая вставка, бронебойный снаряд, трубка ядерной защиты и т. д.
- **Адаптация процесса** : подходит для порошковой металлургии + процесса горячего изостатического прессования (ГИП).

2. Трубка из вольфрамового сплава W-Ni-Cu (трубка из вольфрама, никеля и меди)

- **Особенности** : немагнитный, лучшая проводимость, чем у W-Ni-Fe, высокая коррозионная стойкость.
- **Типичные пропорции** : 90–95 % вольфрама, 5–10 % смеси Ni и Cu.
- **Применение** : защита рентгеновского оборудования, компоненты, совместимые с МРТ, корпуса электронных тепловых трубок.
- **Приспособляемость к процессу** : подходит для изостатического прессования и прецизионной обработки, обладает хорошими свойствами обработки поверхности.

3. Трубка из сплава W-Cu (вольфрамово-медная трубка)

- **Особенности** : композитная структура, высокая теплопроводность, низкий коэффициент теплового расширения.
- **Применение** : используется в высокочастотном терморегулирующем оборудовании, защитных гильзах электродов, соплах ракет и т. д.
- **Трудности процесса** : неравномерная структура, сложная горячая обработка, для подготовки обычно используется технология инфильтрации меди.

4. Трубки из редкоземельных или микролегированных вольфрамовых сплавов

- **Добавленные элементы** : La, Y, Zr, Re, Ti и другие следы добавленных элементов.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Эффект упрочнения** : улучшение измельчения зерна, сопротивления термической усталости и высокотемпературной прочности.
- **Применение** : используется в плазменном оборудовании, устройствах экстремальных тепловых полей и микроструктурных внутренних трубках.

2. Классификация по назначению

Различные отрасли промышленности предъявляют особые требования к конструкции и эксплуатационным характеристикам труб из вольфрамовых сплавов, которые можно разделить на следующие категории в зависимости от их применения:

1. Трубка из вольфрамового сплава для защиты и экранирования

- **Типичные сценарии** : оборудование для защиты от нейтронного/гамма-излучения на атомных электростанциях, оборудование для радиотерапии и рентгеновские кожухи.
- **Требования к эксплуатационным характеристикам** : высокая плотность, немагнитность и стабильное поглощение излучения.
- **Типичные сплавы** : в основном система W-Ni-Cu, также применимы некоторые сплавы W-Cu.

2. Военное и аэрокосмическое структурное управление

- **Типичные области применения** : корпус сердечника бронебойного снаряда, внутренняя полость противовеса ракеты, внешняя труба инерциального гироскопа.
- **Требования к эксплуатационным характеристикам** : высокая прочность, ударопрочность, высокий удельный вес и стабильность при высоких температурах.
- **Представительные сплавы** : в основном система W-Ni-Fe, обладающая способностью контролировать как структурную, так и кинетическую энергию.

3. Трубки из вольфрамового сплава для электронных и терморегулирующих устройств

- **Типичные области применения** : термоэмиссионные трубки, тепловые трубки, микроволновые устройства, разрядные электродные трубки.
- **Основные характеристики** : высокая теплопроводность, низкое тепловое расширение и хорошие сварочные характеристики.
- **Рекомендации по сплаву** : предпочтительны трубки из немагнитных вольфрамовых сплавов W-Cu и W-Ni-Cu.

4. Медицинские и высокоточные конструкционные трубы

- **Применение** : канюли для лечения опухолей, КТ/рентгеновские сканеры, прецизионные наконечники.
- **Фокус** : Чрезвычайно малые допуски по внешнему и внутреннему диаметру, немагнитные, безопасные и нетоксичные.
- **Критерии отбора** : немагнитный сплав W-Ni-Cu или изготовленные на заказ сверхтонкие микротрубки.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Классификация по способу обработки

Вольфрамовый сплав напрямую влияет на внутреннюю структуру, механические свойства и область применения труб. Различные методы обработки подразделяются на следующие категории:

1. Прессованная трубка из вольфрамового сплава, изготовленная методом порошковой металлургии

- **Поток процесса** : дозирование металлического порошка → прессование в форме или изостатическое прессование → высокотемпературное спекание → отделка.
- **Преимущества** : хороший контроль плотности, подходит для труб сложной формы и высокая гибкость при работе с небольшими партиями.
- **Недостатки** : ограниченная плотность конструкции, сложность обработки тонкостенных и сверхдлинных труб.

2. Прядильная трубка из вольфрамового сплава

- **Применимые объекты** : круглые трубы средней длины и равномерной толщины стенок.
- **Особенности** : Улучшает организационную устойчивость, улучшает механические свойства и подходит для военных оболочечных конструкций.

3. Прессование и горячая прокатка труб из вольфрамовых сплавов

- **процесса** : Заготовки из вольфрамового сплава прессуются или прокатываются в трубы в нагретом состоянии.
- **Преимущества** : высокая эффективность, стабильная форма трубки, подходит для стандартизированного массового производства.
- **Ограничения** : Высокая стоимость оборудования и высокие требования к пластичности материала.

4. Аддитивное производство (АП) труб из вольфрамового сплава

- **Технические средства** : селективная лазерная плавка (СЛП), электронно-лучевая плавка (ЭЛП) и др.
- **Инновационные приложения** : можно реализовать сложные геометрические структуры (например, многопросветные трубки) и градиентные компоненты.
- **Перспективы** : Подходит для экстремальных условий работы и персонализированного применения высококлассного оборудования.

IV. Резюме

Трубы из вольфрамовых сплавов отражают строгую индивидуализацию конструкции, разнообразие сфер применения и специализированные производственные процессы. Классификация по составу способствует точному подбору требуемых характеристик; классификация по применению уточняет цели конечного использования; а классификация по

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

процессу отражает технологическую адаптируемость и технические возможности производства. В будущем, с углубленной разработкой функциональных вольфрамовых сплавов и широким применением интеллектуальных производственных технологий, система классификации труб из вольфрамовых сплавов станет еще более совершенной, обеспечивая высокопроизводительные и высоконадежные решения в области металлических труб для различных сложных проектов.

1.5 Сравнительный анализ трубок из вольфрамового сплава с вольфрамовыми стержнями, вольфрамовыми пластинами, трубками из вольфрамовой меди и другими материалами

Вольфрам и изделия из его сплавов, благодаря своим превосходным физическим, механическим и химическим свойствам, занимают важнейшее место в таких ключевых секторах, как производство высокотехнологичного оборудования, атомная энергетика, аэрокосмическая промышленность, медицина и военное применение. Среди многочисленных материалов на основе вольфрама наиболее распространены трубы, стержни, пластины и трубы из вольфрамово-медного сплава. Эти материалы имеют сходство по структуре, функциям, эксплуатационным характеристикам и обработке, но каждый из них обладает уникальными характеристиками.

В этом разделе будет проведено систематическое сравнение труб из вольфрамового сплава с вышеупомянутыми материалами, чтобы помочь проектировщикам, инженерам по выбору материалов и производителям принимать более научные решения о сопоставлении и замене материалов.

1. Сравнение структурной морфологии

Название материала	Основная форма	Описание типичной структуры
Трубка из вольфрамового сплава	Полый цилиндр, многополостное тело специальной формы	Наружный диаметр, внутренний диаметр и толщина стенки являются ключевыми параметрами.
Вольфрамовый стержень	Сплошной цилиндр	Обычно используется для контроля диаметра, гибкой настройки длины.
Вольфрамовая пластина	Сплошная плоская пластина	Контроль ширины × длины × толщины, подходит для дорожных конструкций
Трубка из вольфрамовой меди	Полая структура из вольфрамового композита, плакированного медью	Обычно композит W-Cu, теплопроводность лучше, чем у трубок из вольфрамового сплава

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Трубки из вольфрамового сплава отличаются тем, что они полые. Эта пустотность даёт им незаменимые преимущества в таких областях, как контроль качества, терморегулирование, каналы передачи сред и защитные кожухи.

2. Сравнение параметров производительности

проект	Трубка из вольфрамового сплава	Вольфрамовый стержень	Вольфрамовая пластина	Трубка из вольфрамовой меди
плотность	17,0–18,8 г/см³	18,0–19,2 г/см³	18,0–19,2 г/см³	14,5–17,0 г/см³
Сила и выносливость	Высокая прочность, средняя вязкость	Высокая прочность и высокая жесткость	Высокая жесткость, низкая прочность	Средняя прочность, отличная теплопроводность
Теплопроводность	середина	От низкого до среднего	От низкого до среднего	Высокая (>200 Вт/м·К)
Проводимость	в целом	в целом	в целом	Высокий (только для искрового разряда)
Немагнитный	доступна система вольфрам-никель-медь	В основном магнитные	В основном магнитные	Немагнитный
Радиационная стойкость	Очень сильный	Очень сильный	Очень сильный	мощный
Поддержка сложности формы	Высокий (можно изготовить в виде многопросветных трубок специальной формы)	в целом	в целом	в целом

Трубки из вольфрамового сплава отличаются высокой прочностью, малым весом и защитой от радиации, а также особенно подходят для особых случаев, требующих **полых конструкций** или **оптимизированных по весу конструкций**.

3. Сравнение технологий обработки

Название материала	Метод формования	Трудность обработки	Метод вторичной обработки
Трубка из вольфрамового сплава	Порошковая металлургия, изостатическое прессование, прядение и т. д.	Высокий (особенно тонкостенные трубы)	Внутреннее и наружное шлифование, чистовое точение, полировка поверхностей
Вольфрамовый стержень	Прессование порошков, спекание, ковка	Ниже	Резка, шлифовка, прокатка
Вольфрамовая пластина	Горячекатаные или холоднокатаные спеченные пластины	середина	Резка, лазерная формовка, сварка

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Трубка из вольфрамовой меди	Из Инфильтрация меди, экструзия или порошковая инъекция	Выше	Обработка электродов, термообработка, сварка
-----------------------------	---	------	--

Трубы из вольфрамовых сплавов, как правило, сложнее обрабатывать, чем цельные конструкции, такие как вольфрамовые стержни и пластины, из-за их полый структуры и высокой плотности материала. Особенно при проектировании точных внутренних отверстий и сверхтонких стенок к оборудованию и процессам предъявляются чрезвычайно высокие требования.

4. Сравнение сценариев использования

Области применения	Трубка из вольфрамового сплава	Вольфрамовый стержень	Вольфрамовая пластина	Трубка из вольфрамовой меди
военная промышленность	Бронебойный снаряд, внутренняя труба хвостового отсека ракеты	Сердечник, стержень противовеса	Защитная броня	Дульный электрод, теплообменная гильза
ядерная энергия	Трубки для поглощения нейтронов, трубки для покрытия ядерных отходов	Управляющие стержни, защитные блоки	Отражающий экран, стенка печи	Рубашка охлаждения
Медицинский	Рукав для радиотерапии, коллиматор гамма-ножа	стержень противовеса	рентгеновский экран	Прозрачная трубка для электромагнитных волн
Электроника и терморегулирование	Корпус тепловой трубки, трубка лазерного устройства	Ядро источника тепла	Пластина для поглощения микроволн	Высокочастотные электроды, рассеиватели тепла
Аэрокосмическая промышленность	Инерционная трубка для управления ориентацией спутника, высокотемпературная полость двигателя	Шток маховика гироскопа	Панели защиты от аэрокосмического излучения	Терморегулирующая пластина, комплект электродов

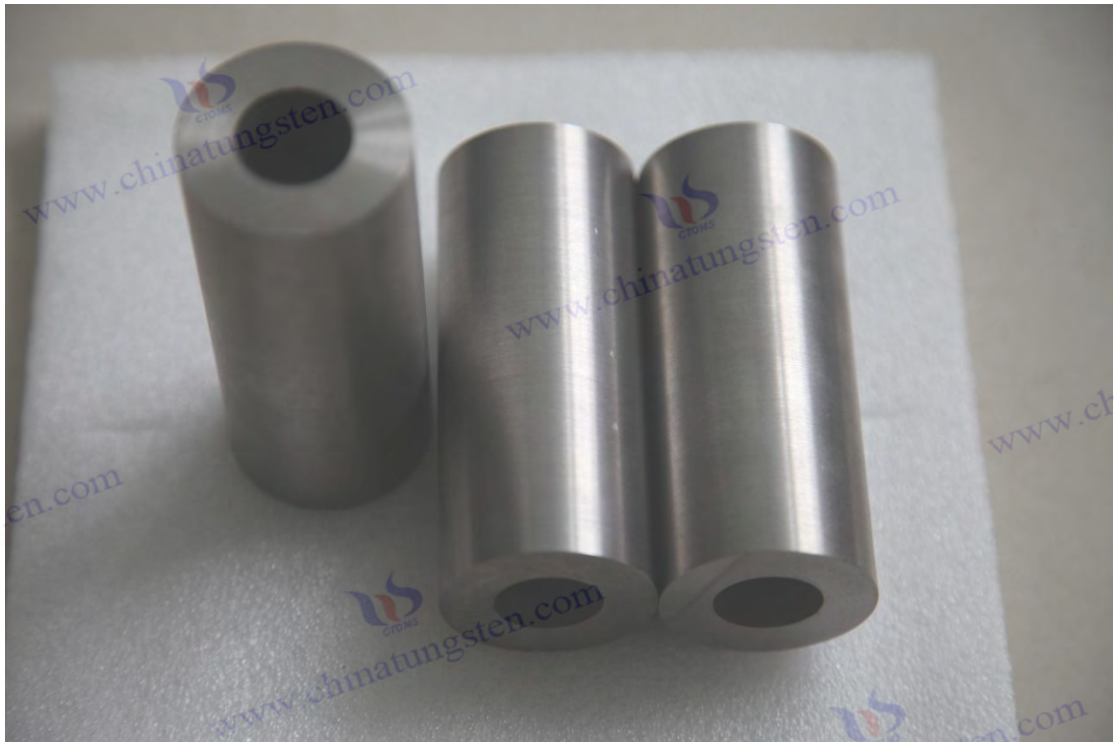
Трубки из вольфрамовых сплавов больше подходят для сценариев применения, требующих баланса между прочностью и массой, симметричных инерционных структур, каналов теплопередачи или оболочек радиационной защиты, демонстрируя их незаменимые инженерные преимущества.

V. Резюме

Трубки из вольфрамовых сплавов имеют те же основные характеристики, что и вольфрамовые стержни, вольфрамовые пластины и вольфрамово-медные трубки, но значительно различаются по конструкции, применению и технологическим процессам. Благодаря уникальной полый, высокопрочной структуре, трубки из вольфрамовых сплавов обеспечивают большую гибкость применения благодаря **высокому удельному весу**,

немагнитным свойствам, защитным и потоконаправляющим свойствам, а также точности посадки. Тенденция к снижению веса и многофункциональности трубок из вольфрамовых сплавов особенно заметна в атомной энергетике, авиации и военном секторе.

Понимание сходств и различий между различными материалами на основе вольфрама не только помогает в эффективном выборе, но и повышает инновационность и надежность структурного проектирования изделий.



Глава 2 Физические и механические свойства труб из вольфрамового сплава

2.1 Плотность, удельный вес и точность контроля размеров труб из вольфрамовых сплавов

Трубы из вольфрамовых сплавов – это конструкционный материал с высоким удельным весом, высокой термостойкостью и структурной стабильностью, физические свойства которого напрямую определяют их эксплуатационные характеристики в таких ключевых областях применения, как производство высокотехнологичного оборудования, защита атомной энергетики, аэрокосмическая промышленность и прецизионные приборы. **Плотность, удельный вес и точность контроля размеров** являются ключевыми показателями оценки качества и эксплуатационных характеристик труб из вольфрамовых сплавов.

1. Диапазон плотности и удельного веса труб из вольфрамового сплава

Вольфрамовые сплавы обычно имеют плотность от 16,8 до 18,8 г/см³ , в зависимости от состава сплава, плотности и процесса формовки. Типичные сплавы:

Тип сплава	Основные компоненты (массовая доля)	Теоретическая плотность (г/см³)
Серия W-Ni-Fe	W ≈ 90–97 %, Ni ≈ 2–7 %, Fe ≈ 1–3 %.	17,5–18,5
Серия W-Ni-Cu	W ≈ 85–95 %, Ni/Cu ≈ 5–15 %.	17,0–18,3

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Композитная система высокой плотности	W > 97%, другие металлы добавлены в небольших количествах	18.8 и выше
---------------------------------------	---	-------------

Плотность — ключевой показатель уплотнения и однородности материала. Трубы из вольфрамовых сплавов изготавливаются методом порошковой металлургии: прессование и спекание. На конечную плотность влияют такие факторы, как размер частиц порошка, метод прессования (холодное изостатическое прессование или прессование в штампах), атмосфера спекания и контроль температуры. Микропористость и неравномерное уплотнение могут существенно влиять на плотность, особенно в трубах из вольфрамовых сплавов с тонкими внутренними стенками или большими размерами, что требует оптимизации процесса путем горячего изостатического прессования (ГИП) или уплотнения.

Характеристики удельного веса и инженерное значение труб из вольфрамовых сплавов:
«Удельный вес» — это относительная мера плотности, определяемая как отношение плотности материала к плотности воды (при 4°C). Трубы из вольфрамовых сплавов обычно имеют удельный вес от **17,0 до 18,8**, что делает их тяжёлыми металлами. Высокий удельный вес обеспечивает следующие ключевые инженерные преимущества:

- **Увеличение инерционного веса** : в противовесах самолетов и гироскопических компонентах оно может эффективно увеличить инерцию системы и улучшить устойчивость.
- **Высокая эффективность использования пространства** : по сравнению с другими защитными материалами (такими как сталь и свинец) он может обеспечить такую же или даже более высокую защиту или структурную нагрузку в меньшем объеме.
- **Отличные антивибрационные характеристики и характеристики поглощения энергии** : материал с более высоким удельным весом имеет более высокую способность к демпфированию и поглощению кинетической энергии, подходит для применения в пуленепробиваемых и ударопрочных изделиях.

3. Контроль размеров и точность обработки труб из вольфрамового сплава

Точность контроля размеров труб из вольфрамовых сплавов в основном отражается в следующих основных параметрах:

- **Допуск внешнего диаметра** : обычно контролируется в пределах от $\pm 0,01$ мм до $\pm 0,05$ мм в зависимости от технических характеристик изделия;
- **Допуск внутреннего диаметра** : на него влияют усадка при спекании и механическая обработка; допуск обычно находится в диапазоне от $\pm 0,02$ мм до $\pm 0,10$ мм;
- **Равномерность толщины стенок** : важная гарантия целостности конструкции. Для высокоточных изделий требуется, чтобы разница в толщине стенок не превышала $\pm 5\%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Прямолинейность и округлость** : Особенно для длинных трубных изделий контроль прямолинейности с точностью до 0,1 мм/м является авиационным/военным стандартом.

Вольфрамовый сплав обладает высокой твёрдостью, хрупкостью и высокой трудоёмкостью обработки. Точность размеров обработки должна быть обеспечена следующими технологическими средствами:

- **Высокоточное прессование пресс-форм** обеспечивает единообразие исходной формы и размера;
- **Равномерный контроль температуры во время высокотемпературного спекания** для предотвращения неравномерной усадки при спекании;
- **Вторичная прецизионная токарная обработка, внутренняя и наружная шлифовка** , в конечном итоге позволяющие получить точные внутренние отверстия и гладкие наружные стенки;
- **Бесконтактные лазерно-оптические измерительные системы** используются для полного или выборочного контроля размеров готовой продукции.

4. Влияние размерного контроля на производительность обслуживания

Точность контроля размеров играет решающую роль в стабильности эксплуатации труб из вольфрамовых сплавов:

- **Прецизионный внутренний диаметр** : влияет на эффективность каналов жидкости, фокусирующих гамма-излучения, теплообменников и т. д.
- **Постоянство толщины стенки** : связано с распределением термических напряжений, равномерностью защиты и прочностью конструкции;
- **Контроль погрешностей формы** : может улучшить общую устойчивость системы при сборке компонентов и многотрубной параллельной структуре;
- **Стабильность размеров** : сохранение размеров в условиях высоких температур и давления является ключом к обеспечению длительного срока службы.

Таким образом, трубы из вольфрамового сплава должны не только обладать высокой плотностью и отсутствием внутренних дефектов, но и обеспечивать строгий контроль геометрических размеров и форм для удовлетворения требований точной адаптации и высокой надежности в сложных условиях.

V. Резюме

Трубы из вольфрамовых сплавов, благодаря своей высокой плотности, высокому удельному весу и исключительной точности размеров, стали незаменимыми основными конструкционными компонентами во многих высокотехнологичных областях. В настоящее время, благодаря развитию изостатического прессования, высокоточного проектирования пресс-форм, шлифования с ЧПУ и технологий бесконтактного контроля, контроль размеров трубок из вольфрамовых сплавов неуклонно продвигается к субмикронным допускам. Будущие применения в ядерной медицине, сверхвысокотемпературных энергетических

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

системах и оборудовании для экстремальных условий эксплуатации станут ещё более перспективными.

2.2 Прочность на растяжение, предел текучести и вязкость разрушения труб из вольфрамового сплава

Трубы из вольфрамовых сплавов благодаря высокой плотности, высокой температуре плавления и превосходным механическим свойствам играют важную роль в аэрокосмической промышленности, ядерной защите, оборонной обороне и производстве высокотехнологичного оборудования. Прочность на растяжение, предел текучести и вязкость разрушения являются ключевыми механическими показателями, определяющими их структурную стабильность и эксплуатационную надежность.

1. Обзор предела прочности на растяжение и предела текучести

- **Предел прочности на разрыв (σ_b)** : это максимальное напряжение, которое может выдержать материал при испытании на растяжение, указывающее максимальную силу растяжения, которую материал может выдержать перед разрушением.
- **Предел текучести (σ_s)** : относится к точке напряжения, при которой материал начинает подвергаться очевидной пластической деформации, и является стандартом для оценки предела упругости материала.

Трубы из вольфрамовых сплавов, таких как W-Ni-Fe и W-Ni-Cu, имеют прочность на растяжение и предел текучести, которые тесно связаны с составом сплава, микроструктурой, степенью уплотнения и последующей термической обработкой.

Система сплавов	Прочность на растяжение (МПа)	Предел текучести (МПа)	Удлинение (%)
W-Ni-Fe (90 Вт)	700–1000	500–800	10–25
W-Ni-Cu (90 Вт)	600–900	400–700	15–30
Высокопрочный сплав W	1000–1200+	800–1000	5–15

2. Влияние конструкции сплава на прочностные свойства

1. **Содержание вольфрама** : повышенная жаропрочность и удельный вес, но пониженная пластичность;
2. **Регулировка соотношения Ni/Fe** : улучшение способности к связыванию фазовых границ и степени упрочнения твердого раствора;
3. **Уменьшение размера зерна** : Уменьшение размера зерна может повысить предел текучести, но может снизить пластичность;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. **Уплотнение спеканием и термическая обработка** : могут уменьшить внутреннюю пористость, улучшить прочность и структурную однородность.

Например, после использования процесса ****горячего изостатического прессования (ГИП)**** плотность труб из вольфрамового сплава может достигать более 99,5%, а предел текучести может быть увеличен на 15–20%.

3. Вязкость разрушения и ее оценка

Вязкость разрушения (ВКР) – это способность материала противостоять распространению трещин при наличии дефектов или трещин, что отражает его способность противостоять хрупкому разрушению. Для таких материалов, как трубы из вольфрамовых сплавов, работающих в сложных полях напряжений, вязкость разрушения имеет важнейшее инженерное значение.

Прочность вольфрамовых сплавов обычно находится в диапазоне 15–35 МПа·м^{1/2}, что значительно выше, чем у чистого вольфрама (<10 МПа·м^{1/2}). На его эксплуатационные характеристики влияют следующие факторы:

- **Содержание вязкой фазы (Ni/Cu)** : матрица вязкого металла обеспечивает канал для пассивации трещин и рассеивания энергии;
- **Многофазное распределение интерфейса** : дисперсно-упрочненные частицы и прерывистые структуры могут препятствовать распространению трещин;
- **Механизм поглощения микротрещин** : способствует образованию буферной зоны у вершины трещины.

Меры по улучшению включают: добавление редкоземельных элементов (таких как La и Ce) путем микролегирования или достижение «прочно-жесткой» синергии за счет проектирования двухфазной структуры.

4. Влияние температуры на прочностные свойства

Трубки из вольфрамового сплава чувствительны к температуре:

- В диапазоне **600–800° С** прочность на растяжение остается относительно стабильной ;
- температуре выше **1000° С** в некоторых системах сплавов наблюдается снижение прочности из-за ослабления границ зерен, выделения фаз и других явлений;
- Некоторые жаропрочные сплавы W (например, W-Re-Ni-Fe) могут сохранять прочность более 500 МПа в диапазоне температур **1200–1500 ° С** .

Поэтому для труб из вольфрамовых сплавов, эксплуатируемых в условиях высоких температур, необходимо сочетать стратегии термообработки, упрочнения и контроля микроструктуры, чтобы замедлить ухудшение эксплуатационных характеристик.

5. Сравнение требований к прочности в типичных сценариях применения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Области применения	Типичные требования к прочности (МПа)	проиллюстрировать
Аэрокосмические тяговые аксессуары	>900	Выдерживать высокоскоростное вращение/удар/перепад температур
Компоненты броневойно-кинетического оружия военного назначения	800–1000	Высокая ударная вязкость и стабильная инерционность
Компоненты ядерной защиты	600–800	Сбалансированная прочность и ударная вязкость, устойчивость к радиационной/термической усталости
Медицинское оборудование высокой плотности (лучевая терапия)	500–700	Стабильная поддержка/защита, не требующая предельной прочности

VI. Резюме

Трубы из вольфрамовых сплавов демонстрируют свою ключевую конкурентоспособность в качестве «сверхпрочного конструкционного функционального композиционного материала». Благодаря многомерным технологиям, таким как оптимизация системы сплавов, контроль уплотнения методом порошковой металлургии, регулирование термообработки и проектирование микроструктуры, современные трубы из вольфрамовых сплавов сочетают в себе **высокую прочность и обрабатываемость**, отвечая высоким требованиям ключевых отраслей промышленности, таких как атомная, аэрокосмическая, военная и медицинская.

2.3 Твердость, износостойкость и ударопрочность труб из вольфрамового сплава

Трубы из вольфрамовых сплавов благодаря высокой плотности и превосходным механическим свойствам широко используются в аэрокосмической промышленности, ядерной обороне, производстве военной техники и высокотехнологичном машиностроении. Твёрдость, износостойкость и ударопрочность являются важными показателями для оценки эксплуатационных характеристик труб из вольфрамовых сплавов в реальных условиях эксплуатации, напрямую влияющими на их срок службы, безопасность и надёжность.

1. Характеристики твердости труб из вольфрамового сплава

Твёрдость отражает способность материала противостоять локальной пластической деформации и является важным показателем износостойкости и несущей способности труб из вольфрамовых сплавов. Твёрдость труб из вольфрамовых сплавов в первую очередь зависит от состава сплава, процесса изготовления и термической обработки.

- **Типы твёрдости и методы её измерения**
обычно определяются по Роквеллу (HRC), Виккерсу (HV) и Бринеллю (HB).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Типичный диапазон твёрдости труб из вольфрамового сплава W-Ni-Fe составляет HV250–450 , что эквивалентно HRC30–45 .

- **Факторы, влияющие на твердость**

1. **Содержание вольфрама** : Высокое содержание вольфрама обычно увеличивает твердость, поскольку сам вольфрам чрезвычайно твердый и жесткий.
2. **фаз металлической связи** : если соотношение фаз вязкости, таких как Ni и Fe, слишком велико, общая твердость снизится, но это будет полезно для повышения вязкости.
3. **Термическая обработка и холодная обработка** : Соответствующая термическая обработка может улучшить и укрепить структуру, а также повысить твердость; холодная обработка может повысить плотность дислокаций и еще больше повысить значение твердости.
4. **Морфология микроструктуры** : однородные и мелкие зерна, а также плотная непористая структура способствуют повышению твердости.

2. Износостойкость труб из вольфрамового сплава

Трубки из вольфрамового сплава демонстрируют превосходную износостойкость в условиях сильного абразивного износа и подходят для применений, подверженных механическому трению, ударам и износу.

- **Механизм износостойкости**

1. **Дисперсионное упрочнение фазы высокой твердости** : частицы вольфрамовой фазы в вольфрамовом сплаве обладают высокой твердостью и эффективно противостоят поверхностному износу.
2. **Поддержка вязкости металлической матрицы** : матрица из никеля и железа обеспечивает определенную пластичность, которая поглощает внешние силы и предотвращает растрескивание и шелушение материала.
3. **Плотность поверхности** : плотная и непористая структура материала эффективно снижает проникновение абразивных частиц и агрессивных сред, продлевая срок службы.

- **Индекс оценки износостойкости**

- Скорость износа ($\text{мг/см}^2/\text{ч}$ или $\text{мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}$)
- Коэффициент износа
- Коэффициент трения

- **Пример данных экспериментального исследования:**

Трубы из вольфрамового сплава W-Ni-Fe демонстрируют низкую скорость износа при испытаниях на износ шлифовальным кругом, составляющую примерно 1/5 от скорости износа обычной стали, демонстрируя чрезвычайно высокую износостойкость.

3. Ударопрочность трубки из вольфрамового сплава

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ударопрочность — это способность материала противостоять резким нагрузкам или динамическим ударным повреждениям, что напрямую связано с безопасностью и надежностью труб из вольфрамовых сплавов в сложных условиях эксплуатации.

- **Ключевые факторы ударопрочности труб из вольфрамового сплава**

1. **Прочность матрицы** : Ni и Fe действуют как связующие фазы металла, обеспечивая способность к пластической деформации и рассеивая концентрацию напряжений.
2. **Однородность микроструктуры** : равномерный размер зерна и фазовый интерфейс снижают точки зарождения трещин и повышают ударную вязкость.
3. **Степень уплотнения** : Высокая плотность уменьшает такие дефекты, как отверстия и трещины, эффективно повышая ударопрочность.
4. **Упрочняющий эффект добавленных элементов** : Микролегирующие элементы, такие как титан и ниобий, могут измельчать зерна и повышать прочность.

- **Метод испытания**

- **Испытания на удар** (например, испытание на удар по Шарпи) измеряют поглощенную энергию удара (Дж)
- **Динамические испытания на усталость** изучают характеристики разрушения материалов при циклическом воздействии.

- **Типичные эксплуатационные характеристики:**

Ударная вязкость по Шарпи стандартных труб из вольфрамового сплава W-Ni-Fe обычно составляет от **5 до 15 Дж/ см²**. У высокопрочных сплавов ударная вязкость может быть увеличена до более чем **20 Дж/см²** посредством термической обработки и микролегирования.

4. Синергетическая оптимизация твердости, износостойкости и ударопрочности

В трубах из вольфрамовых сплавов часто необходимо достичь оптимального баланса твердости, износостойкости и ударопрочности, чтобы избежать повышенной хрупкости из-за чрезмерной твердости или повышенной вязкости за счет износостойкости.

- **Стратегия проектирования сплавов**

1. Регулируя соотношение W и Ni/Fe, можно добиться как твердости, так и вязкости.
2. Внедрение технологии наночастиц и микролегирования позволяет измельчить зерно и улучшить общие механические свойства.
3. Технология композитного покрытия поверхности (например, TiN , CrN и т. д.) используется для повышения твердости поверхности и износостойкости, одновременно защищая прочность подложки.

- **Управление процессом.**

Точный контроль распределения размеров частиц порошка, давления прессования и процесса спекания для уменьшения внутренних дефектов и повышения плотности и постоянства характеристик.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5. Примеры применения

- **Высокопрочные трубы для аэрокосмической промышленности** : материал должен обладать высокой твёрдостью и ударопрочностью. Трубы из вольфрамовых сплавов обеспечивают отличную механическую защиту и размерную стабильность.
- **Трубы для ядерной защиты** : демонстрируют отличную износостойкость и структурную прочность в условиях высокой радиации, обеспечивая безопасность оборудования.
- **Бронебойная оболочка военного образца** : твердость и износостойкость являются ключевыми факторами, обеспечивающими бронебойный эффект и структурную целостность.

VI. Резюме

Трубы из вольфрамовых сплавов являются их основными конкурентными преимуществами в широком спектре применений. Благодаря научно обоснованному дизайну материалов и передовым производственным процессам, трубы из вольфрамовых сплавов обеспечивают оптимальное сочетание твёрдости и прочности, продлевая срок службы и обеспечивая безопасность при эксплуатации в сложных условиях.

2.4 Теплопроводность, коэффициент теплового расширения и высокотемпературная стабильность труб из вольфрамовых сплавов

Трубы из вольфрамовых сплавов играют ключевую роль в многочисленных высокотемпературных и экстремальных условиях эксплуатации. Их теплопроводность, коэффициент термического расширения и высокотемпературная стабильность напрямую влияют на их структурную стабильность и срок службы, что делает их особенно важными в аэрокосмической, атомной промышленности и в качестве труб для высокотемпературных печей.

1. Теплопроводность трубки из вольфрамового сплава

Теплопроводность — это способность материала проводить тепловую энергию. Высокая теплопроводность способствует быстрому рассеиванию тепла и предотвращению повреждения материала, вызванного локальным перегревом.

- Чистый вольфрам обладает чрезвычайно высокой теплопроводностью, составляющей приблизительно $170 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$. Однако добавление связующих фаз, таких как никель и железо, к вольфрамовым сплавам снижает эту теплопроводность.

Типичные трубки

из вольфрамового сплава W-Ni-Fe имеют теплопроводность приблизительно $50\text{--}70 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$., что все еще значительно выше, чем у большинства металлов.

- **Факторы влияния**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. **Соотношение компонентов** : чем выше содержание вольфрама, тем лучше теплопроводность; чем больше содержание связующей фазы, тем ниже теплопроводность.
2. **Микроструктура и плотность** : Плотная, мелкозернистая и непористая структура способствует теплопроводности.
3. **Температура** : Теплопроводность обычно уменьшается с повышением температуры, но вольфрамовый сплав по-прежнему сохраняет хорошую теплопроводность.

- **Значимость применения:**

Высокая теплопроводность делает трубы из вольфрамового сплава пригодными для использования в высокотемпературных теплообменниках, трубопроводах теплоотвода и системах охлаждения электронных устройств, обеспечивая термостабильную работу оборудования.

2. Коэффициент теплового расширения трубки из вольфрамового сплава

Коэффициент теплового расширения отражает свойство материала изменять размеры под воздействием температур и является важным параметром, который необходимо учитывать при проектировании высокотемпературных конструктивных деталей.

- **Коэффициент**

линейного расширения труб из вольфрамовых сплавов обычно находится в диапазоне от $4,5 \times 10^{-6}/K$ до $6,5 \times 10^{-6}/K$ (от комнатной температуры до примерно 800 °C). Это значение ниже, чем у большинства сталей, что свидетельствует о хорошей размерной стабильности.

- **Факторы влияния**

1. **Состав сплава** : низкие свойства теплового расширения вольфрама и молибдена определяют общие характеристики, в то время как связующие металлические фазы, такие как Ni и Fe, немного увеличивают коэффициент теплового расширения.
2. **Микроструктура** : однородная структура зерна и плотная структура уменьшают локальное неравномерное тепловое расширение и сжатие.
3. **Состояние термообработки** : разумная термообработка помогает снять внутреннее напряжение и уменьшить деформацию теплового расширения.

- **Инженерные соображения по применению**

Низкий коэффициент теплового расширения позволяет трубкам из вольфрамового сплава сохранять размерную стабильность в условиях высоких температур, избегая образования трещин и деформаций под действием термических напряжений, и особенно подходит для прецизионных высокотемпературных трубопроводов и механических компонентов.

3. Высокая температурная стабильность труб из вольфрамового сплава

Высокотемпературная стабильность — это способность материала сохранять свои физические, механические свойства и химическую структуру при высоких температурах. Это

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ключ к оценке способности труб из вольфрамовых сплавов работать в экстремальных условиях в течение длительного времени.

- **Показатели термической стабильности**

1. **Преимущество высокой температуры плавления** : температура плавления вольфрама достигает 3422 °C, и трубки из вольфрамового сплава обладают чрезвычайно высокой термостойкостью .
2. **Стойкость к окислению** : чистый вольфрам легко образует оксидную плёнку в высокотемпературной окислительной среде. Стойкость труб из вольфрамовых сплавов к окислению повышается благодаря контролю состава и технологии нанесения покрытия на поверхность.
3. **Сохранение механических свойств** : трубы из вольфрамового сплава могут сохранять высокую прочность и твердость при высоких температурах, обеспечивая структурную стабильность.

- **Факторы влияния**

1. **Конструкция сплава** : соответствующее количество Ni, Fe и микролегирующих элементов, таких как титан и ниобий, улучшает высокотемпературные характеристики и стойкость к окислению.
2. **Обработка поверхности** : оксидное покрытие, керамическое покрытие и т. д. для улучшения защиты поверхности.
3. **Рабочая среда** : производительность в вакууме и среде высокочистого аргона выше, чем в среде, богатой кислородом.

- **Примеры применения**

Трубы из вольфрамового сплава демонстрируют превосходную термическую стабильность в трубах высокотемпературных печей, трубах охлаждения турбин авиационных двигателей и высокотемпературных конструктивных деталях ядерных реакторов.

4. Комплексная стратегия оптимизации тепловых характеристик труб из вольфрамового сплава

Для улучшения эксплуатационных характеристик труб из вольфрамовых сплавов в условиях экстремально высоких температур обычно используют следующие методы оптимизации:

- **Конструкция материала**

сочетает высокое содержание вольфрама с соответствующим соотношением фаз связующего, что позволяет достичь баланса высокой теплопроводности и низкого теплового расширения.

- **Регулирование микроструктуры**

измельчает зерна, уменьшает поры и оптимизирует процессы спекания и термообработки.

- **Технология обработки поверхности**

использует антиокислительное покрытие для продления срока службы.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Экологически адаптируемая**

конструкция адаптируется к системам сплавов в различных высокотемпературных средах для удовлетворения различных промышленных потребностей.

V. Резюме

Трубки из вольфрамового сплава, благодаря своей превосходной теплопроводности, низкому коэффициенту теплового расширения и исключительной высокотемпературной стабильности, стали незаменимым материалом для высокотемпературных сред. Научный подход к разработке состава и оптимизация процесса позволяют дополнительно улучшить их комплексные тепловые характеристики, отвечая строгим требованиям к высокопроизводительным трубкам в таких областях, как аэрокосмическая промышленность, атомная промышленность и высокотемпературное машиностроение.

2.5 Электрические свойства, магнитная реакция и радиационная стойкость трубок из вольфрамового сплава

Трубки из вольфрамовых сплавов широко используются в современных высокотехнологичных областях благодаря своим превосходным электрическим свойствам, магнитным характеристикам и радиационной стойкости, особенно в атомной промышленности, аэрокосмической промышленности и электронном оборудовании. Глубокое понимание и оптимизация этих свойств имеют решающее значение для обеспечения стабильной работы трубок из вольфрамовых сплавов в экстремальных условиях.

1. Электрические свойства трубки из вольфрамового сплава

- **Проводимость и удельное сопротивление.**

Поскольку сам вольфрам обладает хорошей электропроводностью, удельное сопротивление чистого вольфрама составляет около $5,6 \times 10^{-8}$ Ом·м. Однако трубки из вольфрамовых сплавов обычно легируются никелем, железом и другими связующими фазами. Эти элементы обладают высоким удельным сопротивлением, в результате чего общая проводимость трубок из вольфрамовых сплавов ниже, чем у чистого вольфрама, обычно от 10^{-7} до 10^{-6} . В диапазоне Ом·м.

- **Факторы влияния**

1. **Соотношение компонентов** : чем выше содержание вольфрама, тем лучше проводимость; чем больше содержание связующей фазы, тем выше удельное сопротивление.
2. **Микроструктура** : плотная и непористая структура способствует электронной проводимости, в то время как поры и трещины значительно увеличивают сопротивление.
3. **Влияние температуры** : сопротивление увеличивается с повышением температуры. Особое внимание следует уделить изменению сопротивления трубок из вольфрамовых сплавов в условиях высоких температур.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Применение:**

Трубки из вольфрамовых сплавов подходят для высокотемпературного электронного оборудования и электродных материалов, требующих определённой электропроводности. Они также играют важную роль в области электромагнитного экранирования.

2. Магнитные характеристики трубки из вольфрамового сплава

- —

парамагнитный металл со слабым магнитным откликом, однако ферромагнитные элементы, такие как железо и никель, легированные в сплаве, улучшают общие магнитные свойства, заставляя трубку из вольфрамового сплава демонстрировать определённый магнитный отклик.

- **Магнитные характеристики**

1. **Смесь парамагнетизма и ферромагнетизма** : соотношение ферромагнитных компонентов в трубках из вольфрамового сплава определяет силу их магнитных свойств.
2. **Магнитная проницаемость** : с увеличением содержания железа и никеля увеличивается магнитная проницаемость, что благоприятно сказывается на экранировании магнитного поля.
3. **Гистерезис и коэрцитивная сила** : характеристики петли гистерезиса трубки из сплава влияют на ее потерю энергии и эксплуатационные характеристики в переменном магнитном поле.

- **Области применения**

Магнитные характеристики трубок из вольфрамовых сплавов дают им потенциальные преимущества в качестве материалов для поглощения нейтронов в электромагнитной защите, датчиках магнитного поля и атомной промышленности.

3. Радиационная стойкость трубки из вольфрамового сплава

- **Стабильность в радиационных условиях Трубки из вольфрамового сплава**

обладают отличными свойствами радиационной защиты благодаря высоким атомным номерам элементов вольфрама и молибдена и могут эффективно блокировать гамма-лучи, нейтроны и другие высокоэнергетические частицы.

- **Изменения в материалах под воздействием радиации**

1. **Повреждение от облучения** : Высокоэнергетическое излучение может вызывать дефекты решетки, увеличение дислокаций и микроструктурные изменения, влияющие на механические свойства.
2. **Радиационное упрочнение и охрупчивание** : при длительном облучении твердость материала увеличивается, но снижается пластичность, что может привести к риску хрупкого разрушения.
3. **Стабильность сплава** : благодаря разумной конструкции, системы сплавов, такие как вольфрам, молибден, никель и железо, могут эффективно

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

предотвращать фазовые изменения и ухудшение характеристик, вызванные радиацией.

- **Инженерное применение**

Трубы из вольфрамового сплава широко используются в защитных материалах ядерных реакторов, трубопроводах для транспортировки радиоизотопов и конструктивных элементах оборудования для лучевой терапии для обеспечения безопасности оборудования и персонала.

4. Оптимизация производительности и будущие направления исследований

- **Улучшение электрических характеристик достигается**

за счет повышения чистоты и контроля микроструктуры для уменьшения количества примесей и пор, снижения удельного сопротивления и повышения стабильности.

- **Система управления магнитным откликом**

точно регулирует содержание железа и никеля для оптимизации магнитных свойств в соответствии с различными требованиями к экранированию и чувствительности.

- **Радиационная стойкость повышается**

за счет использования технологий микролегирования, наноупрочнения и нанесения покрытий на поверхность для улучшения стойкости к радиационному воздействию и продления срока службы.

V. Резюме

Трубки из вольфрамовых сплавов обладают уникальными преимуществами в области электрических свойств, магнитных свойств и радиационной стойкости, что делает их незаменимым материалом в атомной энергетике, аэрокосмической и электронной промышленности. Благодаря непрерывному совершенствованию материалов и оптимизации технологических процессов, эксплуатационные характеристики трубок из вольфрамовых сплавов будут и дальше улучшаться, чтобы соответствовать разнообразным требованиям экстремальных условий эксплуатации будущего.

2.6 Анализ коррозионной стойкости и химической стабильности труб из вольфрамового сплава

Трубы из вольфрамовых сплавов широко используются в атомной промышленности, аэрокосмической промышленности, электронной технике и других областях благодаря своим превосходным комплексным свойствам. Однако в реальных условиях эксплуатации трубы из вольфрамовых сплавов часто подвергаются воздействию различных коррозионных сред и сложных химических сред. Поэтому углубленные исследования их коррозионной стойкости и химической стабильности имеют большое значение.

1. Обзор коррозионной стойкости труб из вольфрамового сплава

Вольфрам сам по себе является чрезвычайно стабильным переходным металлом с высокой химической инертностью и коррозионной стойкостью. Содержание вольфрама в трубках из

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

вольфрамовых сплавов обычно высокое, что обеспечивает им отличную коррозионную стойкость в различных агрессивных средах. Коррозионная стойкость труб из вольфрамовых сплавов обусловлена, главным образом, следующими факторами:

- **Коррозионная стойкость вольфрама.**

Вольфрам обладает высокой температурой плавления (3422°C) и чрезвычайно высокой химической стабильностью. Он сохраняет стабильность в различных кислотных и щелочных средах, особенно в нейтральных и слабокислых и щелочных, демонстрируя отличную коррозионную стойкость.

- **Влияние состава сплава.**

Хотя связующие фазы, такие как никель, железо и медь, в трубках из вольфрамовых сплавов способствуют улучшению механических свойств и производительности обработки, их коррозионная стойкость ниже, чем у вольфрама. Поэтому соотношение элементов в составе сплава и распределение их компонентов оказывают значительное влияние на общую коррозионную стойкость.

