

Энциклопедия колец из вольфрамового сплава

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

ВВЕДЕНИЕ В CTIA GROUP

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

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

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

Доктор Ханис и его команда в CTIA GROUP, основываясь на более чем 30-летнем опыте работы в отрасли, также написали и опубликовали знания, технологии, анализ цен на вольфрам и рыночных тенденций, связанных с вольфрамом, молибденом и редкоземельными металлами, свободно 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

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

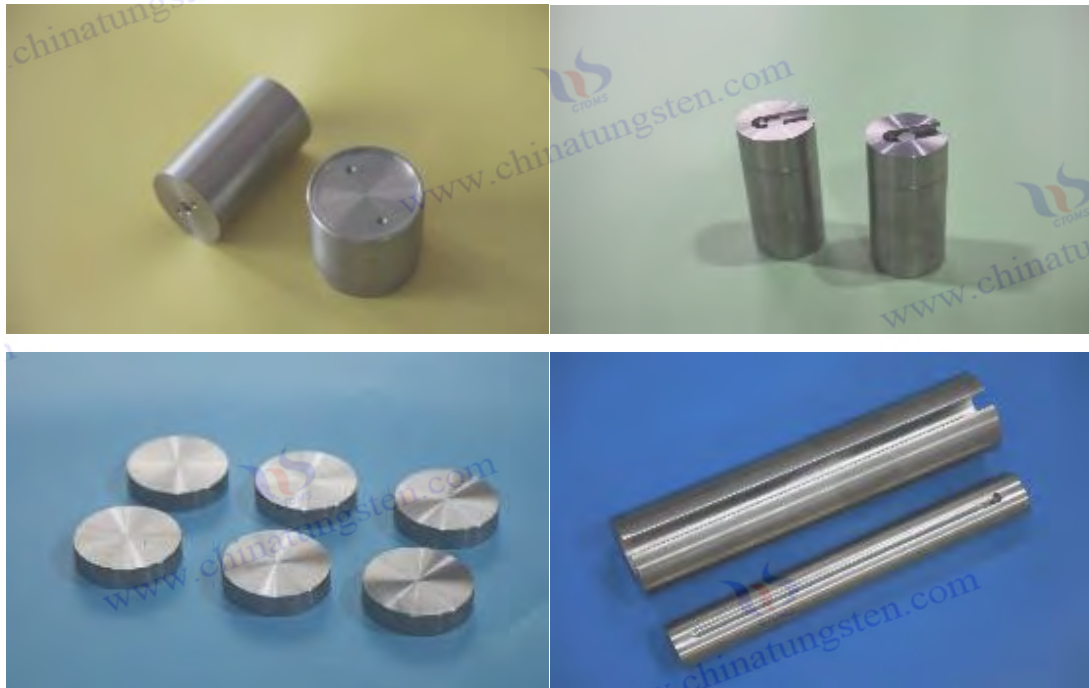
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

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

Оглавление

Глава 1: Обзор колец из вольфрамового сплава

- 1.1 Определение и история развития колец из вольфрамового сплава
- 1.2 Классификация и основные характеристики колец из вольфрамового сплава
- 1.3 Обзор областей применения колец из вольфрамового сплава

Глава 2: Материальная основа и свойства колец из вольфрамового сплава

- 2.1 Химический состав и микроструктура колец из вольфрамового сплава
- 2.2 Физические свойства колец из вольфрамового сплава
- 2.3 Механические свойства колец из вольфрамового сплава
- 2.4 Коррозионная стойкость и термостойкость колец из вольфрамового сплава

Глава 3: Технология изготовления колец из вольфрамового сплава

- 3.1 Подготовка сырья для колец из вольфрамового сплава и основы порошковой металлургии
- 3.2 Технология формовки колец из вольфрамовых сплавов (литье под давлением, изостатическое прессование и т.д.)
- 3.3 Технология спекания колец из вольфрамового сплава
- 3.4 Прецизионная обработка колец из вольфрамового сплава
- 3.5 Технология обработки поверхности и улучшения характеристик колец из вольфрамового сплава

Глава 4: Методы контроля качества и характеристики колец из вольфрамового сплава

- 4.1 Контроль размеров и геометрической точности колец из вольфрамового сплава
- 4.2 Методы анализа состава колец из вольфрамового сплава
- 4.3 Испытание механических свойств колец из вольфрамового сплава
- 4.4 Микроструктура и обнаружение дефектов колец из вольфрамового сплава

Глава 5: Технология и случаи применения колец из вольфрамового сплава

- 5.1 Применение колец из вольфрамового сплава в аэрокосмической промышленности
- 5.2 Применение колец из вольфрамового сплава в энергетике и атомной промышленности
- 5.3 Применение колец из вольфрамового сплава в машиностроении и военной технике
- 5.4 Применение колец из вольфрамового сплава в электронике и медицинских приборах

Глава 6: Международные стандарты и отраслевые спецификации для колец из вольфрамового сплава

- 6.1 Основные международные стандарты для колец из вольфрамового сплава
- 6.2 Национальные стандарты и спецификации испытаний для колец из вольфрамового сплава
- 6.3 Стандарты качества колец из вольфрамового сплава, производимых CTIA GROUP

Глава 7: Анализ рынка и экономики колец из вольфрамового сплава

- 7.1 Структура мирового рынка колец из вольфрамового сплава
- 7.2 Анализ основных стран-производителей и цепочки поставок колец из вольфрамового сплава
- 7.3 Тенденция цен и структура затрат на кольца из вольфрамового сплава

Глава 8: Тенденции будущего развития колец из вольфрамового сплава

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 8.1 Новые материалы и системы сплавов для колец из вольфрамового сплава
- 8.2 Передовые технологии производства колец из вольфрамового сплава (аддитивное производство и т. д.)
- 8.3 Технологии переработки и повторного использования колец из вольфрамового сплава
- 8.4 Потенциальные возможности применения колец из вольфрамового сплава в передовых технологиях

Приложение

Приложение 1: Общие физические и химические данные колец из вольфрамового сплава

Приложение 2: Сравнительная таблица международных стандартов для колец из вольфрамового сплава

Приложение 3: Глоссарий терминов и английских сокращений для колец из вольфрамового сплава

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Глава 1. Обзор колец из вольфрамового сплава

1.1 Определение и история развития кольца из вольфрамового сплава

1. Определение кольца из вольфрамового сплава

Кольца из вольфрамового сплава представляют собой кольцевые структурные элементы, состоящие преимущественно из вольфрама (W) с добавлением определённого количества никеля (Ni), железа (Fe), меди (Cu) и других металлических элементов, добавляемых методами порошковой металлургии, вакуумного спекания и горячего изостатического прессования. Содержание **вольфрама в кольцах из вольфрамового сплава обычно составляет от 85% до 98%** по массе, что обеспечивает их чрезвычайно высокую плотность (от 16,5 до 19,3 г/см³), отличную коррозионную стойкость, жаропрочность и хорошую обрабатываемость.

По сравнению с чистым вольфрамом кольца из вольфрамового сплава обладают более высокой прочностью и ударопрочностью за счет легирования; по сравнению с традиционными стальными материалами их плотность почти в два раза выше, поэтому они имеют незаменимые преимущества в **противовесах высокой плотности, прецизионных механических весах, высокоскоростных вращающихся инерциальных деталях, системах инерциального управления в аэрокосмической технике и других областях.**

Кроме того, кольца из вольфрамового сплава можно разделить на следующие типы в зависимости от условий применения:

1. **Тяжелые кольца из вольфрамового сплава (W-Ni-Fe/W-Ni-Cu):** используются для

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

противовеса, снижения вибрации и управления инерцией.

2. **Кольца из высокотемпературного вольфрамового сплава** (серии W-Re, серии W-HfC): используются в экстремальных условиях, например, в аэрокосмических двигателях и ядерных реакторах.
3. **Кольца из коррозионно-стойкого вольфрамового сплава** (система W-Cu): применяются для герметизации химического оборудования, глубоководного разведочного оборудования и других областей.

2. Происхождение и раннее развитие колец из вольфрамового сплава

Материалы из вольфрамовых сплавов известны с начала XX века , однако кольцевые конструкционные элементы из вольфрамовых сплавов появились лишь в 1940–1950-х годах . Это было обусловлено, прежде всего, быстрым развитием военной и авиационной промышленности, особенно во время Второй мировой войны и в начале холодной войны, что привело к резкому росту спроса на высокоплотные, термостойкие металлические материалы.

- **1940–1950-е годы: страны Европы и Америки впервые использовали вольфрамовые сплавы высокой плотности** в дульных тормозах артиллерийских орудий, вращающихся маховиках и балансировочных кольцах вместо свинца и стали.
- **1960-е годы: НАСА и Советское космическое агентство начали использовать кольца из вольфрамового сплава в ракетных двигателях и системах управления ориентацией спутников** , используя их высокую плотность для повышения способности гироскопов и инерционных колес накапливать кинетическую энергию.
- **1970-е – 1980-е годы** : В таких индустриальных странах, как Япония и Германия, кольца из вольфрамового сплава использовались в качестве балансировочных грузов для прецизионных механических шпинделей с целью снижения вибрации и шума в высокоскоростном вращающемся оборудовании.

В этот период технология изготовления колец из вольфрамовых сплавов была ещё относительно примитивной и в основном использовала метод **компрессионного формования + спекания в жидкой фазе** . Характеристики изделий ограничивались размером частиц порошка и плотностью спекания.

3. Этапы разработки современных колец из вольфрамового сплава

С конца 20-го века до начала 21-го века , с развитием технологий порошковой металлургии, технологий наноматериалов, вакуумного спекания и оборудования для горячего изостатического прессования (ГИП), кольца из вольфрамовых сплавов вступили в стадию быстрого развития:

1. Высокая очистка и гомогенизация

- Чистота вольфрамового порошка увеличилась с 99,8% до более чем 99,95%, что эффективно снижает содержание таких примесей, как кислород, углерод и азот, а также значительно улучшает пластичность и усталостную долговечность материала.
- Размер частиц порошка контролируется на уровне 1~3 мкм , что делает микроструктуру после спекания более однородной и плотной .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Композитное легирование

- Для улучшения свойств ползучести при высоких температурах и износостойкости вводятся редкоземельные элементы (La, Ce, Y) и упрочняющие фазы (HfC, TiC).
- Мы разработали кольца из многокомпонентных сплавов, таких как W-Ni-Fe-Co и W-Cu-Re, для удовлетворения потребностей экстремальных условий работы.

3. Прецизионная механическая обработка и обработка поверхностей

- с использованием токарной обработки с ЧПУ, шлифования и электроэрозионной обработки (ЭЭО), а допуск размеров может контролироваться в пределах $\pm 0,01$ мм.
- Для дальнейшего повышения коррозионной стойкости и износостойкости применяются методы PVD, CVD и лазерной наплавки.

4. Индивидуальная и модульная конструкция

- Производители авиационного, аэрокосмического и глубоководного оборудования могут изготавливать кольца из вольфрамового сплава с различной плотностью, формой поперечного сечения и толщиной стенок в соответствии с требованиями к нагрузке для достижения структурной оптимизации и распределения веса.

4. Тенденции развития колец из вольфрамового сплава

В ближайшие 10–20 лет кольца из вольфрамового сплава будут развиваться в трех направлениях: **высокопроизводительные, легкие и интеллектуальные**:

1. **Высокие эксплуатационные характеристики** : благодаря таким технологиям, как нано-вольфрамовый порошок, вакуумное горячее изостатическое прессование и композитное спекание, прочность на изгиб кольца из вольфрамового сплава превышает 1200 МПа, а плотность близка к теоретическому значению $19,3 \text{ г/см}^3$.
2. **Облегчение конструкции и оптимизация конструкции** : для уменьшения количества материала в ненапряженных областях и улучшения соотношения инерционных характеристик и прочности конструкции используются анализ конечных элементов (FEA) и оптимизация топологии.
3. **Интеллектуальность и функциональная интеграция** : датчики и нагревательные элементы встроены в кольца из вольфрамового сплава для обеспечения мониторинга в режиме реального времени и адаптации к окружающей среде, что особенно подходит для систем управления ориентацией космических аппаратов.

1.2 Классификация и основные характеристики колец из вольфрамового сплава

Кольца из вольфрамового сплава широко используются в качестве конструкционных компонентов, функциональных материалов и в специализированных приложениях. Их классификация и характеристики напрямую определяют области применения и эксплуатационные характеристики. Благодаря высокой плотности вольфрама, высокой

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

температуре плавления и превосходным механическим свойствам, кольца из вольфрамового сплава не только хорошо работают в экстремальных условиях, таких как высокие температуры, сильная коррозия и сильные удары, но и демонстрируют разнообразные свойства в зависимости от системы сплава.