- **Плотная микроструктура**

достигается за счет высокоплотного спекания и оптимизированной термической обработки, что уменьшает поры и трещины, эффективно предотвращает проникновение коррозионных сред и повышает срок службы труб из вольфрамового сплава в условиях коррозии.

2. Эксплуатационные характеристики труб из вольфрамовых сплавов в различных коррозионных средах

1. Коррозионная стойкость в кислых средах:

Трубы из вольфрамовых сплавов обладают хорошей коррозионной стойкостью к большинству минеральных кислот (таких как серная и соляная). Однако в высокотемпературных концентрированных кислотных средах на поверхности вольфрама может образовываться защитная пленка, например, оксид вольфрама, обеспечивающая определенную степень пассивации. Связующие фазы, такие как никель и железо, обладают низкой коррозионной стойкостью и склонны к локальной коррозии, что влияет на общие эксплуатационные характеристики.

2. Трубы из вольфрамового сплава также хорошо работают в щелочных средах. Химическая стабильность вольфрама обеспечивает его устойчивость к коррозии в щелочных растворах.

Однако содержащиеся в сплаве железо и никель могут вызывать коррозию различной степени, что требует улучшения конструкции сплава и обработки поверхности.

3. Соляной туман и морская среда

представляют собой проблему для коррозионной стойкости труб из вольфрамовых сплавов, особенно содержащих хлорид-ионы. Поверхности вольфрамовых сплавов подвержены микроскопической точечной коррозии, а длительное воздействие морского климата может привести к снижению коррозионной стойкости. Правильное покрытие поверхности и защитные меры играют ключевую роль в обеспечении длительного срока службы труб из вольфрамовых сплавов в таких условиях.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. При высоких

температурах образуется плотная оксидная пленка WO_3 . Эта пленка защищает от дальнейшего окисления. Однако при экстремально высоких температурах и в сильно окислительной среде пленка может стать нестабильной, что приведет к ускоренному окислению. Поэтому стойкость к высокотемпературному окислению необходимо повышать путем легирования и защиты поверхности.

3. Факторы, влияющие на химическую стабильность труб из вольфрамовых сплавов

- **Распределение легирующих элементов и**

равномерное распределение связующих фаз, таких как никель и железо, на границе раздела, а также их хорошее сцепление с вольфрамовой матрицей позволяют эффективно предотвратить проникновение коррозионной среды вдоль границы раздела.

- **Микроструктура и пористость. Трубы из вольфрамового сплава высокой плотности и низкой пористости**

значительно повышают коррозионную стойкость. Поры и микротрещины являются основными каналами проникновения коррозионных сред.

- **Состояние поверхности и технология нанесения покрытия**

Поверхность труб из вольфрамового сплава, обработанная шлифовкой, полировкой и нанесением покрытия, становится более плотной и гладкой, что значительно повышает коррозионную стойкость.

- **поскольку химические свойства окружающей среды,**

температура, значение pH, окислительно-восстановительный потенциал и т. д. напрямую влияют на скорость и форму коррозии труб из вольфрамового сплава.

4. Стратегии повышения коррозионной стойкости труб из вольфрамовых сплавов

1. **Оптимизировать состав сплава и ввести следы коррозионно-стойких элементов (таких как**

молибден, ванадий, хром и т. д.) путем микролегирования для повышения общей химической стабильности и коррозионной стойкости трубы из вольфрамового сплава.

2. **Усовершенствованный процесс подготовки**

использует передовую технологию порошковой металлургии, технологию горячего изостатического прессования и т. д. для получения плотной и однородной структуры сплава и снижения пористости и дефектов.

3. **Технология обработки поверхности и нанесения покрытий**

использует керамическое покрытие, покрытие оксидами металлов, PVD/CVD и другие технологии физического осаждения из паровой фазы для повышения твердости поверхности и стойкости к коррозии.

4. **Контроль за техническим обслуживанием и средой использования**

Контролируйте влажность, температуру и концентрацию коррозионной среды в среде использования, а также совмещайте регулярное техническое обслуживание для продления срока службы труб из вольфрамового сплава.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

V. Резюме

Трубы из вольфрамовых сплавов обладают превосходной коррозионной стойкостью и химической стабильностью, особенно в нейтральных и слабоагрессивных средах. Благодаря рациональному дизайну сплава, передовым технологиям изготовления и обработке поверхности, устойчивость труб из вольфрамовых сплавов в агрессивных коррозионных средах значительно повысилась. В будущем, благодаря постоянному развитию новых материалов и технологий, коррозионная стойкость труб из вольфрамовых сплавов будет и дальше соответствовать строгим требованиям высокотехнологичных приложений.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD

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

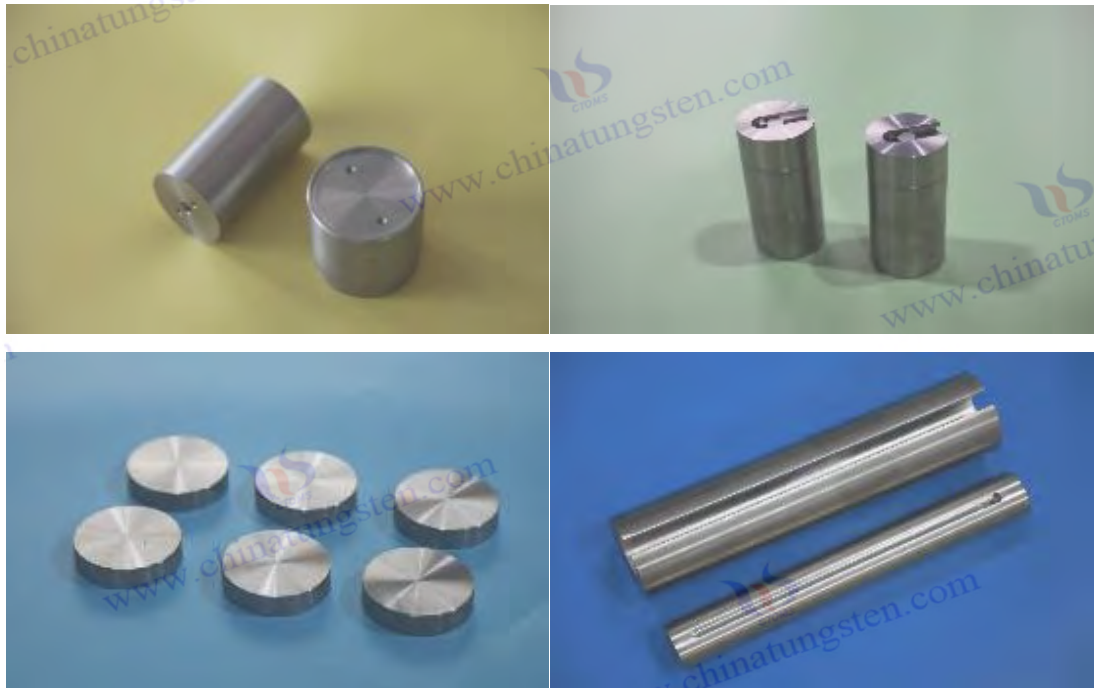
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

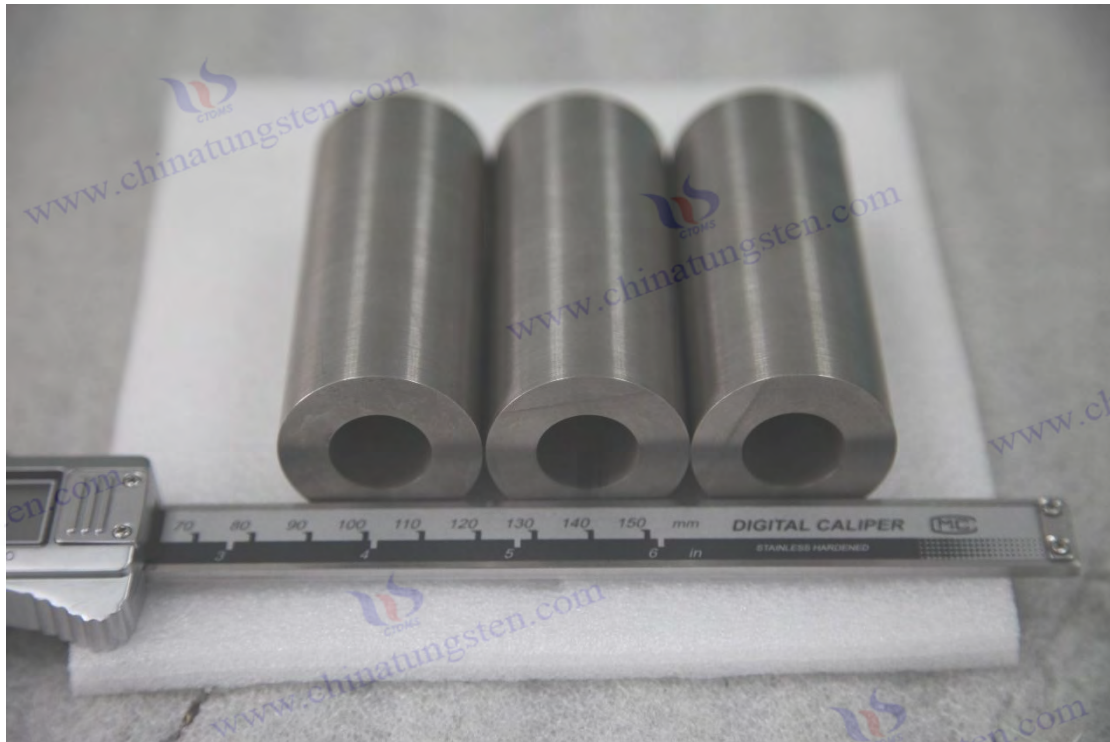
Official website: www.tungsten-alloy.com



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 3. Технология изготовления и формовки труб из вольфрамового сплава

3.1 Подготовка сырья и анализ характеристик порошка для труб из вольфрамового сплава

труб из вольфрамовых сплавов зависит не только от состава сплава, но и от выбора сырья и свойств порошка. Качество сырья и свойства порошка напрямую влияют на стабильность последующего производственного процесса, а также на плотность, механические свойства и микроструктуру конечного продукта. Поэтому подготовка сырья и анализ свойств порошка являются важнейшими начальными этапами производственного процесса.

1. Выбор сырья для труб из вольфрамовых сплавов

Трубы из вольфрамовых сплавов изготавливаются из высокочистого вольфрамового порошка и связующего металла (например, никелевого, железного, медного и т.д.). Вольфрамовый порошок, как матричный элемент, определяет плотность и основные физические свойства сплава, а связующий металл влияет на обрабатываемость, прочность и общие механические свойства сплава.

- **Требования к качеству вольфрамового порошка:**

Вольфрамовый порошок должен быть высокой чистоты (обычно содержание вольфрама $\geq 99,95\%$), с низким содержанием кислорода и примесей, чтобы избежать дефектов в работе изделия, вызванных примесями. Порошок должен иметь равномерный и умеренно распределенный размер частиц (обычно 1–10 мкм) и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

сферическую или субсферическую форму, что обеспечивает хорошую сыпучесть и плотность прессования.

- **Порошки**

, как основные связующие металлы, должны иметь соответствующий гранулометрический состав и высокую чистоту. Они, как правило, мельче вольфрамового порошка, что обеспечивает равномерное распределение и формирование хорошей связующей фазы при спекании. Иногда для улучшения теплопроводности и механических свойств добавляют медный порошок.

2. Анализ физических свойств порошка трубчатого вольфрамового сплава

Физические свойства порошка являются ключевыми факторами, влияющими на процесс формования, в частности, распределение размеров частиц, удельная площадь поверхности, текучесть, насыпная плотность и морфология частиц.

- **Распределение размеров частиц и морфология**

напрямую влияют на равномерность и плотность прессования. Тонкодисперсные порошки способствуют уплотнению при спекании, но слишком тонкие порошки склонны к агломерации и обладают плохой текучестью, что затрудняет прессование. Сферические или почти сферические порошки благодаря своей превосходной сыпучести способствуют равномерному заполнению во время прессования.

- **поверхности**

увеличивает площадь контакта между порошками, что благоприятно спекается, диффузионно и связывается, но также легко приводит к поглощению порошком влаги, агломерации и окислению, поэтому необходимо строго контролировать условия хранения порошка.

- **Текучесть**

обеспечивает равномерное заполнение формы и эффективность формования. Недостаточная текучесть приводит к неравномерному накоплению порошка и нестабильным размерам отформованного изделия.

- **Плотность**

и насыпная плотность исходного порошка влияют на плотность сырца после прессования и, таким образом, на конечную плотность и эксплуатационные характеристики трубки после спекания.

3. Химический состав порошка и контроль примесей

Трубы из вольфрамовых сплавов чрезвычайно чувствительны к примесям в порошке. В частности, неметаллические примеси, такие как кислород, углерод и азот, могут существенно влиять на спекание и механические свойства сплава. Строгий контроль химического состава и содержания примесей в порошке необходимы для обеспечения эксплуатационных характеристик труб из вольфрамовых сплавов.

- **Контроль содержания кислорода:**

Кислород способствует окислению вольфрамового порошка до образования вольфрамата, что влияет на процесс уплотнения при спекании. Ключом к снижению

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

содержания кислорода является применение защитной атмосферы, низкокислородной технологии подготовки и контроль условий хранения порошка.

- **Влияние примесных элементов** Содержание примесных элементов в порошках железа и никеля необходимо строго ограничивать, чтобы избежать попадания вредных элементов, таких как сера и фосфор, для предотвращения ухудшения свойств сплава и снижения коррозионной стойкости.

4. Технология предварительной обработки порошка

Для улучшения текучести и спекаемости порошка при изготовлении труб из вольфрамовых сплавов часто используют следующие технологии предварительной обработки:

- **Шаровая мельница**
измельчает частицы порошка посредством механического измельчения, улучшает распределение частиц по размерам, делает размер частиц порошка более однородным и повышает производительность прессования и формования.
- **Просеивание**
используется для сортировки и просеивания порошка с целью удаления крупных частиц и агломератов для обеспечения стабильности размера частиц порошка.
- **Газовое распыление**
использует технологию газового распыления для получения сферического вольфрамового порошка, преимуществами которого являются равномерный размер частиц, хорошая текучесть и высокая плотность.

V. Резюме

Качество труб из вольфрамовых сплавов напрямую влияет на их качество и эксплуатационные характеристики. Правильное смешивание высокочистого, однородного вольфрамового порошка со связующим металлом и строгий контроль таких параметров, как размер частиц порошка, текучесть и содержание примесей, гарантируют стабильность процесса формования труб из вольфрамовых сплавов и превосходные эксплуатационные характеристики конечного продукта. Развитие передовых технологий подготовки и обработки порошков способствует повышению качества сырья для труб из вольфрамовых сплавов, закладывая прочную основу для промышленного производства высокопроизводительных труб из вольфрамовых сплавов.

3.2 Технология прессования труб из вольфрамовых сплавов методом порошковой металлургии (литье под давлением, изостатическое прессование)

Трубы из вольфрамовых сплавов — это высокоплотные и прочные функциональные материалы, и прессование методом порошковой металлургии является ключевым этапом в их производстве. Благодаря рациональному прессованию порошков можно добиться сложной формы, высокой точности размеров и равномерной плотности, что закладывает основу для последующего спекания и термической обработки. К распространённым методам прессования порошков относятся штамповка и изостатическое прессование, каждый из

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

которых имеет свои преимущества и область применения и широко используется в промышленном производстве труб из вольфрамовых сплавов.

1. Технология компрессионного формования

Компрессионное формование — это процесс, при котором порошок вольфрамового сплава подвергается однонаправленному давлению в специальной пресс-форме, что позволяет ему компактно формироваться в полости пресс-формы. Компрессионное формование — это простой и высокоэффективный процесс, подходящий для массового производства труб из вольфрамового сплава стандартных размеров.

• Процесс

1. **Заполнение порошком** : предварительно смешанный порошок вольфрамового сплава загружается в специальную цилиндрическую или трубчатую форму.
2. **Компрессионное формование** : используют гидравлический или механический пресс для создания высокого давления (обычно в диапазоне от десятков до сотен МПа) для уплотнения порошка в форме с образованием плотного сырого тела.
3. **Извлечение формы и заготовок** : После сброса давления сформированная заготовка извлекается и подготавливается к последующему процессу спекания.

• Преимущества

- o Оборудование простое, процесс отработанный, легко реализовать автоматизированное производство.
- o Производственный цикл короткий и подходит для массового производства.
- o то сформированное зеленое тело выше и контроль размера лучше.

• испытание

- o Однонаправленное давление может привести к неравномерному распределению плотности порошка и вызвать градиент плотности в сыром теле.
- o Для труб из вольфрамовых сплавов с тонкими стенками или сложным поперечным сечением трудно обеспечить однородность при штамповке.
- o Форма быстро изнашивается, а затраты на ее обслуживание высоки.

2. Холодное изостатическое прессование (ХИП)

Изостатическое прессование заключается в помещении порошка вольфрамового сплава в гибкую форму (резиновую капсулу) и равномерном давлении во всех направлениях с помощью среды (жидкости или газа) под высоким давлением. Этот процесс эффективно повышает плотность и однородность заготовки и подходит для формования труб из вольфрамовых сплавов сложной формы с тонкими стенками.

• Процесс

1. **Загрузка и упаковка** : Загрузите порошок вольфрамового сплава в резиновую форму, закройте ее и убедитесь, что не осталось воздуха.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. **Изостатическое прессование** : формовочный мешок помещается в автоклав, и в него впрыскивается сжатая жидкость (например, масло или вода) для создания изостатического давления, которое обычно составляет от 100 до 300 МПа.

3. **Извлечение из формы** : После сброса давления мягкая форма вынимается, а резиновое покрытие удаляется, чтобы получить однородное и плотное сырое тело.

• **Преимущества**

- Прикладываемое давление равномерное, сырое тело имеет хорошую плотность и однородную структуру.
- Он обладает высокой приспособляемостью и может формировать сложные поперечные сечения и тонкостенные трубы.
- Он может эффективно уменьшать дефекты формовки, такие как градиенты плотности и трещины.

• **испытание**

- Инвестиции в оборудование велики, технологический процесс сложен, а производственный цикл продолжителен.
- Для достижения точных размеров требуется последующая механическая обработка.
- Материал формовочных мешков и технология герметизации должны быть гарантированы, чтобы исключить утечки, влияющие на качество.

3. Комплексное применение формовки и изостатического прессования

В современном производстве труб из вольфрамовых сплавов преимущества штамповки и изостатического прессования часто комбинируются для достижения наилучших характеристик продукции. Например, штамповка сначала используется для быстрого формирования базовой формы заготовки, затем следует изостатическое прессование для оптимизации плотности и однородности, а затем механическая и термическая обработка.

4. Ключевые факторы, влияющие на качество прессования порошка

- **распределение частиц порошка** : равномерный и умеренный размер частиц способствует текучести и заполнению порошка, а также улучшает плотность прессования.
- **Соотношение порошка и смачиваемость** : Рациональное смешивание и смачиваемость порошка сплава влияют на эффект сцепления и уплотнения между частицами.
- **Давление и скорость** : если давление слишком низкое, плотность недостаточная; если давление слишком высокое, вероятно появление трещин; скорость прессования влияет на текучесть и однородность уплотнения порошка.
- **Конструкция пресс-формы** : Форма пресс-формы, ее размер и конструкция системы смазки напрямую связаны с простотой извлечения из формы и точностью размеров формовки.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

V. Заключение

труб из вольфрамовых сплавов является залогом их высокой эффективности. Процесс штамповки, известный своей высокой производительностью и простотой оборудования, подходит для производства стандартных толстостенных труб. Изостатическое прессование, известное своей плотностью и однородностью, а также способностью адаптироваться к сложным конструкциям, идеально подходит для производства высококачественных тонкостенных или специализированных профилей. Сочетание этих двух методов позволяет удовлетворить разнообразные требования к трубам из вольфрамовых сплавов для различных применений. В будущем, благодаря прогрессу в области порошковых материалов и оборудования, порошковое прессование станет еще более точным и эффективным, обеспечивая мощный стимул для повышения производительности и развития промышленного производства труб из вольфрамовых сплавов.

3.3 Основные моменты процесса формовки полых деталей и конструкции штампа для труб из вольфрамового сплава

Трубы из вольфрамовых сплавов широко используются в аэрокосмической, атомной промышленности, электронном оборудовании и других областях. Благодаря уникальным свойствам материала и сложным производственным процессам, технология полых штамповки и конструкция пресс-форм являются ключевыми технологическими звеньями в производстве труб из вольфрамовых сплавов. Эффективные процессы штамповки и продуманная конструкция пресс-форм не только обеспечивают структурную целостность и размерную точность труб из вольфрамовых сплавов, но и улучшают механические свойства и срок службы готового изделия.

1. Обзор процесса формовки полостей

Изготовление труб из вольфрамовых сплавов обычно включает штамповку, изостатическое прессование и последующую механическую и термическую обработку. По сравнению с изделиями из цельного вольфрамового сплава, полая структура усложняет формовку, главным образом, с точки зрения равномерного заполнения порошком, контроля толщины стенок и защиты внутренних полостей во время формовки.

- **Засыпка порошком:**

Равномерное засыпка порошком является необходимым условием для обеспечения равномерной толщины стенок полых труб без пор и дефектов. В сочетании с технологией засыпки часто используются специальные вибрационные устройства или вращающиеся формы, чтобы обеспечить полное распределение порошка вольфрамового сплава по внутренней стенке формы и образование равномерного слоя порошка.

- **Компрессионное формование**

использует технологию двухфильерного прессования, при которой внешнее давление прикладывается к порошку для формирования полых трубки из вольфрамового

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

сплава. Внутренняя матрица поддерживает форму и размер полости трубки, предотвращая её смятие или деформацию.

- **Изостатическое прессование**

уплотняет полую трубку путем равномерного распределения давления после инкапсуляции порошка. Этот метод обеспечивает превосходный контроль равномерности толщины стенки трубки и эффективно снижает градиенты плотности и структурные дефекты.

- **Механическая обработка и термическая обработка**

После формования трубная заготовка обычно нуждается в прецизионной механической обработке для достижения проектного размера и качества поверхности, а микроструктура оптимизируется с помощью процесса термической обработки для улучшения механических свойств.

2. Ключевые моменты проектирования пресс-формы

При проектировании полых труб из вольфрамового сплава необходимо учитывать свойства материала, процесс формовки и характеристики конструкции изделия. Ключевые элементы конструкции включают:

1. Из-за высокой твёрдости и температуры спекания порошка вольфрамового сплава **форма**

должна обладать высокой износостойкостью и термостойкостью. В качестве материалов обычно используются карбид вольфрама, быстрорежущая сталь и жаропрочные сплавы. Для продления срока службы поверхность формы также требует специальной обработки, например, нанесения покрытия или поверхностной закалки.

2. **между**

внутренним и наружным диаметрами пресс-формы напрямую влияет на равномерность толщины стенки трубы и точность размеров. Для обеспечения соосности внутренней и наружной пресс-форм, отсутствия зазоров и несоосности, как правило, используются высокоточные методы обработки и сборки.

3. **Конструкция вентиляционных отверстий и каналов для подачи порошка в форму**

: правильно спроектированные вентиляционные отверстия и каналы для подачи порошка предотвращают застой газа в форме, предотвращая образование пор и дефектов, связанных с включениями. Вентиляционный канал должен быть согласован с конструкцией формы для облегчения последующей разборки и очистки.

4. **Системы охлаждения и нагрева интегрированы**

в процесс формования или спекания. Форма должна иметь равномерный контроль температуры, чтобы избежать локальных термических напряжений, вызывающих деформацию или трещины. Встроенные охлаждающие каналы или нагревательные элементы обеспечивают точную регулировку температуры.

5. Из-за тесного контакта между **трубкой из вольфрамового сплава**

и формой необходимо спроектировать эффективную систему извлечения, например,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

толкатель, ползун или пневматическое устройство, чтобы гарантировать полное и плавное извлечение трубки и предотвратить ее повреждение.

6. Срок службы пресс-формы и удобство обслуживания:

в связи с тяжелыми условиями эксплуатации пресс-форм из вольфрамового сплава при проектировании следует предусмотреть замену изнашиваемых деталей и быстрое обслуживание пресс-формы для сокращения времени простоя и производственных затрат.

3. Контроль процесса формования

- **Равномерность давления**

обеспечивает равномерное распределение давления во время формования или изостатического прессования, что позволяет избежать неравномерной толщины стенок и трещин.

- **Система контроля плотности заполнения порошком**

точно контролирует количество заполнения, чтобы не допустить, чтобы недостаток порошка привел к ослаблению стенки, а избыток порошка — к деформации.

- **Температурный градиент во время термоформовки и спекания влияет на структуру и эксплуатационные характеристики трубы, поэтому его необходимо строго контролировать и регулировать.**

- **Контроль старения при выемке из формы**

предотвращает деформацию заготовки, вызванную преждевременным выемом из формы. Время выемки из формы следует оптимизировать в соответствии с характеристиками охлаждения и затвердевания материала.

4. Будущие тенденции развития технологий

С развитием производственных технологий конструкция и процесс формовки полых трубчатых форм из вольфрамового сплава также постоянно совершенствуются, включая:

- **Цифровое проектирование и моделирование**

используют анализ конечных элементов (FEA) для моделирования процесса формования, оптимизации структуры пресс-формы и параметров процесса, а также повышения качества продукции.

- **Интеллектуальная интеграция пресс-формы и датчиков**

: встроенные в пресс-форму датчики контролируют давление, температуру и смещение в режиме реального времени, обеспечивая интеллектуальное управление с обратной связью.

- **Формы для аддитивного производства**

используют технологию 3D-печати для создания форм со сложными охлаждающими каналами и оптимизированными структурами для повышения эффективности рассеивания тепла и однородности формования.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Передовая технология наполнения порошком**

использует автоматизированное оборудование для наполнения и реологическую технологию для улучшения равномерности распределения и плотности порошка.

V. Резюме

Трубы из вольфрамовых сплавов играют ключевую роль в обеспечении их высокой производительности и стабильности. Правильное заполнение порошком, оптимизация структуры пресс-формы и контроль параметров процесса позволяют эффективно повысить плотность, механические свойства и размерную точность труб. Внедрение цифровых и интеллектуальных производственных технологий позволит усовершенствовать и автоматизировать процесс формовки полых труб из вольфрамовых сплавов, чтобы соответствовать всё более сложным требованиям.

3.4 Оптимизация технологии спекания и контроля атмосферы при производстве труб из вольфрамового сплава

Производство труб из вольфрамовых сплавов является одним из важнейших этапов производственного процесса, напрямую влияющим на плотность, механические свойства и микроструктуру изделия. В связи с высокой температурой плавления и уникальными физико-химическими свойствами вольфрамового сплава, процесс спекания требует точного контроля температуры, атмосферы и времени для достижения высокой плотности, однородности структуры и превосходных характеристик. Подходящая атмосфера предотвращает окисление, обезуглероживание и другие вредные реакции, тем самым повышая качество и срок службы готового изделия.

1. Обзор технологии спекания труб из вольфрамовых сплавов

Спекание — это процесс объединения и уплотнения частиц материала посредством диффузии между частицами порошка при высоких температурах. Для труб из вольфрамовых сплавов спекание должно соответствовать следующим требованиям:

- **Высокая плотность** : уменьшает пористость, улучшает механическую прочность и коррозионную стойкость;
- **Однородная структура** : избегайте сегрегации и крупных зерен, чтобы обеспечить постоянство механических свойств;
- **Стабильность размеров** : контроль усадки при спекании для обеспечения точности размеров трубы;
- **Качество поверхности** : предотвращает образование дефектов поверхности и оксидного слоя.

Трубы из вольфрамовых сплавов в основном подвергаются традиционному высокотемпературному вакуумному спеканию, спеканию с восстановлением водорода и спеканию методом горячего изостатического прессования (ГИП).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Контроль температуры и времени спекания

- **температур**
: от 1400 до 1600 °C. Слишком низкая температура приведёт к недостаточной плотности, что скажется на прочности и твёрдости; слишком высокая температура может вызвать рост зерен и снизить прочность.
- **выдержки**
может способствовать диффузии по границам зерен и закрытию пор и обычно составляет несколько часов. Недостаточное время выдержки приведёт к недостаточной плотности, а слишком длительное увеличит расход энергии и может вызвать перегрев.
- **Скорость нагрева**
позволяет предотвратить возникновение избыточных термических напряжений в материале, которые могут привести к образованию трещин. Обычно используется медленный нагрев, особенно при переходе от низких к высоким температурам, чтобы предотвратить быстрое сжатие пор.

3. Атмосферная среда и контроль за атмосферой

Выбор атмосферы спекания для труб из вольфрамовых сплавов крайне важен для предотвращения окисления материала и сохранения химической стабильности. Наиболее распространённые атмосферы:

- **Вакуумная среда**
(от 10^{-3} до 10^{-5} Па) может эффективно предотвращать окисление и загрязнение примесями, сохраняя чистоту сплава. Однако это требует сложного оборудования и является дорогостоящим.
- **Восстановительная атмосфера**
обычно содержит водород (например, H_2 или $H_2 + Ar$ Смесь) , которая снижает поверхностные оксиды во время спекания, способствуя уплотнению и предотвращая обезуглероживание. Чистота и поток воздуха должны строго контролироваться, чтобы предотвратить риск взрыва водорода.
- **Защитная атмосфера**
Защитная атмосфера из аргона или азота также используется в некоторых процессах для уменьшения окисления поверхности и подходит для процессов, предъявляющих менее строгие требования к атмосфере, чем вакуум.
- В некоторых процессах технология преобразования атмосферы сначала использует вакуум или восстановительную атмосферу для спекания, а затем переключается на защитную атмосферу для охлаждения с целью предотвращения термического окисления.

4. Применение технологии горячего изостатического прессования (ГИП)

Горячее изостатическое прессование (ГИП) — это передовой метод уплотнения труб из вольфрамовых сплавов. Он значительно улучшает плотность и механические свойства после

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

спекания за счёт одновременного применения тепловой энергии и изостатического давления в газовой среде с высокой температурой и высоким давлением.

- **Диапазон давления**
Обычно используемое давление в процессе ГИП составляет 50–200 МПа, что эффективно устраняет остаточную пористость.
- **Температура контроля**
аналогична температуре обычного спекания, но из-за добавления давления скорость уплотнения материала выше, а контроль зерна лучше.
- **Эффект применения**
Спекание методом горячего изостатического прессования позволяет получить высокооднородную мелкозернистую структуру, что значительно повышает прочность на разрыв, ударную вязкость и коррозионную стойкость труб из вольфрамовых сплавов, что особенно подходит для высокотехнологичных применений в аэрокосмической и атомной промышленности.

5. Контроль дефектов в процессе спекания

Трубы из вольфрамовых сплавов характеризуются пористостью, трещинами, укрупнением зерна и сегрегацией. Целевые меры оптимизации включают:

- **Предварительная обработка порошка**
осуществляется с помощью сферического порошка высокой чистоты для уменьшения включений и повышения начальной плотности.
- **Оптимизируйте распределение давления и**
разумно спроектируйте форму, чтобы обеспечить равномерное давление во время спекания и избежать локальной неплотности.
- **Чистота атмосферы повышается**
за счёт использования высокочистого газа и очистного оборудования, предотвращающего окисление и проникновение примесей.
- **Многоступенчатый процесс спекания**
постепенно устраняет поры и оптимизирует зернистую структуру за счёт многоступенчатого контроля градиента температуры.

6. Перспективы развития технологии спекания

- **Интеллектуальное управление спеканием**
использует датчики и технологию онлайн-мониторинга для обеспечения регулирования процесса спекания в реальном времени и повышения производительности.
- **Технология низкотемпературного и высокоэффективного спекания**
изучает новые спекающие добавки и активаторы для снижения температуры спекания и потребления энергии.
- **Спекание и аддитивное производство В сочетании**
с технологией аддитивного производства можно добиться интегрированного формования и спекания сложных труб из вольфрамовых сплавов.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Экологически чистая атмосфера** — это система, которая разрабатывает зеленую и экологически чистую атмосферу для замены традиционного водорода и снижения рисков для безопасности.

VII. Резюме

Технология спекания и контроль атмосферы являются ключевыми факторами, определяющими эксплуатационные характеристики и качество материала при производстве труб из вольфрамовых сплавов. Оптимизация температуры, времени спекания и атмосферных условий в сочетании с передовыми технологиями горячего изостатического прессования (ГИП) и интеллектуальными методами управления позволяет значительно повысить плотность, механические свойства и срок службы труб из вольфрамовых сплавов, отвечая строгим требованиям высокотехнологичных приложений. В будущем, благодаря дальнейшим инновациям в процессах и глубоким исследованиям материалов, технология спекания труб из вольфрамовых сплавов станет ещё более эффективной, экологичной и интеллектуальной.

3.5 Процесс термической обработки и технология улучшения уплотнения труб из вольфрамового сплава

Трубы из вольфрамовых сплавов обычно подвергаются научно разработанному процессу термообработки для оптимизации микроструктуры, повышения уровня уплотнения материала и улучшения его общих механических свойств. Термообработка не только устраняет внутренние напряжения и улучшает морфологию зерна, но и повышает прочность, ударную вязкость и коррозионную стойкость трубы. Это ключевой процесс для повышения общего качества труб из вольфрамовых сплавов.

1. Основная цель термической обработки труб из вольфрамового сплава

1. прессования

, спекания и механической обработки внутри трубы из вольфрамового сплава возникают остаточные напряжения. Соответствующая термическая обработка позволяет эффективно снять эти напряжения, снизить риск деформации материала и образования трещин, а также обеспечить размерную стабильность трубы.

2. способствует измельчению зерна и гомогенизации

путем контроля температуры нагрева и скорости охлаждения, регулирования размера и морфологии зерна, подавления роста зерна, достижения однородной структуры и, таким образом, повышения механической прочности и ударной вязкости.

3. Повышение плотности и снижение пористости.

Благодаря соответствующим процессам термообработки происходит закрытие и устранение остаточных пор, повышается плотность материала, тем самым повышаются прочность на разрыв, твердость и усталостная долговечность.

4. Повышение химической стабильности и коррозионной стойкости

Термическая обработка может способствовать равномерной диффузии и твердому

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

растворению легирующих элементов, улучшать химическую стабильность сплава и повышать его стойкость к окислению и коррозии.

2. Распространенные типы процессов термообработки труб из вольфрамовых сплавов

1. Обработка отжигом

- o Диапазон температур: обычно от 800°C до 1200°C, конкретная температура выбирается в зависимости от состава сплава и структурных характеристик.
- o Механизм действия: Отжиг может снять внутренние напряжения, ускорить рекристаллизацию, измельчить зерна и уменьшить структурные дефекты.
- o Типичная последовательность процесса: медленно нагреть до заданной температуры, поддерживать тепло в течение нескольких часов, а затем медленно охладить, чтобы предотвратить термический стресс.

2. Обработка раствором

- o В основном он используется для оптимизации распределения легирующих элементов и устранения сегрегации состава.
- o Обычно для кратковременной изоляции и быстрого охлаждения используют высокую температуру (выше 1200°C) для фиксации структуры твердого раствора.
- o Оказывает существенное влияние на повышение прочности и термостойкости.

3. Лечение старения

- o При поддержании тепла на нужном уровне пересыщенный твердый раствор выделяет вторую фазу, что приводит к упрочнению материала.
- o Обычно встречается в трубках из вольфрамового сплава, содержащих никель, железо и другие элементы, температура старения обычно составляет 400–700 °C.

4. Горячее изостатическое прессование (ГИП)

- o Сочетание высокой температуры и изостатического давления способствует закрытию пор и оптимизации микроструктуры.
- o Значительно улучшает плотность и механические свойства, часто используется при изготовлении высококачественных труб из вольфрамовых сплавов.

3. Влияние параметров процесса термообработки на уплотнение

• термообработки

напрямую влияет на размер зерна и эффективность закрытия пор в трубках из вольфрамового сплава. При слишком низкой температуре скорость диффузии будет недостаточной, а уплотнение — недостаточным; при слишком высокой температуре размер зерна увеличится, и прочность материала снизится.

• время выдержки

полезно для полного завершения процесса преобразования микроструктуры и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

диффузии, но слишком длительное время выдержки приведет к потере энергии и может вызвать нежелательное укрупнение зерна.

- **Метод охлаждения:**

Медленное охлаждение способствует формированию однородной структуры и снижению термического напряжения; быстрое охлаждение (например, водяное) подходит для обработки на твердый раствор, чтобы зафиксировать фазу упрочнения.

- **Атмосферную**

термическую обработку обычно проводят в вакууме или защитной атмосфере для предотвращения окисления материала и обезуглероживания поверхности.

4. Усовершенствованная технология повышения уплотнения

1. **Многоступенчатый процесс термообработки**

эффективно способствует гомогенизации микроструктуры и устранению пористости за счет разработки многоступенчатых процессов нагрева, изоляции и охлаждения, что значительно улучшает общие характеристики материала.

2. **Горячее изостатическое прессование в сочетании с обработкой старением**

сначала увеличивает плотность посредством ГИП, а затем выполняет упрочнение старением для достижения баланса между прочностью и вязкостью.

3. **При лазерной или электронно-лучевой термической обработке**

используется локальный нагрев высокой плотности энергии для достижения уплотнения поверхности и градиентов свойств, что повышает износостойкость и коррозионную стойкость.

4. **При термической обработке с помощью микроволнового излучения**

используется нагрев микроволновым излучением, который отличается высокой тепловой эффективностью и равномерным нагревом, что позволяет сократить время обработки и улучшить структуру.

V. Резюме

Вольфрамовые трубы из сплавов играют ключевую роль в обеспечении их высокой производительности. Рациональный процесс термообработки и оптимизация технологических параметров позволяют не только эффективно повысить плотность и однородность микроструктуры труб из вольфрамовых сплавов, но и значительно повысить их механическую прочность, ударную вязкость и коррозионную стойкость. В будущем, благодаря постоянному развитию и применению передовых технологий термообработки, эксплуатационные характеристики труб из вольфрамовых сплавов будут и дальше улучшаться, чтобы соответствовать более строгим промышленным и высокотехнологичным требованиям.

3.6 Обработка внутренней и внешней поверхности труб из вольфрамовых сплавов (полировка, гальванопокрытие, PVD и т. д.)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Трубы из вольфрамовых сплавов широко используются в аэрокосмической и атомной промышленности, медицинском оборудовании и высокотехнологичном производстве. Качество внутренней и внешней поверхностей напрямую влияет на эксплуатационные характеристики, долговечность и функциональность труб. Поэтому научно обоснованный и рациональный процесс обработки поверхности имеет решающее значение для повышения общих эксплуатационных характеристик труб из вольфрамовых сплавов. В этом разделе подробно описаны основные технологии обработки внутренней и внешней поверхности труб из вольфрамовых сплавов, включая полировку, гальванопокрытие и физическое осаждение из паровой фазы (PVD), уделяя особое внимание принципам их процесса, техническим характеристикам и результатам применения.

1. Важность обработки поверхности труб из вольфрамового сплава

1. Улучшенная отделка поверхности

Хорошая отделка поверхности помогает снизить трение и износ, улучшить динамику жидкости и герметизацию, что особенно важно для применения внутри стен.

2. Повышенная коррозионная стойкость и износостойкость Благодаря технологии модификации поверхности

можно значительно повысить стойкость труб из вольфрамового сплава к химической коррозии и механическому износу, тем самым продлевая срок их службы.

3. Улучшение адгезии функциональных покрытий.

Предварительная обработка обеспечивает получение однородной и чистой поверхности для последующих процессов нанесения покрытия, гарантируя прочное сцепление покрытия и выполнение им своей функции.

4. Удовлетворение специфических промышленных потребностей,

например, для медицинского оборудования требуется нетоксичность и безвредность, для аэрокосмической промышленности требуются высокая прочность и термостойкость, а для электронной промышленности требуются высокая проводимость и устойчивость к электромагнитным помехам.

2. Процесс полировки труб из вольфрамового сплава

1. Процесс и методы полировки

• Механическая полировка

подразумевает использование наждачной бумаги, полировальной ткани и полировальной пасты для последовательного выполнения грубой, средней и тонкой полировки с целью удаления поверхностного оксидного слоя и следов механической обработки для достижения зеркального эффекта.

• Электролитическая полировка

удаляет микроскопические выступы поверхности посредством электрохимических реакций, достигая гладкости на микронном или даже наноуровне, и подходит для полировки сложных внутренних отверстий.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Химическая полировка**

использует химические жидкости для равномерного растворения неровностей поверхности, улучшения шероховатости и снижения механического напряжения.

2. Полирующий эффект и нанесение

- Механическая полировка наружных поверхностей широко применяется для декоративной и механической подгонки поверхностей;
- Полировка внутренних поверхностей в основном осуществляется с помощью электролитической и химической полировки для обеспечения подачи жидкости и герметичности;
- После полировки шероховатость поверхности может достигать менее $Ra0,1$ мкм, что соответствует требованиям, предъявляемым к медицинским и прецизионным приборам высокого класса.

3. Процесс гальванического покрытия труб из вольфрамового сплава

1. Тип гальванопокрытия

- **Никелевое**
покрытие может эффективно улучшить износостойкость, коррозионную стойкость и твердость поверхности и является широко используемым защитным покрытием для труб из вольфрамовых сплавов.
- **Хромирование**
обладает превосходной твердостью и износостойкостью и часто используется в условиях повышенного износа.
- **Меднение и другие металлические покрытия**
в основном используются для улучшения проводимости и создания хорошей адгезионной основы для последующих покрытий.

2. Процесс гальванизации

- Предварительная обработка поверхности (обезжиривание, травление, активация);
- Погрузить в гальваническую ванну и подать постоянный ток для проведения осаждения путем восстановления ионов металла;
- Очистка, сушка и последующая обработка гарантируют качество покрытия.

3. Преимущества гальванической технологии

- Высокая эффективность, относительно низкая стоимость, пригодность для массового производства;
- Покрытие равномерное, а его толщина регулируется в соответствии с различными требованиями к использованию;
- Функция композитной защиты достигается за счет многослойного композитного покрытия.

4. Процесс физического осаждения из паровой фазы (PVD) для трубок из вольфрамового сплава

1. Введение в технологию PVD

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Физическое осаждение из паровой фазы (ФВД) — это технология, использующая физические процессы (испарение, распыление) для осаждения материалов в виде паров на поверхность подложки с образованием тонкой плёнки. Она широко применяется для получения твёрдых, декоративных и функциональных покрытий.

2. Распространенные типы PVD-покрытий

- Твердые покрытия, такие как нитрид титана (TiN), нитрид хрома (CrN) и карбид титана (TiC), значительно повышают износостойкость;
- Многослойная композитная пленка повышает прочность покрытия и коррозионную стойкость;
- Проводящее покрытие для улучшения электрических свойств поверхности.

3. Характеристики процесса PVD

- Пленка имеет прочную адгезию, равномерную и регулируемую толщину;
- Экологически чистый и не загрязняющий окружающую среду, не требует химической обработки жидких отходов;
- Подходит для покрытия сложных внутренних отверстий и наружных поверхностей.

4. Преимущества применения

- Значительно улучшить износостойкость, коррозионную стойкость и срок службы труб из вольфрамовых сплавов;
- Реализовать функциональные поверхности для удовлетворения особых промышленных потребностей;
- Подходит для высокотехнологичных отраслей аэрокосмической, медицинской и точной промышленности.

5. Другие технологии обработки поверхности труб из вольфрамовых сплавов

- **Дробеструйная обработка**
подразумевает высокоскоростное распыление мелких частиц, которые воздействуют на поверхность, образуя слой сжимающего напряжения, тем самым повышая усталостную прочность и износостойкость.
- **Лазерная обработка поверхности**
обеспечивает локальное уплотнение и упрочнение поверхности посредством лазерного нагрева и наплавки.
- **Химическое осаждение из газовой фазы (CVD)**
используется для получения высокочистых и высокоплотных покрытий для использования в высокотемпературных и коррозионных средах.

6. Комплексные требования к обработке внутренней и внешней поверхности труб из вольфрамовых сплавов

- Внутренняя стенка должна быть гладкой и свободной от загрязнений, чтобы предотвратить сопротивление жидкости и коррозию;
- Обработка наружных стенок направлена на обеспечение износостойкости, стойкости к коррозии и качества внешнего вида;
- При выборе подходящего процесса обработки поверхности необходимо всесторонне учитывать диаметр трубы, среду применения и экономическую эффективность;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Сочетание нескольких процессов (таких как полировка + гальванопокрытие + PVD) для максимального повышения производительности.

VII. Резюме

Технологии обработки поверхности труб из вольфрамовых сплавов охватывают широкий спектр методов, от традиционной механической полировки до современных покрытий PVD, каждый из которых обладает уникальными преимуществами и взаимодополняющими эффектами. Рациональное проектирование процесса и точный контроль процесса позволяют не только значительно улучшить качество поверхности и эксплуатационные характеристики труб из вольфрамовых сплавов, но и удовлетворить разнообразные потребности различных отраслей промышленности. Благодаря технологическому прогрессу процессы обработки поверхности станут более экологичными, эффективными и интеллектуальными, создавая прочную основу для высокотехнологичного применения труб из вольфрамовых сплавов.