1.2.1 Классификация по системе сплавов

Кольца из вольфрамового сплава можно разделить на следующие категории в зависимости от различных систем сплава:

1. **Кольца из тяжелого вольфрамового сплава (система W-Ni-Fe / W-Ni-Cu)**
 - образован путем добавления никеля, железа или меди к вольфраму в качестве матрицы, с плотностью 16,8~18,8 г/см³.
 - Он характеризуется высокой прочностью, хорошей пластичностью и более высокой обрабатываемостью, чем чистый вольфрам. Он подходит для изготовления противовесов, балансировочных колец, маховиков и т. д., где требуется высокая инерционность и высокая энергопоглощающая способность.
2. **Кольцо из сплава вольфрамовой меди (система W-Cu)**
 - путем инфильтрации вольфрамового скелета и меди и имеет высокую температуру плавления вольфрама и высокую электро- и теплопроводность меди.
 - Обычно используется в электрических контактных кольцах, термостойких проводящих кольцах и компонентах терморегулирования.
3. **Кольцо из сплава вольфрама и молибдена (система W-Mo)**
 - Добавление соответствующего количества молибдена к вольфраму может снизить хрупкость материала и улучшить его высокотемпературную пластичность.
 - В основном он используется для деталей, работающих под высоким давлением, таких как нагревательные кольца вакуумных печей и термостойкие опоры.
4. **Кольца из сплава карбида вольфрама (система WC-Co / WC-Ni)**
 - Это кольцо из твердого сплава с чрезвычайно высокой твердостью (HRA 85 и выше) и превосходной износостойкостью.
 - Обычно используется в уплотнительных кольцах, износостойких футеровочных кольцах, деталях горнодобывающего оборудования и т. д.

1.2.2 Классификация по способу производства

- **Кольцо из вольфрамового сплава, изготовленное методом порошковой металлургии** : изготовлено путем прессования порошка, спекания и последующей механической обработки, подходит для массового производства и имеет однородную структуру материала.
- **кольцо из вольфрамового сплава** : улучшает микроструктуру посредством пластической деформации при высокой температуре для получения более высокой

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

плотности и механических свойств.

- **Композитное кольцо из вольфрамового сплава, изготовленное методом спекания-инфильтрации** : например, кольцо W-Cu, W-Ag, сначала спекается вольфрамовый каркас, а затем пропитывается металлом с низкой температурой плавления.

1.2.3 Основные характеристики кольца из вольфрамового сплава

1. Высокая плотность и высокий удельный вес

- Вольфрам имеет плотность до 19,3 г/см³, что позволяет кольцу из вольфрамового сплава обеспечивать большую инерцию и эффект противовеса при небольшом объеме.

2. Отличные характеристики при высоких температурах

- Вольфрам имеет температуру плавления 3422 °C и сохраняет структурную стабильность в условиях высоких температур, что делает его менее подверженным ползучести или размягчению.

3. Хорошая износостойкость и коррозионная стойкость

- Подходит для длительной работы в условиях трения, ударов, кислот и щелочей и имеет длительный срок службы.

4. Настраиваемая производительность

- Регулируя соотношение легирующих элементов и параметры процесса, можно получать изделия с различной прочностью, твердостью, теплопроводностью и электропроводностью.

5. Радиационная стойкость и защитные свойства

- Его высокое атомное число и плотность делают его важным для применения в радиационной защите и защитных кольцах.

Кольца из вольфрамового сплава не только влияют на их физико-механические свойства, но и определяют их применение в таких отраслях, как аэрокосмическая, военная, энергетическая, машиностроительная и электронная. В реальном машиностроении обычно необходимо выбирать подходящую систему сплава и технологию производства с учетом температуры рабочей среды, нагрузки, коррозионной среды и требований к обработке, чтобы максимально использовать эксплуатационные преимущества колец из вольфрамового сплава.

1.3 Обзор применения колец из вольфрамового сплава

Кольца из вольфрамового сплава играют важнейшую роль в современной промышленности благодаря высокой плотности, твердости, превосходной износостойкости и выдающимся эксплуатационным характеристикам при высоких температурах. Их уникальные физические и химические свойства позволяют использовать их не только в традиционном машиностроении, но и обеспечивать стабильную работу в экстремальных условиях. Поэтому они широко применяются в различных областях, включая аэрокосмическую, энергетическую, военную, медицинскую и электронную промышленность. Ниже представлен обзор

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

применения колец из вольфрамового сплава с точки зрения ключевых отраслей промышленности.

(1) Авиационно-космическая промышленность

. В аэрокосмической технике кольца из вольфрамового сплава часто используются в качестве колец противовеса ротора гироскопа, противовесов систем ориентации летательных аппаратов и ключевых компонентов инерциальных навигационных систем. Благодаря чрезвычайно высокой плотности (около 19 г/см³) кольца из вольфрамового сплава обеспечивают больший момент инерции при том же объеме, что способствует уменьшению габаритов компонентов и повышению чувствительности и стабильности системы. Кроме того, их высокая усталостная прочность и термостойкость позволяют им стабильно работать в течение длительного времени при высоких скоростях вращения и высоких температурах.

(2)

Кольца из вольфрамового сплава также играют важную роль в военной технике, например, в гироскопических стабилизаторах систем управления огнём, инерциальных компонентах систем управления танковыми пушками и кольцах балансировочных грузов на кораблях и подводных лодках. В боеприпасах и ракетной технике кольца из вольфрамового сплава могут использоваться в качестве колец стабилизации снарядов или хвостового оперения, которые не только повышают точность полёта, но и сохраняют структурную целостность при пробитии брони и воздействии высокой кинетической энергии.

(3) Энергетика и атомная промышленность

. В области атомной энергетики кольца из вольфрамового сплава часто используются в элементах управления реакторами, кольцах радиационной защиты и противовесах поворотных механизмов. Высокая плотность и большое атомное число обеспечивают им превосходную защиту от гамма- и рентгеновского излучения, эффективно снижая утечку радиации. В ветровых турбинах и устройствах для использования энергии океана кольца из вольфрамового сплава также могут использоваться в качестве противовесов для высокоскоростных вращающихся компонентов, снижая вибрацию и повышая устойчивость.

(4) Медицинская и радиационная защита

. В медицинском диагностическом и лечебном оборудовании кольца из вольфрамового сплава используются в роторах и защитных компонентах такого оборудования, как компьютерные томографы, линейные ускорители и гамма- ножи. Их высокая плотность не только снижает утечку радиации, но и обеспечивает балансировку при вращении, повышая качество изображений и точность лечения. Кроме того, кольца из вольфрамового сплава могут использоваться для балансировки движения и точного позиционирования медицинского оборудования.