3.7 Новые технологии производства труб из вольфрамовых сплавов: экструзия, прокатка и аддитивное производство

В связи с продолжающимся ростом требований к эксплуатационным характеристикам материалов и эффективности производства труб из вольфрамовых сплавов, традиционная порошковая металлургия, несмотря на свою зрелость и надежность, сталкивается с ограничениями, связанными со сложными формами, высокой производительностью и высокой скоростью производства. В последние годы новые производственные технологии, такие как экструзия, прокатка и аддитивное производство, постепенно внедряются в процесс производства труб из вольфрамовых сплавов, становясь ключевым фактором технологических инноваций и модернизации продукции в отрасли. В этом разделе подробно рассматриваются принципы, характеристики процесса, преимущества и перспективы применения этих трёх новых технологий в производстве труб из вольфрамовых сплавов.

1. Технология экструзии труб из вольфрамового сплава

1. Обзор технологии экструзии

Экструзия — это метод обработки давлением, при котором нагретые заготовки из вольфрамового сплава под высоким давлением продавливаются через отверстие фильеры, образуя непрерывную трубу. Этот процесс широко применяется в производстве металлических труб и подходит для улучшения плотности микроструктуры и механических свойств труб из вольфрамовых сплавов.

2. Процесс экструзии

- **Подготовка заготовки** : нагреть предварительно спеченный блок вольфрамового сплава до подходящей температуры пластической деформации (обычно выше 1100°C);
- **Форма конструкция** : Специально разработанная полая форма используется для контроля внутреннего и внешнего диаметров, а также толщины стенки трубы;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Экструзия** : использование гидравлического или механического экструдера для приложения давления с целью продавливания материала через отверстие фильеры для формирования трубки;
- **Последующая обработка** : Экструдированная труба обычно нуждается в термической обработке и механической обработке для достижения требуемой точности размеров и качества поверхности.

3. Преимущества технологии экструзии

- Значительно улучшить плотность и однородность зерна материала;
- Измельчить зерно и улучшить механическую прочность и пластичность труб из вольфрамовых сплавов;
- трубы из вольфрамового сплава со сложными поперечными сечениями и большими диаметрами;
- Высокая эффективность производства, подходит для среднего и крупного серийного производства.

2. Технология прокатки труб из вольфрамовых сплавов

1. Обзор технологии прокатки

Прокатка — это процесс, при котором ролики создают сжимающее напряжение, постепенно сжимая и деформируя заготовку из вольфрамового сплава, образуя тонкостенные трубы. Как горячая, так и холодная прокатка позволяют эффективно регулировать толщину и механические свойства труб.

2. Процесс прокатки

- **Первичная горячая прокатка** : нагрев заготовки трубы из вольфрамового сплава до температуры пластичности, а затем проведение многократной горячей прокатки для уменьшения толщины стенки трубы;
- **Отделка холодной прокаткой** : холодная прокатка дополнительно улучшает качество поверхности и точность размеров, а также улучшает механические свойства;
- **Отжиг** : Отжиг проводится при необходимости снятия напряжений и оптимизации микроструктуры.

3. Преимущества технологии прокатки

- Благодаря многоэтапной деформации достигается точный контроль размеров и равномерная толщина стенок;
- Структуру зерна можно контролировать для повышения прочности и сопротивления усталости;
- Превосходное качество поверхности, снижающее трудоемкость последующей механической обработки;
- Подходит для изготовления тонкостенных высокоточных труб из вольфрамового сплава.

3. Технология аддитивного производства труб из вольфрамового сплава

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. Обзор технологии аддитивного производства

Аддитивное производство (АП), также известное как 3D-печать, позволяет изготавливать сложные детали путём послойного нанесения материала. Применение аддитивного производства в производстве труб из вольфрамовых сплавов постепенно расширяется, и оно особенно подходит для создания сложных внутренних конструкций по индивидуальным заказам.

2. Виды методов аддитивного производства

- **Селективная лазерная плавка (СЛП)** : использует высокоэнергетические лазеры для плавления металлического порошка слой за слоем для создания высокоплотных деталей;
- **Электронно-лучевая плавка (ЭЛП)** : использует электронный луч для осаждения высокой энергии, подходит для материалов с высокой температурой плавления, таких как вольфрамовые сплавы;
- **Прямое энергетическое осаждение (DED)** : порошок или проволока выбрасываются через сопло, расплавляются и немедленно осаждаются, что подходит для ремонта и изготовления крупногабаритных деталей.

3. Преимущества и проблемы аддитивного производства

- **Преимущества :**
 - Возможно изготовление сложных внутренних каналов и труб специальной формы;
 - Значительно сократить цикл НИОКР и обеспечить поддержку персонализированной настройки небольших партий продукции;
 - Сократите отходы материалов и повысьте эффективность использования ресурсов.
- **испытание :**
 - вольфрамовый сплав предъявляет чрезвычайно высокие требования к оборудованию в процессе печати;
 - Трудно контролировать пористость и дефекты внутри напечатанных деталей;
 - Для обеспечения механических свойств и размерной стабильности требуется полный процесс постобработки.

4. Комплексное применение и перспективы новых технологий подготовки

1. Эти технологии

подходят для массового производства, обеспечивая стабильные механические свойства и размеры труб из вольфрамовых сплавов. Аддитивное производство, в свою очередь, подходит для индивидуальной разработки сложных конструкций и труб с заданным функциональным диапазоном. Сочетание этих трёх технологий позволит создать более гибкую и эффективную производственную систему.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. **Возможности для повышения производительности:**

передовые технологии термообработки и обработки поверхности в сочетании с новыми процессами подготовки могут дополнительно повысить устойчивость к высоким температурам, износостойкость и срок службы труб.

3. **Перспективы развития промышленности:**

С развитием технологий оборудования и улучшением технологии материалов технологии экструзии, прокатки и аддитивного производства труб из вольфрамовых сплавов будут продолжать совершенствоваться, способствуя расширению применения труб из вольфрамовых сплавов в аэрокосмической и атомной промышленности, производстве медицинского оборудования и высокотехнологичном производстве.

V. Резюме

Новые технологии производства труб из вольфрамовых сплавов, такие как экструзия, прокатка и аддитивное производство, позволили преодолеть узкие места традиционных производственных процессов, добившись улучшения как эксплуатационных характеристик продукции, так и сложности конструкции. В будущем, благодаря технологической интеграции и оптимизации процессов, мы сможем эффективно удовлетворять всё более разнообразные и сложные требования рынка, помогая отрасли производства труб из вольфрамовых сплавов выйти на новый этап развития, обеспечивая высокое качество продукции.

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

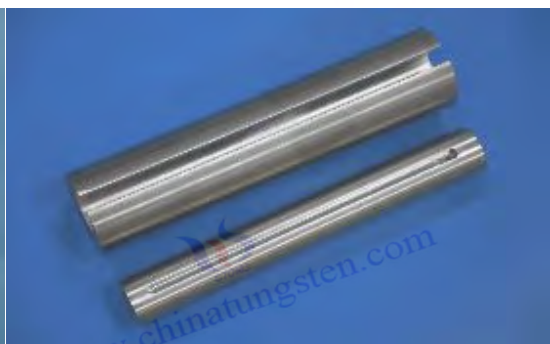
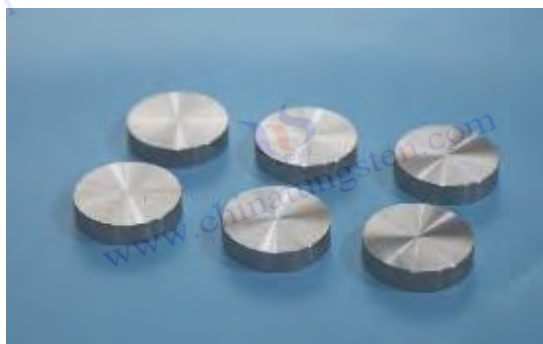
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

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. Испытания производительности и оценка качества труб из вольфрамовых сплавов

4.1 Методы контроля внешнего вида и геометрических размеров труб из вольфрамовых сплавов

Внешний вид и геометрические размеры труб из вольфрамовых сплавов являются ключевым компонентом высокопроизводительных материалов, поэтому качество их внешнего вида и геометрические размеры напрямую влияют на последующую обработку и эксплуатационные характеристики конечного продукта. Строгий и точный контроль внешнего вида и размеров труб из вольфрамовых сплавов является залогом качества труб из вольфрамовых сплавов. Ниже подробно описаны основные методы, ключевые технические аспекты и практическое применение контроля внешнего вида и геометрических размеров труб из вольфрамовых сплавов.

1. Метод проверки внешнего вида труб из вольфрамового сплава

1. Визуальный осмотр (визуальный осмотр)

- **Цель осмотра :** Осмотреть поверхность трубы на предмет наличия трещин, пор, включений, пятен окисления, царапин, деформаций и других явных дефектов.
- **Методы и инструменты :**
 - Искусственное зрение в сочетании с источником света (естественный свет или профессиональное освещение);

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Используйте увеличительное стекло или микроскоп для облегчения увеличения и наблюдения за едва заметными дефектами;
- В сочетании с цифровыми камерами или системами камер высокой четкости обеспечивает регистрацию и анализ дефектов поверхности.

- **Стандарты проверки** : определение типа и серьезности дефектов на основе стандартов продукции или требований заказчика и управление ими на разных уровнях.

2. Определение блеска поверхности

- **Цель испытания** : оценить эффект полировки или покрытия поверхности трубы из вольфрамового сплава и отразить качество обработки и состояние поверхности.
- **Инструмент для тестирования** : Блескомер, который определяет класс чистоты поверхности путем измерения интенсивности отраженного света.

3. Определение профиля и шероховатости поверхности

- **Цель испытания** : Количественная оценка микронеровностей поверхности и оценка влияния процессов обработки поверхности.
- **Испытательное оборудование** : измеритель шероховатости, профилометр и другие прецизионные приборы, способные определять параметры шероховатости, такие как Ra и Rz.

2. Метод испытания геометрических размеров труб из вольфрамового сплава

Трубы из вольфрамовых сплавов имеют такие основные параметры, как наружный диаметр, внутренний диаметр, толщина стенки, длина, концентричность, прямолинейность и круглость. Для испытаний используются следующие методы:

1. Измерение внешнего и внутреннего диаметра

- **Инструменты** : штангенциркуль, микрометр, нутромер, координатно-измерительная машина (КИМ).
- **Примечания** :
 - Использовать высокоточные измерительные инструменты, чтобы гарантировать, что погрешности измерений находятся в пределах нормы;
 - Точки измерения должны быть равномерно распределены на разных участках трубы для определения однородности размеров.

2. Измерение толщины стенки

- **метод** :
 - **Механический толщиномер** : например, микрометр, используемый для измерения толщины стенки образца трубы;
 - **Ультразвуковой толщиномер** : бесконтактное измерение, подходит для оперативного обнаружения и проверки труб сложной структуры;
 - **Рентгеновский контроль** : используется для высокоточного анализа толщины стенок и формы внутренней полости.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Преимущества применения** : Ультразвуковые и рентгеновские методы подходят для неразрушающего контроля, чтобы гарантировать отсутствие внутренних дефектов труб.

3. Измерение длины

- **Инструменты** : стальная рулетка, лазерный дальномер и т. д.
- **Технические моменты** : Измерение длины должно гарантировать, что торцевая поверхность трубы плоская, чтобы избежать ошибок измерения, вызванных неровными торцевыми поверхностями.

4. Проверка округлости и концентричности

- **Значимость обнаружения** : обеспечить округлость поперечного сечения трубы и концентричность внутреннего и внешнего диаметров, чтобы избежать неравномерного усилия во время обработки или использования.
- **Испытательное оборудование** : кругломер, координатно-измерительная машина (КИМ), которая вычисляет отклонение от круглости и концентричности путем сканирования поперечного сечения трубы.

5. Обнаружение прямолинейности и кривизны

- **Цель испытания** : подтвердить линейную форму трубы и предотвратить деформацию, которая может вызвать трудности при монтаже и эксплуатации.
- **Метод проверки** : используйте линейку прямолинейности, лазерный сканер или специальный прибор для измерения кривизны.

3. Процесс тестирования и контроль качества

1. Принципы выборки

- Разработать планы отбора проб в соответствии с действующими стандартами (например, GB/T, ASTM) или соглашениями с клиентами для обеспечения репрезентативности испытаний.

2. Среда тестирования

- Проводите измерения в условиях постоянной температуры и влажности, чтобы снизить влияние температуры и влажности на измерение размеров.
- Предотвращайте загрязнение и царапины, сохраняйте поверхность трубы в целости и сохранности.

3. Регистрация и анализ тестовых данных

- Создать полную систему управления данными проверок, включая результаты проверок, типы дефектов и записи о местоположении.
- Статистически анализируйте тенденцию изменения размеров и вовремя корректируйте производственный процесс.

4. Критерии оценки

- Квалификация определяется на основании национальных стандартов, отраслевых спецификаций или технических требований заказчика.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- для несоответствующих изделий, чтобы гарантировать, что продукция соответствует проектным спецификациям.

4. Применение передовых технологий обнаружения

- **Координатно-измерительная машина (КИМ)** : обеспечивает высокоточное трехмерное измерение сложных геометрических размеров труб из вольфрамового сплава с высокой степенью автоматизации.
- **Оптический сканер** : быстро получает трехмерные морфологические данные поверхности и поперечного сечения трубы, подходит для труб сложной формы.
- **Система машинного зрения** : в сочетании с технологией распознавания изображений она реализует автоматизированное обнаружение и классификацию дефектов внешнего вида.

V. Резюме

Трубы из вольфрамовых сплавов играют основополагающую роль в обеспечении качества продукции. Используя передовое испытательное оборудование и технологии в сочетании с рациональным процессом испытаний и строгими критериями, мы можем эффективно гарантировать стабильность характеристик и надежность труб из вольфрамовых сплавов в процессе производства и эксплуатации. С развитием автоматизированных и интеллектуальных технологий испытаний контроль качества труб из вольфрамовых сплавов в будущем станет еще более точным и эффективным, обеспечивая надежную гарантию качества материала для высокотехнологичных применений.

4.2 Испытание плотности и характеристика плотности микроструктуры труб из вольфрамового сплава

Плотность и микроструктура труб из вольфрамовых сплавов являются важными показателями качества и эксплуатационных характеристик материала. Высокоплотные и высокоструктурные вольфрамовые трубы, как правило, обладают превосходными механическими свойствами, износостойкостью и стабильными физическими характеристиками, что позволяет широко использовать их в таких высокотехнологичных областях, как аэрокосмическая, атомная промышленность и военное применение. Поэтому точное измерение плотности труб из вольфрамовых сплавов и определение их микроструктуры имеют решающее значение для обеспечения качества продукции.

1. Метод определения плотности труб из вольфрамового сплава

1. Расчет теоретической плотности

- На основании массовой доли и плотности каждого компонента в трубке из вольфрамового сплава теоретическую плотность сплава получают путем расчета средневзвешенного значения.
- Формула такова:

$$\rho_{\text{теоретический}} = \sum (w_i \times \rho_i)$$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- где w_i , ρ_i — массовая доля каждого компонента, а ρ_i — плотность каждого компонента.
- Теоретическая плотность — это эталон плотности материала в идеальных условиях.

2. Фактическое измерение плотности

- **Архимедов метод :**
 - Для измерения разницы масс трубки из вольфрамового сплава в воздухе и воде используется принцип выталкивающей силы воды, после чего рассчитывается ее фактическая плотность.
 - Применимо к образцам трубок из вольфрамового сплава, имеющим правильную форму и измеримый объем.
 - Этапы измерения просты, точность высока, поэтому прибор широко используется в лабораториях и на производственных площадках.
- **Метод вытеснения газа (метод пикнометра) :**
 - Объем образца заменяется газом (например, гелием), что подходит для образцов сложной формы или тех, которые трудно погружать в воду.
- **Методы рентгеновской дифракции (РФА) и компьютерной томографии :**
 - В сочетании с высокоточными приборами для получения данных об объеме и массе он подходит для задач высокоточного тестирования.

3. Примечания к измерению плотности

- Образец должен быть чистым и свободным от поверхностных загрязнений.
- Измеренные температура и влажность окружающей среды должны быть стабильными, чтобы избежать ошибок.
- Было проведено несколько измерений на нескольких партиях образцов, а затем для обеспечения надежности данных были рассчитаны среднее значение и стандартное отклонение.

2. Технология определения плотности микроструктуры труб из вольфрамового сплава

1. Наблюдение за микроструктурой

- **Оптическая микроскопия (ОМ) :**
 - Наблюдайте за микроструктурой после спекания, включая размер зерна, распределение границ зерен и пористость.
 - Он позволяет качественно оценить плотность и выявить макроскопические поры и дефекты.
- **Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) :**
 - Обеспечивает микроскопические морфологические изображения высокого разрешения, позволяющие наблюдать мельчайшие поры, включения и границы зерен.
 - В сочетании с энергодисперсионным спектральным анализом (EDS) можно обнаружить распределение элементов и определить однородность материала.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Определение пористости

- Для количественного измерения пористости микроскопических изображений и расчета плотности ткани использовалось программное обеспечение для анализа изображений.
- Низкая пористость (высокая плотность) означает лучшие механические свойства и стабильность.

3. Рентгеновская компьютерная томография (КТ)

- Технология неразрушающего контроля точно определяет распределение, размер и количество внутренних пор, реконструируя внутреннюю структуру трубы в трех измерениях.
- Высокая точность и высокое разрешение, подходит для контроля качества труб из вольфрамовых сплавов сложной формы.

4. Корреляционный анализ между плотностью и компактностью

- Отношение фактической плотности к теоретической плотности отражает уровень плотности трубки из вольфрамового сплава.
- Чем выше плотность, тем лучше механические свойства, теплопроводность и срок службы материала.
- Объединяя тестирование плотности с характеристикой тканей, мы можем оптимизировать процесс и улучшить качество продукции.

3. Руководство по контролю качества и улучшению процессов

- На основании результатов испытаний на плотность и компактность проанализировано влияние параметров процесса спекания, качества сырья и свойств порошка на уплотнение.
- Отрегулируйте температуру, время и атмосферу спекания, оптимизируйте распределение размеров частиц порошка и улучшите общую плотность трубки.
- Для дальнейшего устранения внутренней пористости и повышения плотности и структурной однородности используются вспомогательные технологии, такие как горячее изостатическое прессование (ГИП).

IV. Резюме

Испытание плотности и микроструктуры труб из вольфрамовых сплавов имеют основополагающее значение для обеспечения эксплуатационных характеристик продукции. Сочетание различных методов испытаний и передовых методов характеристики позволяет точно оценивать качество материала и способствует непрерывной оптимизации производственных процессов. Трубы из вольфрамовых сплавов высокой плотности не только повышают механическую прочность и коррозионную стойкость, но и отвечают требованиям к стабильности материала в сложных условиях эксплуатации, обеспечивая надежную основу для высокотехнологичных приложений.

4.3 Стандарты испытаний механических свойств труб из вольфрамовых сплавов (ASTM, GB, ISO)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Трубы из вольфрамовых сплавов напрямую влияют на безопасность и срок службы изделия. Чтобы гарантировать соответствие механических свойств труб из вольфрамовых сплавов проектным требованиям, они должны систематически и тщательно испытываться в соответствии с международными и отечественными стандартами. К основным используемым стандартам относятся стандарты Американского общества по испытаниям и материалам (ASTM), Китайского национального стандарта (GB) и Международной организации по стандартизации (ISO).

1. Основные показатели испытаний механических свойств труб из вольфрамового сплава

Трубы из вольфрамового сплава обычно охватывают следующие аспекты:

- **Прочность на растяжение** : мера способности материала противостоять разрушению при растяжении.
- **Предел текучести** : значение напряжения, при котором материал начинает подвергаться пластической деформации.
- **Вязкость разрушения** : способность материала противостоять распространению трещин.
- **Удлинение** : степень пластической деформации материала до его разрушения под действием напряжения.
- **Твердость** : способность материала сопротивляться локальной пластической деформации.
- **Усталостная прочность** : способность материала противостоять разрушению под действием циклических напряжений.
- **Прочность на сжатие** : способность материала противостоять разрушению при сжатии.

2. Введение в основные стандарты испытаний

1. Стандарты ASTM (Американского общества по испытаниям и материалам)

- **ASTM E8/E8M** — «Стандартные методы испытаний металлических материалов на растяжение»
устанавливает методы испытаний металлических материалов на растяжение, применимые к испытаниям на прочность, предел текучести и относительное удлинение образцов труб из вольфрамовых сплавов. Основные положения включают подготовку образцов, испытательное оборудование, процедуры испытаний и методы расчёта данных.
- **ASTM E23** — «Стандартный метод испытания металлических материалов на удар (испытание на удар по Шарпи)» —
используется для оценки вязкости разрушения и ударных свойств материалов и особенно подходит для оценки вязкости труб из вольфрамовых сплавов.
- **ASTM E399** — «Стандарт испытаний металлических материалов на вязкость разрушения»

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

измеряет вязкость разрушения материалов и обеспечивает безопасные параметры проектирования для высококачественных труб из вольфрамовых сплавов.

- **ASTM E466** — «Методы испытаний металлических материалов на усталость» оценивает усталостные характеристики труб из вольфрамовых сплавов и особенно подходит для циклических нагрузок, требуемых в аэрокосмической и военной промышленности.

2. GB (Китайский национальный стандарт)

- **GB/T 228.1** — «Методы испытаний металлических материалов на растяжение при комнатной температуре».

Этот стандарт, аналогичный ASTM E8, устанавливает требования и методы испытаний на растяжение труб из вольфрамовых сплавов и широко используется в отечественном производстве и контроле качества.

- **GB/T 2975** — «Метод испытания на удар по Шарпи для металлических материалов» используется для определения ударной вязкости материалов и обеспечения трещиностойкости труб из вольфрамовых сплавов.
- **GB/T 15248** — «Метод испытания на вязкость разрушения металлических материалов» подходит для количественного анализа вязкости разрушения труб из вольфрамовых сплавов.
- **GB/T 3075** — «Методы испытаний металлических материалов на усталость» оценивает долговечность материалов при усталостных нагрузках.

3. ISO (Международная организация по стандартизации)

- **ISO 6892-1** — «Металлические материалы. Методы испытаний на растяжение» применим к испытаниям на прочность и удлинение труб из вольфрамовых сплавов и соответствует унифицированным международным спецификациям испытаний.
- **ISO 148-1** — «Испытание металлических материалов на удар по Шарпи» стандартизирует метод определения ударной вязкости материалов.
- **ISO 12135** — «Металлические материалы. Испытание на вязкость разрушения» — это признанный на международном уровне тест на вязкость разрушения труб из вольфрамовых сплавов.
- **ISO 1099** — «Испытания на усталость металлических материалов» используется для определения усталостной долговечности и предела усталости.

3. Требования к подготовке образцов для испытания механических свойств

- Образцы должны обрабатываться в соответствии с формой и размерами, указанными в соответствующих стандартах, чтобы обеспечить точность и повторяемость результатов испытаний.
- Образцы труб из вольфрамового сплава обычно необходимо разрезать на отрезки определенной длины, чтобы гарантировать полноту поперечного сечения и отсутствие дефектов.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Поверхность образца должна быть надлежащим образом обработана, например, зачищена от заусенцев и отполирована, чтобы уменьшить влияние концентрации напряжений на результаты испытаний.

4. Испытательное оборудование и требования к окружающей среде

- Оборудование для испытаний на растяжение, сжатие, удар и усталость должно быть откалибровано для обеспечения точности данных.
- Температура и влажность среды проведения испытаний должны соответствовать стандартным требованиям, а для обычных температурных испытаний обычно используется комнатная температура около 25 °C.
- Для испытания механических свойств при высоких температурах требуется специальное устройство для высокотемпературных испытаний.

5. Обработка данных и оценка качества

- Данные испытаний механических свойств должны рассчитываться в соответствии со стандартными методами, включая такие показатели, как максимальная нагрузка, предел текучести и удлинение.
- Соответствует ли трубка из вольфрамового сплава требованиям конструкции и эксплуатации, определяется путем сравнения со стандартными требованиями.
- Статистический анализ нескольких партий образцов помогает контролировать производственный процесс и постоянно совершенствовать его.

VI. Резюме

Трубы из вольфрамовых сплавов должны строго соответствовать авторитетным международным и национальным стандартам, таким как ASTM, GB и ISO, для обеспечения научного процесса испытаний и точности результатов. Комплексная система испытаний механических свойств не только обеспечивает техническую поддержку при проектировании, производстве и применении труб из вольфрамовых сплавов, но и служит надежной основой для обеспечения безопасности пользователя и гарантии эксплуатационных характеристик. По мере повышения эксплуатационных характеристик труб из вольфрамовых сплавов соответствующие стандарты также постоянно обновляются. Отрасли следует продолжать следить за развитием стандартов для сохранения технологического лидерства.

4.4 Металлографический анализ и исследование микроструктуры труб из вольфрамового сплава

Трубы из вольфрамовых сплавов являются важным средством оценки внутренней структуры материалов и контроля качества. Они позволяют наглядно определить микроструктурные характеристики, распределение фаз, размер зерна, пористость и другие микроскопические дефекты материалов. Они имеют большое значение для понимания эксплуатационных характеристик и механизмов разрушения труб из вольфрамовых сплавов, а также для оптимизации параметров процесса.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. Цель металлографического анализа труб из вольфрамового сплава

- **Наблюдайте за зернистой структурой** : оцените размер, форму и распределение зерен. Измельчение зерна, как правило, способствует улучшению механических свойств сплава.
- **Анализ фазового состава и распределения** : выявление различных фаз, образованных такими элементами, как вольфрам, никель и железо, а также определение однородности и фазовой стабильности сплава.
- **Обнаружение пор и включений** : выявление пористости и наличия неметаллических включений в процессе спекания, которые напрямую влияют на механические свойства и плотность.
- **Эффект термообработки** : оптимизируйте параметры процесса термообработки, сравнивая организационные изменения до и после термообработки.
- **Мониторинг микротрещин и деформационных структур** : анализ мест зарождения трещин и путей их распространения для создания основы для анализа отказов.

2. Процесс подготовки образца

1. **Резка и отбор проб** Возьмите поперечное и продольное сечение образца трубки из вольфрамового сплава и используйте прецизионное режущее оборудование, чтобы избежать термических воздействий и механической деформации.
2. **Монтаж**
: закрепите образец в смоле для облегчения последующей полировки и микроскопического наблюдения.
3. **Грубая и тонкая шлифовка**
выполняется с использованием наждачной бумаги разной зернистости (постепенная шлифовка от грубой к мелкой, например, 400, 800, 1200, 2000 меш) для удаления следов пиления с поверхности и получения гладкой поверхности.
4. **Полировка:**
используйте алмазный полировальный агент (менее 1 мкм) для зеркальной полировки, чтобы устранить следы шлифования и улучшить качество поверхности.
5. **Защита от коррозии**
требует выбора подходящего коррозионного раствора (например, смеси плавиковой и азотной кислот) с учётом химических свойств вольфрамового сплава. Необходимо контролировать время коррозии и концентрацию раствора, чтобы обнажить границы зёрен и фазовую структуру. Приготовление и использование коррозионного раствора должны строго соответствовать правилам техники безопасности.

3. Методы микроскопического наблюдения

1. Оптическая микроскопия (ОМ)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Наблюдайте общую структуру зерен, распределение пор, границы фаз и макродефекты.
- Микроскопическую морфологию изучали с помощью различных увеличений, а также предварительно анализировали однородность ткани.

2. Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ)

- Обеспечивает получение изображений морфологии поверхности высокого разрешения для детального наблюдения за границами зерен, распределением фаз и мелкими дефектами.
- В сочетании с энергодисперсионным спектральным анализом (EDS) обеспечивает качественный анализ и анализ распределения элементов.

3. Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ)

- Используется для наблюдения за наномасштабными организационными структурами и выявления дефектов решетки, подструктур и характеристик интерфейса.
- Обычно его используют для изучения распределения мелких упрочняющих фаз и микроэлементов в трубках из вольфрамовых сплавов.

4. Рентгеновская дифракция (РФА)

- Проанализируйте фазовый состав и кристаллическую структуру труб из вольфрамовых сплавов, выявите изменения параметров решетки и определите напряженное состояние.

4. Связь между микроструктурными характеристиками и производительностью

- **Размер зерна** : Мелкое и однородное зерно способствует повышению прочности и вязкости труб из вольфрамовых сплавов. Чрезмерно крупное зерно может привести к снижению эксплуатационных характеристик.
- **Равномерность распределения фаз** : равномерно распределенные связующие фазы, такие как никель и железо, способствуют повышению пластичности и ударопрочности сплава.
- **Пористость** : Низкая пористость означает высокую плотность, что улучшает механические свойства и коррозионную стойкость сплава.
- **Включения и дефекты** : Наличие включений может стать причиной появления трещин и сократить срок службы материала.
- **Эффекты термообработки** : Различные процессы термообработки приводят к росту зерна, фазовому превращению или снятию напряжений, а микроструктурные изменения напрямую отражают улучшение или ухудшение эксплуатационных характеристик.

5. Значение металлографического анализа в практическом применении

Трубы из вольфрамовых сплавов часто эксплуатируются в сложных условиях, например, в аэрокосмической, атомной промышленности, медицинском оборудовании и других областях. Металлографический анализ позволяет:

- Быстро оценивайте качество материала и выявляйте производственные дефекты.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Управляйте корректировкой технологических процессов и оптимизируйте процессы формования и термообработки.
- Прогнозируйте эксплуатационные характеристики и срок службы материалов, а также обеспечивайте раннее предупреждение о неисправностях.
- Поддерживать исследования и разработки новых материалов и проверять эффективность технологий модификации, таких как наноупрочнение и микролегирование.

VI. Резюме

Трубы из вольфрамовых сплавов играют важнейшую роль в более глубоком понимании свойств материалов и обеспечении контроля качества. В сочетании с передовыми методами микроскопии эти методы обеспечивают научную микроскопическую основу и техническую поддержку для исследований, разработки, производства и применения труб из вольфрамовых сплавов. В будущем, благодаря постоянному совершенствованию методов микроанализа, микроструктурные исследования труб из вольфрамовых сплавов станут ещё более детальными, закладывая прочную основу для проектирования и производства высокопроизводительных труб из вольфрамовых сплавов.

4.5 Химический состав и определение примесей в трубках из вольфрамовых сплавов (ICP, XRF, ONH)

Трубы из вольфрамовых сплавов играют ключевую роль в определении их физико-механических свойств. Точный и надёжный анализ химического состава обеспечивает разумное соотношение материалов и однородность состава, а также предотвращает негативное влияние вредных примесей на свойства сплава. К широко используемым методам испытаний относятся оптическая эмиссионная спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ICP), рентгенофлуоресцентная спектрометрия (XRF) и анализаторы кислорода, азота и водорода (ONH). Они подходят для обнаружения различных элементов и примесей, дополняя друг друга и образуя основу системы контроля качества химического состава труб из вольфрамовых сплавов.

1. ИСП (оптико-эмиссионная спектрометрия с индуктивно связанной плазмой)

Принципы и применение:

ИСП возбуждает атомы или ионы в образце, заставляя их испускать спектральные линии с характерными длинами волн. Интенсивность этих спектральных линий затем используется для определения концентрации элементов. Этот метод обладает высокой чувствительностью и возможностью одновременного обнаружения нескольких элементов, что делает его пригодным для точного анализа как основных, так и следовых элементов в трубках из вольфрамового сплава.

Тестовый контент

- Основные элементы: вольфрам (W), никель (Ni), железо (Fe), молибден (Mo) и др.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Микроэлементы: медь (Cu), кобальт (Co), марганец (Mn), хром (Cr) и др.
- Примесные элементы: вредные примеси, такие как сера (S), фосфор (P), свинец (Pb) и кадмий (Cd).

Преимущества

- Высокая чувствительность, позволяющая обнаруживать следовые количества элементов на уровне ppm.
- Скорость анализа высокая и подходит для пакетного тестирования.
- Одновременное обнаружение нескольких элементов экономит время.

Подготовка образцов:

Образцы трубок из вольфрамового сплава обычно необходимо растворить в кислоте или расплавить для приготовления раствора, чтобы обеспечить однородность образца и избежать потери элементов.

2. Рентгенофлуоресцентная спектроскопия (РФС)

Принципы и применение:

РФА использует высокоэнергетическое рентгеновское излучение для возбуждения элементов в образце, вызывая их испускание характерного флуоресцентного рентгеновского излучения. Энергия и интенсивность флуоресцентного рентгеновского излучения используются для качественного и количественного элементного анализа. РФА подходит для быстрого анализа элементного состава трубок из вольфрамовых сплавов, особенно при исследовании твердых образцов.

Тестовый контент

- Основные легирующие элементы: вольфрам, никель, железо, медь и др.
- Возможности обнаружения некоторых легких элементов ограничены.

Преимущества

- Подготовка образца проста и не требует сложного растворения.
- Неразрушающий контроль сохраняет образец целым.
- Подходит для быстрого обнаружения и контроля процесса на месте.

ограничение

- Обнаружение легких элементов (таких как кислород, азот и водород) слабое.
- Чувствительность обнаружения немного ниже, чем у ИСП, что затрудняет обнаружение крайне следовых количеств примесей.

3. ONH (анализатор кислорода, азота и водорода)

Принцип действия и применение:

Анализатор ONH измеряет содержание кислорода, азота и водорода в газе путем плавления образца при высокой температуре. Он подходит для точного определения этих лёгких

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

элементов в трубках из вольфрамовых сплавов. Кислород, азот и водород оказывают значительное влияние на механические свойства, коррозионную стойкость и термическую стабильность трубок из вольфрамовых сплавов.

Тестовый контент

- Содержание кислорода (O)
- Содержание азота (N)
- Содержание водорода (H)

Преимущества

- Измерение является чувствительным и точным.
- Незаменим для определения содержания легких элементов и примесей.

Подготовка образца

обычно включает в себя взятие небольшого куска образца трубки из вольфрамового сплава, помещение его в высокотемпературную печь для плавления, а затем анализ газа после его выброса с помощью системы обнаружения.

4. Комплексный анализ и контроль качества

Трубки из вольфрамового сплава часто комбинируются с технологиями индуктивно-связанной плазмы (ИСП), рентгенофлуоресцентной спектроскопии (РФ) и спектроскопии наночастиц (ОНГ) для создания многоугловой и многоуровневой системы анализа состава.

Благодаря этим методам мы можем:

- Убедиться, что содержание основных элементов сплава соответствует проектному соотношению.
- Тщательно контролируйте уровень вредных примесей, чтобы не допустить их влияния на производительность.
- Контролируйте легкие элементы, такие как кислород, азот и водород, чтобы гарантировать высокую производительность и высокую стабильность материалов.
- Содействовать оптимизации процесса и повышению однородности продукции.

V. Заключение

Трубы из вольфрамовых сплавов играют основополагающую роль в обеспечении качества продукции. Передовые технологии испытаний, такие как индуктивно-связанная плазма (ИСП), рентгенофлуоресцентная спектроскопия (РФ) и метод ионного азотирования (ОНГ), обеспечивают высокоточный и эффективный анализ состава, предоставляя надежные данные для обеспечения эксплуатационных характеристик, управления процессами, а также технологических исследований и разработок. Благодаря постоянному совершенствованию аналитических приборов будущие испытания станут еще более точными и быстрыми, обеспечивая высококачественное развитие отрасли производства труб из вольфрамовых сплавов.

4.6 Метод оценки однородности толщины стенок и соосности труб из вольфрамового сплава

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Для труб из вольфрамовых сплавов требуются равномерность толщины стенок и соосность, которые являются ключевыми показателями, обеспечивающими механические свойства, эксплуатационную безопасность и точность обработки. Равномерность толщины стенок связана с распределением прочности и сопротивлением давлению, а соосность напрямую влияет на точность сборки и механическую совместимость труб. Научные и точные методы оценки имеют решающее значение для контроля качества труб из вольфрамовых сплавов и оптимизации процесса.

1. Метод оценки равномерности толщины стенки

1. Ультразвуковое измерение толщины

- **Принцип :** Разница во времени распространения ультразвуковой волны в стенке трубки из вольфрамового сплава используется для измерения толщины стенки трубки.
- **Преимущества :**
 - Неразрушающий контроль.
 - Скорость измерения высокая, и можно осуществлять быстрое многоточечное сканирование.
 - Подходит для тестирования на месте и в режиме онлайн.
- **Выполнение :**
 - Нанесите связующее вещество на поверхность трубы для обеспечения ультразвуковой связи.
 - Используйте портативный или автоматический ультразвуковой толщиномер для измерения толщины стенок в нескольких заданных точках.
 - После сбора данных проводится статистический анализ для расчета показателей однородности толщины стенок (таких как максимальная-минимальная разница, стандартное отклонение и т. д.).

2. Рентгеновская или гамма-флюороскопия (рентгенографическое измерение толщины)

- **Принцип :** Излучение проникает в трубу, и изменение интенсивности поглощения излучения отражает изменение толщины стенки трубы.
- **Преимущества :**
 - Позволяет одновременно определять толщину стенки и внутренние дефекты.
 - Высокая приспособляемость к трубам сложной формы.
- **Ограничения :**
 - Стоимость оборудования высока.
 - Необходимы меры радиационной защиты.
- **приложение :**
 - Подходит для высокоточного определения распределения толщины стенок и контроля качества на этапе НИОКР.

3. Механические измерения (механические штангенциркули, координатно-измерительные машины)

- **Принцип :** Измерьте внутренний и внешний диаметр трубы посредством механического контакта и рассчитайте толщину стенки.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **преимущество :**
 - Простой и интуитивно понятный, подходит для труб больших размеров.
- **недостаточный :**
 - Образец необходимо разобрать, что может привести к повреждению поверхности.
 - Число точек измерения ограничено, что затрудняет полное отражение равномерности толщины стенок.

2. Метод оценки коаксиальности

Коаксиальность означает относительную точность положения внутреннего диаметра и внешнего диаметра трубки из вольфрамового сплава, отражающую геометрическую точность и качество обработки трубки.

1. Координатно-измерительная машина (КИМ)

- **Принцип :** использование трехмерного измерительного зонда для сбора данных облака точек внутренней и внешней поверхностей трубы и расчет коаксиальности с помощью программного обеспечения.
- **Преимущества :**
 - Высокоточные измерения.
 - Возможен вывод подробных отчетов о геометрических отклонениях.
 - Подходит для сложных труб и строгих требований к допускам.
- **шаг :**
 - Настройте программу измерений и соберите необходимые точки внутреннего и внешнего диаметров.
 - Программное обеспечение подгоняет цилиндрическую форму и рассчитывает отклонение осей между ними.

2. Метод измерения внутреннего и внешнего диаметра

- **метод :**
 - Измерьте значения диаметра в нескольких точках: внутренний диаметр и наружный диаметр трубы соответственно.
 - Отклонение осевых линий двух цилиндров оценивается математическими методами.
- **применимость :**
 - Подходит для быстрой оценки на месте.
 - Точность ограничивается измерительным инструментом.

3. Технология оптических измерений

- **Лазерные сканеры и приборы для измерения изображений** могут реализовать бесконтактное определение коаксиальности .
- Преимуществами являются высокая точность, неразрушаемость и пригодность для тонкостенных или прецизионных труб из вольфрамового сплава.

3. Анализ данных и показатели оценки

- **Индекс однородности толщины стенки :**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- o Максимальная разница толщины стенки (Макс.-Мин.)
- o Стандартное отклонение (σ)
- o Коэффициент однородности (процент однородности)
- **Коаксиальность индекса :**
 - o Смещение оси (уровень мкм)
 - o Степень соблюдения допусков (соответствует ли она требованиям проектных допусков)

4. Рекомендации по контролю качества

- Рекомендуется создать онлайн-систему определения толщины стенок и коаксиальности для обеспечения мониторинга в режиме реального времени.
- Регулярно калибруйте измерительное оборудование, чтобы обеспечить точность данных испытаний.
- На основании результатов испытаний дается обратная связь для корректировки процесса, оптимизируется конструкция пресс-формы и процесс формования, а также повышается общее качество труб из вольфрамового сплава.

V. Резюме

Равномерность толщины стенок и соосность являются основными показателями качества труб из вольфрамовых сплавов. Используя различные методы, включая ультразвуковую толщинометрию, радиографический контроль, трёхмерные координатные измерения и оптические измерения, мы можем проводить комплексную и точную оценку труб из вольфрамовых сплавов, предоставляя надежную информацию для обеспечения эксплуатационных характеристик продукции и совершенствования технологического процесса.

4.7 Технология обнаружения дефектов поверхности и внутренней стенки труб из вольфрамовых сплавов (вихретоковая дефектоскопия, компьютерная томография, ультразвуковая дефектоскопия)

Трубы из вольфрамовых сплавов подвержены поверхностным и внутренним дефектам, которые напрямую влияют на их механические свойства, срок службы и безопасность. Поэтому применение высокоточных методов неразрушающего контроля для выявления поверхностных и внутренних дефектов имеет решающее значение для контроля качества и обеспечения эксплуатационных характеристик. Ниже подробно описаны применение и преимущества вихретокового контроля, компьютерной томографии (КТ) и ультразвукового контроля для обнаружения дефектов в трубах из вольфрамовых сплавов.

1. Вихретоковый контроль (ВТК)

1. Введение в принципы

Вихретоковый контроль использует принцип электромагнитной индукции для выявления поверхностных трещин, раковин, коррозии и других дефектов путем обнаружения изменений

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

в индуцированных вихревых токах на поверхности трубы и приповерхностных проводящих материалах.

2. Преимущества использования трубок из вольфрамового сплава

- **Высокая чувствительность** : очень чувствителен к мельчайшим поверхностным трещинам и коррозии, способен обнаруживать дефекты размером менее миллиметра.
- **Быстрое сканирование** : подходит для быстрого неразрушающего контроля и может реализовывать онлайн-тестирование в массовом производстве.
- **Бесконтактное обнаружение** : позволяет избежать повреждения поверхности трубы.
- **Подходит для сложных геометрических форм** : для обнаружения внутренней стенки трубы и сложных деталей можно использовать различные конструкции зондов.

3. Ограничения

- Глубина обнаружения ограничена, что затрудняет обнаружение глубоких внутренних дефектов.
- Для настройки параметров обнаружения необходимы определенные знания электромагнитных свойств материала.

2. Компьютерная томография (КТ)

1. Введение в принципы

КТ использует рентгеновские лучи, которые вращаются вокруг трубы, чтобы получать многоакурсные проекционные изображения, и реконструирует трехмерную внутреннюю структуру трубы с помощью компьютера, достигая интуитивного отображения внутренних и внешних дефектов.

2. Преимущества использования трубок из вольфрамового сплава

- **Возможность трехмерной визуализации** : позволяет точно отображать местоположение дефекта, его размер, форму и пространственное распределение.
- **Высокое разрешение** : подходит для обнаружения внутренних дефектов, таких как мелкие трещины, поры, включения и т. д.
- **Неразрушающий** : нет необходимости разрушать образец , подходит для оценки качества высококачественных труб из вольфрамового сплава.
- **Многофункциональное тестирование** : помимо обнаружения дефектов, оно также может выполнять анализ структурной целостности и тестирование геометрических размеров.

3. Ограничения

- Инвестиции в оборудование и расходы на его техническое обслуживание высоки.
- Цикл обнаружения длительный и не подходит для оперативного обнаружения на высокоскоростных производственных линиях.
- Для материалов высокой плотности, таких как вольфрамовый сплав, энергию излучения необходимо корректировать, чтобы обеспечить проникновение.

3. Ультразвуковой контроль (УЗК)

1. Введение в принципы

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ультразвуковой контроль использует высокочастотные звуковые волны, которые распространяются по трубам и сталкиваются с сигналами звуковых волн, отраженными или рассеянными дефектами, для обнаружения внутренних дефектов.

2. Преимущества использования трубок из вольфрамового сплава

- **Высокая проникающая способность** : подходит для обнаружения глубоких дефектов внутри труб, таких как трещины, поры, включения и межслойное расслоение.
- **Множество методов обнаружения** : включая метод импульсного эха и технологию фазированных решеток для удовлетворения потребностей в обнаружении различных типов дефектов.
- **Возможно онлайн-обнаружение** : подходит для быстрого обнаружения производственных линий.
- **Неразрушающий контроль** : никаких повреждений трубы.

3. Ограничения

- Он чувствителен к состоянию поверхности и требует хорошего связующего агента для обеспечения качества обнаружения.
- Звуковые волны в материалах высокой плотности затухают сильнее, поэтому для достижения наилучшего эффекта необходимо регулировать частоту и мощность.

4. Комплексная стратегия обнаружения

Для обеспечения качества и безопасности труб из вольфрамовых сплавов обычно используют комбинацию различных технологий испытаний:

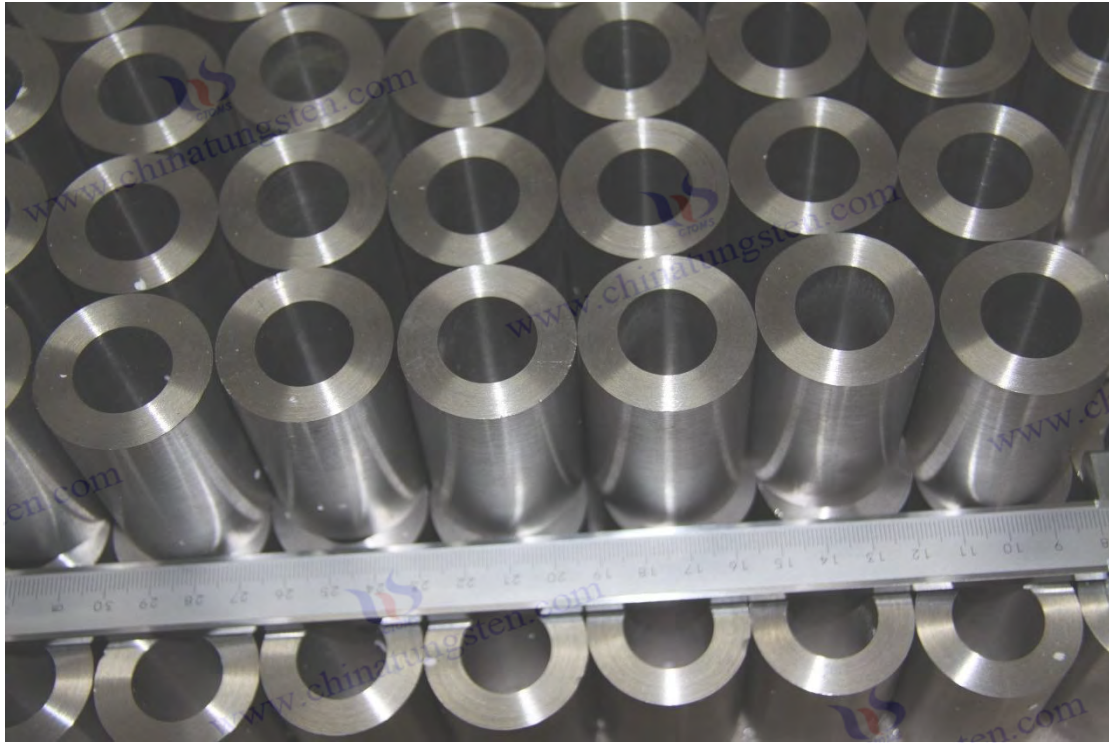
- **Вихретоковый контроль** используется для быстрого выявления поверхностных и околоповерхностных дефектов.
- **Ультразвуковой контроль** позволяет глубоко выявлять внутренние дефекты стенок труб, особенно средних и толстых.
- **КТ-сканирование** используется для высокоточной визуализации дефектов и количественного анализа сложных дефектов.

Эта многоуровневая, многотехнологичная система совместного обнаружения эффективно повышает полноту и точность обнаружения.

5. Резюме:

Для выявления поверхностных и внутренних дефектов труб из вольфрамовых сплавов используются передовые технологии неразрушающего контроля, такие как вихретоковая дефектоскопия, компьютерная томография и ультразвук, позволяющие полностью определить дефекты различных типов и глубины залегания. Благодаря постоянной модернизации и интеллектуальному развитию испытательного оборудования, в будущем обнаружение дефектов труб из вольфрамовых сплавов станет более эффективным и точным, обеспечивая стабильное производство и применение высококачественных труб из вольфрамовых сплавов.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Глава 5. Типичные области применения труб из вольфрамового сплава

5.1 Применение труб из вольфрамовых сплавов в защитных и конструкционных кожухах в атомной промышленности

Трубы из вольфрамовых сплавов, благодаря своей чрезвычайно высокой плотности, превосходной радиационной стойкости и высокой механической прочности, играют незаменимую и важную роль в атомной промышленности, особенно в радиационной защите и конструкционных кожухах. Ниже подробно описаны основные области применения и технические преимущества труб из вольфрамовых сплавов в атомной промышленности.

1. Преимущества труб из вольфрамовых сплавов в качестве материалов для защиты от ядерного излучения

В условиях ядерной промышленности радиоактивное излучение представляет значительную угрозу как для безопасности персонала, так и для работы оборудования. Высокая плотность (обычно более $17,0 \text{ г/см}^3$) и атомный номер (74) трубок из вольфрамового сплава обеспечивают им надежную защиту от гамма- и рентгеновского излучения, эффективно снижая пропускание излучения и обеспечивая безопасность ядерных реакторов, ядерных тепловыделяющих сборок и операторов.

- **Высокоплотное экранирование** : эффективность экранирования трубок из вольфрамового сплава выше, чем у традиционных материалов из свинца и стали, и они обладают лучшими механическими свойствами и способностью адаптироваться к окружающей среде.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Высокая механическая прочность** : сохраняет отличную структурную устойчивость даже в условиях высоких температур и давления .
- **Хорошая коррозионная стойкость** : подходит для сложных химических сред и радиационных полей в атомной промышленности.

2. Применение труб из вольфрамового сплава в конструкционных корпусах в атомной промышленности

В ядерных реакторах и связанном с ними оборудовании трубы из вольфрамовых сплавов часто используются в качестве конструкционных кожухов для защиты и поддержки ключевых компонентов оборудования. Конкретные области применения включают:

- **Покрытие ядерных тепловыделяющих сборок** : трубы из вольфрамового сплава могут использоваться в качестве оболочек тепловыделяющих стержней для предотвращения утечки радиоактивных материалов и повышения механической целостности тепловыделяющих сборок.
- **Трубка , поглощающая нейтроны** : благодаря оптимизации состава сплава трубка из вольфрамового сплава может эффективно поглощать нейтроны, регулировать скорость ядерной реакции и повышать показатели безопасности реактора.
- **Трубы системы охлаждения реактора** : трубы из вольфрамового сплава, обладающие высокой термостойкостью, прочностью и коррозионной стойкостью, используются в трубопроводах охлаждающей жидкости ядерных реакторов для обеспечения стабильной работы системы.

3. Технические требования к трубам из вольфрамовых сплавов в атомной промышленности

Для применения в атомной промышленности трубы из вольфрамовых сплавов должны соответствовать следующим основным техническим показателям:

- **Высокая плотность и низкая пористость** обеспечивают защитные свойства и механическую прочность.
- **Строгая точность размеров** обеспечивает точную сборку и герметизацию ядерного оборудования.
- **Стойкость к излучению стабильна**, а эксплуатационные характеристики материала остаются неизменными после длительного воздействия радиации.
- **Он обладает высокой коррозионной и термостойкостью** и пригоден для использования в условиях высоких температур и агрессивных сред в ядерных установках.

4. Типичные случаи применения труб из вольфрамовых сплавов в атомной промышленности

- **Трубка для поглощения нейтронов реактора** : на атомной электростанции в качестве материала для поглощения нейтронов используются трубы из вольфрамового сплава W-Ni-Fe, что значительно повышает точность управления и коэффициент безопасности реактора.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Футеровка контейнера для хранения ядерных отходов** : трубка из вольфрамового сплава используется в качестве футеровки контейнера для хранения ядерных отходов для эффективного предотвращения утечки радиации и обеспечения экологической безопасности.
- **экран радиоактивного оборудования** : Щиты, изготовленные из трубок из вольфрамового сплава, используются для защиты операторов атомной промышленности от радиационного поражения.

V. Направление будущего развития

С развитием технологий в атомной промышленности требования к применению труб из вольфрамовых сплавов становятся всё более разнообразными. В число направлений будущих исследований входят:

- **Высокопроизводительная трубка из вольфрамового сплава** снижает нагрузку на конструкцию, обеспечивая при этом экранирующий эффект.
- **Оптимизация наноструктуры трубок из вольфрамовых сплавов** улучшает их механические свойства и радиационную стойкость.
- **Интеллектуальная технология мониторинга и контроля качества** обеспечивает долгосрочную стабильную эксплуатацию труб из вольфрамовых сплавов в ядерных средах.

VI. Резюме

Трубы из вольфрамовых сплавов играют ключевую роль в обеспечении ядерной безопасности и стабильности работы оборудования благодаря своим превосходным физическим свойствам и устойчивости к воздействию окружающей среды. В будущем, благодаря непрерывному развитию материаловедения и технологий производства, трубы из вольфрамовых сплавов найдут всё более широкое применение в области ядерной энергетики.

5.2 Структура и защитная функция труб из вольфрамового сплава в системах военного оружия

Трубки из вольфрамовых сплавов, благодаря своей высокой плотности, прочности и превосходной термо- и коррозионной стойкости, играют важнейшую конструкционную и защитную роль в современных системах вооружения. Эти ключевые преимущества делают их идеальным материалом для изготовления основных компонентов различных систем вооружения, находящих широкое применение, включая корпуса снарядов, корпуса ракет, бронебойную броню и защитные барьеры.

1. Конструктивные преимущества труб из вольфрамовых сплавов в системах военного вооружения

1. Высокая

механическая прочность и твёрдость позволяют выдерживать экстремальные ударные нагрузки и вибрации, обеспечивая структурную целостность оружейных

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

систем при запуске, полёте и взрывах. Превосходная усталостная прочность обеспечивает долговременную надёжность компонентов оружия.

2. Плотность

трубок из вольфрамовых сплавов (обычно более 17,0 г/см³) делает их идеальным материалом для инерционных противовесов. Они широко используются в системах ориентации и баллистической стабилизации ракет и самолётов для повышения точности и устойчивости оружия.

3. Отличная термостойкость

В условиях высоких температур, взрывоопасных условий и высокоскоростных полетов трубки из вольфрамового сплава могут сохранять хорошую термостойкость и механические свойства, предотвращая разрушение конструкции из-за теплового расширения или размягчения.

2. Применение защитной функции трубки из вольфрамового сплава

1. Трубки из вольфрамового сплава часто используются в качестве материала для оболочки бронебойных

снарядов благодаря своей высокой твёрдости и плотности. Трубки из вольфрамового сплава способны эффективно концентрировать энергию пули, улучшать пробивную способность и повышать поражающую способность бронебойных снарядов.

2. и конструкции корпуса ракеты

, которые не только повышают механическую прочность и устойчивость корпуса, но и эффективно уменьшают объем конструкции для достижения высокопроизводительной легкой конструкции.

3. Защитная броня и барьерные материалы

Трубки из вольфрамового сплава, являясь высокоплотным защитным материалом, могут использоваться в качестве защитной трубопроводной арматуры и устанавливаться в ключевых частях важных военных объектов и транспортных средств для повышения их устойчивости к упругости и ударам взрывов.

3. Технические требования к трубкам из вольфрамовых сплавов в военной области

• Плотность и однородность

гарантируют отсутствие пор и включений в трубе, что улучшает общие механические свойства и ударопрочность.

• Размерная точность и геометрическая соосность

отвечают высоким требованиям сборки сложных систем вооружения и обеспечивают точную подгонку механических интерфейсов.

• Коррозионная стойкость и износостойкость

адаптируются к изменяющимся условиям военной эксплуатации и продлевают срок службы компонентов оружейных систем.

• Радиационная стойкость и термостойкость

отвечают требованиям боевых сред с высокими температурами и высокой радиацией, сохраняя стабильные свойства материала.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. Типичные случаи применения

- **Определенный тип усовершенствованного бронебойного снаряда с сердечником и корпусом использует**
в качестве корпуса сердечника трубку из вольфрамового сплава, что позволяет успешно пробивать многослойную композитную броню и значительно повышать поражающую способность боеприпаса.
- **Высокоточные трубы из вольфрамового сплава для инерционных противовесов ракет**
применяются в качестве инерционных противовесов в системах ориентации ракет, обеспечивая устойчивость траектории полета ракеты и ее точность.
- **Защитный слой бронированного автомобиля**
, трубы из вольфрамового сплава для защиты бронированного автомобиля повышают противовзрывные и противопробойные свойства автомобиля, а также повышают безопасность водителя и пассажиров.

5. Тенденции будущего развития

Конструкция

высокопроизводительных трубных материалов из вольфрамового сплава сочетает в себе технологии наноупрочнения и микролегирования для улучшения комплексных характеристик материала и удовлетворения будущего спроса на высокую прочность и высокую вязкость.

- **Технология интеллектуального производства и прецизионной обработки**
использует передовые производственные технологии, такие как 3D-печать и лазерная обработка, для изготовления труб из вольфрамового сплава сложной формы и повышения общих характеристик оружейных систем.
- **Трубы из композитного вольфрамового сплава**
Композитные трубы из вольфрамового сплава и других функциональных материалов разрабатываются для достижения многофункциональной интеграции и повышения защиты и боеспособности систем вооружения.

VI. Резюме

Трубы из вольфрамовых сплавов незаменимы в конструкционных и защитных функциях систем вооружения. Их высокая плотность, прочность и превосходная стойкость к воздействию окружающей среды создают прочную основу для современных систем вооружения. Благодаря развитию материаловедения и производственных процессов, трубы из вольфрамовых сплавов найдут более широкие возможности применения и обеспечат технологические преимущества в военном секторе.

5.3 Защита и размещение трубок из вольфрамового сплава в медицинском радиотерапевтическом оборудовании

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Трубки из вольфрамового сплава, обладающие исключительно высокой плотностью и экранирующими свойствами, играют ключевую роль в защите и позиционировании медицинского радиотерапевтического оборудования. Во время лучевой терапии точность облучения и надежная защита персонала и оборудования имеют решающее значение как для эффективности лечения, так и для безопасности эксплуатации. Трубки из вольфрамового сплава, благодаря своим уникальным физическим свойствам, широко используются при разработке и производстве соответствующего оборудования.

1. Преимущества трубок из вольфрамового сплава в плане высокой плотности экранирования

1. эффективно блокируют высокоэнергетическое излучение

Плотность трубок из вольфрамового сплава обычно превышает $17,0 \text{ г/см}^3$. Они обладают более высокой способностью ослаблять излучение, чем традиционные экранирующие материалы, такие как свинец. Они способны эффективно блокировать высокоэнергетическое излучение, такое как рентгеновское и гамма-излучение, уменьшая утечку радиации и обеспечивая безопасность пациентов и операторов.

2. Оптимизация объёма и веса оборудования.

По сравнению с традиционными свинцовыми трубками, трубки из вольфрамового сплава имеют меньшие размеры и более компактную конструкцию, обеспечивая при этом тот же защитный эффект. Это позволяет создавать лёгкое и гибкое оборудование для радиотерапии, а также повышает удобство использования и долговечность оборудования.

2. Типичные области применения трубок из вольфрамового сплава в радиотерапевтическом оборудовании

1. Трубки из вольфрамового сплава часто используются в качестве материалов оболочек для выходных отверстий

пучков радиотерапевтического оборудования, чтобы точно контролировать направление и интенсивность излучения, избегать рассеивания излучения и ненужного облучения тканей, а также повышать точность лечения.

2. Крышка радиационной защиты и защитный узел

Встроенный контрольный экран из вольфрамового сплава используется для защиты ключевых электронных компонентов и операторов, предотвращения утечки радиации из оборудования, а также обеспечения стабильной работы оборудования и безопасной рабочей среды.

3. в опорных конструкциях для позиционирования пациентов

они являются важным конструкционным материалом для устройств позиционирования пациентов, обеспечивая точное позиционирование пациентов во время лучевой терапии и улучшая результаты лечения.

3. Требования к физическим характеристикам труб из вольфрамового сплава

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Высокая плотность и однородность**
обеспечивают непрерывность и стабильность защитного эффекта, исключая снижение защитного эффекта из-за дефектов материала.
- **Точность размеров и качество поверхности**
обеспечивают точную посадку внутренней структуры оборудования для радиотерапии, повышая общую устойчивость и долговечность оборудования.
- **Хорошая термостойкость и коррозионная стойкость**
позволяют адаптироваться к высокотемпературной среде, а также требованиям по очистке и дезинфекции во время эксплуатации оборудования, продлевая срок службы компонентов.

IV. Тенденции развития и технологические инновации

- **Функционально-градиентные трубки из вольфрамового сплава**
позволяют достичь оптимальной производительности труб из вольфрамового сплава в различных местах за счет градиентного проектирования состава материала и организационной структуры с учетом как эффективности экранирования, так и механической прочности.
- **Трубки из вольфрамового сплава и интеллектуальные системы мониторинга в сочетании**
с сенсорной технологией позволяют осуществлять мониторинг состояния защиты оборудования для лучевой терапии в режиме реального времени, повышая безопасность и надежность оборудования.
- **Технология аддитивного производства**
использует технологию 3D-печати для изготовления трубчатых компонентов из вольфрамового сплава сложной формы в соответствии с требованиями к конструкции персонализированного медицинского оборудования.

V. Резюме

Трубки из вольфрамового сплава, благодаря своей исключительно высокой плотности и механическим свойствам, играют незаменимую роль в защите и позиционировании медицинского радиотерапевтического оборудования. В будущем, благодаря постоянному совершенствованию технологий материалов и производственных процессов, трубки из вольфрамового сплава будут обладать ещё большим потенциалом для повышения производительности и безопасности медицинского оборудования, способствуя развитию прецизионной медицины.

5.4 Трубки из вольфрамового сплава для инерционных деталей и высокотемпературных расходомерных трубок в аэрокосмической технике

Трубы из вольфрамовых сплавов благодаря высокой плотности, прочности и превосходным высокотемпературным характеристикам играют ключевую роль в инерционных компонентах и высокотемпературных воздухопроводах в аэрокосмической промышленности. Эти области

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

применения предъявляют чрезвычайно высокие требования к физико-механическим свойствам материала и его способности адаптироваться к окружающей среде. Трубы из вольфрамовых сплавов способны выдерживать эти строгие условия, обеспечивая стабильность и безопасность систем самолетов и двигателей.

1. Преимущества трубок из вольфрамового сплава в качестве инерциальных деталей аэрокосмической техники

1. Высокая плотность приводит к высокой инерции.

Трубки из вольфрамового сплава обычно имеют плотность 17–19 г/см³, что делает их идеальным материалом для противовеса. В инерциальных компонентах, таких как противовесы гироскопов и балансировочные грузы в инерциальных навигационных системах, используются трубки из вольфрамового сплава для достижения высокой концентрации массы, что повышает стабильность и точность системы.

2. Превосходная механическая прочность и ударная вязкость.

Инерционные детали аэрокосмической техники должны выдерживать сильные вибрации и ударные нагрузки. Трубки из вольфрамовых сплавов обладают превосходной прочностью на разрыв, пределом текучести и ударной вязкостью, что гарантирует отсутствие поломок и деформаций деталей в условиях экстремальной вибрации.

3. Стабильность размеров и точность обработки

Высокая точность размеров и превосходная термостабильность позволяют инерциальным компонентам из трубчатого сплава вольфрама сохранять структурную устойчивость в сложных условиях, обеспечивая точную работу инерциальной навигационной системы.

2. Ценность применения труб из вольфрамового сплава в высокотемпературных направляющих трубах

1. Обладая превосходной термостойкостью,

они сохраняют хорошие механические свойства и химическую стабильность в условиях высоких температур. Они подходят для использования в качестве направляющих труб в таких важных областях, как камеры сгорания авиационных двигателей и высокотемпературные выхлопные системы, обеспечивая стабильность и эффективность газового потока.

2. Сопротивление термической усталости и соответствие тепловому расширению:

Трубки из вольфрамового сплава имеют низкий коэффициент теплового расширения и могут хорошо сочетаться с другими высокотемпературными сплавами, уменьшая трещины и усталость, вызванные термическим напряжением, а также продлевая срок службы направляющей трубки.

3. Отличная коррозионная стойкость:

среда топливного газа в авиационных двигателях сложная и содержит множество коррозионных газов. Трубки из вольфрамового сплава обладают превосходными

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

антиокислительными и антикоррозионными свойствами, что обеспечивает долгосрочную и стабильную работу направляющей трубы.

3. Технология производства труб из вольфрамовых сплавов для аэрокосмической промышленности

1. **Передовая технология формовки порошковой металлургии** позволяет **производить трубы из вольфрамового сплава высокой плотности** с помощью изостатического прессования, штамповки и других технологий в сочетании с точным спеканием и термической обработкой для получения превосходных механических свойств и плотной микроструктуры.
2. **Высокоточная механическая обработка и обработка поверхности** используют технологии прецизионной шлифовки, полировки и нанесения покрытия, чтобы гарантировать, что размер труб и качество поверхности соответствуют строгим требованиям, предъявляемым к компонентам аэрокосмической отрасли.
3. **Исследование технологий аддитивного производства** объединяет технологию аддитивного производства для быстрого создания прототипов деталей из вольфрамовых сплавов сложной формы для удовлетворения индивидуальных и разнообразных проектных потребностей.

IV. Тенденции и проблемы будущего развития

- **Функциональная интеграция и легкая конструкция**
позволяют объединить трубки из вольфрамового сплава и композитные материалы, оптимизировать структурную конструкцию инерционных частей и направляющих трубок, а также достичь баланса между высокой производительностью и малым весом.
- **Улучшенные эксплуатационные характеристики в условиях высоких температур**
Благодаря микролегированию и наноструктурному дизайну высокая термостойкость и термическая стабильность трубок из вольфрамового сплава дополнительно улучшены для удовлетворения потребностей будущих экстремальных условий аэрокосмической отрасли.
- **Интеллектуальный мониторинг и прогнозирование срока службы**
объединяют в себе сенсорную технологию для мониторинга состояния компонентов труб из вольфрамового сплава в режиме реального времени, прогнозирования усталостной долговечности и обеспечения безопасности и надежности аэрокосмических систем.

V. Резюме

Трубы из вольфрамовых сплавов, благодаря своим уникальным физико-механическим свойствам, имеют широкие перспективы применения в инерциальных компонентах аэрокосмической техники и высокотемпературных направляющих трубах. Благодаря постоянному развитию материаловедения и технологий производства, трубы из

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

вольфрамовых сплавов будут и впредь способствовать развитию аэрокосмической техники, обеспечивая более высокую производительность и безопасность.

5.5 Применение трубок из вольфрамового сплава в качестве теплоотводящих трубок в электронном и коммуникационном оборудовании

По мере развития электронного и коммуникационного оборудования в сторону повышения производительности, высокой интеграции и миниатюризации рассеивание тепла становится ключевым фактором, ограничивающим стабильность и срок службы оборудования. Трубки из вольфрамового сплава, обладающие превосходной теплопроводностью, высокой плотностью и высокой механической прочностью, стали идеальным материалом для теплоотводящих труб в области электроники и связи.

1. Преимущества материала теплорассеивающей трубы из вольфрамового сплава

1. с высокой теплопроводностью

обладают высокой теплопроводностью и способны быстро отдавать выделяемое электронными компонентами тепло радиатору или внешней среде, не допуская локального перегрева и обеспечивая нормальную работу оборудования.

2. Превосходное соответствие коэффициенту теплового расширения:

коэффициент теплового расширения вольфрамового сплава близок к коэффициенту теплового расширения многих полупроводниковых и электронных материалов, что снижает плохой контакт и усталость материала, вызванные тепловым напряжением, а также повышает стабильность системы отвода тепла.

3. Механическая стабильность, обеспечиваемая высокой плотностью

Высокая плотность трубок из вольфрамового сплава придает им хорошую механическую прочность и вибростойкость, что позволяет им сохранять структурную целостность в условиях вибрации оборудования или ударных воздействий.

4. Химическая стабильность и коррозионная стойкость:

в изменяющейся электронной среде трубки из вольфрамового сплава не подвержены окислению и коррозии, что обеспечивает долгосрочную и надежную эксплуатацию трубок для отвода тепла.

2. Конкретные области применения трубок из вольфрамовых сплавов в электронном и коммуникационном оборудовании

1. Рассеивание тепла в мощных полупроводниковых приборах.

Усилители мощности, радиочастотные модули и другие мощные полупроводниковые приборы генерируют большое количество тепла. Трубки из вольфрамового сплава используются в качестве теплопроводящих путей для повышения эффективности рассеивания тепла и предотвращения снижения производительности, вызванного чрезмерной температурой.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. **Теплоотвод оборудования базовых станций связи.**

Усилители, процессоры и другое ключевое оборудование базовых станций связи требуют стабильной системы теплоотвода. Трубки из вольфрамового сплава обеспечивают эффективный отвод тепла, обеспечивая непрерывную и стабильную работу оборудования.

3. Трубки из вольфрамового сплава используются в качестве охлаждающих каналов в высокотехнологичных электронных приборах, таких как лазеры и датчики, для поддержания температурной стабильности устройств, повышения точности измерений и срока службы приборов.

4. **Интегрированная**

вольфрамовая трубка со структурой рассеивания тепла может быть преобразована в микротепловую трубку с помощью технологии микрообработки, которая используется для локального рассеивания тепла высокоплотных интегральных схем и отвечает экстремальным требованиям микроэлектронных устройств к характеристикам рассеивания тепла.

3. **Производственные и технические проблемы, связанные с трубками из вольфрамового сплава для отвода тепла**

1. **Высокоточный контроль размеров.**

Размеры и толщина стенок теплоотводящих каналов электронного оборудования должны строго контролироваться для обеспечения их соответствия другим теплоотводящим компонентам. Трубки из вольфрамового сплава должны проходить прецизионную обработку и испытания.

2. **Гладкость внутренних и внешних поверхностей требует, чтобы**

внутренняя стенка была гладкой для обеспечения плавного потока жидкостей (например, охлаждающей жидкости) и снижения сопротивления, в то время как отделка внешней поверхности влияет на эффективность рассеивания тепла и эффективность контакта.

3. **Композитные материалы и технологии покрытий**

Для различных условий применения на поверхность труб из вольфрамового сплава может потребоваться нанесение покрытия для повышения теплопроводности, стойкости к коррозии или электроизоляции с целью получения многофункциональных композитов.

IV. **Тенденции будущего развития**

• **Интеллектуальная система охлаждения**

объединяет датчики и интеллектуальное управление для осуществления мониторинга температуры в режиме реального времени и регулировки теплоотводящего канала из вольфрамового сплава, что повышает скорость реагирования системы и эффективность охлаждения.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Оптимизация микроструктурного проектирования**
использует передовые технологии проектирования материалов и микрообработки для оптимизации внутренней структуры трубок из вольфрамового сплава с целью достижения более высокой эффективности теплопередачи и механических свойств.
- **Разработка легких и высокопроизводительных композитных материалов**
улучшает комплексные характеристики трубок из вольфрамовых сплавов за счет таких технологий, как армирование наночастицами и градиентный функциональный дизайн, что позволяет удовлетворить потребности электронного оборудования в легком весе и высокой надежности.

V. Резюме

Трубки из вольфрамового сплава, благодаря своей превосходной теплопроводности, механической прочности и устойчивости к воздействию окружающей среды, являются идеальным материалом для теплоотводящих трубок в электронном и коммуникационном оборудовании. По мере повышения производительности электронного оборудования и развития технологий теплоотвода сфера применения трубок из вольфрамового сплава будет расширяться, что будет способствовать устойчивому развитию высокопроизводительных электронных продуктов.

для структурной поддержки промышленных форм и износостойких вкладышей

Трубки из вольфрамовых сплавов широко используются в промышленных пресс-формах и износостойких вкладышах благодаря своей высокой плотности, твердости и превосходной износостойкости. Они играют ключевую роль в обеспечении структурной поддержки и защите от износа, эффективно повышая срок службы пресс-форм и стабильность работы оборудования.

1. Преимущества труб из вольфрамового сплава нашли свое отражение в промышленных формах.

1. Высокая твердость и износостойкость.

Трубки из вольфрамового сплава обладают чрезвычайно высокой твердостью и износостойкостью. Они выдерживают высокое давление и сильное трение материалов в процессе формования, что значительно продлевает срок службы пресс-формы и снижает затраты на её частую замену или обслуживание.

2. Высокая плотность и механическая прочность

Высокая плотность трубок из вольфрамового сплава придает им превосходную механическую прочность и устойчивость к деформации, гарантируя, что форма сохранит структурную стабильность и размерную точность в условиях высоких нагрузок и ударов.

3. Хорошая термостойкость:

промышленные пресс-формы часто работают при высоких температурах. Трубки из

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

вольфрамовых сплавов обладают превосходной термостойкостью, эффективно противостоят термической усталости и тепловому расширению, а также снижают влияние термической деформации на качество формования пресс-форм.

2. Ключевая роль трубы из вольфрамового сплава в износостойкой облицовке

1. Структурная поддержка

износостойкого вкладыша: трубка из вольфрамового сплава является основным несущим материалом износостойкого вкладыша, обеспечивая прочную структурную поддержку для обеспечения устойчивости вкладыша в условиях высоких скоростей и высокого износа, а также уменьшая утечки и повреждения, вызванные износом трубопровода.

2. Коррозионная стойкость и химическая стабильность

В суровых условиях, таких как химическая и горнодобывающая промышленность, трубы из вольфрамового сплава обладают значительной коррозионной стойкостью и способны выдерживать воздействие агрессивных сред, таких как кислоты, щелочи и соли, что продлевает срок службы износостойких вкладышей.

3. Сокращение частоты технического обслуживания и времени простоя

Отличная износостойкость эффективно снижает частоту замены футеровки, снижает затраты на техническое обслуживание и время простоя оборудования, а также повышает эффективность производства.

3. Технические требования к трубкам из вольфрамовых сплавов для промышленных форм и

износостойких вкладышей: Точность размеров и однородность толщины стенок.

Трубы из вольфрамового сплава должны иметь строгий контроль размеров и однородность толщины стенок, чтобы гарантировать точность сборки формы и равномерную износостойкость вкладыша.

1. Качество поверхности и контроль дефектов.

Поверхность трубы должна быть гладкой и без дефектов, таких как трещины и поры, чтобы избежать концентрации напряжений, приводящей к преждевременному повреждению. При этом шероховатость поверхности должна соответствовать требованиям по адгезии износостойкого слоя или покрытия.

2. Трубы из вольфрамового сплава должны обладать хорошими характеристиками механической обработки и легко поддаваться переработке в сложные формы компонентов пресс-форм и облицовочных конструкций.

4. Типичные случаи применения

- **для стержней и втулок фильер экструзии**

применяются для стержней и втулок фильер экструзии высокой прочности для повышения износостойкости и размерной стабильности, обеспечивая непрерывное высококачественное производство металлических профилей.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Износостойкая облицовка для горнодобывающей промышленности**
используется для внутренней облицовки шахтных конвейерных трубопроводов, чтобы выдерживать высокоскоростную эрозию таких материалов, как песок и гравий, продлевая срок службы трубопровода и снижая частоту технического обслуживания.
- **Пластиковые втулки для литья под давлением**
повышают износостойкость основных компонентов формы для литья под давлением, обеспечивая точность литья и срок службы формы.

V. Тенденции будущего развития

- **Композитная структура труб из вольфрамового сплава**
сочетает в себе материалы высокой прочности для создания композитных труб с различными свойствами внутренних и внешних слоев, учитывая как износостойкость, так и ударопрочность.
- **Технология нанопропрочнения и нанесения поверхностного покрытия**
использует нанотехнологию для повышения эксплуатационных характеристик матрицы трубы из вольфрамового сплава и в сочетании с износостойким покрытием повышает комплексную износостойкость.
- **Интеллектуальный мониторинг и прогнозирование срока службы**
объединяют в себе сенсорную технологию для обеспечения мониторинга в режиме реального времени и прогнозирования срока службы состояния использования литейных форм и вкладышей из вольфрамового сплава, что повышает эффективность обслуживания.

VI. Резюме

Трубы из вольфрамовых сплавов, благодаря своей исключительной износостойкости, высокой прочности и термостойкости, стали незаменимым конструкционным материалом для промышленных пресс-форм и износостойких футеровок. Благодаря постоянному совершенствованию технологий производства, эксплуатационные характеристики и области применения труб из вольфрамовых сплавов будут продолжать расширяться, обеспечивая надежную гарантию эффективной и стабильной работы промышленного производства.

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

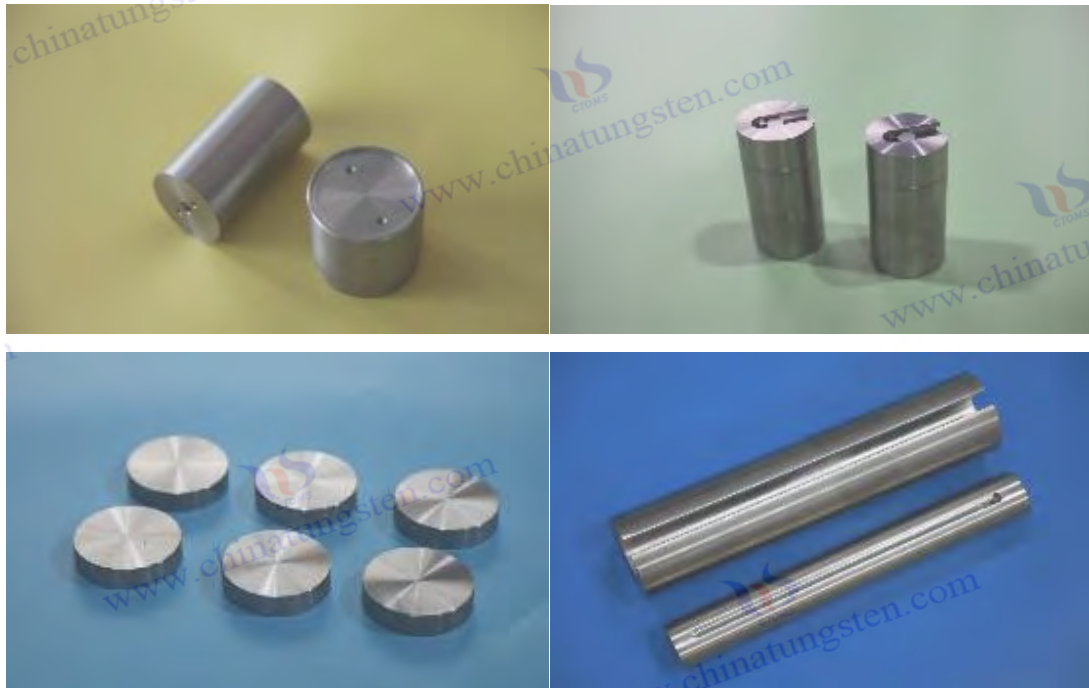
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

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 6. Направление исследований, разработок и инноваций в области труб из специальных вольфрамовых сплавов

Изготовление и оптимизация характеристик трубок из вольфрамового сплава, армированных наночастицами

Трубки из вольфрамового сплава, улучшенные наночастицами, – передовая инновация в области труб из вольфрамовых сплавов. Они значительно улучшают свойства материала за счёт введения наночастиц в традиционную матрицу из вольфрамового сплава. Эта технология не только улучшает механические свойства трубок из вольфрамового сплава, но и оптимизирует их износостойкость, термостойкость и радиационную стойкость, обеспечивая надёжную материальную поддержку для высокотехнологичных приложений.

Технология изготовления трубки из вольфрамового сплава, армированного наночастицами

1. Выбор и приготовление наночастиц:

Обычно используемые для армирования наночастицы включают оксиды (например, оксид циркония (ZrO_2) и оксид алюминия (Al_2O_3)), карбиды (например, карбид титана (TiC) и карбид кремния (SiC)), а также наночастицы металлов (например, титана и ванадия). Эти частицы получают методами химического осаждения, механического легирования или золь-гель методами. Размер частиц обычно контролируется в диапазоне 10–100 нм для обеспечения хорошей дисперсии и армирования.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. **Смешивание порошков и равномерное диспергирование:**

Равномерное смешивание наночастиц с вольфрамовым порошком и связующим металлическим порошком является ключом к изготовлению высокопроизводительных трубок из вольфрамового сплава с наноэффектом. Для улучшения равномерного распределения наночастиц в металлической матрице и предотвращения агломерации частиц и дефектов интерфейса используются методы шаровой мельницы и ультразвукового диспергирования.

3. **Оптимизация процесса формования в порошковой металлургии включает**

компактирование смешанного порошка с использованием таких методов формования, как прессование в штампах и изостатическое прессование, с последующим высокотемпературным спеканием. Параметры спекания (температура, атмосфера и время) оптимизируются экспериментально для обеспечения хорошего сцепления наночастиц с матрицей, а также для контроля процесса уплотнения и снижения пористости и трещин.

4. **Термическая обработка упрочняет**

трубку из нано-улучшенного вольфрамового сплава. Благодаря термической обработке регулируется микроструктура, улучшается взаимодействие наночастиц с матрицей, формируется упрочняющая фаза и значительно улучшаются общие эксплуатационные характеристики сплава.

2. **Преимущества трубок из вольфрамового сплава, армированных наночастицами**

1. **Укрепление механических свойств**

Наночастицы значительно повышают прочность на растяжение, предел текучести и вязкость разрушения труб из вольфрамового сплава, препятствуя движению дислокаций и миграции границ зерен, эффективно улучшая дефект хрупкого разрушения традиционных труб из вольфрамового сплава.

2. **Повышение износостойкости и ударопрочности**

Наночастицы обладают высокой твердостью и равномерно распределены, что повышает износостойкость матрицы, эффективно противостоит механическому трению и ударным нагрузкам, подходит для условий высокого износа.

3. **Повышение термостойкости и теплопроводности.**

Наноструктуры, усовершенствованные с помощью нанотехнологий, повышают устойчивость материалов в условиях высоких температур, уменьшают тепловое расширение и повреждения, вызванные термической усталостью, сохраняя или улучшая при этом хорошую теплопроводность для удовлетворения требований эксплуатации в условиях высоких температур.

4. **Наночастицы с повышенной радиационной стойкостью способны улавливать и пассивировать дефекты, вызванные радиацией, уменьшать ухудшение свойств материалов, вызванное облучением, и подходят для использования в условиях высокой радиации, например, в атомной промышленности.**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Перспективы применения трубок из вольфрамового сплава, армированных наночастицами

1. **Трубки из наноматериалов из вольфрамового сплава для высокотемпературных конструктивных деталей аэрокосмической техники**
могут использоваться в качестве материалов для таких ключевых компонентов, как высокотемпературные сопла и вкладыши камер сгорания, отвечая требованиям высоких температур, высокой прочности и коррозионной стойкости.
2. **Защитные и конструкционные материалы в области ядерной энергетики**
обладают превосходной радиационной стойкостью и высокими прочностными свойствами, что делает их пригодными для внутренних конструктивных деталей и радиационной защиты ядерных реакторов.
3. **Высокоэффективные бронепробойные сердечники снарядов и защитные компоненты в военной технике**
повышают прочность и ударную вязкость бронепробойных снарядов, а также повышают износостойкость и ударопрочность защитной брони.
4. **Износостойкие втулки и опоры в высокоточных приборах**
увеличивают срок службы и стабильность работы компонентов приборов, а также снижают затраты на техническое обслуживание.

4. Проблемы и будущие направления исследований в области изготовления трубок из вольфрамовых сплавов, армированных наночастицами

1. **Обеспечение равномерного распределения наночастиц**
для предотвращения агломерации частиц остается ключевой технической проблемой в процессе приготовления, и необходимо разработать более эффективные технологии распределения и композитные методы.
2. **Изучение механизма межфазной связи**
обеспечивает более глубокое понимание взаимодействия между наночастицами и интерфейсами вольфрамовой матрицы, что поможет проектировать более стабильные и эффективные структуры фаз армирования.
3. **Масштабирование и контроль затрат на процесс подготовки**
способствуют промышленному применению технологии наноулучшения, которая требует решения вопросов стоимости и эффективности подготовки, формовки и термической обработки порошков.
4. **Разработка многофункциональных нанокомпозитов**
сочетает в себе множество функций, таких как проводимость и антимагнетизм, что позволяет удовлетворить более высокие требования будущего высокотехнологичного оборудования к комплексным характеристикам материалов.

V. Резюме

Трубы из вольфрамового сплава, армированные наночастицами, демонстрируют значительный потенциал для повышения механической прочности, износостойкости и термической стабильности по сравнению с трубами из обычных вольфрамовых сплавов.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Благодаря постоянному развитию технологий изготовления и теоретическим исследованиям, эти материалы будут играть всё более важную роль в аэрокосмической промышленности, атомной энергетике, оборонной промышленности и высокотехнологичном производстве, стимулируя технологические инновации и модернизацию производства труб из вольфрамовых сплавов.

Стратегия проектирования и контроль микроструктуры труб из микролегированного вольфрамового сплава

микролегированного вольфрамового сплава — это передовая технология, которая оптимизирует микроструктуру и повышает эксплуатационные характеристики за счёт добавления микроэлементов к матрице традиционных труб из вольфрамового сплава. Благодаря точному проектированию и контролю качества элементов, эта технология эффективно улучшает механические свойства, термостойкость и коррозионную стойкость труб из вольфрамового сплава, обеспечивая надёжную основу для высокотехнологичных применений.

Стратегия проектирования микролегированной вольфрамовой трубки

1. К элементам, обычно используемым при микролегировании, относятся титан (Ti), ниобий (Nb), ванадий (V), алюминий (Al), цирконий (Zr) и небольшое количество редкоземельных элементов (таких как лантан La и церий Ce). Эти элементы, как правило, обладают высоким упрочняющим действием на твёрдые растворы и дисперсионное упрочнение, что может существенно влиять на эволюцию микроструктуры и эксплуатационные характеристики сплава.
2. **Оптимизация содержания и соотношения элементов:**
Добавление микролегировующих элементов обычно контролируется в диапазоне от 0,1% до 1,0%, что максимизирует эффект упрочнения, избегая при этом охрупчивания и усложнения производства, вызванного чрезмерным их количеством. Расчёт термодинамического равновесия и экспериментальная обратная связь позволяют корректировать соотношение каждого элемента для достижения оптимального баланса между упрочнением и прочностью.
3. **Конструкция механизма синергетического упрочнения**
в полной мере использует множественные механизмы упрочнения микролегировующих элементов, такие как упрочнение твердого раствора, измельчение зерна и выделение второй фазы, для формирования мелких и однородных выделений и улучшения комплексных характеристик сплава.
4. **Соображения относительно адаптивности процесса При проектировании**
микросплавов необходимо учитывать адаптивность процессов формирования, спекания и термической обработки, чтобы гарантировать, что элементы сплава не претерпят неблагоприятных фазовых изменений или агломерации в процессе приготовления и сохраняют однородную и стабильную структуру.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Метод контроля микроструктуры труб из микролегированного вольфрамового сплава

1. Микролегирующие

элементы образуют мелкодисперсные выделения, которые препятствуют миграции границ зерен, способствуют измельчению зерна и повышают прочность и вязкость материала. Кроме того, равномерное распределение микроструктуры достигается за счёт контроля температуры и времени спекания и термообработки.

2. Контроль морфологии и распределения выделившейся фазы

регулирует морфологию (например, карбиды, нитриды или оксиды) и однородность распределения выделившейся фазы, предотвращает агрегацию крупных выделений и уменьшает слабые границы раздела и источники дефектов материала.

3. Механизм укрепления интерфейса:

Микролегирующие элементы могут образовывать прочную связь на границе раздела между матрицей и выделившейся фазой, тем самым улучшая прочность связи интерфейса и повышая сопротивление материала разрушению.

4. Регулировка процесса термообработки

: Рационально проектировать процессы отжига, растворения и старения, чтобы способствовать эффективному растворению и осаждению микролегирующих элементов и регулировать твердость и пластичность материала.

Улучшение характеристик микролегированных вольфрамовых трубок

1. Улучшенные механические свойства

Микролегирование значительно повышает прочность на растяжение и предел текучести, сохраняя при этом хорошую пластичность и вязкость разрушения, решая проблему хрупкости традиционных вольфрамовых сплавов.

2. Повышенная термостойкость,

измельченное зерно и однородная структура выделившейся фазы улучшают организационную стабильность труб из вольфрамовых сплавов в условиях высоких температур, снижают коэффициент теплового расширения и уменьшают повреждения от термической усталости.

3. Повышенная износостойкость и коррозионная стойкость:

твердая вторая фаза и устойчивая защитная оксидная пленка, образованная микролегирующими элементами, повышают износостойкость и коррозионную стойкость поверхности материала и продлевают срок его службы.

4. Оптимизация производительности процесса

После микролегирования улучшается эффект уплотнения труб из вольфрамового сплава, повышается производительность обработки, снижается скорость образования трещин и дефектов, и труба может адаптироваться к более сложным требованиям формовки и обработки.

Перспективы применения труб из микролегированных вольфрамовых сплавов

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. Трубы из вольфрамовых сплавов используются в производстве высокотехнологичного оборудования, в аэрокосмической, атомной промышленности и в военной сфере, а технология микролегирования может отвечать требованиям жестких условий эксплуатации.
2. Для компонентов высокотемпературных реакторов и облицовки теплообменников, работающих в экстремальных условиях высоких температур, требуются трубы из вольфрамовых сплавов с превосходной термостойкостью и коррозионной стойкостью. Микролегирование обеспечивает эффективное решение.
3. **Прецизионное машиностроение и пресс-формы**
Микролегированные вольфрамовые трубки широко используются в производстве прецизионного машиностроения, особенно в износостойких и ударопрочных конструкционных деталях.

V. Направления и задачи будущего развития

1. **Совместная разработка многоэлементного микролегирования**
дополнительно совершенствует конструкцию многоэлементного композиционного микролегирования, исследует синергетический эффект усиления различных элементов и способствует прорывам в эксплуатационных характеристиках материалов.
2. **Технология мониторинга микроструктуры в реальном времени**
сочетается с передовыми методами характеризации, такими как просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ) и синхротронное рентгеновское излучение, для осуществления динамического мониторинга эволюции микролегирующих элементов и выделившихся фаз, а также для оптимизации процесса.
3. **Оптимизация интеграции процесса**
объединяет весь процесс подготовки порошка, формовки, спекания и термической обработки для повышения эффективности подготовки и однородности труб из микролегированного вольфрамового сплава.
4. **Принимая во внимание охрану окружающей среды и экономику**, мы разрабатываем экологичные и энергосберегающие процессы микролегирования, снижаем издержки производства и способствуем переходу технологий на масштабное промышленное применение.