(5) Прецизионное машиностроение и электронная промышленность.

В высокоскоростных прецизионных станках, оборудовании для производства полупроводников и высокотехнологичных испытательных приборах кольца из вольфрамового сплава могут использоваться в качестве маховиков, инерционных колец или противовесов для стабилизации высокоскоростных вращающихся деталей и снижения вибрации. В электронной промышленности он также может использоваться в качестве

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

стабилизирующего компонента для высокочастотного оборудования и микроволновых систем, поскольку его высокая плотность и хорошая теплопроводность обеспечивают длительную и надежную работу системы.

(6) Специальное промышленное и научно-исследовательское оборудование.

Кольца из вольфрамового сплава также используются в особых случаях, таких как глубоководные детекторы, геологоразведочное оборудование и ускорители частиц. Например, в глубоководных подводных аппаратах кольца из вольфрамового сплава могут использоваться в качестве балластных грузов для поддержания баланса между погружением и всплытием; в ускорителях частиц они могут использоваться в устройствах управления ионным пучком для точной регулировки распределения магнитного поля.

кольца из вольфрамового сплава, благодаря своим комплексным эксплуатационным преимуществам, стали незаменимыми ключевыми компонентами высокотехнологичного оборудования в различных отраслях промышленности. Благодаря постоянному развитию новых производственных технологий и разработке новых сплавов, области их применения будут продолжать расширяться, особенно в новых источниках энергии, высокотехнологичном производстве и эксплуатации в экстремальных условиях, где они будут играть ещё более важную роль в будущем.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

High-Density Tungsten Alloy Customization Service

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

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

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

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

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

100,000+ customers

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

Service commitment

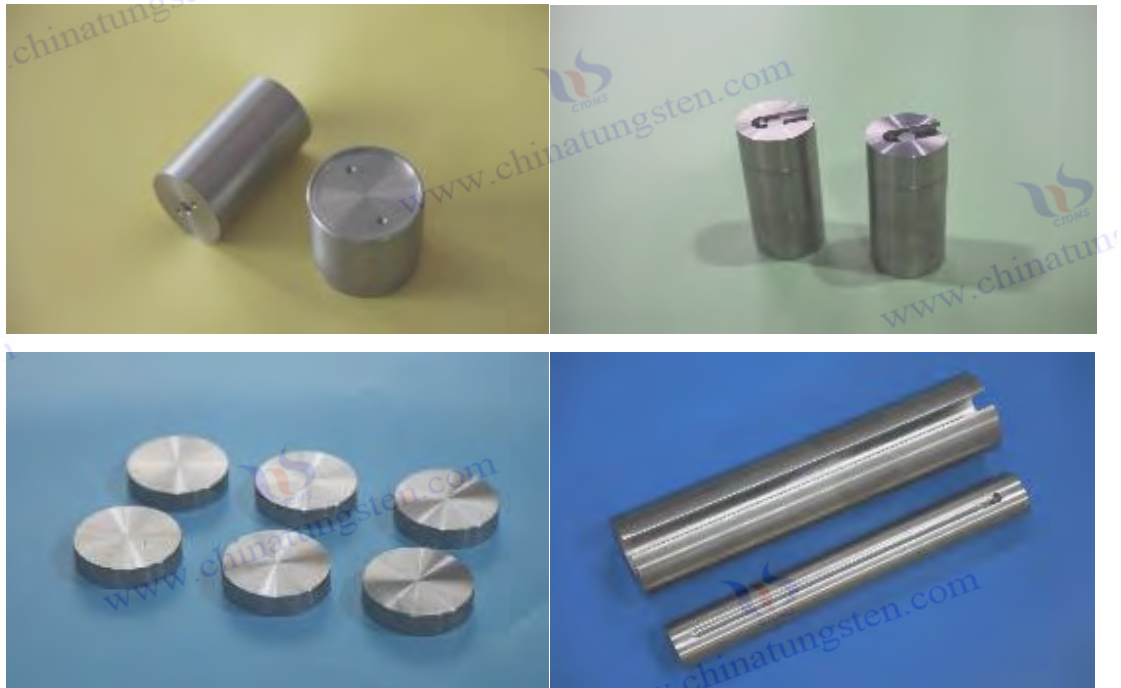
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

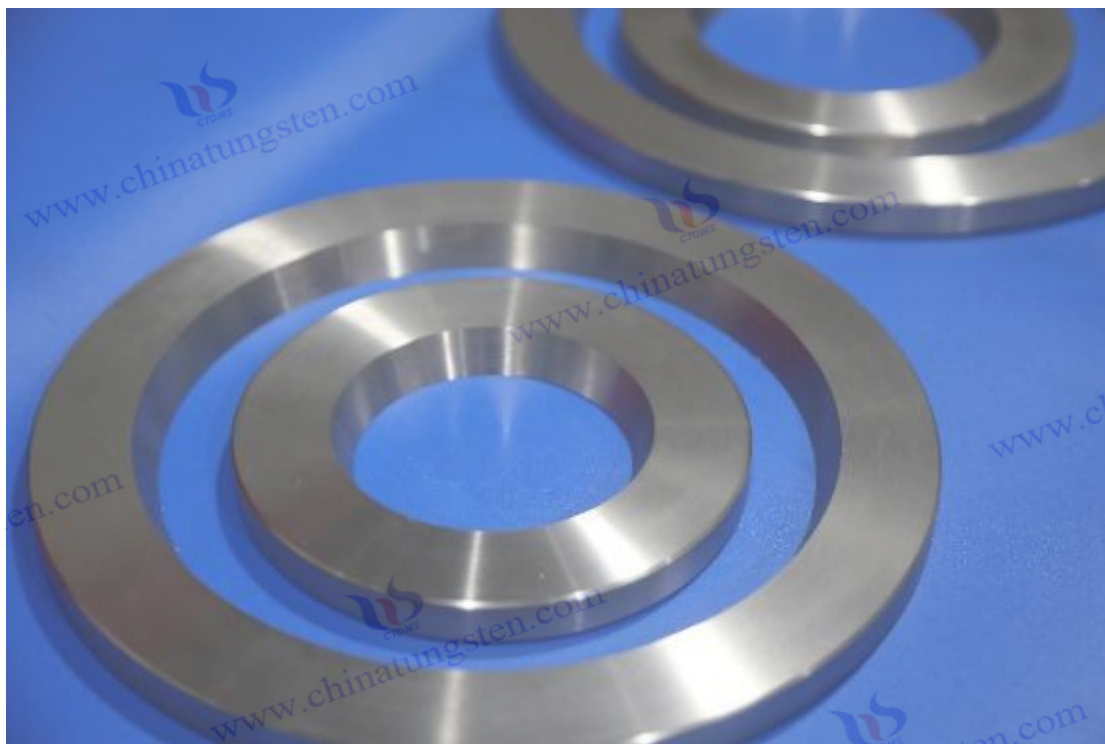
Official website: www.tungsten-alloy.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Глава 2. Материальная основа и свойства колец из вольфрамового сплава