Резюме:

Технология микролегирования значительно улучшает общие характеристики труб из вольфрамовых сплавов благодаря точному проектированию и эффективному контролю содержания микроэлементов в них. Исследования и разработки микролегированных труб из вольфрамовых сплавов, являясь важным подходом к повышению характеристик труб из вольфрамовых сплавов и расширению областей их применения, станут ключевым направлением для будущего развития высокопроизводительных материалов на основе вольфрама.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Электрические, термические и антимагнитные свойства многофункциональных трубок из вольфрамового сплава

Многофункциональные трубки из вольфрамовых сплавов – это современные материалы, сочетающие в себе высокую прочность, плотность и специализированные функции, в частности, выдающиеся электро- и теплопроводность, а также антимагнитные свойства. В связи с растущим спросом на высокотехнологичное оборудование и экстремальными условиями эксплуатации, разработка трубок из вольфрамовых сплавов с композитными функциями стала передовым направлением в материаловедении. Ниже подробно описаны комплексные электрические, тепловые и антимагнитные свойства многофункциональных трубок из вольфрамовых сплавов, факторы, влияющие на них, методы изготовления и преимущества применения.

1. Проводящие свойства многофункциональной трубки из вольфрамового сплава

1. Механизм электропроводности и факторы, влияющие на неё:

Электропроводность труб из вольфрамовых сплавов в первую очередь зависит от состава сплава, микроструктуры и содержания примесей. Вольфрам обладает высокой электропроводностью. Добавление связующих металлов, таких как никель и железо, может улучшить механические свойства, но при этом снижает общую электропроводность. Регулируя соотношение легирующих элементов и оптимизируя микроструктуру, можно повысить электропроводность, сохранив при этом механическую прочность.

2. Высокопроводящие трубки из вольфрамового сплава разработаны

с использованием в качестве базового материала порошка вольфрама высокой чистоты с низким содержанием примесей. Содержание никеля и железа рационально контролируется для обеспечения измельчения зерна и равномерного распределения, что способствует снижению рассеяния электронов и повышению проводимости. Кроме того, введение микролегирующих элементов и армирование наночастицами оптимизирует путь прохождения электронов и обеспечивает высокую проводимость.

3. Влияние процесса подготовки на проводимость

Контроль температуры и атмосферы спекания, а также оптимизация процесса термообработки могут помочь уменьшить дефекты интерфейса и поры, улучшить канал потока электронов и, таким образом, повысить проводимость.

2. Теплопроводность многофункциональной трубки из вольфрамового сплава

1. Теплопроводность:

в трубках из вольфрамового сплава энергия передается в основном за счет свободных электронов и колебаний кристаллической решетки. Высокочистый вольфрам и оптимизированная конструкция сплава способствуют снижению рассеяния на границах зерен и дефектов, тем самым улучшая теплопроводность.

2. Ключевые факторы, влияющие на теплопроводность,

включают содержание связующего металла в сплаве, плотность микроструктуры,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

размер зерна и качество межфазных связей. Методы наноупрочнения и микролегирования могут эффективно повысить теплопроводность.

3. **Оптимизация процесса теплопроводности:**

высокотемпературное спекание и термообработка могут улучшить плотность материала и связность зерен, снижая тепловое сопротивление. Обработка поверхности (например, нанесение PVD-покрытий) также может способствовать повышению эффективности поверхностной теплопроводности.

3. **Антимагнитные свойства многофункциональной трубки из вольфрамового сплава**

1. Вольфрам и его сплавы, как правило, обладают хорошими диамагнитными свойствами

, что делает их пригодными для применений, требующих низкого уровня магнитных помех. Конструкция сплава модулирует магнитный отклик материала, контролируя содержание и распределение магнитных элементов, таких как железо и никель.

2. **Стратегия повышения антимагнитных свойств**

оптимизирует соотношение легирующих элементов, снижает содержание магнитомягких фаз и использует микролегирование для формирования немагнитных фаз и интерфейсных структур, подавляющих намагничивание. Кроме того, процессы термической обработки позволяют корректировать структуру магнитных доменов и улучшать антимагнитные свойства.

3. **Практическое значение антимагнитных свойств**

Высокоантимагнитные вольфрамовые сплавы широко используются в оборудовании атомной энергетики, в электронной защите аэрокосмической техники, в антимагнитных компонентах высокоточных приборов и в других областях для обеспечения стабильной работы оборудования и целостности сигнала.

4. **Технология контроля и подготовки композитных характеристик многофункциональных труб из вольфрамового сплава**

1. **Совместное проектирование композитных материалов**

позволяет достичь оптимального баланса между электропроводностью, теплопроводностью и антимагнитными свойствами за счёт точного проектирования компонентов материала, избегая негативного влияния оптимизации одного свойства на другие. Ключевыми инструментами являются многомасштабное структурное проектирование и технология функциональных градиентов.

2. **Передовая технология подготовки**

использует такие передовые процессы, как порошковая металлургия, горячее изостатическое прессование, аддитивное производство и т. д., в сочетании с термической обработкой и модификацией поверхности для получения высокоплотных, многофункциональных композитных труб из вольфрамового сплава.

3. **Наноармирование и проектирование интерфейсов**

Технологии наноармирования и управления интерфейсами эффективно улучшают синергетические характеристики тепловых, электрических и магнитных свойств, а

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

также улучшают общие эксплуатационные характеристики и адаптивность материалов к применению.

5. Перспективы применения многофункциональных труб из вольфрамовых сплавов

1. высококачественное электронное и коммуникационное оборудование

для корпусирования электронных компонентов, теплоотводов и экранирования помех с целью повышения производительности и надежности оборудования.

2. Атомная промышленность и медицинское оборудование

В ядерных реакторах и радиотерапевтических аппаратах композитные свойства трубок из вольфрамового сплава обеспечивают эффективность экранирования и устойчивость оборудования.

3. Высокопроизводительные трубки из вольфрамового сплава в аэрокосмической и оборонной отраслях

отвечают структурным и функциональным требованиям экстремальных условий, например, в качестве компонентов инерциальной навигации, расходомерных трубок и высокотемпературных защитных кожухов.

VI. Резюме

Многофункциональные трубки из вольфрамового сплава сочетают в себе превосходную электро- и теплопроводность с антимагнитными свойствами, что делает их незаменимым материалом для сложных условий эксплуатации и высокотехнологичных приложений. Благодаря интеграции разработки сплава, контроля микроструктуры и передовых технологий производства, трубки из вольфрамового сплава постоянно достигают прорывных результатов в области композитных материалов, обеспечивая прочную основу для будущего развития интеллектуального производства и высокопроизводительного оборудования.

6.4 Термическая стабильность труб из высоковольфрамовых сплавов и пути термообработки

Трубы из высокотемпературных вольфрамовых сплавов широко используются в аэрокосмической, атомной и других отраслях промышленности, где требуется высокая температура, благодаря своим превосходным механическим свойствам при высоких температурах и стабильным физико-химическим характеристикам. Ключ к достижению превосходных эксплуатационных характеристик труб из вольфрамовых сплавов в условиях высоких температур лежит в термической стабильности их микроструктуры и разработке соответствующих процессов термической обработки. В данном разделе рассматривается механизм микроструктурной термической стабильности труб из высокотемпературных вольфрамовых сплавов, факторы, влияющие на неё, и распространённые методы термической обработки, что позволяет получить научное руководство по улучшению комплексных характеристик материала в условиях высоких температур.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. Значение и значение термической стабильности труб из высокотемпературного вольфрамового сплава

1. Определение термической стабильности ткани.

Термическая стабильность ткани относится к способности материала сохранять свою микроструктуру (размер зерна, фазовую структуру, распределение осадков и т. д.) стабильной и не подвергаться неблагоприятным изменениям (таким как укрупнение зерна, фазовое превращение, растворение осадков и т. д.) в условиях высоких температур.

2. Влияние термостабильности на эксплуатационные характеристики

Хорошая термостабильность гарантирует, что трубка из вольфрамового сплава сохранит высокую прочность, твердость и сопротивление ползучести при работе в условиях высоких температур, предотвращая значительное ухудшение свойств материала из-за структурной деградации.

3. Высокотемпературные изделия, такие как

кожухи лопаток турбин авиационных двигателей, футеровка высокотемпературных печей и компоненты ядерных реакторов, — все это требует использования труб из вольфрамового сплава, способных выдерживать высокие температуры в течение длительного времени.

2. Факторы, влияющие на термостойкость труб из высокотемпературного вольфрамового сплава

1. в

сплавах вольфрама образуют стабильные частицы второй фазы, препятствующие росту зерен и движению дислокаций, тем самым повышая термическую стабильность.

2. Мелкие и однородные зерна и равномерно распределенные частицы второй фазы в исходном микроструктурном состоянии являются основой повышения высокотемпературной стабильности.

3. Примесные элементы и включения

Примеси и включения станут первыми очагами укрупнения зерна и снижения термической стабильности.

4. История термической обработки

Процесс термической обработки напрямую влияет на образование и распределение выделившихся фаз и регулирует структурную стабильность сплава.

3. Типичная организационная эволюция труб из высокотемпературных вольфрамовых сплавов

1. Зёрна

имеют тенденцию к росту, что приводит к снижению пластичности и прочности. Закрепляющий эффект частиц второй фазы может эффективно препятствовать укрупнению зёрен.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. **Выделение и растворение выделившихся фаз**

Высокие температуры могут вызвать растворение или повторное выделение упрочняющих фаз, что влияет на механические свойства.

3. **Поведение при фазовых превращениях**

Некоторые сплавы могут претерпевать высокотемпературные фазовые превращения, и для контроля фазовой стабильности требуется термическая обработка.

4. **Проектирование пути термообработки трубы из высокотемпературного вольфрамового сплава**

1. **Обработка на твердый раствор**

способствует равномерному растворению элементов сплава, устраняет внутренние напряжения, улучшает пластичность и однородность за счет высокотемпературной обработки на твердый раствор.

2. **Старение**

проводят при соответствующей температуре, способствующей равномерному выделению упрочняющих фаз и повышению высокотемпературной прочности и термостойкости.

3. **Многоступенчатый процесс термообработки**

сочетает в себе твердый раствор и многоступенчатое старение для оптимизации размера и распределения упрочняющей фазы и максимального повышения общих характеристик.

4. **Отжиг**

проводится в контролируемых температурных и временных условиях для повышения прочности, восстановления структуры и адаптации к различным условиям применения.

5. **Оптимизация параметров процесса высокотемпературной термообработки**

1. **контролируемого**

раствора обычно выбирают выше температуры растворения упрочняющей фазы, а температуру старения необходимо определять в сочетании с температурой выделения упрочняющей фазы.

2. **Время выдержки**

обеспечивает достаточную и равномерную реакцию твердого раствора и старения, что позволяет избежать чрезмерного укрупнения.

3. **охлаждение**

или контролируемое охлаждение влияет на морфологию и распределение осаждаемой фазы и должно быть оптимизировано в соответствии с требованиями к производительности.

6. **Сохранение стабильности тканей в условиях эксплуатации при высоких температурах**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. **Стабильность при термических циклах**

Трубки из высокотемпературного вольфрамового сплава склонны к структурной деградации при повторных термических циклах, и для увеличения срока службы требуется сочетание термической обработки и конструкции сплава.

2. **Высокотемпературное окисление и коррозия**

Формирование поверхностной оксидной пленки и нанесение антикоррозионных покрытий являются ключевыми мерами обеспечения высокотемпературной стабильности.

3. **Релаксация напряжений и ползучесть**

могут повысить сопротивление ползучести и продлить срок службы за счет разумного организационного регулирования и термической обработки.

VII. Примеры и ход исследований

1. **В примере усовершенствованной термообработки труб из вольфрамового сплава рассматривается типичное**

решение + процесс термообработки старением высокотемпературной вольфрамовой трубы и его влияние на микроструктуру и эксплуатационные характеристики.

2. **Улучшение наночастиц и стабильность при высоких температурах.**

Результаты последних исследований в области технологии улучшения наночастиц для повышения термической стабильности.

3. **Моделирование и оптимизация процесса термообработки**

Моделирование параметров термообработки, основанное на вычислительном материаловедении, используется для оптимизации процесса.

8. Резюме и перспективы

Высокотемпературные трубы из вольфрамовых сплавов являются основной гарантией их высокотемпературных характеристик. Научно обоснованный дизайн сплава, оптимизация режимов термообработки и сочетание передовых технологий наноупрочнения и мер защиты поверхности позволяют значительно улучшить эксплуатационные характеристики труб из вольфрамовых сплавов в экстремально высоких температурах. В будущем, благодаря интеллектуальным технологиям производства и моделирования материалов, процесс термообработки труб из вольфрамовых сплавов станет еще более точным и эффективным, обеспечивая более надежные решения в области ключевых материалов для аэрокосмической, атомной и высокотемпературной промышленности.

6.5 Исследование механизма межслойной связи в композитной трубке из вольфрамового сплава вольфрам-медь/вольфрам-никель

В связи с тем, что современное оборудование предъявляет всё более высокие требования к многофункциональным свойствам материалов, однокомпонентные трубы из вольфрамовых сплавов всё чаще не могут удовлетворить комплексные эксплуатационные требования: высокую плотность, высокую теплопроводность, прочность и хорошую обрабатываемость.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Композитные трубы из вольфрамовых сплавов, особенно состоящие из композитных структур вольфрам-медь (W-Cu) и вольфрам-никель (W-Ni), становятся важным выбором материала для высокотехнологичных приложений (таких как атомные электростанции, компоненты ускорителей частиц и системы терморегулирования) благодаря синергетическому эффекту многофазной интеграции. В данном разделе систематически рассматриваются механизмы межфазного связывания в композитных трубах из вольфрам-медь/вольфрам-никель, включая физические, химические и металлургические процессы связывания и их влияние на конечные характеристики. Это обеспечивает теоретическую основу и техническую поддержку для оптимизации производства композитных материалов.

1. Структурные характеристики и область применения композитных труб из вольфрамового сплава вольфрам-медь/вольфрам-никель

1. Композитные трубки из вольфрамового сплава «вольфрам-медь»

сочетают в себе высокую температуру плавления и прочность вольфрама с превосходной электро- и теплопроводностью меди. Они широко используются в компонентах с высокой плотностью теплового потока (например, в электродах, радиаторах и гильзах плазменных устройств).

2. Характеристики труб из композитного вольфрамо-никелевого сплава: Вольфрамо-никелевые сплавы широко используются в инерционных компонентах, защитных элементах и

высокопрочных ударопрочных зонах благодаря своей превосходной обрабатываемости и прочности. Композитная конструкция этих сплавов повышает эксплуатационную надежность.

3. Тенденция многофункциональной композитной структуры

Композитные трубы имеют многослойную конструкцию (например, внутренний слой из вольфрамовой меди и внешний слой из вольфрамо-никелевого сплава), что обеспечивает прочность, теплопроводность и коррозионную стойкость, и стали передовым направлением исследований в области авиации, атомной энергетики и военных материалов.

2. Типы интерфейсных соединений труб из композитного вольфрамового сплава (медь/никель)

1. Физико-механическая связь

определяется главным образом шероховатостью поверхности, силой сжатия и площадью контакта. Это неметаллическое соединение с ограниченной прочностью.

2. Диффузионная сварка (металлургическая сварка)

способствует диффузии атомов вольфрама и Cu/Ni на границе раздела посредством высокотемпературной термической обработки, образуя диффузионный слой или промежуточную фазу, которая является более идеальной формой связи.

3. реакции связывания/образования промежуточной фазы

может образовывать на границе раздела характерные промежуточные соединения,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

такие как зона сплава W-Ni и переходный слой W-Cu, которые повышают прочность интерфейса.

4. **При жидкофазной инфильтрации/спекании покрытия**

используется жидкая медь или никель, которые проникают в пористый вольфрамовый скелет при высокой температуре, образуя металлургическую связь интерфейса, которая обычно используется при изготовлении труб из вольфрамового сплава композитного типа.

3. **Анализ механизма связывания на границе раздела вольфрам-медь**

1. **Комбинация твердо-жидкостной инфильтрации использует низкую температуру плавления меди и**

реализует связь вольфрама и меди посредством капиллярного проникновения жидкой меди в предварительно спеченную заготовку вольфрамовой трубки.

2. **Интерфейсный диффузионный слой**

Хотя вольфрам и медь не смешиваются, при высоких температурах все равно будет формироваться интерфейсный переходный слой толщиной в десятки нанометров, повышающий прочность связи.

3. **Контроль трещин на границе раздела.**

Из-за большой разницы в коэффициентах термического расширения между ними, контроль скорости охлаждения и внедрение структуры градиентного слоя являются ключевыми факторами предотвращения термических трещин.

4. **Анализ механизма связывания вольфрам-никелевого интерфейса**

1. **Между вольфрамом и никелем существует определенная твердая растворимость ,**
которая может диффундировать и связываться во время высокотемпературного спекания, образуя твердый раствор W-Ni.

2. **Интерметаллические фазы,**

такие как Ni₄W и NiW, образующиеся при высоких температурах, повышают прочность межфазных связей, но их чрезмерное образование приводит к повышению хрупкости.

3. **Механизм упрочнения:**

частицы W диспергируются в матрице Ni, образуя типичную двухфазную структуру, которая может предотвратить распространение трещин и повысить ударную вязкость.

5. **Характеристика микроструктуры интерфейса композитной трубы из вольфрамового сплава**

1. **Для изучения микроморфологии интерфейса, источника трещин, распределения пор и ширины зоны диффузии элементов использовалось наблюдение с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ).**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Энергодисперсионная спектроскопия (ЭДС)

анализирует градиент концентрации элементов на границе раздела W-Cu или W-Ni для оценки толщины диффузионного слоя и однородности состава.

3. Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ) и рентгеновская дифракция

могут выявить образование новых фаз, дислокационную структуру и возможное существование нанопреципитатов на границе раздела.

6. Технология оценки и оптимизации эффективности интерфейсного соединения

1. Испытания на прочность на сдвиг и отслаивание

используются для количественной оценки прочности соединения поверхностей композитных труб и являются ключевыми методами испытаний перед промышленным применением.

2. Испытание на термическую усталость

имитирует стабильность интерфейса композитных труб во время термических циклов и отражает их приспособляемость к условиям эксплуатации.

3. Конструкция управления напряжением интерфейса

корректирует несоответствие теплового расширения с помощью промежуточного буферного слоя (например, градиентной структуры W-Ni-Cu) для повышения надежности.

4. Новые технологии соединения

, такие как лазерная сварка, горячее изостатическое прессование и реакционно-диффузионное соединение, продемонстрировали большой потенциал с точки зрения прочности и целостности интерфейса.

7. Анализ типичного случая композитной вольфрамовой трубы

тип	Внутренний материал	Внешний материал	Способ подключения	Сценарий применения
трубка W-Cu-W	медь	Вольфрам	Инфильтрация жидкой фазы	Высокочастотная индукционная нагревательная трубка
Трубка W-Ni-W	никель	Вольфрам	Диффузионная сварка горячим прессованием	Тактический инерциальный летный комплект
Трубка W-Ni-Cu	сплав Ni-Cu	Вольфрам	Совместное спекание порошков	Стенка трубы системы инъекции пучка частиц

8. Направления и задачи будущего развития

1. Композитная конструкция с многослойной градиентной структурой

использует концепцию переходного слоя или функционально-градиентного материала (FGM) для устранения проблем с термическим напряжением и несоответствием интерфейсов.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. **Исследования покрытий, укрепляющих интерфейс,**
изучают методы модификации интерфейса, такие как нанослойные покрытия и слои гальванического сплава для улучшения характеристик сцепления и коррозионной стойкости.
3. **Интеллектуальный мониторинг интерфейса и прогнозирование срока службы**
объединяют акустическую эмиссию, ультразвук, рентгеновскую КТ и другие технологии для обеспечения онлайн-обнаружения повреждений интерфейса и оценки срока службы во время эксплуатации.
4. **Развитие экологически чистых процессов**
способствует применению новых технологий соединений с низким потреблением энергии и высокой эффективностью связывания при производстве композитных труб из вольфрамовых сплавов.

Обобщение механизма межфазного сцепления в

композитных трубах из вольфрамового сплава (вольфрам-медь/вольфрам-никель) является ключом к достижению синергетических структурных характеристик композитных материалов. Благодаря глубокому пониманию процессов физического и химического сцепления, оптимизации процессов термообработки и контролю микроструктуры межфазных соединений, высокоэффективные композитные трубы из вольфрамового сплава будут играть ещё более важную роль в экстремальных условиях эксплуатации и многофункциональных интегрированных системах.

Технология поверхностного покрытия и повышения коррозионной стойкости труб из функционализированного вольфрамового сплава

В связи с широким применением труб из вольфрамовых сплавов в таких высокотехнологичных областях, как ядерная энергетика, аэрокосмическая промышленность, медицина и электроника, условия их эксплуатации становятся всё более сложными, зачастую сталкиваясь с экстремальными условиями, такими как высокие температуры, сильная коррозия, высокая степень радиации и сильное окисление. Для повышения коррозионной стойкости поверхности, износостойкости, термостабильности и уровня функционализации труб из вольфрамовых сплавов технология нанесения покрытий стала ключевым средством повышения их эксплуатационных характеристик. В этом разделе систематически рассматриваются типы покрытий, процессы подготовки, механизмы оптимизации характеристик и технические подходы к повышению коррозионной стойкости поверхностей труб из вольфрамовых сплавов.

1. Обзор проблем коррозии поверхности труб из вольфрамового сплава

Хотя сам вольфрамовый сплав обладает определенной химической стабильностью и устойчивостью к окислению при высоких температурах, все равно существует риск разрушения поверхности в следующих средах:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Высокотемпературная окислительная среда** : при температуре 600–1000 °C вольфрам легко образует хрупкий оксид WO_3 , который затем отслаивается;
- **Кислотные/щелочные коррозионные среды** : проявляет очевидную коррозионную реакцию в концентрированных кислотах, концентрированных щелочах или растворах фторида;
- **Электролитная или физиологическая среда** : Медицинское оборудование или морская среда могут подвергаться электрохимической коррозии и локальной точечной коррозии;
- **Коррозия от трения и абразивная коррозия** : под воздействием высокочастотной вибрации и контакта с частицами на поверхности легко образуется усталостный отслоившийся слой.

2. Основная функция функционального поверхностного покрытия

1. **Улучшить коррозионную стойкость** : предотвратить прямой контакт коррозионных сред с основным металлом;
2. **Повышение износостойкости и ударопрочности** : твердое покрытие может значительно снизить износ поверхности;
3. **Повышенная термостойкость и антиоксидантная способность** : оксидное покрытие может образовывать плотную защитную пленку;
4. **Осуществить функционализацию поверхности** : такие как электропроводность, теплопроводность, антибликовое покрытие, электромагнитное экранирование и другие свойства;
5. **Улучшить качество поверхности и соединение интерфейсов** : облегчить последующую упаковку, сварку, соединение и другие виды обработки.

3. Распространенные типы и технологии покрытия поверхности труб из вольфрамовых сплавов

1. Химическое осаждение

- Распространенные покрытия: Ni-P, Ni-B, Ni-Cr и т. д.
- Преимущества: Покрытие обладает хорошей однородностью, может покрывать внутренние стенки и подходит для сложных трубопроводов.
- Применение: Повышение коррозионной стойкости и электромагнитной совместимости.

2. Физическое осаждение из паровой фазы (PVD)

- Типы покрытия: TiN , CrN , ZrN , AlTiN , MoS₂ и т. д.
- Особенности: плотное покрытие, сильная адгезия, толщину можно контролировать на наноровне .
- Применение: высокотемпературные конструкции, износостойкие детали, покрытия для радиационной защиты и т. д.

3. Химическое осаждение из газовой фазы (CVD)

- Тип покрытия: SiC , TiC , Cr₃C₂ , WC и другие керамические покрытия .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Преимущества: Покрытие обладает чрезвычайно высокой твердостью и подходит для экстремально коррозионных сред.
- Недостатки: Высокая температура осаждения и высокие требования к термостойкости подложки.

4. Технология термического напыления (плазменное/пламенное напыление)

- Обычно используемые материалы: Al_2O_3 , Cr_2O_3 , NiCr, WC-Co и т.д.
- Преимущества: Подходит для обработки наружных стен большой площади и позволяет формировать толстые композитные покрытия.
- Применимые сценарии: компоненты терморегулирования в авиации, оболочки в зонах с высоким уровнем излучения и т. д.

5. Золь-гель покрытие

- Особенности: низкая стоимость, подходит для конструкций сложной формы.
- Применение: Многофункциональные тонкопленочные покрытия (проводящие/антибактериальные/гидрофобные) имеют большой потенциал развития.

6. Электрохимическое покрытие (анодирование, гальванопокрытие)

- Можно достичь покрытия никелем, медью, оксидами металлов и т. д.
- Трубки из вольфрамового сплава в токопроводящей или медицинской областях.

4. Технология оптимизации адгезии покрытия и интерфейса

1. **Очистка и предварительная обработка интерфейса** : например, пескоструйная обработка, травление и плазменная очистка для улучшения адгезионной активности;
2. **Введение переходного слоя** : промежуточный слой Ni и связующий слой Cr предназначены для устранения несоответствия теплового расширения;
3. **Конструкция многослойного композитного материала** : например, комбинация твердого слоя и прочного слоя, структура градиентного слоя и т. д.
4. **Спекание/уплотнение после термообработки** : улучшает металлургическую связь покрытия и уменьшает пористость;
5. **Обработка поверхности для придания шероховатости** : улучшение адгезии покрытия с помощью травления, лазерного сверления и других методов.

5. Метод испытания эксплуатационных характеристик покрытия труб из вольфрамового сплава и оценки коррозии

Показатели эффективности	Метод обнаружения
толщина покрытия	Анализ поперечного сечения с помощью СЭМ, РФА-анализатор толщины
Адгезия	Испытание на отрыв и царапание
Коррозионная стойкость	Испытание в солевом тумане, испытание в кислотном погружении, кривая Тафеля

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

твердость	Твердость по Виккерсу, наноиндентирование
Износостойкость	Испытание на трение шарика по диску, испытание на усталостный износ

6. Типичные случаи применения технологии покрытия труб вольфрамовым сплавом

Сценарий применения	Решения для покрытий	Основная функция
Трубы охлаждения ядерного реактора	Сr ₂ O ₃ - керамический слой PVD	Улучшить коррозионную стойкость и радиационную стабильность
Чехол для медицинского радиотерапевтического аппарата	Химическое покрытие Ni-P	Повысить устойчивость к кислотам и щелочам, а также биологическую стабильность
Сборка тепловой трубки	покрытие AlTiN	Улучшение твердости поверхности и теплопроводности
Система охлаждения лазера	Напыляемое покрытие WC-Co	Повышенная износостойкость и стойкость к тепловым ударам

VII. Направления будущего развития и основные направления исследований

1. интеллектуальных адаптивных покрытий.
- Адаптивные интеллектуальные покрытия, которые автоматически регулируют свойства поверхности в определенных условиях, таких как высокая температура/сильная кислота.
2. Супергидрофобное/антинакипное функционализированное покрытие
- решает проблему образования накипи на трубках из вольфрамового сплава в охлаждающей воде или физиологических жидкостях.
3. Система самовосстанавливающегося покрытия in-situ
- продлевает срок службы покрытия и повышает его многоцикловую стабильность.
4. Экологичные и безопасные для окружающей среды технологии низкотемпературных покрытий,
- такие как технология нанесения покрытий плазмой при комнатной температуре и низкотемпературные методы химического осаждения из газовой фазы.

Заключение:

Технология нанесения функциональных покрытий на трубы из вольфрамовых сплавов является ключевым компонентом будущего развития высокопроизводительной и многофункциональной интеграции. Благодаря выбору материала, проектированию конструкции, оптимизации процесса подготовки и контролю интерфейса, трубы из вольфрамовых сплавов могут демонстрировать превосходные комплексные характеристики в более требовательных условиях эксплуатации, что способствует их широкому применению и модернизации в высокотехнологичных производственных областях.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Глава 7 Международные стандарты и система соответствия для труб из вольфрамовых сплавов

7.1 Китайские национальные/отраслевые стандарты для труб из вольфрамовых сплавов (GB/T, YS/T)

В Китае трубы из вольфрамовых сплавов, являясь высокоэффективным металлическим материалом, широко используются в таких стратегических отраслях, как атомная энергетика, аэрокосмическая промышленность, военная промышленность, медицина и электроника. Их производство, контроль и применение регулируются многочисленными национальными и отраслевыми стандартами. Действующая система стандартов Китая основана преимущественно на национальных стандартах (GBT) и отраслевых стандартах (YS/T, для металлургической промышленности), охватывающих сырье, физические свойства, химический состав, методы испытаний, допуски размеров и безопасную упаковку.

1. Применение китайских национальных стандартов (GB, GB/T) к трубкам из вольфрамовых сплавов

Национальные стандарты Китая (GB) и рекомендуемые национальные стандарты (GB/T) являются важными компонентами национальной системы контроля качества, обеспечивая универсальность, безопасность и взаимозаменяемость труб из вольфрамовых сплавов на внутреннем рынке. Хотя в настоящее время не существует отдельного национального стандарта, предназначенного специально для «труб из вольфрамовых сплавов», в качестве справочных материалов можно использовать несколько соответствующих стандартов:

- GB/T 4187.1-2008 «Общие правила химического анализа вольфрама и вольфрамовых изделий»

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

→ устанавливает общие требования к анализу химического состава материалов на основе вольфрама (включая вольфрамовые сплавы);

- **GB/T 34920-2017 «Прутки из вольфрамовых сплавов высокой плотности»**

→ Настоящий стандарт распространяется на материалы для деформационной обработки высокоплотных вольфрамовых сплавов, таких как вольфрам-никель-железо и вольфрам-никель-медь. Некоторые его технические требования могут быть использованы в качестве справочного материала при проектировании труб.

- **GB/T 25744-2010 «Прессованные и спеченные заготовки из тяжелых сплавов на основе вольфрама»**

→ Стандартизирует физические свойства, отклонения состава и требования к качеству внешнего вида прессованных заготовок из вольфрамовых сплавов, полученных методом порошковой металлургии;

- **GB/T 15825-1995 «Определение плотности металлических конструкционных деталей, изготовленных методом порошковой металлургии»**

→ Стандартизированный метод испытания плотности труб из вольфрамовых сплавов;

- **Серия GB/T 2423, GB/T 10125-2021**

→ Относится к стандартам испытаний на адаптируемость к окружающей среде, таким как коррозионная стойкость, циклическое изменение температуры и испытания в солевом тумане.

2. Некоторые спецификации Китайского стандарта металлургической промышленности (YS/T), применимые к трубам из вольфрамовых сплавов

Стандарт YS/T — это стандарт металлургической промышленности, разработанный Ассоциацией цветных металлов Китая и её подведомственными организациями. Следующие стандарты тесно связаны с трубами из вольфрамовых сплавов:

- **YS/T 798-2012 «Тяжелые вольфрамовые сплавы для порошковой металлургии»**

→ Настоящий стандарт устанавливает требования к составу, плотности, механическим свойствам и контролю размеров для сплавов на основе вольфрама (таких как вольфрам-никель-железо и вольфрам-никель-медь). Часть настоящего стандарта относится к оценке эксплуатационных характеристик трубных заготовок и готовых изделий из вольфрамовых сплавов.

- **YS/T 1083-2015 «Общие правила упаковки, маркировки, хранения и транспортирования изделий из вольфрама и вольфрамовых сплавов»**

→ Настоящий стандарт устанавливает технические требования к упаковке, защите и транспортированию вольфрамовых материалов и служит важной основой для правил упаковки труб из вольфрамовых сплавов.

- **YS/T 1187-2017 «Технические условия на горячедеформированные изделия из высокоплотных вольфрамовых сплавов»**

→ Применим к конструкционным деталям из вольфрамовых сплавов, изготовленным методом горячей прокатки,ковки и прессования. Хотя он не распространяется

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

непосредственно на трубы, он служит важным источником информации для контроля толщины стенки и оценки механических свойств;

- **YS/T 1190-2017 Технические условия на изделия из спеченного вольфрама и вольфрамовых сплавов**

→ Применяются для определения точности размеров и контроля дефектов заготовок из спеченных труб или вольфрамовых трубок, имеющих форму, близкую к заданной.

3. Область применения стандарта и классификации по классам качества

Большинство производителей труб из вольфрамовых сплавов разрабатывают корпоративные стандарты или спецификации внутреннего контроля, основанные на общих требованиях вышеуказанных стандартов и характеристиках своей продукции. В стандартах приводится общая классификация материалов по классам качества:

- **Марка плотности ($\geq 17,0, 17,5, 18,0, 18,5, 18,8$ г/см³) ;**
- **Класс механических свойств (делится на прочность при растяжении и относительное удлинение) ;**
- **Качество поверхности (обработанная, полированная, блестящая) ;**
- **Допуск на размер (обычно $\pm 0,05$ мм ~ $\pm 0,2$ мм) .**

IV. Связь с международными стандартами и сертификацией

В последние годы, с расширением экспорта труб из вольфрамовых сплавов, китайские компании постепенно согласовывают китайские стандарты с международными (ASTM, MIL, ISO и др.). Распространенные подходы включают:

- Перечислите стандарты внедрения в описании продукта, например: «Стандарты внедрения: YS/T 798-2012, ссылка ASTM B777-15»;
- Предоставлять двуязычные отчеты о проверках и сертификаты на китайском и английском языках для соответствия зарубежным требованиям по прослеживаемости качества;
- Реализовать преобразование эквивалентности стандартов и регистрацию сертификации, например, систему менеджмента качества ISO 9001, декларацию о соответствии RoHS/REACH и т. д.

V. Заключение

Китаю ещё предстоит создать полную и независимую систему стандартов для труб из вольфрамовых сплавов. Однако ряд существующих национальных и отраслевых стандартов служит важнейшей основой для обеспечения качества производства, технологий испытаний и единообразия продукции. В будущем, по мере проникновения и развития труб из вольфрамовых сплавов в такие высокотехнологичные отрасли, как авиация, атомная энергетика и электроника, ожидается дальнейшее совершенствование и интернационализация специализированных стандартов, что укрепит технологическое лидерство Китая и его долю на мировом рынке вольфрамовых сплавов.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.2 Интерпретация Американской системы стандартов (ASTM, MIL) для труб из вольфрамовых сплавов

Трубы из тяжёлых вольфрамовых сплавов (трубы из тяжёлых вольфрамовых сплавов) широко используются в США в атомной промышленности, аэрокосмической и военной промышленности, в медицинской защите, а также в качестве высокотемпературных конструкционных элементов. Благодаря высокой плотности, прочности и превосходной термо- и радиационной стойкости, американская система стандартов на материалы предъявляет чрезвычайно строгие требования к качеству труб из вольфрамовых сплавов. В США для регулирования труб из вольфрамовых сплавов и сопутствующих изделий в основном используются системы ASTM (Американское общество по испытаниям и материалам) и MIL (Военный стандарт). В этом разделе подробно описаны основные стандарты, технические характеристики и области применения труб из вольфрамовых сплавов в рамках этих двух систем.

1. Технические характеристики труб из вольфрамовых сплавов в стандартах ASTM

ASTM (Американское общество по испытаниям и материалам) — одна из самых авторитетных в мире организаций по стандартизации материалов, и опубликованные ею стандарты широко приняты и применяются во всем мире. Хотя ASTM не разработало отдельный стандарт для труб из вольфрамовых сплавов, несколько стандартов на высокоплотные вольфрамовые сплавы и изделия из них могут служить ориентиром для производства и контроля труб из вольфрамовых сплавов:

1. Стандартная спецификация ASTM B777-15 для прессованных и спеченных изделий из тяжелых сплавов вольфрама

- **Область применения** : Покрытие прессованных и спеченных изделий из сплавов высокой плотности, таких как вольфрам-никель-железо и вольфрам-никель-медь, подходящих для заготовок труб или деталей, близких к заданной форме.
- **Уровень производительности** : класс 1–4, соответствующий разным плотностям (17,0–18,5 г/см³) и механическим свойствам.
- **Пригодность труб** : может использоваться в качестве базовой спецификации материала для труб из вольфрамового сплава, обеспечивая диапазон состава, контроль плотности и целевые механические свойства.

2. ASTM B705 «Общие технические условия на трубки из вольфрама и вольфрамовых сплавов» (Примечание: хотя это относится к вольфрамовым трубкам, а не к вольфрамовым сплавам, это всё же имеет справочное значение)

- **Нормы** : отклонение размеров труб, контроль толщины стенки, качество поверхности, кривизна и методы испытаний.
- **Применимые материалы** : трубы из чистого вольфрама и его сплавов, подвергнутые горячедеформированию, холоднокатаные или отожженные изделия.

3. ASTM E8/E8M — Методы испытаний на растяжение металлических материалов

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Применение** : используется для испытания механических свойств труб из вольфрамовых сплавов, включая оценку прочности на растяжение, предела текучести и относительного удлинения.
- **Вспомогательные испытания** : Часто используются совместно с ASTM B777 для подтверждения того, что продукт соответствует требованиям прочности при конечном использовании.

4. ASTM E384 — Метод определения микротвердости

- **Используется для оценки** : твердости по Виккерсу/Кнупу внутренних и внешних поверхностей стенок труб из вольфрамовых сплавов, особенно подходит для изделий с высокой плотностью.

5. ASTM E112 — Метод оценки размера зерна

- **Контроль структуры** : используется для определения однородности микроструктуры труб из вольфрамового сплава после спекания или термической обработки.

2. Сценарии применения труб из вольфрамовых сплавов в военных стандартах MIL

Военные стандарты США (MIL-SPEC/MIL-STD) в первую очередь используются для выбора и приёмки ключевых материалов для военного оборудования и систем. Вольфрамовый сплав, благодаря своему исключительно высокому удельному весу и кинетической энергии, широко используется в сердечниках ракет, противовесах хвостового отсека, баллистической броне и компонентах инерциальных систем. Следующие стандарты MIL тесно связаны с производством труб из вольфрамовых сплавов:

1. MIL-T-21014C (сплав на основе вольфрама, высокой плотности)

- **Применимые категории** : Охватывает сплавы высокой плотности на основе вольфрама (в основном W-Ni-Fe), включая прутки, поковки и трубы;
- **Типичные области применения** : подходит для военных конструктивных деталей, таких как высокопрочные противопульные детали (сердечники пуль), инерционные компоненты и т. д.
- **Нормативные акты** : включая химический состав, условия термической обработки, плотность, допуски, механические свойства и требования к качеству внешнего вида;
- **Контроль качества** : включая неразрушающий контроль (ультразвук, рентген), металлографический анализ и измерение твердости и т. д.

2. MIL-STD-2154 (стандарт ультразвукового контроля)

- **Применение** : используется для обнаружения внутренних дефектов деталей военного назначения, таких как трубы из вольфрамового сплава;
- **Оценка** : Приемлемость определяется на основании размера дефекта и амплитуды отражения.

3. MIL-STD-883 (Испытания микроскопических устройств на воздействие окружающей среды)

- **Референтное значение** : Если трубки из вольфрамового сплава используются в электронных корпусах или конструкциях радиаторов, их стойкость к тепловому удару,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

электроизоляционные и герметизирующие свойства могут соответствовать данной стандартной спецификации испытаний.

3. Технические характеристики и преимущества системы стандартов США

Категория проекта	Характеристики стандартной системы
Соответствие стандартам	Стандарты ASTM и MIL в значительной степени унифицированы с точки зрения состава материалов, эксплуатационных показателей, методов испытаний и т. д., что облегчает глобальные закупки и стыковку.
Широкая применимость	Большинство стандартов ASTM применимы к пластинам, стержням, трубкам и деталям специальной формы из вольфрамового сплава, обладающим высокой совместимостью.
Четкая оценка качества	Например, стандарт B777 разделяет вольфрамовые сплавы на различные «классы», соответствующие уровням удельной плотности и прочности, что упрощает компаниям выход на высокотехнологичные приложения.
Авторитетные методы тестирования	Испытания, включающие микроструктуру, механические свойства, дефекты поверхности и т. д., поддерживаются комплексной системой методов.

4. Рекомендации по сертификации и согласованию труб из вольфрамовых сплавов, экспортируемых в США

В соответствии с требованиями рынка США к трубам из вольфрамовых сплавов отечественным производителям рекомендуется:

1. **Сравнение стандартов продукции** : ASTM B777, MIL-T-21014C и другие стандарты должны быть четко приняты или на них должны быть даны ссылки в технических характеристиках;
2. **Предоставлять отчеты о проверке качества на китайском и английском языках** , включая анализ химического состава, испытания механических свойств, записи ультразвукового контроля и т. д.
3. **отчеты об испытаниях от третьих лиц** : такие как сертификаты испытаний по стандарту ASTM, выданные SGS, BV и другими организациями;
4. **Регистрация и подача документов в военной промышленности** : если заказчик участвует в цепочке поставок вооруженных сил США, необходимо получить соответствующие квалификации соответствия ITAR.

V. Заключение

Системы стандартов США ASTM и MIL обеспечивают всестороннюю поддержку стандартизированного производства и международной торговли трубами из вольфрамовых сплавов. Хотя единого специализированного стандарта для «труб из вольфрамовых сплавов» не существует, соответствующие спецификации достаточны для управления производством, контролем и контролем качества. Китайские производители труб из вольфрамовых сплавов,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

осваивая американский рынок, должны досконально знать и строго соблюдать ключевые стандарты, такие как ASTM B777 и MIL-T-21014, для достижения стабильного прорыва и устойчивого роста в глобальной цепочке поставок высококачественных материалов.

7.3 Международные стандарты ЕС и ISO для труб из вольфрамовых сплавов

Трубы из тяжёлых вольфрамовых сплавов (трубы из тяжёлых вольфрамовых сплавов) – это современный материал с высокой плотностью, высокой температурой плавления и превосходной радиационной и коррозионной стойкостью, который широко используется в аэрокосмической промышленности, атомной энергетике, медицинской технике, военном деле и высокотехнологичном производстве. Поскольку международный рынок постоянно требует всё более высокого уровня однородности и прослеживаемости продукции, Европейский союз (EN) и Международная организация по стандартизации (ISO) разработали комплексные и строгие стандарты и спецификации, касающиеся конструкции, эксплуатационных характеристик, безопасности и воздействия на окружающую среду труб из вольфрамовых сплавов. Понимание и освоение этих международно признанных стандартов имеет решающее значение для производителей труб из вольфрамовых сплавов для участия в трансграничной торговле, техническом сотрудничестве и разработке систем качества.

1. Соответствующие спецификации труб из вольфрамовых сплавов в системе стандартов ЕС EN

Хотя в стандартах ЕС EN нет отдельного положения, специально предназначенного для «труб из вольфрамовых сплавов», можно сослаться на общие системы стандартов на металлические материалы и изделия из порошковой металлургии, включающие:

1. EN ISO 4499-1/2: Металлографическое исследование и микроструктурный анализ твердого сплава

- Его можно использовать для оценки микроструктуры труб из вольфрамовых сплавов, особенно для количественного описания однородности и морфологии зерен спеченной плотной структуры.
- Руководить процессом подготовки металлографических образцов и унифицировать терминологию контроля и методы оценки.

2. EN 10204: Испытания и сертификация металлических изделий

- Предприятия обязаны предоставлять отчеты и сертификаты проверки материалов, которые могут служить сертификатами качества труб из вольфрамовых сплавов при их экспорте.
- Включая формы 2.1 (Декларация соответствия), 3.1 (Сертификация качества третьей стороной) и другие формы документов.

3. EN ISO 6506/6507/6508: Стандарты испытаний на твердость по Бринеллю, Виккерсу и Роквеллу

- Подходит для испытания твердости внутренних и внешних стенок труб из вольфрамовых сплавов, часто используется на этапе проверки готовой продукции.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Уточните подробные требования, такие как нагрузка вдавливания, время выдержки и обработка испытываемой поверхности.

4. EN ISO 6892: Стандарт испытаний на растяжение металлических материалов.

- Подходит для оценки предела прочности на растяжение, предела текучести и удлинения трубок из вольфрамовых сплавов, а также подходит для горячекатаных, отожженных или спеченных материалов.

5. EN ISO 6508-1: Определение твердости металлов по Роквеллу

- для изделий из вольфрамовых сплавов высокой твердости и подходит для локального измерения твердости труб малого диаметра и тонкостенных труб.

6. EN ISO 9001: Требования к системе менеджмента качества

- Для производителей труб из вольфрамовых сплавов, экспортирующих продукцию в ЕС, внедрение системы контроля качества, соответствующей стандарту ISO 9001, является одним из основных условий выхода на рынок.

2. Соответствующие спецификации труб из вольфрамовых сплавов в соответствии с международной системой стандартов ISO

Как Международная организация по стандартизации, ISO публикует стандарты на материалы и методы испытаний, которые широко применяются в мировой высокотехнологичной обрабатывающей промышленности. Они особенно авторитетны в транснациональных системах сертификации, международных тендерах и сопоставлении стандартов.

1. ISO 2768 (Стандарт геометрических допусков)

- Устанавливает общие критерии допуска для внутреннего диаметра труб из вольфрамового сплава, наружного диаметра, толщины стенки, овальности, длины и других размеров.
- ISO 2768-m обычно используется в качестве стандарта обработки для общих требований к точности.

2. ISO 9001 / ISO 14001 / ISO 45001 три основные системы менеджмента

- Предприятиям необходимо пройти сертификацию третьей стороной системы менеджмента качества (9001), системы экологического менеджмента (14001) и системы охраны труда и техники безопасности (45001), чтобы соответствовать требованиям международных клиентов к соответствующему производству.

3. ISO 6892-1/-2: Методы испытаний на растяжение металлических материалов

- Руководить испытаниями механических свойств труб из вольфрамового сплава в различных температурных условиях, включая испытательные процессы при комнатной температуре (-1) и высокой температуре (-2).

4. ISO 6506/6507: Измерение твердости металлов

- Поддерживает методы определения твердости по Бринеллю и Виккерсу, подходит для высокоточной оценки твердости труб из вольфрамовых сплавов.

5. Серия ISO 10110: стандарты качества материалов и поверхностей оптических компонентов

- Если трубки из вольфрамового сплава используются в оптических конструкциях или системах защиты ядерных приборов, этот стандарт может быть использован в

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

качестве эталона для определения шероховатости поверхности, деформации и плоскостности.

6. ISO 14062: Руководство по проектированию экологически чистой продукции

- трубок из вольфрамового сплава в течение их жизненного цикла, включая энергопотребление, возможность вторичной переработки и экологичность упаковки.

Значение стандартов ЕС/ИСО в экспорте труб из вольфрамовых сплавов

Измерение соответствия	Ключевые критерии	Требования соответствия	Сценарий применения
Производительность продукта	ИСО 6892, ЕН ИСО 6507	Унифицированные испытания на растяжение и твердость	Сравнение принятия клиентами и производительности
Допуск размеров	ИСО 2768	Контроль отклонения внутреннего и наружного диаметра/толщины стенки	Инженерная поддержка и стыковка систем
Экологические нормы	ИСО 14001/REACH/RoHS	Соответствуют экологическим нормам и не содержат вредных веществ.	Экспорт в ЕС, зеленая сертификация
Система качества	ИСО 9001, ЕН 10204	Прослеживаемость документов и сертификация качества	Обзор коммерческих контрактов и закупок
Обнаружение дефектов	ИСО 9712 / ЕН 10308	Квалификации неразрушающего контроля и стандартизированные операции	Принятие в области авиации и медицины

4. Рекомендуемые пути для предприятий по производству труб из вольфрамовых сплавов по обеспечению соответствия международным стандартам

1. Создать международную стандартную техническую базу данных : организовать и регулярно обновлять тексты стандартов ISO и EN, касающиеся труб из вольфрамовых сплавов, для внутреннего использования и руководства по НИОКР.
2. Сравнительный анализ параметров и стандартов продукции : создание сравнительной таблицы размеров продукции, ее производительности и международных стандартов для обеспечения соответствия связей НИОКР и процессов требованиям целевого рынка.
3. Сертификация и сторонние испытания :
 - o Пройдена сертификация по системе ISO 9001/14001;
 - o Мы доверяем SGS, TÜV, BV и другим организациям проведение испытаний состава, размеров и механических свойств в соответствии со стандартами EN или ISO.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. **Разработка стандартов внутреннего контроля предприятия (Q/)** : на основе стандартов ISO/EN разработка стандартов предприятия в сочетании с требованиями клиентов и реальными характеристиками продукции для формирования эффективной системы обеспечения качества.

V. Заключение

Система стандартов ЕС и ISO предоставляет систематизированные и высокоавторитетные технические спецификации для международной торговли, инженерного применения и разработки продукции на основе труб из вольфрамовых сплавов. Эти стандарты охватывают не только различные методы испытаний и оценки эксплуатационных характеристик труб из вольфрамовых сплавов, от сырья до готовой продукции, но и соблюдение экологических норм и правил безопасности. Для производителей труб из вольфрамовых сплавов, стремящихся выйти на мировой рынок, особенно в ЕС, глубокое понимание этих стандартов и активное их соблюдение будут иметь решающее значение для повышения международной конкурентоспособности и достижения высокого качества разработки.

Требования соответствия для трубок из вольфрамового сплава (RoHS, REACH, MSDS)

Трубы из тяжёлых вольфрамовых сплавов (трубы из тяжёлых вольфрамовых сплавов) – ключевой металлический материал, обладающий высокой плотностью, прочностью, термостойкостью и коррозионной стойкостью, – широко используется в аэрокосмической, атомной, военной, медицинской и электронной промышленности. В связи с растущим вниманием международного рынка к защите окружающей среды, безопасности и устойчивому развитию, трубы из вольфрамовых сплавов должны строго соответствовать действующим экологическим нормам и стандартам при экспорте и использовании в инженерных целях. В частности, такие нормы, как **RoHS** (Ограничение содержания опасных веществ), **REACH** (Регистрация, оценка, разрешение и ограничение использования химических веществ) и **MSDS** (Паспорта безопасности), представляют собой основное препятствие для выхода труб из вольфрамовых сплавов на рынок ЕС и всего мира.

В этом разделе будет проведен систематический анализ ключевых моментов соблюдения экологических норм для труб из вольфрамовых сплавов, а также будут предложены пути внедрения и рекомендации по управлению для предприятий.

1. Анализ применимости директивы RoHS и трубок из вольфрамового сплава

RoHS (Ограничение использования опасных веществ) — это экологический регламент Европейского союза, ограничивающий использование некоторых опасных веществ в электротехнических и электронных изделиях. В настоящее время действует RoHS 2.0 (2011/65/EU) и его пересмотренные версии.

1. К веществам, ограниченным RoHS, в основном относятся:

- Свинец (Pb): < 0,1%
- Ртуть (Hg): < 0,1%

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Кадмий (Cd): < 0,01%
- Шестивалентный хром (Cr6+): < 0,1%
- Полибромированные бифенилы (ПББ) и полибромированные дифениловые эфиры (ПБДЭ): < 0,1%
- Фталаты (DEHP, BBP, DBP, DIBP): < 0,1%

2. Факторы риска в трубках из вольфрамового сплава:

- Хотя сам вольфрамовый сплав не содержит вышеуказанных запрещенных элементов, при использовании свинецсодержащих припоев, гальванических или легирующих материалов он может превысить предел;
- Если трубки из вольфрамового сплава используются в качестве конструктивных компонентов, компонентов охлаждения или компонентов радиационной защиты электронных устройств в электронных и электрических системах, требуется декларация о соответствии RoHS.

3. Требования соответствия:

- Предоставить Декларацию соответствия RoHS (DoC), в которой указано, что продукт не содержит запрещенных веществ;
- аудиты соответствия поставщиков;
- Поддержка сертификации отчетов по испытаниям третьих сторон (SGS, TÜV).

2. Механизм ограничений регламента REACH в отношении труб из вольфрамовых сплавов

REACH (Регистрация, оценка, разрешение и ограничение химических веществ) — это всеобъемлющий регламент ЕС по химическим веществам, охватывающий регистрацию, оценку, разрешение и ограничение веществ и широко применяемый к продукции, экспортируемой в ЕС.

1. Область применения труб из вольфрамового сплава:

- REACH распространяется на все химические вещества, смеси и изделия, поставляемые на рынок ЕС (Статья);
- Трубки из вольфрамового сплава считаются «изделиями», и если в их составе содержатся особо опасные вещества (SVHC) и их содержание превышает 0,1%, об этом необходимо сообщить и уведомить.

2. Риски, связанные с особо опасными веществами (SVHC):

- Некоторые клеи, добавки или средства для обработки поверхностей могут содержать особо опасные вещества, перечисленные в REACH;
- Если содержание таких ингредиентов, как бериллий, некоторые фталаты, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) превышает предельно допустимую норму, об этом необходимо сообщить в Европейское химическое агентство (ECHA).

3. Меры реагирования предприятий:

- Разработать список веществ REACH и механизм сравнения;
- Требовать от поставщиков сырья предоставления деклараций о соответствии REACH;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Проводить оценку рисков на этапах технологического процесса, на которых могут содержаться особо опасные вещества (например, гальванопокрытие и нанесение покрытий);
- При необходимости пройти процедуры регистрации или уведомления REACH.

3. Требования документов MSDS для безопасной поставки труб из вольфрамовых сплавов

MSDS (паспорт безопасности материала) — это принятый на международном уровне информационный документ о химической безопасности, содержащий такую информацию, как основной состав продукта, физические и химические свойства, характеристики токсичности, воздействие на окружающую среду, меры реагирования в чрезвычайных ситуациях и классификация транспортировки.

1. Ситуации, когда необходимо подготовить паспорт безопасности материала для труб из вольфрамового сплава:

- Если трубка из вольфрамового сплава имеет форму порошка, проволоки или обработана поверхность (например, гальванопокрытием, напылением и т. д.), это может считаться риском для безопасности;
- Если компания занимается международными перевозками и трансграничным сотрудничеством в цепочке поставок, клиенты обычно требуют от нее предоставления паспорта безопасности материала (MSDS);

2. Основное содержание паспорта безопасности материала включает:

- Химический состав и пропорции (например, W 90%, Ni 6%, Fe 4%);
- Идентификация опасности: горючая пыль, металлический пар и т. д.;
- Меры обеспечения безопасности: средства защиты, методы устранения утечек, методы тушения пожаров и т. д.;
- Меры предосторожности при хранении и транспортировке: герметизация, влагонепроницаемость, антистатичность, классификация и код транспортировки и т. д.

3. Рекомендации по приготовлению и применению:

- Рекомендуется осуществлять составление на основе всемирного унифицированного стандарта классификации GHS;
- Предоставить двуязычные версии на китайском и английском языках;
- Регулярно обновляется и пересматривается с учетом изменений в нормативных актах;
- Предоставьте клиентам цифровые и бумажные версии.

4. Рекомендации по процессу управления соблюдением экологических требований для труб из вольфрамовых сплавов

Управление	Рекомендуемые действия	Основные файлы
Проверка сырья	Составить список закупаемого нетоксичного и безвредного сырья	Декларация о соответствии RoHS

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Управление процессами	Проверьте на наличие свинцового припоя, гальванических покрытий из тяжелых металлов, бензольных растворителей и т. д.	Отчет о соответствии процесса
Тестирование продукта	Доверьте проведение испытаний RoHS/REACH стороннему агентству	Отчет SGS/Intertek
Нормативный мониторинг	Отслеживайте обновления списка особо опасных веществ и изменения в нормативных актах	База данных обновлений нормативных актов
Вывод соответствия	Предоставляйте RoHS, REACH, MSDS и другие документы, требуемые клиентами.	Файлы соответствия

V. Резюме и перспективы

В условиях всё более строгих глобальных экологических норм производство и управление цепочкой поставок труб из вольфрамовых сплавов должны постепенно соответствовать международным стандартам, таким как **RoHS, REACH и MSDS**. Компании должны не только контролировать соответствие сырья требованиям на этапе производства, но и внедрять экологические требования на всех этапах проектирования, производства, упаковки и транспортировки, чтобы улучшить доступ своей продукции на международный рынок и повысить её экологичность. По мере углубления концепции «зелёного» производства соответствие труб из вольфрамовых сплавов экологическим нормам станет важнейшим показателем общей конкурентоспособности компании.

Впоследствии производители труб из вольфрамовых сплавов могут изучить возможность создания системы отслеживания соблюдения экологических требований на всех этапах технологического процесса, интегрировав список материалов RoHS, статус уведомления REACH и общую библиотеку документов MSDS через цифровую платформу для достижения эффективного управления и динамического обновления работы по обеспечению соответствия, тем самым взяв на себя инициативу в условиях жесткой конкуренции на мировом рынке.

7.5 Система качества труб из вольфрамовых сплавов для авиации, атомной энергетики, медицины и других областей (AS9100, ISO13485)

Трубки из вольфрамовых сплавов, благодаря своей высокой плотности, прочности и превосходной стойкости к высоким температурам и радиации, играют незаменимую роль в высокотехнологичном производстве и высоконадежных системах в аэрокосмической промышленности, атомной энергетике и медицине. Эти отрасли предъявляют чрезвычайно высокие требования к качеству, безопасности и стабильности продукции, что вынуждает производителей труб из вольфрамовых сплавов строго соблюдать международно признанные системы менеджмента качества, чтобы гарантировать длительную и стабильную эксплуатацию своей продукции в сложных и экстремальных условиях.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

В этом разделе основное внимание уделяется трем основным стандартам системы качества, применяемым к производителям труб из вольфрамовых сплавов: **AS9100 (система управления качеством в аэрокосмической отрасли)**, **ISO13485 (система менеджмента качества медицинских изделий)** и **ISO19443 (расширенный стандарт системы менеджмента качества для области ядерной энергетики)**, а также анализирует их применимость, основные элементы и рекомендации по внедрению.

1. AS9100: Требования к системе менеджмента качества для аэрокосмической отрасли
AS9100 — стандарт менеджмента качества для авиационной, аэрокосмической и оборонной промышленности, выпущенный Международной группой по качеству в аэрокосмической промышленности (IAQG). Он представляет собой расширенную версию стандарта ISO 9001 и добавляет специальные требования к производству аэрокосмической продукции.

1. Применимость:

- Трубы из вольфрамовых сплавов широко используются в авиационных двигателях, спутниках, ракетах и другом оборудовании в качестве **авиационных противовесов, инерционных компонентов, жаропрочных труб или защитных конструкционных материалов**;
- Если компания является поставщиком первого или второго уровня в цепочке поставок для аэрокосмической отрасли, она должна пройти сертификацию AS9100, прежде чем поставлять товары.

2. Основное содержание:

- Безопасность продукции и защита от ошибок;
- Управление рисками (мышление, основанное на оценке риска);
- Специальный контроль процесса (например, термообработка, спекание, аддитивное производство) ;
- Управление цепочками поставок и контроль изменений;
- Прослеживаемость, обработка несоответствий, корректирующие и профилактические меры.

3. Рекомендации по внедрению:

- Создать полную документированную систему качества;
- Ключевой персонал должен пройти внутренний аудит и системное обучение по стандарту AS9100;
- Регулярно проводить анализ возможностей процесса и первую проверку изделий (FAI);
- Представляем авиационные инструменты, такие как анализ видов и последствий отказов (FMEA) и PPAP.

2. ISO 13485: Стандарт системы менеджмента качества медицинских изделий

Трубки из вольфрамового сплава широко используются в **устройствах позиционирования для лучевой терапии, экранах, модуляторах гамма-излучения и медицинских**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

противовесах . Их стабильность, плотность и немагнитные свойства делают их особенно подходящими для высокоточного медицинского оборудования. **ISO 13485** — это международный стандарт системы качества, разработанный специально для проектирования, производства, установки и обслуживания медицинских приборов.

1. Применимые сценарии:

- Если производители медицинского оборудования используют трубы из вольфрамового сплава для **радиационной защиты, компонентов защитных устройств и рентгеновских компонентов** , сырье и конструктивные детали должны закупаться у поставщиков, прошедших сертификацию ISO13485.
- Медицинские трубы из вольфрамового сплава являются непосредственно частью медицинского изделия, соответствующие производители должны сотрудничать при регистрации, аудите и проверке технических данных.

2. Основные требования:

- Управление жизненным циклом продукции и контроль рисков;
- Проверка и валидация процесса (например, необратимых процессов, таких как спекание и прокатка);
- Ведение учета файлов (файл истории проектирования);
- Мониторинг процессов, внутренний аудит и механизм обратной связи с клиентами;
- Отчеты о нежелательных явлениях и управление программой отзыва.

3. Корпоративные контрмеры:

- Обеспечить однородность и стабильность партии продукции;
- Улучшить проверку сырья, мониторинг технологического процесса и заводскую документацию;
- Изменения в проекте требуют оценки потенциального медицинского воздействия и повторной валидации;
- Отслеживайте каждую партию труб из вольфрамового сплава вплоть до источника поставки и производственного процесса.

3. ISO 19443: Стандарт менеджмента качества, разработанный специально для сектора атомной энергетики (ссылка на ISO 9001)

Трубы из вольфрамового сплава, используемые в ядерном энергетическом оборудовании в качестве радиационно-защитных труб, структурных компонентов или компонентов систем теплопроводности, должны соответствовать повышенным требованиям безопасности, надежности и прослеживаемости, предъявляемым к атомной промышленности. **ISO 19443** — это расширение ISO 9001 для атомной промышленности, в частности, применимое к управлению качеством для поставщиков **ядерных установок** .

1. Возможности приложения:

- В основном применимо к поставщикам материалов, компонентов и услуг для атомных электростанций, ядерных топливных циклов, ядерных реакторов и связанных с ними проектов;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Трубы из вольфрамового сплава, используемые для опор активной зоны, радиационных кожухов, экранирующих компонентов и т. д., должны полностью соответствовать требованиям настоящего стандарта по контролю процесса.

2. Основные контрольные точки:

- Культура безопасности интегрирована в систему менеджмента качества;
- Механизм оценки рисков продукции и услуг;
- Прослеживаемость и целостность документации;
- Преобразование требований клиентов и реализация нормативных положений;
- Свидетельствование третьей стороной и проверочные мероприятия, указанные заказчиком.

4. Сравнение и предложения по адаптации трех основных систем

стандартный	Применимые области	Ключевые требования	Типичные области применения
AS9100	Аэрокосмическая промышленность	Безопасность продукции, прослеживаемость и управление рисками	Спутниковые инерциальные компоненты, космические противовесы
ISO13485	медицинские приборы	Валидация процесса, отчетность о нежелательных явлениях и соблюдение нормативных требований	Защитные рукава для радиотерапии, компоненты защиты от рентгеновского излучения
ISO19443	атомная энергетика	контроль качества ядерного уровня и целостность документов	Трубки ядерной защиты, компоненты облучения

V. Резюме и перспективы

Трубы из вольфрамовых сплавов, являясь высокотехнологичным функциональным конструкционным материалом, при выходе на рынок производства высокотехнологичного оборудования уже не ограничиваются исключительно эксплуатационными показателями . Они также требуют систематической и устойчивой системы управления качеством. AS9100, ISO13485 и ISO19443, являясь признанными во всем мире авторитетными стандартами, стали ключевыми факторами для выхода компаний на рынок.

Для производственных компаний рекомендуется использовать стандарт ISO 9001 в качестве основы для управления качеством. На этой основе следует выбрать соответствующие расширенные стандарты для целевой отрасли, которые будут способствовать модернизации систем внутреннего контроля, прозрачности процессов, прослеживаемости партий продукции и глубокой интеграции систем качества и развития рынка, тем самым закладывая прочную основу для индустриализации и интернационализации производства труб из вольфрамовых сплавов.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Последующие предложения включают изучение комплексной конструкции системы качества, горизонтальную интеграцию трех основных стандартов и реализацию общей платформы, модульности и цифрового управления предприятиями в сфере авиации, атомной энергетики и медицины, чтобы изделия из труб из вольфрамовых сплавов могли действительно достичь международного уровня «высококачественной однородности, высокого качества и соответствия».

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

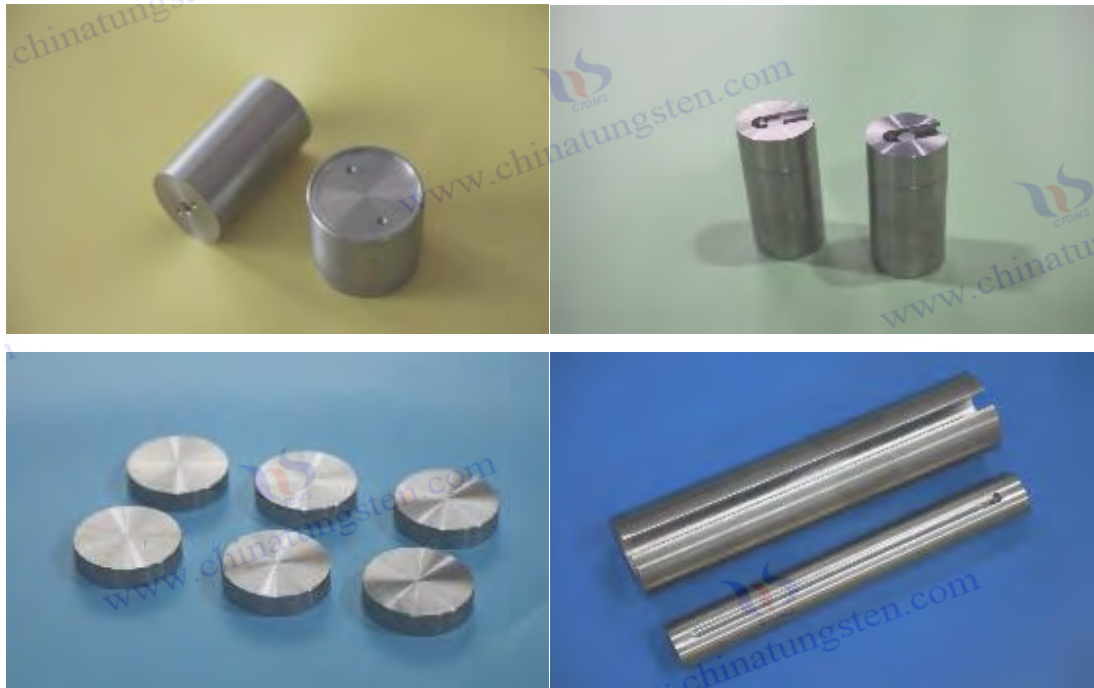
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

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 8. Технические условия на упаковку, хранение и транспортировку труб из вольфрамовых сплавов

8.1 Выбор упаковочного материала и конструкция защиты для трубок из вольфрамового сплава (вакуум, сушка и буферизация)

Трубы из вольфрамовых сплавов, являясь высокоплотным, ценным и хрупким прецизионным сплавом, предъявляют чрезвычайно высокие требования к упаковке и защитным системам во время **производства, хранения и международной транспортировки**. Неправильная упаковка может привести не только к царапинам на поверхности, столкновению кромок или деформации конструкции, но и к окислению или загрязнению металла во влажной среде, что сказывается на качестве последующей обработки и эксплуатационных характеристиках. Поэтому научно обоснованная и систематическая разработка системы упаковочных материалов и защитных конструкций для труб из вольфрамовых сплавов имеет решающее значение для обеспечения качества продукции и надежности поставок.

1. Основные принципы проектирования упаковки из вольфрамовых сплавов

- 1. Сопротивление сжатию и ударам :** Из-за большого веса и хрупкой структуры трубок из вольфрамового сплава упаковочная система должна обладать достаточной амортизирующей способностью, чтобы предотвратить повреждения, вызванные инерционным столкновением во время погрузки, разгрузки и транспортировки.
- 2. Герметизация и защита от влаги :** хотя вольфрамовый сплав обладает хорошей коррозионной стойкостью, такие компоненты, как никель и медь в сплаве, все равно

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

могут страдать от изменения цвета поверхности и небольшого окисления под воздействием влаги, поэтому необходимо использовать влагонепроницаемую упаковку.

3. **Чистые и не загрязняющие окружающую среду материалы** : упаковочные материалы не должны выделять органические загрязнители, сульфиды, хлориды и другие активные химические компоненты, чтобы не повлиять на чистоту поверхности трубки из вольфрамового сплава.
4. **Соответствие международным стандартам транспортировки** : структура упаковки должна быть удобной для погрузки и таможенного досмотра в стандартных контейнерных единицах для морской, воздушной и наземной транспортировки, а также соответствовать международным нормам, таким как RoHS и ISPM 15.

2. Распространенные типы упаковочных материалов и их применение

1. Внутренний защитный материал

Материал	Функция	Функции
Полиэтиленовая пленка	Герметичный, слегка водонепроницаемый	Хорошая гибкость, подходит для вакуумной упаковки.
Композитная пленка из алюминиевой фольги	Влагостойкий и устойчивый к УФ-излучению	Подходит для длительного хранения и транспортировки, обладает сильными антивозрастными свойствами.
Пена/EPE (изумрудный полиэтилен)	Буферизация и предотвращение столкновений	Часто оборачивается вокруг внутренней стенки одной вольфрамовой трубки или корпуса
Раскислитель/Осушитель	Поглощение влаги и дезоксигенация	Силикагель и молекулярные сита могут обеспечить долгосрочную защиту

2. Структура буфера среднего слоя

- Сотовый картон или гофрированная бумага** : используется для изоляции контакта между трубками из вольфрамового сплава, низкая стоимость и настраиваемая форма;
- Прокладки EVA высокой плотности** : обычно используются для позиционирования и защиты прецизионных вольфрамовых трубок, обладают высокой устойчивостью к давлению и поддаются штамповке.

3. Внешний защитный контейнер

- Высокопрочный деревянный ящик (логотип IPPC)** : подходит для дальних экспортных перевозок и перевозки тяжелых грузов, имеет устойчивую конструкцию;
- Коробка из алюминиевого сплава или композитного материала** : подходит для использования с оборудованием для воздушной экспресс-доставки и высококласным оборудованием;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Специальные опоры для нескольких трубок из вольфрамового сплава :** изготовленные из полиэтилена, АБС или алюминиевого сплава, они обеспечивают структурную фиксацию, выравнивание диаметра трубок и транспортировку партии.

3. Типичные примеры комбинирования упаковки

1. Защитная конструкция из вольфрамового сплава для экспортных поставок (применима для сверхпрочных труб длиной >1 м):

- o Внутренний слой: вакуумная упаковка (композитная пленка из алюминия и пластика + осушитель)
- o Средний слой: полный пакет EPE + опорная проставка для одной ответвления трубы
- o Внешний слой: деревянный ящик, армированный фанерой + термообработка IPPC + маркировка против опрокидывания

2. Решение для упаковки авиационных аксессуаров из прецизионных вольфрамовых трубок :

- o Внутренний слой: чистая, непыльная полиэтиленовая пленка + многослойное разделение пеной
- o Внешний слой: алюминиевый короб или перерабатываемый высокопрочный пластиковый короб с замком.
- o Вложения: лазерная этикетка + форма заводского осмотра + инструкция по эксплуатации MSDS

4. Соображения относительно конструкции упаковки из вольфрамового сплава

- **Принцип одинарной обмотки :** для высокоточных и высококачественных вольфрамовых трубок категорически запрещается размещать несколько трубок в контакте без зазора;
- **Стандартизированные идентификационные этикетки :** должны включать название материала, спецификацию модели, номер партии, дату производства и код отслеживания качества;
- **предупреждения по направлению транспортировки :** Внешняя упаковка должна быть маркирована двуязычными надписями на китайском и английском языках, такими как «Хрупкое», «Не штабелировать» и «Влагонепроницаемый»;
- **Проверка сейсмостойкости :** для специальных применений (например, для труб из вольфрамового сплава военного и авиационного назначения) рекомендуется включить в план упаковки имитационные транспортные испытания (например, по стандартам ISTA).

5. Перспективные направления развития упаковочных технологий

С развитием интеллектуальной международной логистики, а также экологически чистых и низкоуглеродных тенденций дизайн упаковки из вольфрамовых сплавов также представляет следующие направления развития:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Система перерабатываемой упаковки** : используйте многоразовую упаковочную посуду из металла/пластика, чтобы сократить отходы одноразовых материалов;
- **Интеллектуальные защитные материалы** : встроенные датчики температуры и влажности, а также индикаторы удара для мониторинга окружающей среды упаковки в режиме реального времени;
- **Полноценное цифровое отслеживание**: Прослеживаемость партий, управление запасами и синхронизация логистической информации достигаются с помощью RFID-чипов или этикеток с QR-кодом.

краткое содержание

Упаковка из вольфрамовых трубок — это не только средство физической защиты, но и важнейшее звено в цепочке обеспечения качества продукции. От выбора материала и проектирования защитной конструкции до тщательного контроля защиты от влаги, вибрации и загрязнений — она должна применяться на протяжении всего процесса, от производства до доставки готовой продукции. Стандартизированная и научно обоснованная система упаковки может эффективно улучшить возможности международной доставки продукции, сократить транспортные потери и повысить удовлетворенность клиентов. Она также демонстрирует экспертизу компании в области надежности продукции и управления брендом.

8.2 Условия хранения и требования по защите от коррозии и окисления для труб из вольфрамовых сплавов

Трубы из вольфрамовых сплавов широко используются в таких высокотехнологичных областях, как атомная энергетика, военная промышленность, аэрокосмическая промышленность, медицина и электронное оборудование. Однако без эффективного контроля условий окружающей среды и мер защиты при хранении внешние факторы, такие как влажность, температура и коррозионные газы, могут легко привести к проблемам с качеством, таким как окисление поверхности, коррозия, загрязнение и изменение цвета, что влияет на производительность последующей обработки и срок службы изделия. Поэтому разработка научно обоснованных правил хранения и создание стандартизированных условий хранения имеют решающее значение для обеспечения качества и стабильности труб из вольфрамовых сплавов.

1. Основные требования к условиям хранения трубок из вольфрамового сплава

1. Контроль температуры :

- o Рекомендуемый диапазон температур хранения — от 5°C до 30°C .
- o Следует избегать частых и резких колебаний температуры, чтобы предотвратить образование конденсата и прилипание водяного пара к поверхности.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Контроль влажности :

- o Относительную влажность следует поддерживать на **уровне <60%** , а при длительном хранении рекомендуется не превышать 50% относительной влажности.
- o Высокая влажность может легко вызвать микроокисление сплавов, содержащих такие элементы, как никель и медь, что проявляется в виде пожелтения и темных пятен.

3. Требования к газовой среде :

- o В месте хранения следует избегать контакта с **едкими газами, такими как сульфид, хлор, аммиак, кислотный туман и т. д.**
- o Старайтесь не размещать трубки из вольфрамового сплава вблизи мест хранения сильных кислот, сильных щелочей, растворителей и другого химического сырья.

4. Требования к чистоте :

- o Место хранения должно быть чистым, без масла и пыли, использование фейерверков строго запрещено.
- o позволяют условия , Для специального хранения высококачественных труб из вольфрамового сплава **можно организовать чистый склад с постоянной температурой и влажностью .**

2. Основные технические характеристики хранения в трубках из вольфрамового сплава

1. Вертикальные и горизонтальные варианты хранения

- Для средних и длинных труб из вольфрамового сплава длиной более 500 мм:
 - o Рекомендуется **хранить в горизонтальном положении** , используя для разделения трубчатые опоры, пенопластовые пазы или кронштейны, чтобы избежать изгиба и деформации;
- Для высокоточных коротких трубок или высококачественных вольфрамовых трубок:
 - o Можно **хранить в вертикальном положении , в виде трубы** . Стенка трубы не должна непосредственно соприкасаться с твёрдой конструкцией и должна поддерживаться мягким амортизирующим слоем.

2. Контейнеры для хранения и изоляционные материалы

тип	Рекомендуемые материалы	Функции
Подкладочные упаковочные материалы	Перламутровый хлопок, полиэтиленовая пленка, бумага без содержания серы	Устойчив к царапинам, влагостойкий, чистый и не подвержен коррозии
Трубка/стойка для хранения	Нержавеющая сталь, алюминиевый сплав, ПВХ- пластик	Стабильный, легко моется, устойчив к окислению
Конструкция полки	Антикоррозийное покрытие для дерева/стали	Многоуровневое и пронумерованное управление, влагонепроницаемая нижняя

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

		прокладка для предотвращения попадания влаги
--	--	--

3. Срок хранения и обслуживание труб из вольфрамовых сплавов

Срок хранения	Рекомендуемые условия окружающей среды	Цикл проверки статуса	Меры предосторожности
Краткосрочный (<3 месяцев)	Нормальная температура и влажность, герметично и сухо.	Раз в месяц	Пожалуйста, плотно закройте после открытия.
Среднесрочный (3-12 месяцев)	Камера постоянной температуры и влажности с осушителем	Раз в две недели	Попробуйте использовать вакуумную упаковку.
Долгосрочный (>12 месяцев)	Вакуумная герметизация + сушка на складе	Проверяйте герметичность еженедельно.	Рекомендуется периодически переворачивать и заменять осушитель.

4. Меры предосторожности при хранении в особых условиях

1. Приморские/влажные районы :

- Необходимо добавить упаковочный слой, предпочтительно герметичный пакет из композитного материала из алюминия и пластика.
- Склады должны быть оснащены промышленным осушительным оборудованием и иметь вентиляцию.

2. Высокогорные или холодные регионы :

- Обратите внимание на проблему конденсации, вызванную разницей температур, и медленно повышайте температуру, чтобы ее устранить.

3. Трубки из вольфрамового сплава, используемые в чистых помещениях :

- Помещение для хранения должно соответствовать уровню чистоты класса 1000 или выше;
- Хранимые материалы не должны образовывать пыль или выделять органические летучие вещества.

5. Рекомендации по системе управления складом и прослеживаемости

- Создать систему учета номеров продукции, входящих и исходящих записей , включая номер партии материала, время хранения и место использования;
- проверить внешний вид и степень окисления труб из вольфрамового сплава, имеющихся на складе;
- Внедрить принцип управления «первым пришел — первым ушел» (FIFO) для обеспечения оборачиваемости запасов.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Резюме: Качество труб из вольфрамовых сплавов

влияет не только на состояние их поверхности и структурную целостность, но и напрямую влияет на их адаптируемость к последующим процессам и надежность конечного продукта. Научно обоснованное и рациональное управление температурой и влажностью, коррозионно-стойкие упаковочные решения и стандартизированные системы складирования имеют решающее значение для обеспечения качества труб из вольфрамовых сплавов. Поскольку материалы из вольфрамовых сплавов всё чаще находят высокотехнологичное применение, профессионализация и стандартизация процессов хранения стали важнейшими составляющими общей конкурентоспособности компании.

8.3 Международные транспортные спецификации для труб из вольфрамовых сплавов

Трубы из вольфрамовых сплавов, являясь прецизионным конструкционным материалом с высоким удельным весом, высокой температурой плавления, коррозионной стойкостью и радиационной стойкостью, широко используются в таких отраслях, как атомная энергетика, военная промышленность, аэрокосмическая промышленность и производство медицинской техники, и их мировая торговля продолжает расти. В связи с высокой плотностью и стоимостью труб, а также с тем, что некоторые виды труб из вольфрамовых сплавов используются в военных или секретных целях, международные перевозки должны строго соответствовать действующим нормам различных стран и международных организаций для обеспечения безопасности, соответствия требованиям и эффективности трансграничного перемещения товаров.

1. Основы определения того, являются ли трубы из вольфрамовых сплавов контролируемыми товарами

Перед международной перевозкой необходимо определить, являются ли перевозимые трубы из вольфрамового сплава **товарами двойного назначения или продукцией, подлежащей военному контролю**. Это напрямую определяет сложность процесса транспортировки. Основные критерии оценки включают:

1. Состав сплава :

- Если трубка из вольфрамового сплава содержит **стратегические металлы, такие как молибден, никель, кобальт, рений и т. д. в определенной пропорции** и имеет особые физические свойства (например, радиационную стойкость или сверхвысокую плотность), она может быть классифицирована как подлежащая ограничению;

2. Заявление об использовании :

- Трубы из вольфрамового сплава, используемые в атомной промышленности, системах вооружения или компонентах защиты спутников, обычно должны быть заявлены как чувствительные материалы;

3. Соответствующие правила :

- Он охватывает такие правила, как Вассенаарские соглашения, Правила контроля за экспортом товаров и технологий двойного назначения из Китая,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Правила экспортного администрирования США (EAR) и Регламент ЕС о товарах двойного назначения.

Если товары идентифицированы как чувствительные, экспортеру обычно необходимо заранее подать заявку на получение экспортной лицензии или предоставить сертификат конечного пользователя .

II. Основные виды транспорта и требования к таможенному оформлению

1. Выберите вид транспорта

Трубы из вольфрамового сплава обычно транспортируются следующими способами в зависимости от веса, класса точности, времени доставки и места назначения:

Вид транспорта	Применимые ситуации	Функции
Морские перевозки	Крупнообъемный экспорт, чувствительный к затратам	Низкая стоимость доставки, длительный цикл, необходимость усиления влагостойкости
воздушный транспорт	Высокая добавленная стоимость, небольшая партия, срочный заказ	Быстрая транспортировка, высокие требования к таможенному оформлению и более строгая упаковка
Наземный транспорт (трансграничный)	Азия/Соседние страны	Таможенное оформление удобно, но необходимо учитывать правила пограничного контроля.

2. Документы для таможенного оформления импорта и экспорта

- Счет -фактура
- Товарная накладная
- Коносамент / Авианакладная
- Сертификат происхождения (CO)
- Сертификат материала (МТС)/Руководство по продукту
- Лицензия на импорт и экспорт или разрешение на двойное назначение (если применимо)

Особое примечание: Если трубы из вольфрамового сплава используются в военной сфере, атомной энергетике, авиации и других областях, таможенные органы страны назначения могут потребовать подробные описания технических параметров и декларации конечного пользователя.

3. Международные стандарты упаковки и транспортировки труб из вольфрамовых сплавов

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Чтобы трубка из вольфрамового сплава не деформировалась, не окислилась и не повредилась при транспортировке на большие расстояния, ее упаковка должна соответствовать международным нормам и стандартам грузоперевозок:

1. Принципы дизайна упаковки

- **Прочность на сжатие и удар** : используйте деревянные ящики, металлические бочки или сотовые картонные коробки, содержащие амортизирующие материалы, такие как вспененный полиэтилен, пена и т. д.
- **Защита от влаги и окисления** : вакуумная упаковка или добавление осушителя, внешний слой покрывается водонепроницаемой пленкой;
- **Четкая маркировка** : четкая маркировка «Трубки из вольфрамового сплава», номер детали, вес, размер, поставщик, пункт назначения, меры предосторожности и т. д.
- **Этикетка соответствия** : Если речь идет о военном использовании, должна быть прикреплена этикетка для перевозки грузов двойного назначения .

2. Соответствующие международные стандарты

- Рекомендации ООН по перевозке опасных грузов
- Правила перевозки опасных грузов ИАТА (например, воздушным транспортом)
- МСФМ 15 (Экспортный стандарт фумигации деревянных ящиков)
- Спецификации испытаний упаковки ASTM B777 или GB/T 4169 (для изделий из вольфрамовых сплавов)

IV. Ключевые моменты предотвращения и контроля рисков при транспортировке

Тип риска	Контрмеры
Деформация столкновения/сплющивания	Принять усиленную конструкцию разделения типа кронштейна/рукава
Коррозия во влажной среде	Вакуумная упаковка + осушитель + индикаторная карточка влагостойкости
Таможенное задержание товаров	Подайте заявку на экспортную лицензию и подачу технических данных заранее
Включено в список конфиденциальных данных	Точно указывайте название продукта, его назначение и конечного пользователя, чтобы избежать санкционных рисков.
задержки доставки	Выберите надежную логистическую компанию и обеспечьте полный спектр услуг по отслеживанию и таможенному оформлению.

V. Типичные случаи регулирования в стране назначения

- **Материковый Китай** : Перед экспортом изделия из вольфрама должны быть одобрены Министерством торговли и включены в «Каталог лицензий на экспорт товаров и технологий двойного назначения».

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Соединенные Штаты** : могут применяться меры контроля серий EAR 99 или 600, а необходимость экспортной лицензии зависит от свойств и предполагаемого использования сплава.
- **Страны ЕС** : должны соблюдать Регламент ЕС о товарах двойного назначения и требования регистрации REACH.
- **Индия, Россия, Ближний Восток и другие регионы** : некоторые страны требуют предоставления инструкций по доставке специальных сплавов и усиливают проверки безопасности на этапе таможенного декларирования.

краткое содержание

Трубы из вольфрамовых сплавов требуют соблюдения множества требований, включая металлические материалы, стратегические материалы и продукцию двойного назначения. Компании, организующие трансграничные перевозки, должны внимательно следить за политикой страны назначения и разработать комплексные процедуры соблюдения требований. Компаниям рекомендуется сотрудничать с **экспедиторами/таможенными брокерами, имеющими опыт в международной торговле металлами**, а также вести тщательный учет упаковки, деклараций, лицензирования и прослеживаемости для обеспечения безопасности, эффективности и соответствия труб из вольфрамовых сплавов при международной перевозке.

8.4 Таможенный контроль и подача заявки на получение лицензии на экспорт труб из вольфрамового сплава

Трубы из вольфрамовых сплавов, являясь высокоэффективным конструкционным металлом, широко используются в таких высокотехнологичных отраслях, как атомная энергетика, военная промышленность, аэрокосмическая промышленность, медицина и электроника. Некоторые продукты также обладают определёнными стратегическими свойствами. Поэтому при экспорте труб из вольфрамовых сплавов компании обязаны строго соблюдать таможенные правила и требования соответствующих систем экспортного контроля страны своего нахождения, а также подавать заявки на получение соответствующих экспортных лицензий и таможенных деклараций в зависимости от характеристик продукции. Экспортные процедуры особенно строгие, если трубы из вольфрамовых сплавов предназначены для чувствительных применений или являются товарами двойного назначения.

1. Код ТН ВЭД и нормативные характеристики труб из вольфрамовых сплавов

При экспортном декларировании трубы из вольфрамовых сплавов должны быть правильно классифицированы в соответствии с кодом ТН ВЭД. Для экспорта из материкового Китая общепринятыми являются следующие классификации:

- **8101.99.10** (Прочий вольфрам и его изделия)
- **8101.99.90** (Прочие изделия из вольфрама, включая сплавы)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Конкретный код присваивается на основе **состава сплава изделия, стадии обработки (порошок, труба, пруток) и области применения** . Точная классификация поможет избежать возвратов заказов, таможенных задержек и незаконных уведомлений.

Трубы из вольфрамовых сплавов часто указываются в следующих нормативных характеристиках:

- **Список товаров и технологий двойного назначения** : если применимо к военной или ядерной промышленности;
- **Список стратегических материалов** : содержит специальные трубы из вольфрамового сплава высокой плотности;
- **Каталог управления экспортными лицензиями** : высококачественные металлические изделия, подпадающие под национальные экспортные ограничения.

2. Основные типы лицензий на экспорт труб из вольфрамовых сплавов

В зависимости от политики страны-экспортера (например, Китая) компаниям может потребоваться подать заявку на получение следующих типов лицензий перед экспортом труб из вольфрамовых сплавов:

Название лицензии	Применимые сценарии	компетентные органы
Лицензии на экспорт товаров и технологий двойного назначения	Включающие двойное назначение, чувствительные цели и высокоплотные вольфрамовые сплавы	Управление по товарам двойного назначения Министерства торговли
Генеральная экспортная лицензия	Нечувствительные трубки из вольфрамового сплава, большие объемы или специальные назначения	Министерство торговли или местное бюро содействия торговле
Уведомление и подача документов на экспорт продукции военного назначения	Корпуса, защитные пластины, гильзы и т. д. из военного вольфрамового сплава.	Государственное управление по науке, технологиям и промышленности в интересах национальной обороны
Сертификат конечного пользователя	Обязательные вспомогательные материалы для экспорта в определенные регионы	Предоставлено иностранными или военными заказчиками

3. Процесс декларирования экспорта труб из вольфрамового сплава

1. **Подтверждение свойств продукта** : определение того, является ли трубка из вольфрамового сплава материалом двойного назначения или стратегическим материалом;
2. **Предварительная подача/ регистрация** :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- o Подать заявку на регистрацию экспортной продукции в компетентный коммерческий департамент;
- o Предприятия-экспортеры должны иметь импортно-экспортные права и квалификацию для экспорта товаров двойного назначения;

3. Заявка на лицензию :

- o Подать заявление на получение экспортной лицензии;
- o Прилагаются: технические характеристики, отчет об анализе компонентов, договор с заказчиком, инструкции для конечного пользователя и т. д.;

4. Проверка и одобрение :

- o Процесс утверждения обычно занимает 7–15 рабочих дней, но для некоторых продуктов может потребоваться до 30 дней.

5. Получение лицензии и экспортная декларация :

- o Только после получения разрешения вы можете подавать официальные данные таможенной декларации в Китайскую электронную портовую систему;
- o Приложите номер лицензии и бумажные документы для справки.

IV. Обзор требований к конечным пользователям и областям применения труб из вольфрамовых сплавов

Чтобы не допустить попадания труб из вольфрамового сплава в неформальные каналы или их перенаправления на военные проекты, экспортер должен гарантировать, что заказчик и конечное использование соответствуют требованиям:

- **Анкета конечного пользователя** : имя клиента, адрес и квалификационный сертификат;
- **Описание использования** : например, «для защитной конструкции медицинского ускорителя», «для научно-исследовательского экспериментального оборудования» и т. д.
- **Гарантия нерезэкспорта** : подписание письма-обязательства не перепродавать и не перенаправлять в военных целях;
- **Заказы, касающиеся США/ ЕС** : необходимо соблюдать местные правила контроля за реэкспортом (например, правила EAR по реэкспорту).

V. Особые нормативные требования в ключевых странах или регионах

Страна/регион	Специальные регулирующие пункты
США	В соответствии с правилами EAR и ITAR, некоторые вольфрамовые сплавы требуют одобрения BIS.
Евросоюз	Положение Совета ЕС о гармонизации товаров двойного назначения
Индия/Ближний Восток	Для направлений экспорта с высоким уровнем риска необходимо сосредоточиться на конечном потребителе и потоке военной обороны.
Россия/Украина	Регионы, которые в настоящее время могут находиться под санкциями, требуют комплексной оценки рисков и заявления о соответствии.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

VI. Риски и юридическая ответственность, связанные с незаконным экспортом

Если процесс экспорта труб из вольфрамового сплава включает сокрытие цели, предоставление неверного кода продукта или экспорт без разрешения, компания может столкнуться со следующими рисками:

- **Административные санкции** : штрафы, приостановление действия импортно-экспортных разрешений;
- **Уголовная ответственность** : подозрение в незаконной предпринимательской деятельности, контрабанде или создании угрозы национальной безопасности;
- **Риски международных санкций** : включение в список зарубежных организаций, замораживание средств клиентов или приостановление деятельности;
- **Потеря доверия** : влияние на отношения сотрудничества с правительствами, таможней и многонациональными клиентами.