2.1 Химический состав и микроструктура кольца из вольфрамового сплава

колец из вольфрамового сплава во многом определяется их химическим составом и микроструктурой. Эти два фактора не только определяют плотность, твёрдость и износостойкость материала, но и напрямую влияют на его коррозионную стойкость, пластичность и высокотемпературные характеристики. Кольца из вольфрамового сплава, как правило, разрабатываются с учётом высокой плотности, прочности и хорошей обрабатываемости, что предъявляет строгие требования к составу и контролю микроструктуры.

1. Характеристики химического состава:

Вольфрам (W) является основным компонентом, его массовая доля обычно составляет от 85% до 97%, составляя большую часть сплава. Вольфрам обладает чрезвычайно высокой температурой плавления (3422°C), высокой плотностью (19,25 г/см³) и хорошей коррозионной стойкостью, что делает его ключевым элементом, обеспечивающим высокую плотность и твёрдость колец из вольфрамового сплава. Для повышения прочности, улучшения эксплуатационных характеристик или придания специальных свойств обычно добавляют определённое количество легирующих элементов, включая:

1. **Никель (Ni)** – наиболее распространённый упрочняющий элемент. Он образует пластичную связующую фазу при использовании с железом или медью. Никель обычно добавляется в количестве от 3% до 7% и значительно повышает пластичность и ударопрочность сплава.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. **Железо (Fe)** — часто в сочетании с никелем (сплавы W-Ni-Fe) повышает ударную вязкость, а также прочность и износостойкость материала.
3. **Медь (Cu)** – в качестве упрочняющего агента, заменяющего железо (сплав W-Ni-Cu), она в основном используется в приложениях, требующих высокой проводимости и немагнитных свойств.
4. **Кобальт (Co)** — используется в качестве связующей фазы в некоторых специальных сплавах для повышения жаропрочности и сопротивления ползучести, но его стоимость относительно высока.
5. **углерод (C), молибден (Mo) и хром (Cr)** — используются для улучшения износостойкости сплава, коррозионной стойкости или структурной стабильности в условиях высоких температур.

Конструкция этого соотношения будет варьироваться в зависимости от назначения кольца из вольфрамового сплава. Например, материал кольца, используемый в аэрокосмической промышленности, в первую очередь отличается высокой термостойкостью и стойкостью к окислению, в то время как материал кольца, используемый в прецизионных приборах, в первую очередь отличается стабильностью плотности и точностью размеров.

2. Микроструктурные характеристики

Микроструктура колец из вольфрамового сплава обычно представляет собой двухфазную или многофазную структуру:

1. **Фаза частиц вольфрама (W-фаза)** – имеет светло-серый или белый цвет и под микроскопом выглядит как равномерно распределенные сферические или полиэдрические частицы. Это основная несущая фаза сплава, обеспечивающая материалу высокую плотность и твердость.
2. **Связующая фаза (фаза металлической матрицы)** – состоит из таких элементов, как никель, железо и медь, распределенных между частицами вольфрама, играет роль связи, передачи напряжений и буферизации хрупкого разрушения.
3. **Границы зерен и поры** . В процессе спекания неизбежно образуются некоторые поры, но высококачественные кольца из вольфрамового сплава могут снизить пористость до чрезвычайно низкого уровня с помощью высокотемпературного спекания в жидкой фазе или обработки горячим изостатическим прессованием (ГИП), тем самым повышая прочность и ударную вязкость.

Микроструктурная однородность критически важна для общих характеристик колец из вольфрамового сплава. Крупные или неравномерно распределенные частицы вольфрама могут привести к преждевременному распространению трещин в точках концентрации напряжений. Недостаточная фазовая однородность связующего снижает пластичность, делая кольцо подверженным растрескиванию в процессе обработки. Поэтому процесс подготовки требует строгого контроля распределения частиц порошка по размеру, однородности смешивания, а также температурного профиля и времени выдержки в процессе спекания.

3. Влияние состава и организации на производительность

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Плотность** : в основном определяется содержанием вольфрама. Чем выше содержание вольфрама, тем ближе плотность к теоретическому пределу.
- **Прочность и вязкость** : зависят от распределения частиц вольфрама и соотношения связующей фазы. Разумное соотношение Ni/Fe или Ni/Cu может значительно повысить ударную вязкость.
- **Износостойкость и коррозионная стойкость** : высокое содержание вольфрама и плотная микроструктура помогают противостоять абразивному износу и химической коррозии.
- **Высокотемпературные характеристики** : высокая температура плавления и стабильность вольфрама позволяют ему сохранять структурную прочность при высоких температурах, но термическая стабильность связующей фазы не менее важна.

Подводя итог, можно сказать, что химический состав и микроструктура колец из вольфрамового сплава являются основой определения их эксплуатационных характеристик. Научный подход к проектированию сплавов и точный контроль микроструктуры — основные технические подходы, гарантирующие их соответствие требованиям высокотехнологичных промышленных применений.

2.2 Физические свойства кольца из вольфрамового сплава

Кольца из вольфрамового сплава — одна из ключевых причин их широкого применения в различных отраслях промышленности. Эти свойства обусловлены не только уникальной атомной структурой самого вольфрама, но и оптимизированным соотношением легирующих элементов и точным контролем процесса производства. Кольца из вольфрамового сплава обладают значительными преимуществами в плане плотности, температуры плавления, термостойкости, теплопроводности, электропроводности и радиационной стойкости, что позволяет им сохранять стабильность структуры и эксплуатационных характеристик даже в экстремальных условиях.