VII. Рекомендации по соблюдению

1. **Разработать механизм классификации и идентификации экспортных товаров и** определить свойства всех изделий из труб из вольфрамовых сплавов;
2. **Привлечь профессиональных сотрудников по таможенному декларированию и** соблюдению правил торговли, которые знакомы с процедурами работы с экспортными лицензиями и декларированием;
3. **Усилить комплексную проверку иностранных клиентов** для обеспечения надлежащего использования и прозрачного потока средств;
4. **Сотрудничать с компетентными органами по вопросам отслеживания и** проверки после экспорта , а также вести полную отчетность по продажам и архивы документов;
5. **Обращайте внимание на международную ситуацию и изменения в политике** , а также заранее составляйте планы реагирования (например, заранее запасайтесь провизией и меняйте каналы транспортировки).

краткое содержание

Трубы из вольфрамовых сплавов подлежат многочисленным нормам при международном экспорте. Компании должны точно определять характеристики продукции, подавать заявки на получение соответствующих экспортных лицензий в соответствии с действующими нормами и выполнять процедуры таможенного декларирования в соответствии с законодательством. В современных условиях постоянно усложняющейся международной торговли производители и экспортеры труб из вольфрамовых сплавов должны усилить контроль за соблюдением требований, предотвращать и контролировать риски, а также неуклонно расширять свое присутствие на мировом рынке.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Глава 9. Структура промышленности и тенденции рынка труб из вольфрамовых сплавов

9.1 Обзор мировых ресурсов вольфрама и анализ цепочки производства труб из вольфрамовых сплавов

Трубы из вольфрамовых сплавов, являясь одним из ключевых представителей высокопроизводительных и плотных металлических материалов, широко используются в таких ключевых секторах, как атомная энергетика, военная промышленность, аэрокосмическая промышленность, медицина и производство высокотехнологичного оборудования. Их производство основано на использовании редкого и стратегически важного ресурса – вольфрама. Конкурентная среда и потенциал развития отрасли производства труб из вольфрамовых сплавов напрямую определяются мировыми запасами, распределением месторождений, перерабатывающими мощностями и скоординированным развитием производственной цепочки.

1. Мировое распределение ресурсов и запасов вольфрама

Вольфрам — редкий металл, крайне мало распространенный в земной коре. Его запасы сосредоточены преимущественно в нескольких странах. В настоящее время мировые запасы вольфрама оцениваются более чем в 3,5 млн тонн металла, из которых основные запасы и производственные мощности сосредоточены в следующих странах:

Страна/регион	Доля резервов	Основные районы добычи/характеристики
---------------	---------------	---------------------------------------

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Китай	>50%	Даюй в Цзянси, Яогансянь в Хунани, Байинь в Ганьсу и т. д. богаты ресурсами и имеют законченные промышленные цепочки.
Россия	6–8%	Регионы Восточной Сибири и Западного Урала богаты симбиотическими полезными ископаемыми вольфрам-молибденового ряда.
Вьетнам	5–6%	Нуи Пао богат полиметаллическими рудами вольфрама, флюорита, молибдена и висмута.
Канада	4–5%	В основном вольфрамовая руда с большим ресурсным потенциалом, но высокой стоимостью добычи.
Боливия, Великобритания, Португалия и т. д.	Небольшое количество	Имеется множество мелких и средних рудных тел, имеющих потенциал регионального освоения.

Среди них Китай является не только **крупнейшим в мире владельцем запасов вольфрама**, но и крупнейшим его производителем и экспортёром. Китай занимает лидирующие позиции в мире по технологиям разработки ресурсов, обогащения и очистки полезных ископаемых, а также глубокой переработки вольфрама.

2. Цепочка поставок сырья для труб из вольфрамового сплава

Трубы из вольфрамовых сплавов в основном состоят из **высокочистого вольфрамового порошка**, легирующих элементов (таких как Ni, Fe, Cu) и определённой доли связующего металла. Цепочка поставок сырья включает следующие основные звенья:

1. **переработка вольфрамовой руды** : вольфрамит (FeWO_4) и шеелит (CaWO_4) добываются флотацией или гравитационным разделением для получения концентрата;
2. **соединения вольфрама** : переработка концентрата в АПТ (паравольфрамат аммония) и вольфрамовую кислоту (H_2WO_4);
3. **Получение восстановительного порошка** : АРТ получает вольфрамовый порошок (W) путем восстановления водородом;
4. **Соотношение сплава** : добавьте порошок Ni, Fe или Cu, чтобы приготовить порошок сплава;
5. **Изготовление труб методом порошковой металлургии** : прессование, спекание, механическая обработка.

Каждое звено в цепочке поставок оказывает большое влияние на эксплуатационные характеристики продукта, особенно размер частиц, чистота и морфология частиц вольфрамового порошка, которые являются ключевыми факторами, определяющими эксплуатационные характеристики труб из вольфрамовых сплавов.

3. Глобальная схема промышленной цепочки производства труб из вольфрамовых сплавов

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Трубы из вольфрамовых сплавов можно разделить на три основных звена: **ресурсы и базовое сырье на верхнем уровне, технология формирования и обработки на среднем уровне и интеграция систем приложений на нижнем уровне:**

(1) Апстрим: добыча вольфрамовых ресурсов и производство порошка

- Компании-представители: China Tungsten Online, CTIA GROUP и др.
- Характеристики: Концентрированные ресурсы, ограниченная политика добычи полезных ископаемых и олигополистическая тенденция.

(2) Средний этап: подготовка вольфрамового сплава и обработка труб

- Представительные компании: CTIA GROUP, Kennametal (США), Plansee (Австрия), Mitsubishi Materials (Япония);
- Основные технологии: изостатическое прессование, прецизионное спекание, обработка внутренних отверстий и обработка поверхности.

(3) Ниже по течению: военные, авиационные, медицинские и высокотехнологичные производственные компании

- Области применения постоянно расширяются, например, корпуса ускорителей частиц высокой энергии, направляющие трубы инерциальных противовесов, кожухи радиационной защиты и т. д.
- Клиенты в основном ориентируются на кастомизацию и сертификацию и предъявляют чрезвычайно высокие требования к единообразию продукции.

4. Состояние мирового рынка и отраслевые направления труб из вольфрамовых сплавов

В настоящее время мировой рынок труб из вольфрамовых сплавов имеет следующие характеристики:

1. **Из-за высоких технических барьеров и длительных циклов сертификации заказчики в военной и аэрокосмической сферах в основном выбирают «систему начального уровня»;**
2. **Производственные мощности сосредоточены в нескольких высокотехнологичных компаниях**, таких как China Tungsten Manufacturing и немецкая Plansee ;
3. **Большинство стран Европы и Америки полагаются на импортируемый вольфрамовый порошок или полуфабрикаты из вольфрамовых сплавов для дальнейшей обработки ;**
4. **Азиатско-Тихоокеанский регион стал крупной базой переработки, производства и экспорта**, особенно Китай, где трубы из высокоплотных вольфрамовых сплавов составляют более 70% от общего объема мирового экспорта.

5. Ограничения и проблемы в производстве труб из вольфрамовых сплавов

Трубы из вольфрамовых сплавов также сталкиваются с рядом проблем:

- **Усиление контроля за экспортом ресурсов** : например, Китай ввел экспортные квоты на АПТ и вольфрамовый порошок;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Экологическое законодательство и рост цен на энергоносители** : процесс спекания является очень энергоемким, что предъявляет новые требования к контролю выбросов углерода;
- **Ограничения на передачу технологий** : технологии, связанные с военными/ядерными вольфрамовыми трубками, по-прежнему подлежат экспортному контролю;
- **Риск стабильности цепочки поставок** : особенно в условиях нестабильной международной ситуации спрос и предложение вольфрамовых ресурсов подвержены колебаниям.

VI. Развитие промышленного сотрудничества и тенденции вертикальной интеграции

По мере роста спроса на трубы из вольфрамовых сплавов ведущие компании постепенно разрабатывают вертикально интегрированные стратегии, объединяя весь процесс – от добычи полезных ископаемых до производства высококачественных компонентов – для повышения стабильности продукции, снижения затрат и усиления контроля над конечными потребителями. Такие компании, как CTIA GROUP и Xiamen Tungsten New Energy, уже интегрируют ресурсы, материалы, устройства и системы, способствуя превращению труб из вольфрамовых сплавов из «производителя материалов» в «поставщика решений для функциональных компонентов».

краткое содержание

Мировые ресурсы вольфрама высококонцентрированы, при этом Китай, в частности, обладает системными преимуществами в области ресурсов, технологий, переработки и экспорта. Будучи ключевым компонентом для высокотехнологичных приложений, цепочка поставок труб из вольфрамовых сплавов развивается в сторону глобального разделения труда и регионального сотрудничества. В перспективе позиция компании в отрасли производства труб из вольфрамовых сплавов будет определяться её комплексными возможностями в области ресурсной безопасности, технологических прорывов и расширения рынка. В следующем разделе будет более подробно проанализирован объём рынка, тенденции роста и конкурентная среда среди основных игроков.

9.2 Прогноз емкости рынка и тенденций роста спроса на трубы из вольфрамовых сплавов

Трубы из вольфрамовых сплавов – прецизионный металлический конструкционный материал с высокой плотностью, прочностью, термостойкостью и радиационной стойкостью – находят всё более широкое применение в оборонной промышленности, атомной энергетике, аэрокосмической промышленности, медицине, электронике, производстве промышленных пресс-форм и других областях. Требования рынка к эксплуатационным характеристикам и диверсификации продукции также растут с каждым годом. На фоне глобальной модернизации производственных технологий и растущего спроса на

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

высокопроизводительные функциональные материалы, отрасль производства труб из вольфрамовых сплавов переживает благоприятный период для структурного роста.

1. Текущее состояние мирового рынка труб из вольфрамовых сплавов

Согласно многочисленным исследовательским данным и информации, раскрытой отраслевыми цепочками компаний, ожидается, что к **2025 году** мировой рынок труб из вольфрамовых сплавов достигнет примерно **1,2–1,5 млрд долларов США в год**, при этом более 40% придется на высококачественные трубы для военной и ядерной промышленности. Будучи крупнейшим в мире держателем ресурсов вольфрама, Китай обеспечивает **более 65%** мирового производства труб из вольфрамовых сплавов, что дает ему конкурентное преимущество как на низкобюджетных, так и на средне-высокобюджетных рынках.

область	Годовая шкала спроса (оценочная)	Возможности приложения
материковый Китай	600–800 миллионов долларов	Военная промышленность, атомная энергетика, авиация, медицина, точное производство
Северная Америка	200–300 миллионов долларов	В основном атомная энергетика и военная промышленность, с высокой зависимостью от импорта
Европа	150–200 миллионов долларов	Медицинские и защитные материалы, аэрокосмическая промышленность
Другие страны Азиатско-Тихоокеанского региона	100 миллионов долларов+	Южная Корея и Япония широко применяют его в производстве полупроводников и оптических структур.
Ближний Восток/Африка/Южная Америка	< 0,5 млрд долларов	Начальный этап локального применения

2. Основные области применения труб из вольфрамовых сплавов в конечной стадии роста стимулируют рост

1. Для модернизации оборонного оборудования
- , включая бронебойные снаряды, инерционные направляющие трубы и защитные конструкции, стратегическое значение труб из вольфрамовых сплавов высокой плотности в военной промышленности обуславливается. Ожидается, что соответствующий сектор будет расти со **среднегодовым темпом более 8%** в период с 2025 по 2030 год.
2. Трубы из вольфрамового сплава являются превосходной альтернативой свинцовым и молибденовым трубам для **расширения ядерной энергетики и систем радиационной защиты** благодаря своей превосходной стойкости к нейтронам и гамма-излучению

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

. Ожидается, что с возобновлением использования ядерной энергии в мире и коммерциализацией малых реакторов спрос на них будет продолжать расти.

3. **Растущий**

спрос на высокопроизводительные конструктивные детали в цепочке аэрокосмической промышленности, такие как высокотемпературные направляющие трубки, компоненты инерциальной трансмиссии и комплекты управления полетом, стимулирует разработку труб из вольфрамовых сплавов в сторону облегчения и функциональности.

4. **Спрос на медицинское радиотерапевтическое оборудование растёт.**

Медицинская защита, коллиматоры гамма-излучения, ускорители электронных пучков и т.д. предъявляют чрезвычайно высокие требования к точности размеров и чистоте вольфрамовых трубок, а рынок высококачественных изделий обладает огромным потенциалом.

5. **Разрабатывается высокотехнологичное оборудование и электронные системы терморегулирования**

в областях рассеивания тепла в системах связи, охлаждения лазеров, корпусирования микросхем и т. д. Трубки из вольфрамового сплава обладают хорошей теплопроводностью и экранирующими свойствами и постепенно находят применение в бытовых и промышленных системах терморегулирования.

3. **Прогноз годового роста рынка труб из вольфрамовых сплавов (2025–2030 гг.)**

Комплексные отраслевые исследования, Международная модель разработки материалов (IMDF) и плановые оценки крупнейших компаний:

годы	Размер мирового рынка (млрд долларов США)	Среднегодовой темп роста (CAGR)
2025	12–15	Базовый год
2026	13,5–17	10–12%
2027	15–19	11–13%
2028	17–22	12–14%
2030	20–26	12–15% (совокупный рост)

Среди них **сфера медицины и ядерной энергетики** станет двумя наиболее быстрорастущими подсекторами в будущем, за которыми последуют противовесы для аэрокосмической отрасли и теплопроводность электронного оборудования.

4. **Ключевые факторы, влияющие на расширение рынка**

Факторы влияния	Положительный эффект	Потенциальные ограничения
Технологический прогресс	Улучшенный контроль размера и улучшенная плотность	Высокие требования к оборудованию и таланту
Поддержка политики	Оборонная и ядерная промышленность стимулируют снижение спроса	На экспорт влияют международные политические факторы

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Промышленное сотрудничество	Объединение восходящих и нисходящих потоков поможет масштабировать развитие	Высокие первоначальные инвестиционные затраты и длительный цикл сертификации
Гарантия ресурсов	Китай занимает доминирующее положение в области ресурсов	Колебания цен на вольфрам влияют на себестоимость продукции

5. Заключение и анализ тенденций

Подводя итог, можно сказать, что рынок труб из вольфрамовых сплавов в настоящее время движим как технологической модернизацией, так и расширением высокотехнологичных приложений. В частности, благодаря углеродной нейтральности, модернизации военного оборудования, миниатюризации оборудования для атомной энергетики и глобальному росту рынка медицинского диагностического оборудования, ожидается, что в течение следующих пяти лет среднегодовой темп роста составит двузначное число, постепенно переходя к интеллектуальному производству и функциональной интеграции. Компании, осваивающие высокоточные технологии формовки и высокотехнологичные возможности сертификации для клиентов, будут выделяться на этом этапе развития отрасли.

9.3 Введение в трубку из вольфрамового сплава CTIA GROUP

СТИА GROUP, ключевой игрок в секторе новых материалов Китая, является передовым производственным предприятием, специализирующимся на исследовании, разработке, производстве и продаже высокопроизводительных материалов на основе вольфрама и продуктов их дальнейшей переработки. Компания обладает основными конкурентными возможностями и возможностями индустриализации, особенно в области труб из вольфрамовых сплавов. Используя богатые вольфрамовые ресурсы Китая и прочную основу в порошковой металлургии, компания интегрирует ресурсы вольфрамового материала как на начальном, так и на конечном этапе для создания комплексной цепочки поставок, от подготовки сырья, проектирования сплавов, прецизионной формовки до конечного использования. Компания специализируется на обслуживании производства высокотехнологичного оборудования, защиты ядерной энергетики, медицинской радиационной защиты, военных инерциальных компонентов, противовесов для аэрокосмической отрасли и высокотемпературных структурных компонентов.

1. Характеристики труб из вольфрамового сплава CTIA GROUP

Трубы из вольфрамовых сплавов, производимые CTIA GROUP, производятся с использованием передовых технологий порошковой металлургии в сочетании с методами штамповки, изостатического прессования, прецизионного спекания и термической обработки. Они отличаются стабильной производительностью, широким ассортиментом продукции и следующими существенными преимуществами:

- **Высокая плотность и точность размеров** : плотность может достигать 18,8–19,2 г/см³, с равномерной толщиной стенок и превосходным контролем внутренней и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

внешней коаксиальности , что соответствует требованиям высокоточной сборки аксессуаров.

- **Отличные механические и теплофизические свойства** : продукт обладает хорошей прочностью, ударной вязкостью, теплопроводностью и устойчивостью к высоким температурам, может служить в течение длительного времени в экстремальных условиях, таких как высокий тепловой поток и сильное излучение.
- **Широкие возможности настройки** : CTIA GROUP поддерживает индивидуальную обработку различных систем сплавов (таких как W-Ni-Fe, W-Ni-Cu), различных спецификаций и размеров (внешний диаметр от 3 мм до 200 мм), а также труб из вольфрамовых сплавов специального назначения (полые инерционные детали, микростенные направляющие трубки и т. д.) в соответствии с потребностями заказчика.
- **Современная внутренняя и внешняя обработка поверхностей** : полировка, электролитическая обработка, химическое или PVD-покрытие используются для значительного улучшения качества поверхности, стойкости к коррозии и радиационному излучению.

2. Типичные изделия из серии труб из вольфрамового сплава

Серийная модель	Система сплавов	Диапазон внешних диаметров	Инструкция по применению
ZW-TG90	W-Ni-Fe	Ф6–Ф100 мм	Боевой бронебойный, инерционный противовес
ZW-TG95	W-Ni-Cu	Ф3–Ф60 мм	Медицинская защита, структура ядерной энергетики
ZW-HHT	Высокотемпературный сплав	Ф10–Ф200 мм	Высокотемпературные трубы, тепловые полевые каналы
ZW-MP	Микротрубчатый прецизионный тип	Ф3–Ф20 мм, толщина стенки <0,5 мм	Электронная тепловая трубка, оптическая коллимация

3. Примеры применения и структура рынка

1. **Атомная энергетика** : Корпус из высокоплотного вольфрамового сплава, поставляемый CTIA GROUP, широко применяется в различных типах компонентов нейтронной защиты и трубчатых арматурных каркасах. Его эксплуатационные характеристики соответствуют требованиям CNNC и международных поставщиков оборудования для атомной энергетики.
2. **Медицинская радиотерапия** : поставка трубчатых компонентов из вольфрамового сплава с точным контролем внутреннего диаметра и высокой эффективностью поглощения излучения для систем позиционирования радиотерапии и устройств формирования пучка.
3. **Аэрокосмические инерциальные компоненты и сопла** : Изделия оснащались различными высокоточными инерциальными навигационными системами

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

управления полетом и принимали участие во многих крупных национальных аэрокосмических миссиях, отвечая требованиям условий работы с высокими нагрузками и высокой интенсивностью.

4. **Экспорт : трубы из вольфрамовых сплавов CTIA GROUP экспортируются в Европу, Америку, Японию, Южную Корею, Юго- Восточную Азию и другие страны и регионы.** Некоторые виды продукции прошли сертификацию по стандартам ASTM B777 и ISO 9001/AS9100.

4. Технологические исследования и разработки и производственные мощности

- **Система НИОКР** : создан «Исследовательский центр по технологиям проектирования труб из вольфрамовых сплавов», а также созданы совместные лаборатории с такими университетами, как Центральный южный университет и Хунаньский университет, и продолжается работа по проектированию сплавов, технологии уплотнения, формовке сваркой и другим направлениям.
- **Возможности оборудования** : Оснащенная несколькими комплектами мощного оборудования для изостатического прессования, интеллектуальными системами смешивания порошков, вакуумными печами для спекания, внутренними и внешними шлифовальными станками с ЧПУ, а также лазерными системами точного измерения и управления, компания может достичь годового объема производства почти 100 тонн труб из вольфрамового сплава.
- **Интеллектуальная трансформация производства** : CTIA GROUP внедрила цифровую систему MES и платформу отслеживания качества для содействия интеллектуальному, стандартизированному и отслеживаемому управлению производством труб из вольфрамовых сплавов.

V. Направление будущего развития

CTIA GROUP постоянно расширяет возможности применения труб из вольфрамовых сплавов в новых сценариях применения, среди ключевых областей которых:

- Конструктивные детали из вольфрамовой трубки малого модульного реактора
- Охлаждающий блок с вольфрамовой трубкой на основе проводимости для серверов 5G и искусственного интеллекта
- Гильза из ударопрочного вольфрамового сплава со специальной баллистической структурой
- пористый трубопровод из вольфрамового сплава для высокопрочного электромагнитного экранирования

В то же время компания также занимается исследованиями, разработками и продвижением экологичных процессов производства вольфрамовых сплавов (спекание без аммиака, зеленый отжиг и т. д.), а также содействует модернизации трубной продукции на основе вольфрама с целью достижения «низкого уровня карбонизации, высокой надежности и функциональности».

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Резюме: Группа компаний CTIA GROUP создала комплексную замкнутую систему в области производства труб из вольфрамовых сплавов, охватывающую исследования и разработки материалов, производство продукции и предоставление индивидуальных услуг клиентам. В будущем компания продолжит придерживаться своей миссии «интеллектуального производства высокопроизводительных вольфрамовых сплавов и обслуживания высокотехнологичного оборудования страны», продвигая трубы из вольфрамовых сплавов для достижения высокой добавленной стоимости в различных областях применения и укрепляя свои лидирующие позиции в сфере прецизионного производства вольфрамовых сплавов на мировом рынке.

9.4 Влияние колебаний цен на сырье для труб из вольфрамового сплава на структуру затрат

Являясь репрезентативным примером высокопроизводительных материалов на основе вольфрама, себестоимость производства труб из вольфрамовых сплавов зависит от ряда факторов, среди которых особенно важны колебания цен на сырье. В связи со стратегическим характером и дефицитом вольфрама, а также с тем, что трубы из вольфрамовых сплавов обычно производятся с использованием высокочистого вольфрамового порошка и связующих металлов, таких как никель, железо и медь, структура их себестоимости чрезвычайно чувствительна к конъюнктуре рынка сырья. Колебания цен на сырье не только напрямую определяют цену реализации и рентабельность труб из вольфрамовых сплавов, но и, в определенной степени, влияют на международную конкурентоспособность продукции и стабильность работы компании.

1. Характеристика колебаний цен на вольфрамовое сырье

1. Дефицит ресурсов обуславливает высокие цены.

Вольфрам считается одним из ключевых минеральных ресурсов во многих странах, а его разведанные запасы сосредоточены преимущественно в Китае, России, Канаде и Вьетнаме. Китай занимает монопольное положение, контролируя более 65% мировых запасов и производства. Следовательно, внутренний и международный контроль поставок вольфрамового концентрата, изменения в экологической политике и управление экспортными квотами существенно влияют на цены на вольфрам.

2. Циклические

колебания, такие как резкий рост цен на вольфрамовый концентрат в 2011 году, вызванный регулированием отрасли редкоземельных металлов и ограничениями на их производство. В период с 2020 по 2023 год цены на вольфрам неоднократно демонстрировали нерациональный рост из-за пандемии, энергетических кризисов и международных торговых противоречий. Более того, краткосрочные всплески спроса со стороны некоторых отраслей перерабатывающей промышленности (например, оборонной и атомной) также могут привести к дефициту предложения и периодическим ценовым аномалиям.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Учитывая значительный эффект ценовой связи с металлами, колебания цен на связующие металлы, широко используемые в трубах из вольфрамовых сплавов, такие как никель, медь и железо, также будут оказывать кумулятивное влияние на общую структуру затрат. Цены на никель часто обусловлены колебаниями цен на рынке нержавеющей стали и материалов для новых энергетических аккумуляторов, в то время как медь тесно связана с глобальными инвестициями в инфраструктуру. Хотя диапазон колебаний цен на железный порошок относительно невелик, его нельзя игнорировать при пропорциях смешивания в крупных масштабах.

2. Структура затрат на трубы из вольфрамового сплава

Согласно анализу процесса производства и расхода сырья для типичных труб из вольфрамового сплава, структуру затрат можно условно разделить на следующие части:

Статьи затрат	Диапазон пропорций	проиллюстрировать
Стоимость сырья для вольфрамового порошка	40%–55%	Зависит от содержания вольфрама в сплаве (обычно 85–97%) и рыночной цены на момент покупки.
Связующий металл (Ni/Cu/Fe)	10%–20%	Трубы из сплавов с высоким содержанием никеля (например, сплав W-Ni высокой плотности) составляют большую долю
Затраты на обработку и производство	15%–25%	Включая формование/изостатическое прессование, спекание, термообработку и отделку
Затраты на энергию и вспомогательные материалы	5%–10%	В основном вакуумное спекание, энергопотребление и охлаждающий газ и т.д.
Расходы на управление, логистику и рабочую силу	5%–10%	В зависимости от размера предприятия и степени автоматизации

Видно, что цена на сырье, особенно на вольфрамовый порошок, является определяющим фактором. При росте цены на вольфрамовый порошок на 30% общая себестоимость производства увеличится примерно на 15–20%.

3. Типичные случаи влияния колебаний цен на сырье на себестоимость

Например, с четвертого квартала 2022 года до середины 2023 года рыночная цена вольфрамового порошка выросла с 260 юаней/кг до 300 юаней/кг, увеличившись примерно на 15,4%. Если взять в качестве примера трубы из вольфрамового сплава с содержанием вольфрама 95%, то при объеме закупки сырья в 100 тонн это колебание приведет к увеличению стоимости за тонну сплава :

- Увеличение = $(300-260) \times 95\% = 38$ юаней/кг $\times 1000$ кг = 38 000 юаней/тонну
- Изменение в процентах = затраты на сырье увеличились примерно на 14–18%, а общие производственные затраты увеличились примерно на 10%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Такие колебания оказывают существенное влияние на прибыль от заказов, особенно на малых и средних предприятиях или экспортно-ориентированных предприятиях с длительными циклами заказов.

4. Стратегии реагирования предприятий по производству труб из вольфрамовых сплавов

Чтобы снизить влияние колебаний цен на сырье на структуру затрат, производители труб из вольфрамовых сплавов часто прибегают к следующим стратегиям:

1. **Создание механизма резервирования сырья и заключение стратегического соглашения о закупках.** Подписание долгосрочных соглашений о поставках с крупными горнодобывающими компаниями или участие в интеграции вольфрамовых ресурсов внутри группы позволит нам заранее зафиксировать цены на ключевое сырье и создать стратегические резервы для снижения рисков.
2. **Оптимизировать структуру продукта и конструкцию сплава** путем корректировки соотношений компонентов сплава, например, путем снижения содержания никеля, использования дешевого железа для замены части меди и т. д., чтобы уменьшить долю сырья на единицу веса и разработать больше продуктов средней плотности/функциональности для распределения давления на рынке.
3. **Повысить эффективность процесса и контроль энергопотребления в процессе производства** за счет внедрения автоматизированных систем формования, интеллектуальных систем спекания и отделки, сократить припуски на обработку и затраты на электроэнергию, а также снизить потребление энергии на единицу продукции при сохранении качества.
4. **Механизм привязки цен и гибкая конструкция условий контракта** могут быть использованы для привязки изменений цен к рынку сырья путем добавления в контракт пункта о корректировке цен, тем самым защищая норму прибыли компании.

V. Заключение

В целом, структура себестоимости труб из вольфрамовых сплавов крайне чувствительна к колебаниям цен на сырье. Дефицитность и стратегический характер ресурсов вольфрама также обуславливают зависимость цен от политики, спроса и предложения, а также международных тенденций. Поскольку такие компании, как CTIA GROUP, продолжают инвестировать в экологически чистые технологии извлечения вольфрама, использование возобновляемых ресурсов и интеллектуальное производство, их способность справляться с колебаниями цен будет укрепляться, что позволит трубам из вольфрамовых сплавов повышать производительность, расширять сферу применения и увеличивать добавленную стоимость.

9.5. Растущий спрос и направления политики в отношении труб из вольфрамовых сплавов в высокотехнологичном производстве

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

По мере углубления нового витка научно-технической революции и промышленной трансформации высокотехнологичные производственные отрасли, такие как аэрокосмическая промышленность, развитие атомной энергетики, производство современного медицинского оборудования, полупроводников и оборонная промышленность, предъявляют всё более высокие требования к передовым материалам для обеспечения большей интеграции и экстремальных эксплуатационных характеристик. Трубы из вольфрамовых сплавов благодаря своему исключительно высокому удельному весу, высокой прочности, термостойкости и радиационной стойкости являются идеальным выбором для многих ключевых компонентов. Их потенциал для применения в будущем высокотехнологичном производстве постоянно изучается, и они получают пристальное внимание и стратегическое руководство в рамках национальной политики.

1. Конкретные тенденции спроса на трубы из вольфрамовых сплавов в развивающихся отраслях высокотехнологичного производства

1. Аэрокосмические и спутниковые двигательные установки

Космические аппараты, исследовательские спутники, пилотируемые космические аппараты и другие системы требуют чрезвычайно высокой термостабильности и точности формы для таких компонентов, как системы управления потоком высокотемпературного газа, плазменная герметизация и системы управления ориентацией. Трубки из вольфрамового сплава, используемые в качестве тепловых трубок двигателей, высокоскоростных газовых каналов и корпусов инерциальных маховиков, превосходно работают в условиях сверхвысоких температур, вакуума и интенсивных термоциклических воздействий, становясь ключевым материалом, заменяющим традиционные нержавеющую сталь и титановые сплавы.

2. Ядерная энергетика и термоядерные технологии

В ядерных реакторах деления и термоядерного синтеза трубы из вольфрамовых сплавов широко используются в качестве оболочек, защитных кожухов для нейтронов, трубок жидкометаллического охлаждения и других деталей. От них требуются высокая стойкость к нейтронному излучению, теплопроводность и коррозионная стойкость. В частности, химическая инертность и термодинамическая стабильность труб из вольфрамовых сплавов являются их уникальными преимуществами в системах охлаждения жидким литием, гелием и натрием.

3. Высококачественное медицинское оборудование

В радиотерапевтическом оборудовании, ускорителях частиц, корпусах гамма-ножей и компонентах прецизионного позиционирования мишени трубки из вольфрамового сплава, благодаря своей высокой плотности, антирастесивающим свойствам и превосходной формуемости, эффективно поглощают излучение, предотвращают побочные эффекты и обеспечивают структурную стабильность. По мере перехода радиотерапевтического оборудования от прецизионной двумерной к трёхмерной терапии, предъявляются более высокие требования к точности размеров и способности экранировать магнитное поле.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. Полупроводниковое оборудование и электронная промышленность

Трубки используются в электронно-лучевых каналах, реакторах осаждения и устройствах управления пучками высокоэнергетических частиц в условиях высокого вакуума, сильных магнитных полей и термических ударов. Они требуют исключительно высокой деформационной стабильности, теплопроводности и электронейтральности для предотвращения возмущений электрического поля и накопления горячих точек. Трубки из вольфрамового сплава также постепенно находят применение в корпусах микросхем, в качестве теплопроводящих трубок и микротеплоотводов, открывая возможности для массового производства.

5. Зеленое энергетическое и водородное оборудование

В высокотемпературных топливных элементах, а также системах хранения и транспортировки водорода трубки из вольфрамового сплава обладают превосходной устойчивостью к водородному охрупчиванию и термохимической стабильностью и, как ожидается, будут служить ключевыми материалами каналов для эффективного хранения водорода и теплообмена в будущем, удовлетворяя спрос на высокопроизводительные конструкционные детали в экологически чистых и низкоуглеродных отраслях промышленности.

II. Политическое руководство и поддержка национальных стратегий

1. Продвижение национальной политики «укрепления фундамента и консолидации цепочки поставок»

В последние годы китайское правительство уделяет большое внимание проблеме дефицита ключевых базовых материалов. Вольфрамовый сплав, являясь одним из ключевых стратегических редких металлов страны, был специально включен в такие основные политические программы, как «Стратегический план по минеральным ресурсам» и «План действий по устранению дефицита базовых материалов». Трубы из вольфрамовых сплавов, благодаря своему широкому применению и высоким техническим барьерам, стали ключевым направлением исследований в рамках инициативы «Укрепление и дополнение цепочек поставок». Ведущим предприятиям рекомендуется сотрудничать по ключевым вопросам и разрабатывать высокоэффективные альтернативные продукты.

2. Поддержка энергосберегающей замены материалов высокой плотности на фоне «двойного углерода»

Трубы из вольфрамовых сплавов обеспечивают гораздо более высокую эффективность радиационной защиты, защиты и теплопроводности по сравнению с традиционными свинцом, сталью или высоколегированной нержавеющей сталью. Они отличаются лёгкостью, долговечностью и высокой термоэффективностью, что даёт естественное преимущество в энергосбережении, сокращении выбросов и экологичном производстве. Многие местные органы власти ввели специальные программы стимулирования замены традиционных энергоёмких металлургических компонентов трубами из вольфрамовых сплавов, способствуя экологичной трансформации.

3. Политика военно-гражданской интеграции поощряет распространение высокотехнологичных материалов на гражданские применения.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Китай поощряет перенос технологий производства специальных военных материалов в гражданское применение. Трубы из вольфрамовых сплавов, имеющие доказанный опыт применения в военных инерциальных компонентах, покрытиях боеприпасов и защите катетеров, постепенно выходят на рынки с высокой добавленной стоимостью, такие как промышленное приборостроение, электронное оборудование и медицинские структурные компоненты. Благодаря этой политической поддержке ряд компаний, производящих высокотехнологичные материалы, модернизировали производственные линии и перенесли технологии, что ускорило их выход на рынок.

4. Строительство крупных научно-технических объектов и основных экспериментальных площадок

Научно-исследовательские проекты, связанные с трубками, широко представлены в научно-технических проектах 14-й пятилетки, таких как «Проект первой партии демонстрационных испытаний ключевых новых материалов» и программа совместных исследований военно-гражданского значения, охватывающая исследования эксплуатационных характеристик, разработку композитных процессов и моделирование сложных условий эксплуатации. Китайская академия инженерной физики, Пятая академия аэрокосмической науки и технологий Китая, Китайская национальная ядерная корпорация и Китайская генеральная корпорация ядерной энергетики, среди прочих, уже инициировали систематические исследования и разработки, способствуя формированию замкнутой экосистемы, ориентированной на практическое применение.

3. Заключение: Стратегическая ценность отрасли производства труб из вольфрамовых сплавов продолжает расти.

На фоне модернизации высокотехнологичного производства, внедрения технологических мер безопасности и реструктуризации глобальной цепочки поставок, трубы из вольфрамовых сплавов переживают новый всплеск промышленного спроса. По мере роста требований к эксплуатационным характеристикам трубы из вольфрамовых сплавов будут играть ключевую роль в обеспечении более точного структурного контроля, реализации более сложных композитных функций и эксплуатации в более сложных условиях. Для компаний, производящих материалы, строгое следование рекомендациям политики, активизация разработки приложений и преодоление узких мест в процессах будут иметь ключевое значение для использования стратегических возможностей, предоставляемых трубами из вольфрамовых сплавов, и достижения как технологических, так и рыночных успехов.

Технические барьеры и пути углубленного развития отрасли производства труб из вольфрамовых сплавов

Трубы из вольфрамовых сплавов занимают стратегически важное положение в атомной, аэрокосмической, военной, медицинской и электронной промышленности. Однако рынок труб из вольфрамовых сплавов не является полностью открытым, характеризуется чрезвычайно высокими техническими барьерами и сложной производственной цепочкой. Долгое время на нём доминировало небольшое количество передовых компаний и научно-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

исследовательских институтов. Компании, стремящиеся выйти на рынок или расширить свои возможности по производству труб из вольфрамовых сплавов, должны досконально понимать основные барьеры на каждом этапе производственной цепочки и разрабатывать многомерный путь развития для создания замкнутой инновационной системы, охватывающей все этапы – от подготовки сырья до производства высококачественной продукции.

1. Основные технические барьеры в производстве труб из вольфрамовых сплавов

1. Технология приготовления высокочистых вольфрамовых порошков и сплавов

Характеристики труб из вольфрамовых сплавов зависят от чистоты, гранулометрического состава, сферичности и содержания кислорода в исходном порошке. В настоящее время производство высокочистого сферического вольфрамового порошка по-прежнему основано на сложных методах восстановления, распыления или плазменной сфероидизации, требующих значительных инвестиций в оборудование, высокоточного управления процессом и строгих требований к выходу готовой продукции. Некоторые основные виды оборудования и системы управления технологическим процессом по-прежнему монополизированы зарубежными технологиями.

2. Процесс формования с высокой плотностью и прессования трубчатых конструкций

Трубы из вольфрамовых сплавов должны иметь полую структуру на этапе формовки. Конструкция пресс-формы требует точного расчёта усадки внутреннего и внешнего диаметров. При этом процессы формовки, холодного или горячего изостатического прессования должны обеспечивать получение плотной заготовки без трещин. Это предъявляет чрезвычайно высокие требования к номинальному давлению оборудования, текучести порошка и контролю подачи смазки.

3. Технология высокотемпературного спекания и уплотнения в контролируемой атмосфере

Трубы из вольфрамовых сплавов необходимо спекать при температуре от 1400 до 1600 °C в строго контролируемой атмосфере (водород, инертный газ и т.д.) и парциальном давлении кислорода. Для некоторых высококачественных труб из вольфрамовых сплавов требуется спекание в вакуумно-микродавленной атмосфере водорода, дополненное вторичным горячим изостатическим прессованием (ГИП) для повышения плотности. Этот процесс имеет узкие места с точки зрения точности и безопасности.

4. Возможности глубокой обработки отверстий и обработки поверхности трубчатых деталей

Трубы из вольфрамовых сплавов представляют собой серьёзное препятствие для современных технологий. Традиционные методы токарной обработки и шлифования затрудняют обработку глубоких отверстий, а также сохранение концентричности и шероховатости внутренней стенки. Требуются специализированные процессы, такие как высокочастотное вибрационное шлифование, химическое полирование и ультразвуковая обработка. Кроме того, гальванопокрытие, PVD-покрытие и системы антиокислительных

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

покрытий для внутренних и внешних стенок также предъявляют чрезвычайно высокие требования к производственной среде.

5. Система междоменной сертификации продукции и оценки услуг неэффективна

Трубки из вольфрамовых сплавов широко используются в высокорисковых приложениях, таких как защита от ядерного излучения, плазменные двигатели и компоненты медицинской радиотерапии. К этим приложениям часто предъявляются сложные требования, включая радиационную стойкость, термическую усталость, магнитные помехи и коррозионную стойкость. Однако отсутствие комплексной системы оценочного оборудования, экспериментальных методов и стандартов испытаний сдерживало быстрое внедрение этих изделий.

2. Путь углубленного развития отрасли производства труб из вольфрамовых сплавов

Для обеспечения устойчивой конкурентоспособности в системе трубной промышленности необходимо перейти от сырья, процессов, оборудования и систем оценки к разработке приложений на различных уровнях. Ниже перечислены основные направления:

1. Вертикальная интеграция цепочки ресурсов для создания замкнутого цикла от сырья до производства труб.

Укрепить интеграцию процессов очистки вольфрамового концентрата, сфероидизации вольфрамового порошка, подготовки, регенерации и восстановления легирующего порошка для формирования экономичной и высокостабильной цепочки поставок порошка. Одновременно содействовать замене отечественного оборудования для спекания, изостатического прессования и оборудования для холодной прокатки труб для снижения системной зависимости.

2. Высокопроизводительная конструкция из вольфрамового сплава и инновационная система материалов

Проводить многомасштабное проектирование многоэлементных сплавов, разрабатывать новые системы сплавов для труб, такие как W-Ni-Fe-Cr, W-Ni-Co и W-Cu-Re, а также улучшать свойства композитов, такие как тепло- и электропроводность, коррозионная стойкость и устойчивость к магнитным помехам. Внедрять механизмы микролегирования и упрочнения дисперсией наночастиц для повышения структурной однородности и долгосрочной эксплуатационной стабильности.

3. Создание высокотехнологичной производственной платформы и интеллектуальной технологической цепочки.

Содействовать разработке интеллектуального оборудования для прессования и формовки полостей для труб из вольфрамовых сплавов, создать интегрированную производственную линию с точным контролем температуры, плазменным спеканием и горячим изостатическим прессованием, объединить промышленный ИИ и сенсорные сети для проведения прогнозирования в режиме реального времени и получения обратной связи по микроструктуре, плотности и пористости, а также создать «видимое уплотнение».

4. Создайте платформу для комплексного управления качеством и стандартной сертификации.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Содействовать включению высококачественных материалов для труб из вольфрамового сплава в стандарты авиационных/медицинских систем, такие как AS9100 и ISO13485, наладить прослеживаемость продукции и цепочки данных по контролю технологического процесса, создать экспериментальную платформу для испытаний в эксплуатации (например, высокотемпературные термические циклы, нейтронное облучение, коррозионная усталость и другие моделирования композитных материалов), а также расширить возможности международной сертификации продукции и доступа к приложениям.

5. Расширить рынки высокодоходных приложений и стимулировать инновации, ориентированные на спрос

Ориентируясь на национальные стратегические проекты и новые высокотехнологичные направления, такие как проекты ядерного синтеза, тепловые трубки космических зондов, каналы ускорителей частиц, теплоотводящие трубки электронных микросхем и т. д., мы осуществляем индивидуальную разработку трубок из вольфрамовых сплавов и совместное проектирование композитных приложений, а также способствуем переходу от «материальных продуктов» к «прикладным решениям».

III. Заключение

Производство труб из вольфрамовых сплавов не только представляет собой высокотехнологичную отрасль глубокой переработки вольфрама, но и служит ярким отражением передовых производственных возможностей Китая. Будущая модернизация промышленности больше не будет ограничиваться производством «более плотных и прочных» материалов, а будет включать в себя прорывы по всей цепочке поставок, основанные на системном взаимодействии, интеллектуальных процессах и интеграции приложений. Если ведущие компании, такие как CTIA GROUP, продолжают концентрироваться на передовых системах сплавов, интеллектуальных технологиях производства и смогут влиять на международные стандарты, они обеспечат себе прочные конкурентные позиции в мировой отрасли производства труб из вольфрамовых сплавов.

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

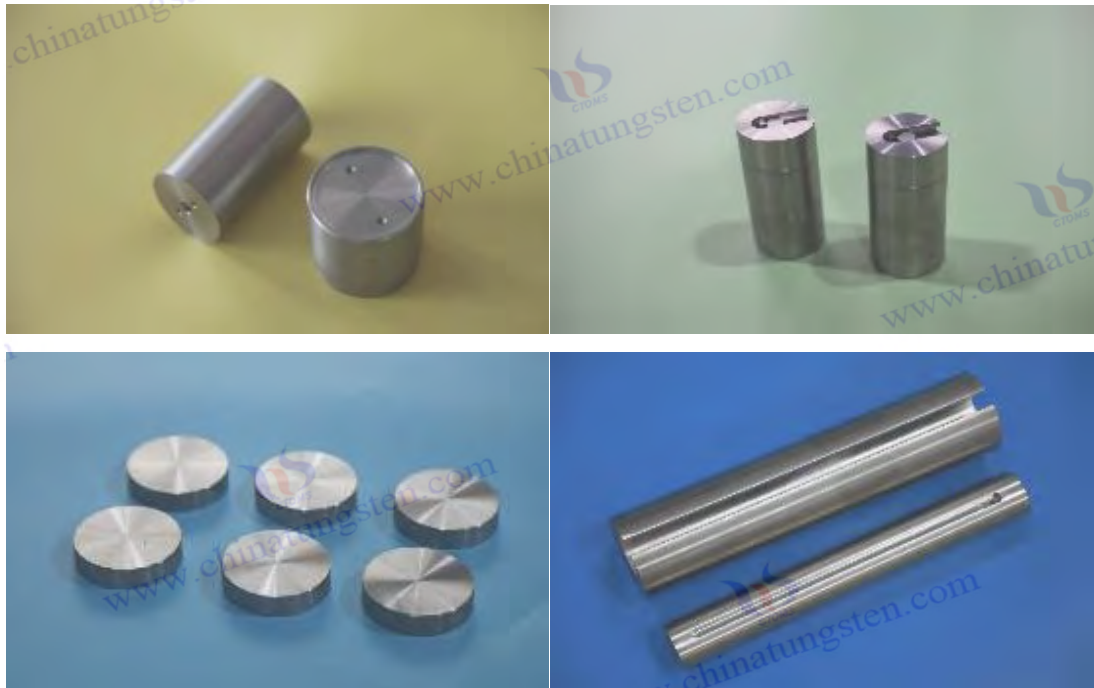
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

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 10. Границы исследований и будущее развитие труб из вольфрамовых сплавов

10.1 Исследования по высокой плотности и формовке труб из вольфрамовых сплавов сложной формы

Трубы из вольфрамовых сплавов благодаря своим превосходным физико-механическим свойствам занимают незаменимое стратегическое положение в таких областях, как атомная энергетика, авиация, медицина и электроника. Однако, чтобы соответствовать всё более строгим требованиям к условиям эксплуатации и конструкции, контроль их структурной плотности и геометрической формы стал ключевым техническим узким местом. В связи с растущим спросом на трубы из высокоплотных вольфрамовых сплавов и сложные конструкционные компоненты, исследовательские институты и компании в стране и за рубежом постоянно проводят углубленные исследования механизмов их формования, процессов уплотнения и инновационных технологий производства, способствуя эволюции материала от традиционных однородных труб к функционализированным, структурно интегрированным и многомасштабным сложным формам.

1. Значение труб из вольфрамового сплава высокой плотности

трубок из вольфрамового сплава напрямую влияет на их эффективность экранирования, механическую прочность и срок службы. В таких условиях, как высокоэнергетическое излучение, высокие перепады давления и высокий тепловой поток, пористость или локальные рыхлые области могут легко привести к термической нестабильности, снижению прочности и даже разрушению конструкции. Поэтому повышение плотности материала

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

($\geq 99,5\%$ от теоретической плотности) является не только необходимым условием для обеспечения эксплуатационных характеристик изделия, но и основополагающим требованием для достижения высокотехнологичных результатов в различных областях.

2. Основные направления и базовые технологии исследований в области высокоплотного уплотнения

1. Приготовление ультрадисперсного порошка и сферическая модификация

Необходимыми условиями для плотного формования являются высокая текучесть и однородность состава. В настоящее время исследования сосредоточены на:

- Косфероидизирующая обработка **нано-субмикронного порошка вольфрама и порошка легирующих элементов (Ni, Fe, Cu и т.д.)**;
- плазменная сфероидизация, распылительная сушка-восстановление для улучшения плотности наполнения порошка и прессуемости;
- Распределение размеров частиц и дизайн поверхностно-активного вещества для оптимизации начального состояния формования.

2. Технология прессования с высокой равномерностью

Формование и холодное изостатическое прессование (ХИП) являются традиционными процессами. Последние исследования:

- **Теплое прессование** или горячее изостатическое предварительное прессование (ТНПР) увеличивает плотность, одновременно улучшая эффективность герметизации микропор;
- Моделирование методом конечных элементов используется для оптимизации конструкции полости пресс-формы и пути прессования, а также для контроля распределения толщины стенок и соосности ;
- **многокоординатного ротационного прессования** для повышения объемной плотности и точности формы цилиндрических труб.

3. Технология уплотняющего спекания

Процесс спекания является ключевым этапом для закрытия пор и соединения зерен:

- Применение технологии **многоступенчатого спекания в вакууме и водороде и контроля переходной атмосферы** для достижения остатка с низкой пористостью;
- Изучить контроль распределения жидкой фазы в вольфрамовом сплаве для улучшения равномерного проникновения и смачивания фаз с низкой температурой плавления, таких как Ni/Fe, в трубчатых спеченных деталях;
- Небольшие добавки Mo, Re, Ti и других элементов оптимизируют путь спекания жидкой фазы и способность к миграции границ зерен.

4. Вспомогательный путь уплотнения

- ****Горячее изостатическое прессование (ГИП)**** особенно эффективно для герметизации остаточных пор внутри труб. Исследования направлены на оптимизацию интервала времени выдержки при горячем прессовании (давление, температура и т.д.).
- Методы быстрого спекания, такие как **плазменная конденсация, микроволновое спекание и искровое плазменное спекание (ИПС)**, стали передовым

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

направлением исследований для производства плотных труб из вольфрамовых сплавов;

- При изготовлении толстостенных труб высокой плотности постепенно применяется **синергическая холодно-горячая термическая обработка** (например, метод быстрого восстановления давления).

3. Исследование технологии формовки сложных труб из вольфрамовых сплавов

Вольфрамовый сплав имеет высокую стоимость традиционной механической обработки и ограниченную свободу формовки, особенно при изготовлении сложных геометрических конструкций, таких как тонкие стенки, изгибы, внутренние спирали и каналы специальной формы. Возможности формовки стали приоритетным направлением исследований и разработок.

1. Технология литья под давлением порошка (PIM)

Подходит для труб малого диаметра, тонких стенок и сложных труб из вольфрамового сплава:

- Он может производить микроструктурные компоненты, такие как трубы со спиральными канавками, разделители и трубы с рубашечным каналом;
- Изучите равномерность заполнения и процесс обезжиривания литевых форм, чтобы предотвратить растрескивание и выпадение.

2. Аддитивное производство (AM) и печать трубчатых структур

Для вольфрамовых сплавов подходят методы направленного лазерного осаждения (DED), электронно-лучевой плавки (EBM) и т. д.:

- Может осуществлять формирование **многослойной спиральной оболочки и структуры с градиентной толщиной стенки** ;
- Существующие трудности заключаются в контроле трещин, образовании пор, накоплении термических напряжений и сегрегации состава сплава.

3. Метод центробежного литья жидкого металла и нанесения внутреннего покрытия методом холодного напыления

Изучить комплексное литье полых труб и композитное формирование функциональных покрытий внутренних стенок для улучшения структурной и функциональной интеграции;

- Центробежное литье может использоваться для первоначального производства толстостенных труб из вольфрамовых сплавов;
- Технология холодного напыления комбинируется с вольфрамовым порошком и композитным порошком Cu/Ni для подготовки внутреннего проводящего и теплопроводящего слоя.

4. Интегрированное моделирование и интеллектуальное формование

Для контроля качества формовки и оптимизации конструкции **создана мультифизическая имитационная модель трубы из вольфрамового сплава** :

- Объединить реологическое формовочное поведение, поведение теплопроводности и моделирование эволюции фазового поля;
- Внедрение машинного обучения для оптимизации параметров процесса прессования и прогнозирования дефектов;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Для фитингов труб специальной формы изучается **аддитивно-субтрактивное совместное планирование производственной траектории и механизм компенсации деформаций.**

V. Заключение

Исследования в области высокоплотного прессования и формования труб сложной формы из вольфрамовых сплавов являются не только важным технологическим достижением в области обработки материалов, но и ключевым направлением для удовлетворения будущих потребностей в экстремальных условиях и реализации высокоэффективных приложений из вольфрамовых сплавов. Дальнейшие разработки будут сосредоточены на:

- Тонкая конструкция порошка и интеллектуальное управление траекторией прессования;
- Интеграция многомасштабных механизмов уплотнения спеканием и путей термообработки;
- аддитивное производство и интегрированные процессы формования композитных конструкций;
- Улучшить производственный интеллект на основе моделирования и анализа данных.

Ожидается, что прорывы в этом направлении будут в значительной степени способствовать структурным инновациям и функциональной интеграции труб из вольфрамовых сплавов в таких ключевых областях, как аэрокосмическая промышленность, атомная энергетика, военная промышленность и высокотехнологичная медицина, а также откроют новую эру в производстве новых высокопроизводительных металлических конструкционных деталей.

Интеграция аддитивного производства и интеллектуальное производство труб из вольфрамовых сплавов

Трубы из вольфрамового сплава, передового материала, сочетающего в себе высокую плотность, высокую температуру плавления, высокую прочность и превосходную коррозионную стойкость, находят все более широкое применение не только в ядерной и военной промышленности, но и в таких новых высокотехнологичных секторах, как аэрокосмическая промышленность, медицинское оборудование, электронная защита и энергетические системы. Эти области применения не только предъявляют более высокие требования к характеристикам труб из вольфрамового сплава, но и создают новые проблемы с точки зрения сложности формовки, эффективности производства и стабильности продукции. Традиционные методы порошковой металлургии и механической обработки продемонстрировали ограничения в достижении сложной геометрии, улучшении использования материала и сокращении циклов НИОКР. Поэтому комплексное применение **аддитивного производства (AM) и интеллектуальных производственных технологий становится ключевым направлением технологических инноваций в производстве труб из вольфрамового сплава .**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. Преимущества и значение аддитивного производства труб из вольфрамовых сплавов

По сравнению с традиционными процессами резки или формовки + спекания основные преимущества аддитивного производства при изготовлении труб из вольфрамовых сплавов отражаются в следующих аспектах:

- **Высокая способность формировать сложные конструкции** : позволяет напрямую изготавливать полые конструкции специальной формы со спиральными внутренними канавками, секциями переменного диаметра, композитными каналами и т. д., а также реализовывать проектирование трубчатых конструкций из вольфрамового сплава, которые трудно обрабатывать традиционными процессами.
- **Экономьте материалы и потребление энергии** : сокращайте отходы материалов, особенно подходит для эффективного использования дорогостоящих металлических ресурсов, таких как вольфрам.
- **Персонализация и быстрое производство: размер, толщина стенок и структура** труб из вольфрамового сплава могут быть быстро изменены в соответствии с конечным использованием, что снижает зависимость от пресс-формы.
- **Усовершенствованный контроль микроструктуры** : контролируя скорость закалки, путь осаждения и т. д. с помощью параметров процесса, можно добиться проектирования и улучшения многомасштабного градиента микроструктуры.

2. Основные технологические пути аддитивного производства труб из вольфрамовых сплавов

1. Селективная лазерная плавка (СЛП)/электронно-лучевая плавка (ЭЛП)

- Подходит для изготовления малогабаритных, высокоточных тонкостенных трубчатых деталей из вольфрамового сплава.
- Позволяет получать полые структурные детали с толщиной слоя порошка 20–50 мкм и точностью печати $\pm 0,05$ мм.
- Однако из-за высокой теплопроводности и чрезвычайно высокой температуры плавления вольфрамового сплава (>3400 °C) его необходимо **эксплуатировать на высокотемпературной платформе предварительного нагрева, в инертной атмосфере или в вакуумной среде** для уменьшения трещин и остаточных напряжений.

2. Направленное энергетическое осаждение (DED)/лазерная наплавка

- Подходит для трубных заготовок из вольфрамового сплава среднего и большого размера, а также для локального ремонта конструкций.
- Металлический порошок/проволоку можно наносить слой за слоем с помощью лазера или электронного луча, **формируя полый цилиндр почти заданного размера**.
- Он обладает такими преимуществами, как высокая эффективность подготовки, высокий коэффициент использования материала и высокая степень приспособляемости, и применяется при изготовлении некоторых военных и аэрокосмических композитных корпусных конструкций.

3. Холодное распыление + Постобработка

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Порошок вольфрамового сплава наносится на подложку с помощью высокоскоростного газа-носителя, образуя трубчатую структуру, которая подходит для изготовления внутреннего слоя или функционального слоя композитных **труб из вольфрамового сплава**.
- Последующая термообработка или горячее изостатическое прессование могут дополнительно повысить плотность и прочность соединения.
- Холодное распыление особенно подходит для изготовления среднего слоя **труб из композитных материалов из вольфрамовой меди и вольфрамоникеля** и обладает такими преимуществами, как малая зона термического влияния и низкое остаточное напряжение.

4. Композитное аддитивное + субтрактивное совместное производство

- Сочетание аддитивного производства с обработкой на станках с ЧПУ (например, расточкой внутренних отверстий и шлифовкой наружных стенок) позволяет добиться **высокоточной и плотной подготовки труб**.
- Для достижения стабильного серийного производства можно использовать гибридную технологическую цепочку «аддитивное формование + обрезка с ЧПУ + уплотнение ГИП».

3. Основные технологические пути интеллектуального производства труб из вольфрамовых сплавов

Благодаря развитию цифровизации и интеллектуализации производственных технологий производство труб из вольфрамовых сплавов постепенно интегрируется в парадигму «**Индустрия 4.0**». Основные направления развития интеллектуального производства включают:

1. Сбор данных о процессе из нескольких источников и обратная связь в режиме реального времени

- **Мониторинг температуры, мощности и деформации процесса осаждения в режиме реального времени** осуществляется с помощью высокотемпературных камер, оптических мониторов и датчиков теплового потока;
- Выявляйте дефекты материала, такие как абляция, отверстия, трещины и т. д., в режиме реального времени и предоставляйте обратную связь для корректировки параметров.

2. Моделирование процессов и интеллектуальная оптимизация процессов

- Создать **имитационную модель поведения расплавленной ванны порошка вольфрамового сплава** под воздействием высокоэнергетического пучка;
- Использовать алгоритмы искусственного интеллекта (например, нейронные сети, байесовскую оптимизацию) для прогнозирования оптимальных путей, плотности энергии и скорости сканирования;
- Реализуйте автоматическое планирование пути печати и прогнозирование сбоев.

3. Создание цифрового двойника и замкнутой системы управления

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- С помощью трехмерного цифрового моделирования и отображения статуса печати в реальном времени создается виртуально-реальная система сплавления для аддитивного производства труб из вольфрамового сплава ;
- Он реализует такие функции, как прогнозирование дефектов, моделирование производительности и отслеживание процесса в обратном направлении, обеспечивая гарантии контроля постоянства качества.

4. Гибкие производственные мощности и построение интеллектуальных производственных линий

- возможностями «самоидентификации, самокоррекции и самонастройки»;
- Реализовать полную автоматизацию замкнутого цикла процесса изготовления труб из вольфрамового сплава: от подачи порошка, аддитивного формования, термической обработки до испытаний и упаковки .

IV. Проблемы развития и перспективы на будущее

Хотя аддитивное производство и интеллектуальное производство открывают большие возможности для изготовления труб из вольфрамовых сплавов, на пути индустриализации по-прежнему существует множество проблем:

- **приспособляемость порошка** : приготовление сферического и высокочистого порошка вольфрамового сплава является сложным и дорогостоящим процессом.
- **Трещины и поры трудно контролировать** : высокая температура плавления приводит к неравномерному охлаждению, что легко приводит к образованию дефектов, и требует оптимизации плотности энергии и стратегии осаждения.
- **Высокие требования к специализации оборудования** : система печати должна адаптироваться к высокотемпературному и высокоплотному осаждению металла, а затраты на инвестиции в оборудование высоки.
- **Стандарты и система оценки еще не совершенны** : в частности, необходимо установить стандарты оценки структурной прочности и усталостной долговечности для труб специальной формы из вольфрамовых сплавов.

В будущем мы должны продвигать производство труб из вольфрамовых сплавов от «лабораторного аддитивного производства» до «масштабного интеллектуального производства» посредством комплексного проектирования материалов, процессов и структур, оптимизации на основе данных и совершенствования системы стандартов для удовлетворения насущных потребностей высокотехнологичного производства страны и стратегически развивающихся отраслей.

Подводя итог, можно сказать, что интеграция

аддитивного и интеллектуального производства труб из вольфрамовых сплавов значительно повысит их адаптируемость к сложной конструкции, гибкость производства и стабильность эксплуатационных характеристик, став основным направлением разработки следующего поколения высокопроизводительных трубных фитингов на основе вольфрама. По мере развития технологии и расширения ее применения ожидается, что в течение следующих пяти лет будет создана передовая система производства труб из вольфрамовых сплавов,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

характеризующаяся многотехнологической интеграцией, взаимодействием в рамках отраслевой цепочки и стандартизированной поддержкой. Это поможет Китаю добиться независимого контроля над ключевыми материалами в таких областях, как аэрокосмическая промышленность, атомная энергетика и стратегическая оборона.

10.3 Комплексная разработка и расширение применения многофункциональных композитных труб из вольфрамового сплава

Композитные трубы из вольфрамовых сплавов привлекают всё большее внимание в секторе высокотехнологичного производства. По сравнению с традиционными однокомпонентными трубами из вольфрамовых сплавов, многофункциональные композитные трубы из вольфрамовых сплавов обладают превосходными преимуществами с точки зрения состава материала, механической структуры, функциональной интеграции и эксплуатационных характеристик. Целью их разработки является не только сохранение фундаментальных свойств вольфрамового сплава, таких как высокий удельный вес, высокая температура плавления и высокая прочность, но и внедрение функциональных модулей, таких как теплопроводность, антимагнетизм, электромагнитное экранирование, коррозионная стойкость и износостойкость, благодаря композитной конструкции, отвечающей разнообразным требованиям сложных условий эксплуатации.

1. Базовая концепция конструкции многофункциональной композитной трубы из вольфрамового сплава

1. Принцип синергии структуры и функции

Композитные трубы из вольфрамового сплава больше не ограничиваются механической нагрузкой, а подчёркивают **интеграцию структуры и функции**. Например, внешний слой обладает высокой твёрдостью и коррозионной стойкостью, обеспечивая защиту, средний слой оптимизирует теплопроводность или антимагнитные свойства, а внутренний слой обеспечивает электропроводность или биосовместимость.

2. Градиент материала и проектирование интерфейса

Используя ****функционально градиентные материалы (FGM)**** или многослойные композитные структуры, оптимизируется согласование теплового расширения и переход напряжения между различными металлами (такими как вольфрам-медь, вольфрам-никель-железо, вольфрам-молибден и т. д.), что снижает риск расслоения интерфейса и распространения трещин.

3. Синергетическая оптимизация ингредиентов и производительности

Учитывая требования к теплопроводности труб, их электрическим свойствам, магнитной реакции, коррозионной стойкости и т. д., для достижения синергетического улучшения эксплуатационных характеристик применяются **проектирование композитных материалов, регулирование микролегирования, упрочнение дисперсией наночастиц и другие средства.**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Типичные типы многофункциональных композитных труб из вольфрамового сплава

Тип структуры	Функции	Типичные применения
Коаксиальная многослойная композитная трубка (типа W-Cu-W)	Внутренняя теплопроводность, внешняя защита	Рассеивание тепла от высокочастотного источника питания, система терморегулирования космического аппарата
Градиентная функциональная трубка (например, W→W-Ni→W-Cu)	Устойчив к тепловому удару и обладает хорошей структурной прочностью	Корпус хвостового отсека ракеты, элементы управления реактором
Металлокерамические композитные трубки (например, W-ZrO ₂)	Высокотемпературная, антиокислительная, антирадиационная защита	Плазменные сосуды, компоненты ускорителей
Многожильная канальная композитная трубка (например, сердечник W-Cu + оболочка W-Ni)	Многофункциональная, проводимость, электромагнитное экранирование	Медицинское оборудование, устройства доставки пучка частиц
Покрытие поверхности композитной трубы (например, труба W + покрытие TiN)	Износостойкий и коррозионностойкий	Высокоскоростная механическая передача, износостойкий трубопровод

3. Ключевые технологии подготовки и формовки

1. Прессование композитов методом порошковой металлургии

посредством послойного заполнения или сегментированного предварительного прессования, а хорошее соединение интерфейсов достигается посредством горячего прессования и спекания.

2. Коаксиальная экструзия

Применяется для композитных труб из вольфрамового сплава со структурой «сердцевина-оболочка», обеспечивая синхронную деформацию и пластическое согласование интерфейса нескольких материалов в процессе формования.

3. Холодное напыление и лазерная наплавка

Используется для нанесения функциональных покрытий (таких как радиационно-стойкая керамика, проводящие сплавы и т. д.) на внешнюю или внутреннюю стенку трубки с целью достижения локального укрепления и интеграции поверхностных функций.

4. Аддитивное производство

Интегрированное формование сложных функциональных композитных труб может быть достигнуто с помощью многокомпонентных платформ 3D-печати (таких как двухпорошковая SLM или DED), которые обеспечивают большую свободу проектирования.

5. Уплотнение методом горячего изостатического прессования (ГИП)

Повышение прочности соединения и общей плотности соединения является ключевым этапом в массовом производстве композитных труб из вольфрамового сплава.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. Типичные области применения и расширения многофункциональных композитных труб из вольфрамового сплава

1. Ядерная энергетика и термоядерные устройства

- Используется для направляющих трубок нейтронной защиты, втулок регулирующих стержней и защитных трубок охлаждающего контура ;
- Композитная конструкция позволяет значительно повысить термостойкость и радиационную стойкость;
- Композитные конструкции типа W-Cu-ZrO₂ широко используются в трубопроводах атомной теплоэнергетики.

2. Аэрокосмические системы

- Используется для высокотемпературных направляющих труб двигателей, противовесов самолетов и защитных каналов ;
- Трубки W-Ni-Cu обеспечивают высокую прочность и хорошие показатели терморегулирования;
- Внутренний сердечник из теплопроводящего материала + внешний слой из высокопрочного вольфрамового сплава стали тенденцией.

3. Военная и баллистическая защита

- Применяется для направляющих трубок боеприпасов высокой пробиваемости, компонентов инерциальной навигации и пуленепробиваемых корпусов ;
- Композитная структура вольфрам-молибден-никель-железо обладает превосходной прочностью и ударопрочностью.

4. Медицинские приборы и радиационная защита

- Изготовление позиционирующих трубок для гамма- и рентгенотерапии и каналов пучков частиц ;
- Внутренний слой из вольфрамово-медного композита используется для улучшения теплоотвода и рассеивания поглощения энергии.

5. Передовая электроника и квантовые устройства

- Используется в микроволновых каналах, защитных кожухах и антимагнитных трубчатых конструкциях ;
- Композитная теплопроводящая и антимагнитная структура может улучшить стабильность и помехоустойчивость.

V. Будущие технологические тенденции и проблемы

1. Точный контроль интерфейса

Композитные трубы отличаются высоким качеством связи между различными материалами . В будущем необходимы углубленные исследования диффузии элементов, фазовых переходов на границе раздела и механизмов контроля остаточных напряжений.

2. Многофункциональный интегрированный инструмент проектирования

Разработать платформу моделирования многофизических полей для реализации комплексной оценки и структурной оптимизации механических, термических, магнитных и радиационных свойств композитных труб.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Улучшенная способность к формированию больших композитных труб специальной формы

Для удовлетворения потребностей крупногабаритных и сложных конструкций необходимо разработать высокопроизводительные системы аддитивного производства и высокоточные системы формования сердечников.

4. Оценка производительности высокой пропускной способности и установление стандарта

В настоящее время отсутствуют систематические стандарты испытаний и оценки эксплуатации многофункциональных композитных труб из вольфрамовых сплавов, что ограничивает их популяризацию в таких востребованных отраслях, как атомная энергетика и военная промышленность.

Заключение: Комплексная разработка

многофункциональных композитных труб из вольфрамовых сплавов представляет собой фундаментальный сдвиг в применении вольфрамовых сплавов от «отдельных конструкционных материалов» к «высокопроизводительным многофункциональным материалам с сопряженными характеристиками». Эта технология охватывает междисциплинарный подход, включающий проектирование материалов, формование композитов, контроль интерфейса и многофункциональную оценку. Это стратегический ключ к глубокому проникновению вольфрамовых материалов в высокотехнологичные производственные системы. С развитием технологических платформ, производственных возможностей и стандартов композитные трубы из вольфрамовых сплавов будут играть незаменимую роль в таких ключевых отраслях, как атомная энергетика, аэрокосмическая промышленность, квантовая информатика и прецизионная медицина.

10.4. Изменение эксплуатационных характеристик труб из вольфрамовых сплавов в экстремальных условиях эксплуатации

Трубы из вольфрамовых сплавов, являясь ключевым материалом с высоким удельным весом и прочностью, широко используются в различных экстремальных условиях эксплуатации, включая аэрокосмическую промышленность, атомную энергетику, военную промышленность и медицину. Эти экстремальные условия обычно характеризуются сложными условиями, такими как высокая температура, высокое давление, высокая радиация, сильная коррозия и механические нагрузки. Изменение характеристик труб из вольфрамовых сплавов в таких условиях влияет не только на их конструктивную безопасность и срок службы, но и напрямую на надежность и стабильность системы в целом. В следующем анализе рассматриваются механизмы изменения характеристик и стратегии снижения влияния на характеристики труб из вольфрамовых сплавов с учетом ключевых факторов экстремальных условий эксплуатации.

1. Изменение производительности в условиях высоких температур

1. Тепловое расширение и термическая усталость

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Трубки из вольфрамовых сплавов подвергаются тепловому расширению при высоких температурах. Эта разница в расширении между вольфрамом (имеющим более низкий коэффициент теплового расширения) и металлической связующей фазой (например, никелем, железом и медью) приводит к возникновению внутренних термических напряжений. Длительные циклические изменения температуры могут спровоцировать зарождение и распространение микротрещин, приводящих к термическому усталостному разрушению. На микроскопическом уровне это приводит к укрупнению зерен и усилению межфазной диффузии, что снижает прочность и плотность материала.

2. Высокотемпературное окисление и коррозия

Вольфрам окисляется при высоких температурах на воздухе или в кислородсодержащих средах, образуя оксиды, такие как WO_3 , что может привести к охрупчиванию поверхности и снижению качества. Другие компоненты сплава (никель и железо) также могут ускорять процесс окислительной коррозии. Открытая поверхность после отслоения оксидного слоя ускоряет коррозию, снижая общую долговечность трубы.

3. Стабильность кристаллической структуры

При высоких температурах кристаллическая структура вольфрамовых сплавов претерпевает фазовые превращения или растворение упрочняющих фаз, что влияет на твердость и вязкость. Некоторые упрочняющие фазы обладают низкой высокотемпературной стабильностью, что приводит к снижению общих механических свойств сплава.

2. Повышение эффективности работы в условиях высокой радиации

1. Точечные дефекты и дислокации, вызванные облучением

В условиях радиации, например, в ядерных реакторах, высокоэнергетические нейтроны или гамма-излучение могут вызывать дефекты кристаллической решетки, вакансии и появление межузельных атомов, что приводит к искажению кристаллической структуры и влияет на пластичность и прочность сплава. Радиационное упрочнение также делает материал хрупким, увеличивая риск разрушения.

2. Фазовые превращения и осаждение под действием облучения

Энергия излучения может также вызывать фазовое превращение, осаждение или агломерацию второй фазы в сплаве, изменяя микроструктуру материала и дополнительно влияя на механические свойства и коррозионные свойства.

3. Условия высокой механической нагрузки и удара

Трубы из вольфрамовых сплавов в процессе эксплуатации часто подвергаются ударным, вибрационным и циклическим нагрузкам. Несмотря на их значительные преимущества в плотности и прочности, длительная механическая усталость может привести к распространению трещин и усталостному разрушению. Микротрещины распространяются по границам зерен, особенно под комбинированным воздействием высокой температуры и радиации.

4. Воздействие сильной коррозионной среды

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

В кислых, щелочных или хлоридсодержащих коррозионных средах на поверхности труб из вольфрамовых сплавов могут образовываться микроскопические коррозионные язвы, что приводит к повышению шероховатости поверхности, локальной концентрации напряжений и ускорению образования усталостных трещин. Электрохимическая активность таких компонентов сплава, как никель и железо, оказывает значительное влияние на общую коррозионную стойкость.

5. Комплексный механизм и прогнозирование снижения производительности

Вольфрамовые трубы из сплава являются результатом взаимодействия вышеперечисленных факторов, представляя собой нелинейный и сложный динамический процесс. Типичные механизмы включают:

- Зарождение и рост трещин, вызванные термомеханическим сопряженным напряжением;
- Микроструктурная эволюция, вызванная синергетически облучением и теплом;
- Влияние поверхностного оксидного слоя и образования продуктов коррозии на механические свойства;
- Внутренние дефекты материала накапливаются, а вязкость разрушения снижается.

Мультифизическое моделирование на основе механизмов стало важным инструментом для прогнозирования изменения эксплуатационных характеристик и оценки срока службы труб из вольфрамовых сплавов.

6. Стратегии реагирования и направления оптимизации материалов

Для повышения стабильности работы труб из вольфрамовых сплавов в экстремальных условиях обычно предпринимают следующие меры:

- Разработать высокостабильный состав сплава, препятствующий укрупнению зерна и растворению упрочняющей фазы;
- Технология нанесения поверхностного покрытия (керамическое покрытие, антиокислительная пленка) для предотвращения окислительной коррозии;
- Микролегирование и наноструктурное упрочнение для повышения радиационной стойкости и механической прочности;
- Оптимизировать процесс термообработки и скорректировать распределение остаточных напряжений;
- Разработать высокотемпературные и радиационно-стойкие композитные вольфрамовые сплавы для обеспечения многоуровневой защиты.

VII. Резюме

Трубы из вольфрамовых сплавов в экстремальных условиях эксплуатации демонстрируют высокую сложность и изменчивость. Глубокое понимание многополевого взаимодействия тепла, излучения, механических сил и химических реакций является ключом к оптимизации конструкции материала и обеспечению безопасной эксплуатации. В будущем интеграция передовых концепций проектирования материалов и технологий интеллектуального моделирования будет способствовать разработке труб из вольфрамовых сплавов с более

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

высокими эксплуатационными характеристиками, увеличенным сроком службы и более широким спектром применения, отвечая высоким требованиям аэрокосмической отрасли, атомной энергетики и высокотехнологичных отраслей промышленности.

10.5 Стратегия устойчивого развития и исследования альтернативных материалов для труб из вольфрамовых сплавов

В связи с растущим глобальным акцентом на устойчивое использование ресурсов и защиту окружающей среды, устойчивое развитие производства труб из вольфрамовых сплавов, являющихся важными высокоэффективными материалами, стало одним из ключевых направлений внимания отрасли. Ограниченность запасов вольфрама, воздействие его добычи на окружающую среду, а также проблемы энергопотребления и утилизации отходов, связанные с производством и переработкой труб из вольфрамовых сплавов, побудили промышленность и научно-исследовательские институты активно изучать экологичные методы производства, системы переработки и разработку альтернативных материалов для труб из вольфрамовых сплавов. В данной статье подробно рассматриваются стратегии устойчивого развития в области труб из вольфрамовых сплавов и текущее состояние исследований в области альтернативных материалов.

1. Использование ресурсов труб из вольфрамового сплава и стратегия круговой экономики

1. Оптимизация и эффективное использование сырья

Ресурсы вольфрамовой руды сосредоточены и ограничены по запасам. Эффективное использование вольфрамового сырья имеет основополагающее значение для устойчивого развития производства труб из вольфрамовых сплавов. Оптимизируя процесс приготовления порошка, увеличивая плотность сплава и сокращая потери при обработке, мы можем максимально использовать сырье. Использование высокочистого вольфрамового порошка с низким содержанием примесей способствует улучшению характеристик сплава и снижению трудностей, связанных с последующей обработкой.

Переработка и повторное использование отходов труб из вольфрамовых сплавов

Мы создали комплексную систему переработки труб из вольфрамовых сплавов, извлекая вольфрам из отходов физическими и химическими методами, что обеспечивает повторное использование ресурсов. Процесс переработки включает механическое дробление, измельчение, химическое выщелачивание и рафинирование, что гарантирует соответствие качества полученного вольфрамового порошка требованиям вторичной переработки. Мы также разрабатываем экологичные технологии переработки для снижения вредных выбросов и повышения эффективности переработки.

3. Экономия энергии и снижение потребления в процессе производства

При производстве труб из вольфрамовых сплавов используются низкоэнергетические процессы формовки и спекания, такие как высокочастотный индукционный нагрев, плазменное спекание и аддитивное производство, для снижения энергопотребления и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

выбросов углерода. При этом производственные процессы оптимизируются для сокращения отходов и содействия экологичному производству.

2. Воздействие на окружающую среду и экологичное производство труб из вольфрамовых сплавов

1. Оценка экологического риска

Добыча и переработка вольфрама и его сплавов могут привести к загрязнению тяжёлыми металлами, что требует научной оценки экологических рисков. Необходимо усилить очистку сточных вод и отходящих газов, чтобы предотвратить утечки опасных веществ и обеспечить соблюдение экологических норм.

2. Продвижение технологий зеленого производства

Продвигать безвредные производственные технологии с низким уровнем выбросов, такие как водные дисперсионные системы, экологически чистые добавки и бессвинцовые методы пайки, для снижения воздействия на окружающую среду. Производители труб из вольфрамовых сплавов должны активно участвовать в сертификации систем экологического менеджмента (например, ISO 14001) для содействия устойчивому развитию.

3. Прогресс в исследованиях и разработках альтернативных материалов для труб из вольфрамовых сплавов

1. Легкие и высокопрочные металлические материалы

Для удовлетворения спроса на снижение веса изучаются высокопрочные и высокоэнтропийные сплавы на основе алюминия и магния в качестве потенциальной альтернативы вольфрамовым трубкам. Несмотря на меньшую плотность, благодаря особой конструкции сплава и поверхностному упрочнению они могут заменить вольфрамовые трубы в некоторых областях применения и снизить общий вес конструкции.

2. Высокоплотные сплавы и композиционные материалы

Сплавы на основе вольфрама-молибдена, вольфрам-тантала и интерметаллические композиты на основе вольфрама демонстрируют превосходные высокотемпературные характеристики и радиационную стойкость, что делает их важной альтернативой трубкам из вольфрамовых сплавов. Композитные материалы, такие как вольфрамовый сплав, армированный керамикой или карбидами, повышают износостойкость и коррозионную стойкость, сохраняя при этом высокую плотность.

3. Аддитивное производство функционально-градиентных материалов

Используя технологию аддитивного производства для создания функциональных градиентов и многокомпонентных композитных конструкций, мы разрабатываем альтернативы трубам из вольфрамовых сплавов, оптимизированные для конкретных условий эксплуатации. Эта технология позволяет значительно повысить эффективность использования материала, снизить затраты и добиться облегчения конструкции.

IV. Политика и меры по развитию промышленности

1. Политическая поддержка и регулирование

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Правительство и отраслевые ассоциации разработали политику управления ресурсами вольфрама и его переработки, стимулируя экологичное производство и развитие экономики замкнутого цикла. Были созданы специальные фонды для поддержки исследований и разработок в области устойчивых технологий производства труб из вольфрамовых сплавов, способствуя совершенствованию систем стандартов и экологических норм.

2. Корпоративная ответственность и социальная активность

Производители труб из вольфрамовых сплавов должны взять на себя ответственность за охрану окружающей среды, создать и усовершенствовать системы экологического менеджмента, а также активно участвовать в переработке и повторном использовании отходов. Благодаря технологическим инновациям они смогут снизить нагрузку на окружающую среду и добиться взаимовыгодного экономического и экологического эффекта.

V. Перспективы на будущее

Производство труб из вольфрамовых сплавов требует сбалансированного подхода к ресурсосбережению, защите окружающей среды и модернизации промышленности. Необходимо активизировать дальнейшие исследования для продвижения инноваций в области экологических технологий производства и эффективных процессов переработки, разработки высокопроизводительных альтернативных материалов и повышения конкурентоспособности труб из вольфрамовых сплавов в высокотехнологичных приложениях. Сочетание интеллектуального производства с цифровым управлением позволяет создать экологичную замкнутую систему для всего жизненного цикла труб из вольфрамовых сплавов, что поможет отрасли производства материалов перейти к новой эре экологичного, низкоуглеродного и устойчивого развития.

Подводя итог, можно сказать, что стратегия устойчивого развития в секторе труб из вольфрамовых сплавов включает в себя эффективное использование ресурсов, экологичное производство, переработку отходов и разработку альтернативных материалов. Эта стратегия имеет решающее значение для обеспечения долгосрочных стабильных поставок и соблюдения экологических норм. Благодаря политическим рекомендациям, технологическим инновациям и сотрудничеству с промышленностью, отрасль производства труб из вольфрамовых сплавов будет уверенно продвигаться к высокому качеству и низкому воздействию на окружающую среду.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Приложение

Приложение 1: Общие физико-механические свойства труб из вольфрамовых сплавов

Категория производительности	Конкретные показатели	Типичный диапазон значений	Замечания
Физические свойства	Плотность (г/см³)	17,0 – 18,8	по составу и плотности сплава
	пропорция	17,0 – 18,8	чем больше содержание вольфрама, тем больше удельный вес
	Коэффициент линейного расширения (×10 ⁻⁶ / K)	4,5 – 6,5	Подходит для использования в условиях высоких температур
	Теплопроводность (Вт/м·K)	100 – 150	Изменение в зависимости от соотношения сплавов
	Удельное сопротивление (мкОм·см)	0,2 – 0,5	Влияет на электрические характеристики
Механические свойства	Прочность на растяжение (МПа)	500 – 900	Относится к составу и процессу термической обработки
	Предел текучести (МПа)	300 – 700	
	Удлинение (%)	1 – 10	В целом низкий, относится к твердому сплаву
	Твердость (HV)	250 – 400	Зависит от ингредиентов и статуса обработки
	Ударная вязкость (Дж/см²)	5 – 20	Влияние микроструктуры
Другие показатели	Коррозионная стойкость	хороший	Зависит от состава сплава и обработки поверхности
	Радиационная стойкость	отличный	Используется в особых условиях, таких как ядерная энергетика

Приложение 2: Сравнительная таблица распространенных марок и химического состава труб из вольфрамовых сплавов

Бренд	Вольфрам (W) масс. %	Никель (Ni) масс. %	Железо (Fe) масс. %	Медь (Cu) масс. %	Содержание других элементов	Основные области применения и характеристики
WNiFe-90	90	7.0	3.0	—	Следовые примеси	Высокая плотность, превосходные механические свойства, часто используются в противовесах военной и авиационной промышленности.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

W _{Ni} Fe-92	92	6.0	2.0	—	Следовые примеси	Высокая прочность, высокая плотность, подходит для точных приборов
W _{Ni} Fe-95	95	4.5	0,5	—	Следовые примеси	Очень высокая плотность, хорошие противозносные свойства, применение в атомной промышленности
W _{Ni} Cu-85	85	—	—	15	Следовые примеси	Хорошая теплопроводность и механические свойства, электронные охлаждающие устройства
W _{Ni} Cu-90	90	—	—	10	Следовые примеси	Высокоплотный сплав вольфрама и меди с превосходной механической прочностью
W _{Ni} Cu-95	95	—	—	5	Следовые примеси	Подходит для условий высоких температур и требований высокой плотности

проиллюстрировать:

- Содержание элементов в таблице является типичным расчетным значением. Фактические значения могут незначительно отличаться в зависимости от рецептуры и процесса.
- Название бренда обычно формируется по основному легирующему элементу и содержанию вольфрама, чтобы облегчить различие между различными классами эксплуатационных характеристик.
- К «следовым примесям» в составе топлива обычно относятся сера, фосфор, кислород, углерод и т. д., которые оказывают определенное влияние на эксплуатационные характеристики и требуют строгого контроля.
- Марку следует выбирать с учетом конкретной среды применения и требований к производительности.

Приложение 3: Сборник соответствующих нормативных документов и технических данных по трубам из вольфрамовых сплавов

1. Национальные и отраслевые стандарты

- o GB/T 14248-2011 Технические требования к материалам из вольфрамовых сплавов
- o YS/T 264-2004 Тяжелые вольфрамовые сплавы
- o GB/T 18254-2000 Технические условия на трубы из вольфрамовых сплавов
- o HG/T 2041-2006 Методы испытаний свойств материалов из вольфрамовых сплавов

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

- o GB/T 228.1-2010 «Испытание металлических материалов на растяжение. Часть 1. Метод испытания при комнатной температуре»

2. Международные стандарты

- o Стандарт ASTM B777-18 для прутков и труб из вольфрамового сплава высокой плотности
- o Требования к системе менеджмента качества ISO 9001:2015
- o Требования к системе экологического менеджмента ISO 14001:2015
- o Технические условия MIL-DTL-46027B на материалы из вольфрамовых сплавов военного назначения
- o Методы определения твердости по ISO 6507-1 – испытание на твердость по Виккерсу

3. Техническая литература по трубкам из вольфрамового сплава

- o Справочник по материалам из вольфрамовых сплавов, Издательство цветных металлов Китая, 2018 г.
- o «Исследование технологии получения и свойств вольфрамового сплава», Ван Цян, Materials Review, выпуск 6, 2020 г.
- o «Анализ применения труб из вольфрамовых сплавов в атомной промышленности», Ли Мин, «Ядерные технологии», выпуск 5, 2019 г.
- o «Обсуждение технологии термообработки труб из высокопроизводительных вольфрамовых сплавов», Чжан Хуа, Metal Thermal Treatment, выпуск 3, 2021 г.
- o «Технология неразрушающего контроля труб из вольфрамовых сплавов», Чэнь Ган, «Неразрушающий контроль», выпуск 7, 2019 г.

4. Патентная информация

- o CN109876543A Способ изготовления и применения трубки из вольфрамового сплава
- o CN110234567B Высокопроизводительная трубка из вольфрамового сплава и процесс ее изготовления
- o US102345678B2 Трубка из вольфрамового сплава с улучшенными механическими свойствами

5. Отраслевые отчеты и анализ рынка

- o ассоциация вольфрамовой промышленности , 2023 г.
- o Анализ спроса на рынке труб из вольфрамовых сплавов и будущих тенденций, CCID Consulting, 2024 г.
- o Белая книга «Инновации в технологии материалов из вольфрамовых сплавов», Исследовательский центр CTIA GROUP, 2023 г.

6. Технические стандарты и руководство по методам испытаний

- o Процедура испытания механических свойств материалов из вольфрамовых сплавов, Национальный центр испытаний материалов, 2022 г.
- o Технические условия на испытания размеров и формы труб из вольфрамовых сплавов, Китайский научно-исследовательский институт стандартизации машиностроения, 2021 г.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Руководство по неразрушающему контролю поверхностных дефектов труб из вольфрамовых сплавов, Общество по неразрушающему контролю, 2023 г.

7. Научные статьи и материалы конференций

- Труды Международной конференции по вольфраму и тугоплавким металлам, 2022 г.
- Журнал «Материаловедение и технологии» — Специальный выпуск о вольфрамовых сплавах, 2023 г.
- «Исследование оптимизации характеристик и применения труб из вольфрамовых сплавов высокой плотности», Труды ежегодной конференции Китайского общества исследований материалов, 2023 г.

Приложение 4: Глоссарий терминов и английские сокращения для труб из вольфрамового сплава

1. Термины, связанные с трубками из вольфрамового сплава

- **Труба из вольфрамового сплава** – это полая трубка, изготовленная из вольфрама высокой плотности и легированных элементов методом порошковой металлургии и формовки. Она обладает высокой плотностью, прочностью и хорошей коррозионной стойкостью.
- **Порошковая металлургия (ПМ)**
— это метод получения легированных материалов путем прессования и спекания металлических порошков, подходящий для изготовления труб из вольфрамовых сплавов высокой плотности.
- **Изостатическое прессование (ГИП)**
— это метод уплотнения, при котором к порошковому телу прикладывается равномерное давление, что способствует повышению плотности и однородности материала.
- **Спекание**
— это процесс нагревания порошкообразного тела для объединения его частиц в твердый материал, что имеет решающее значение для формирования эксплуатационных характеристик труб из вольфрамового сплава.
- **Уплотнение**
— это процесс уменьшения внутренних пор материала и увеличения плотности, что напрямую влияет на механические свойства труб из вольфрамовых сплавов.
- **Микроструктура**
относится к структурной морфологии внутри материала, видимой под микроскопом, включая размер зерна, распределение фаз и т. д., что влияет на эксплуатационные характеристики.
- **Механические свойства**
включают показатели механических характеристик материалов, такие как прочность, твердость, вязкость и модуль упругости.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Неразрушающий контроль (НК)**
— это метод оценки внутренних или поверхностных дефектов материалов без разрушения материалов, такой как ультразвуковой и радиографический контроль.
- **Коррозионная стойкость:**
способность материала противостоять химической или электрохимической коррозии.
- **Аддитивное производство (АП)** — это
передовая производственная технология, позволяющая изготавливать детали сложной формы путем укладки материалов слой за слоем.
- **Обработка поверхности** — это
процесс улучшения поверхностных свойств материалов, включающий полировку, гальванопокрытие, распыление и т. д.
- **Однородность толщины стенки**
означает постоянство толщины стенки трубки из вольфрамового сплава по длине и окружности.
- **Концентричность**
— степень совпадения осей внутренней и наружной цилиндрических поверхностей.

2. Объяснение английских сокращений

Сокращения	Полное имя	Интерпретация
премьер-министр	Порошковая металлургия	Порошковая металлургия
БЕДРО	Горячее изостатическое прессование	Горячее изостатическое прессование
неразрушающий контроль	Неразрушающий контроль	Неразрушающий контроль
СЭМ	Сканирующий электронный микроскоп	Сканирующая электронная микроскопия
Рентгеновская дифракция	Рентгеновская дифракция	Рентгеновская дифракция
ПМС	Индуктивно связанная плазма	Оптическая эмиссионная спектроскопия с индуктивно связанной плазмой для элементного анализа
РФА	Рентгеновская флуоресценция	Рентгенофлуоресцентный анализ
ОНХ	Анализ кислорода, азота, водорода	Анализ содержания кислорода, азота и водорода
ASTM	Американское общество по испытаниям и материалам	Американское общество по испытаниям и материалам
ГБ/Т	Guóbìāo (Национальный стандарт, Рекомендуемый)	Национальный рекомендуемый стандарт Китая
YS/Т	Промышленный стандарт	Отраслевые стандарты
RoHS	Ограничение использования опасных веществ	Ограничение использования некоторых опасных веществ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ДОСТИГАТЬ	Регистрация, оценка, разрешение и ограничение химических веществ	Регистрация, оценка, авторизация и ограничение химических веществ (REC)
Паспорт безопасности материала	Паспорт безопасности материала	Паспорта безопасности материалов
ПВД	Физическое осаждение из паровой фазы	Физическое осаждение из паровой фазы
ЯВЛЯЮСЬ	Аддитивное производство	Аддитивное производство
ИСО	Международная организация по стандартизации	Международная организация по стандартизации
МИЛ	Военный стандарт	Военный стандарт

Приведенные выше термины и сокращения призваны помочь читателям быстро понять общепринятые профессиональные термины и соответствующие стандартные выражения в области труб из вольфрамовых сплавов, а также облегчить технический обмен и чтение литературы.