2.2.1 Характеристики высокой плотности

Вольфрам — один из самых плотных металлов в природе (приблизительно $19,3 \text{ г/см}^3$). Кольца из вольфрамового сплава обычно имеют плотность от $17,0$ до $18,5 \text{ г/см}^3$, что значительно выше, чем у распространённых конструкционных металлов, таких как сталь и медные сплавы. Высокая плотность обеспечивает кольцам из вольфрамового сплава превосходные инерционные свойства и способность поглощать кинетическую энергию, что делает их особенно эффективными в конструкциях, требующих балансировки, противовеса или снижения вибрации. Высокая плотность также означает, что при заданной массе кольца из вольфрамового сплава могут иметь меньшие размеры, что позволяет создавать компактные конструкции в условиях ограниченного пространства.

2.2.2 Высокая температура плавления и высокая температурная стабильность

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Вольфрам имеет самую высокую температуру плавления среди металлов – 3422 °С. Хотя температура плавления колец из вольфрамового сплава несколько снижается после легирования, они могут сохранять стабильную структуру и прочность в течение длительного времени при температуре выше 1000 °С без значительного размягчения или деформации. Эта характеристика даёт им уникальные преимущества в таких областях применения, как высокотемпературные пресс-формы, приспособления для вакуумной термообработки и горячеканальные системы.

2.2.3 Низкий коэффициент теплового расширения

Кольца из вольфрамового сплава обычно имеют коэффициент теплового расширения $(4,5-6,0) \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, что значительно ниже, чем у таких металлов, как сталь и алюминий. Этот низкий коэффициент теплового расширения позволяет кольцам сохранять точные размеры даже в условиях резких колебаний температуры, минимизируя изменения зазоров, вызванные тепловым расширением и сжатием. Это особенно важно для прецизионных приборов, высокотемпературных уплотнительных колец и конструктивных элементов, подверженных циклическим перепадам температур.

2.2.4 Отличная теплопроводность

Хотя теплопроводность вольфрама ниже, чем у меди и серебра, она остаётся относительно высокой среди конструкционных металлов высокой плотности (примерно 160 Вт/ м· К). Кольца из вольфрамового сплава эффективно отводят тепло, предотвращая локальный перегрев и обеспечивая стабильную работу в мощных системах, подверженных частым тепловым ударам. Это критически важно для высокотемпературных нагревательных устройств и электронных систем охлаждения.

2.2.5 Электрические свойства

Удельное сопротивление кольца из вольфрамового сплава составляет $(5,0-6,0) \times 10^{-8}$ Ом·м, что превосходит сопротивление большинства жаропрочных сплавов и жаропрочных металлов. В специальных электрических контактах, требующих сохранения электропроводности при высоких температурах, кольца из вольфрамового сплава обеспечивают одновременно термостойкость и электропроводность.

2.2.6 Высокая твердость и износостойкость

Твёрдость колец из вольфрамового сплава обычно составляет от 300 до 500 HV, и может быть дополнительно повышена путём термообработки или поверхностной закалки. Высокая твёрдость обеспечивает им отличную износостойкость, что позволяет увеличить срок их службы в таких областях применения, как уплотнения роторов, опоры подшипников и ударопрочные противовесы.

2.2.7 Радиационная стойкость

Благодаря высокому атомному номеру (74) и высокой плотности вольфрама, кольца из вольфрамового сплава значительно лучше свинцовых защищают от рентгеновского и гамма-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

излучения. Они считаются безопасными и экологически чистыми материалами для медицинской защиты, атомной промышленности и радиационной защиты в космической отрасли.

2.2.8 Высокая прочность и жесткость

Кольца из вольфрамового сплава обычно имеют прочность на разрыв 700–1200 МПа, высокий предел текучести и умеренную пластичность, что позволяет им выдерживать высокие нагрузки и удары без потери структурной устойчивости. Этот уровень прочности остается относительно стабильным как при комнатной, так и при высоких температурах, что делает их пригодными для использования в ответственных компонентах, подверженных воздействию сложных напряжений.

2.3 Механические свойства колец из вольфрамового сплава

Качество колец из вольфрамового сплава напрямую влияет на их надежность и срок службы в различных промышленных и высокотехнологичных приложениях. Механические свойства включают в себя, прежде всего, прочность на разрыв, предел текучести, вязкость разрушения, модуль упругости, усталостную прочность и ударную вязкость. Эти эксплуатационные характеристики отражают деформационную способность кольца из вольфрамового сплава, его несущую способность и устойчивость к повреждениям при воздействии внешних сил.

2.3.1 Предел прочности на растяжение и предел текучести

Прочность колец из вольфрамового сплава обычно составляет от 700 до 1200 мегапаскалей (МПа) в зависимости от состава сплава, процесса изготовления и термической обработки. Высокая прочность на разрыв позволяет кольцам сохранять структурную целостность при высоких нагрузках без разрушения или чрезмерной деформации. Предел текучести, который несколько ниже предела прочности на разрыв, обычно составляет от 550 до 950 МПа и отражает уровень напряжения, при котором материал переходит в фазу пластической деформации после упругой деформации. Высокий предел текучести колец из вольфрамового сплава гарантирует, что они менее подвержены остаточной деформации под нагрузкой, сохраняя точные размеры и форму.

2.3.2 Вязкость разрушения

Вязкость разрушения — ключевой показатель способности кольца из вольфрамового сплава противостоять распространению трещин и разрушению. Несмотря на то, что кольца из вольфрамового сплава изначально хрупкие из-за высокой плотности и твердости, их можно значительно улучшить с помощью микролегирования, наноструктурного упрочнения и оптимизации термической обработки. Типичная вязкость разрушения колец из вольфрамового сплава составляет от 10 до 25 МПа·м^{0,5}. Эта превосходная вязкость обеспечивает высокую стойкость к разрушению при динамических нагрузках и ударах, снижая риск разрушения.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.3.3 Модуль упругости

Кольца из вольфрамового сплава имеют модуль упругости приблизительно от 380 до 410 ГПа, что свидетельствует об их исключительной жёсткости. Это означает, что они испытывают минимальную упругую деформацию при воздействии нагрузки, что обеспечивает превосходную размерную стабильность и сохранение формы, что делает их пригодными для использования в высокоточных механических конструкциях и сложных сопряжённых компонентах. Высокий модуль упругости способствует повышению скорости реакции конструкции и её виброустойчивости.

2.3.4 Усталостная прочность

Циклическая нагрузка колец из вольфрамового сплава критически важна для их срока службы. Благодаря оптимизации процесса и подбору материалов, кольца из вольфрамового сплава могут обладать высоким пределом усталости, обычно составляющим от 40% до 60% от их предела прочности на растяжение. Эта превосходная усталостная прочность обеспечивает устойчивость колец из вольфрамового сплава в условиях механической вибрации, циклических перепадов температур и ударных нагрузок, предотвращая отказы оборудования из-за усталостного разрушения.

2.3.5 Ударная вязкость

Ударопрочность колец из вольфрамового сплава тесно связана с их прочностью. Хотя материалы на основе вольфрама довольно хрупкие, правильный состав сплава и термическая обработка могут повысить их способность поглощать энергию удара. Ударная вязкость колец из вольфрамового сплава позволяет им сохранять высокую степень сопротивления разрушению при резких нагрузках, механических ударах и бомбардировке частицами высокой энергии, что делает их пригодными для использования в качестве защитных и демпфирующих конструкционных материалов.

2.3.6 Характер разрушения и режим разрушения

Кольца из вольфрамовых сплавов обычно подвержены хрупкому разрушению, особенно при низких температурах и в зонах высокой концентрации напряжений. Для повышения вязкости разрушения часто применяются корректировка соотношения легирующих элементов, оптимизация процессов порошковой металлургии и многоступенчатая термическая обработка, что позволяет добиться равномерного измельчения микроструктуры, снизить внутренние напряжения и уменьшить источники дефектов. К видам разрушения относятся, в первую очередь, распространение трещин, слияние микропор и межфазное расслоение. Понимание этих механизмов может помочь улучшить проектирование материалов и управление технологическим процессом.

Подводя итог, можно сказать, что кольца из вольфрамового сплава обладают превосходными механическими свойствами. Они обладают высокой прочностью и жёсткостью, а благодаря усовершенствованию технологического процесса их прочность и усталостная долговечность значительно возросли, что делает их пригодными для сложных и ответственных

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

промышленных применений. В будущем, с развитием нанотехнологий, микролегирования и интеллектуальных производственных процессов, механические свойства колец из вольфрамового сплава будут ещё больше улучшены.

2.4 Коррозионная стойкость и термостойкость кольца из вольфрамового сплава

Кольца из вольфрамового сплава играют ключевую роль во многих высокотехнологичных отраслях промышленности и в экстремальных условиях. Их коррозионная стойкость и устойчивость к высоким температурам являются ключевыми показателями, обеспечивающими их длительную стабильную работу и долгий срок службы. Кольца из вольфрамового сплава обладают превосходной стойкостью к окислению и химической коррозии, сохраняя при этом хорошие механические свойства и структурную стабильность в условиях высоких температур, что делает их широко используемыми в атомной энергетике, аэрокосмической, военной и химической промышленности.

2.4.1 Коррозионная стойкость кольца из вольфрамового сплава

Сам вольфрам обладает чрезвычайно высокой химической стабильностью, демонстрируя исключительную коррозионную стойкость в различных кислотных и щелочных средах. Содержание вольфрама в кольцах из вольфрамового сплава обычно составляет большую часть сплава, обеспечивая основу для превосходной коррозионной стойкости. Выбор и соотношение связующих металлов, таких как никель и железо, существенно влияют на коррозионную стойкость сплава. Правильный состав сплава может максимально повысить общую коррозионную стойкость.

- **Стойкость к окислению** : Кольца из вольфрамового сплава образуют на своей поверхности плотную и стабильную защитную пленку из оксида вольфрама (WO_3) на воздухе и в окислительных средах. Эта пленка эффективно предотвращает дальнейшее окисление и коррозию, повышая долговечность материала. Способность пленки к самовосстановлению обеспечивает длительную защиту от окисления, особенно в условиях низких и средних температур.
- **Химическая коррозионная стойкость** : кольца из вольфрамового сплава обладают высокой коррозионной стойкостью в большинстве кислотных и щелочных растворов, сохраняя особенно низкую скорость коррозии в сильных кислотных средах, таких как серная и соляная кислоты. Это делает их пригодными для использования в химической и атомной промышленности, где предъявляются строгие требования к защите от коррозии. Однако в некоторых средах, содержащих высокотемпературные расплавы солей щелочных металлов и сильные окислители, коррозионная стойкость может снижаться, что требует нанесения покрытия или специальной обработки поверхности для повышения уровня защиты.
- **Локальная защита от коррозии** : Низкая пористость и плотная структура колец из вольфрамового сплава эффективно предотвращают точечную и щелевую коррозию. Поверхностная обработка, такая как напыление, PVD-покрытие и химическая пассивация, дополнительно повышает коррозионную стойкость, продлевая срок

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

службы, особенно в морской среде и условиях высокой влажности.

2.4.2 Высокая термостойкость кольца из вольфрамового сплава

Кольца из вольфрамового сплава способны сохранять превосходные физические и механические свойства в условиях высоких температур и являются важным материалом для изготовления высокотемпературных конструкционных деталей и функциональных компонентов.

- **Высокая температура плавления и термическая стабильность** : температура плавления вольфрама достигает 3422°C, что значительно превышает температуру плавления большинства металлов, что делает кольца из вольфрамовых сплавов чрезвычайно устойчивыми к высоким температурам. В условиях высоких температур микроструктура кольца остается стабильной, что делает его менее подверженным росту зерен и структурной деградации, обеспечивая высокие механические свойства материала.
- **Характеристики теплового расширения** : коэффициент линейного расширения кольца из вольфрамового сплава низкий, обычно в диапазоне $4,5 \sim 5,5 \times 10^{-6} / \text{K}$, что обеспечивает его размерную стабильность в условиях термических циклов и высоких колебаний температур, предотвращая концентрацию напряжений и структурные повреждения, вызванные тепловым расширением и сжатием.
- **Поведение при высокотемпературном окислении** : хотя оксидная пленка, образующаяся на кольцах из вольфрамового сплава в высокотемпературных окислительных средах, обеспечивает некоторую защиту, скорость окисления значительно увеличивается при температуре выше 500 °C, особенно в атмосфере с высоким содержанием кислорода. Поэтому для предотвращения окислительных повреждений в условиях высоких температур часто требуются защитные атмосферы, вакуум или поверхностные покрытия.
- **сопротивление ползучести при высоких температурах** : кольца из вольфрамового сплава демонстрируют превосходное сопротивление ползучести при высоких температурах и длительных нагрузках, замедляя пластическую деформацию и разрушение. Благодаря рациональному составу сплава и оптимизации термообработки их термическая усталостная долговечность может быть существенно увеличена для соответствия требованиям эксплуатации в экстремальных условиях, таких как авиационные двигатели и ядерные реакторы.

2.4.3 Координированная оптимизация коррозионной стойкости и стойкости к высоким температурам

На практике кольца из вольфрамового сплава часто должны обладать превосходной коррозионной стойкостью и устойчивостью к высоким температурам. Следующие методы позволяют добиться синергетического улучшения этих двух характеристик:

- **Контроль состава сплава** : регулируйте соотношение таких элементов, как вольфрам, никель и железо, добавляйте следы редкоземельных элементов или упрочняющие фазы для улучшения высокотемпературной стабильности и стойкости

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

к окислению, одновременно повышая общую коррозионную стойкость.

- **Модификация поверхности** : высокотемпературное антиокислительное покрытие (например, керамическое покрытие), химическая пассивация и ионная имплантация используются для значительного повышения стойкости поверхности к коррозии и термостойкости колец из вольфрамового сплава.
- **Передовая технология подготовки** : использование процессов высокой плотности, таких как вакуумное спекание и горячее изостатическое прессование, для уменьшения пористости материала, предотвращения проникновения агрессивных сред, повышения стабильности ткани и стойкости к высоким температурам.

Подводя итог, можно сказать, что кольца из вольфрамового сплава, благодаря своей исключительной коррозионной стойкости и стойкости к высоким температурам, играют незаменимую роль в высокотемпературной защите, ядерной защите, аэрокосмической и химической промышленности. С развитием материаловедения и технологий обработки поверхностей коррозионная стойкость и стойкость колец из вольфрамового сплава будут и дальше повышаться, чтобы соответствовать более строгим требованиям будущего.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Глава 3 Технология изготовления кольца из вольфрамового сплава

3.1 Подготовка сырья для колец из вольфрамовых сплавов и базовая порошковая металлургия

Изготовление колец из вольфрамового сплава – ключевой этап в обеспечении их превосходной производительности и стабильного качества. Подготовка сырья и процесс порошковой металлургии являются основой всего производственного процесса. Высококачественный порошок вольфрамового сплава и научно обоснованные технологии порошковой металлургии напрямую влияют на плотность, микроструктуру, механические свойства и качество поверхности колец из вольфрамового сплава.

3.1.1 Выбор и подготовка сырья для изготовления колец из вольфрамового сплава

Кольца из вольфрамового сплава в основном состоят из высокочистого вольфрамового порошка и связующего сплава (обычно металлических порошков, таких как никель, железо или медь). Чистота, гранулометрический состав, морфология и химический состав исходного сырья существенно влияют на характеристики конечного продукта.

- **Подготовка вольфрамового порошка** : Вольфрамовый порошок является основным компонентом колец из вольфрамового сплава. Распространенные методы подготовки включают восстановление и химическое осаждение. Метод восстановления

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

использует вольфрамат натрия для получения однородного вольфрамового порошка, часто со сферической или субсферической формой частиц, что облегчает последующее прессование и спекание. Химическое осаждение позволяет получить сверхтонкий вольфрамовый порошок, подходящий для изготовления высокопрочных колец из вольфрамового сплава.

- **Связующий порошок для сплава** : никелевый и железный порошки являются основными связующими материалами и должны обладать высокой чистотой и равномерным распределением частиц по размеру. Никелевый порошок обеспечивает превосходные механические свойства и коррозионную стойкость, а железный порошок повышает твёрдость и прочность сплава. Медный порошок часто используется в специальных сплавах вольфрама и меди для улучшения теплопроводности.
- **Предварительная обработка порошка** : перед использованием исходные порошки необходимо просеять, высушить и перемешать для обеспечения однородного размера частиц, предотвращения агломерации и избыточного содержания влаги. Вольфрамовый порошок и связующий порошок также равномерно смешиваются механическими методами, такими как шаровая мельница, для достижения оптимальной дисперсии и ускорения уплотнения при спекании.

3.1.2 Базовый процесс порошковой металлургии

колец из вольфрамового сплава в основном осуществляется с использованием технологии порошковой металлургии, включающей смешивание порошков, формование, спекание, горячее изостатическое прессование и другие этапы. В совокупности эти этапы определяют микроструктуру и макросвойства колец из вольфрамового сплава.

- **Смешивание порошков** : вольфрамовый порошок равномерно диспергируется со связующими веществами, такими как никель и железо, посредством шаровой мельницы или механического смешивания. Равномерность смешивания оказывает решающее влияние на плотность и эксплуатационные характеристики кольца из вольфрамового сплава . Необходимо избегать чрезмерного окисления или загрязнения порошка.
- **Процесс формования** : формование — это процесс прессования однородно перемешанного порошка в желаемую форму. Распространенные методы включают компрессионное формование и изостатическое прессование. Компрессионное формование подходит для простых колец из вольфрамового сплава, тогда как изостатическое прессование позволяет получать кольца более высокой плотности и сложной формы.
- **Спекание: Спекание** — важнейший этап в процессе порошковой металлургии. Нагрев вызывает диффузию и связывание частиц порошка, образуя плотную структуру. Кольца из вольфрамового сплава обычно спекают в вакууме при высоких температурах, достигающих 1400–1600 °C. Это эффективно снижает содержание примесей и улучшает плотность и механические свойства сплава.
- **Горячее изостатическое прессование (ГИП)** : для дальнейшего повышения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

уплотнения и улучшения механических свойств колец из вольфрамового сплава, спечённые кольца из вольфрамового сплава часто подвергаются горячему изостатическому прессованию (ГИП). Процесс ГИП использует высокую температуру и высокое давление для повышения уплотнения материала, устранения внутренней пористости и дефектов, а также повышения однородности и прочности материала.

3.1.3 Влияние порошковой металлургии на свойства колец из вольфрамового сплава

Базовый процесс порошковой металлургии оказывает существенное влияние на эксплуатационные характеристики колец из вольфрамового сплава. Рациональный подбор и контроль параметров процесса могут значительно улучшить комплексные эксплуатационные характеристики материала:

- **Плотность и прочность** : Изделия из высокоплотной порошковой металлургии обладают повышенной механической прочностью и вязкостью. Для достижения наилучшего эффекта уплотнения необходимо точно контролировать температуру спекания и время выдержки.
- **Однородность микроструктуры** : равномерный процесс смешивания и спекания порошка позволяет избежать сегрегации компонентов и структурной неравномерности, а также уменьшить количество дефектов, таких как трещины и отверстия.
- **Качество поверхности и производительность обработки** : высококачественный порошок и рациональный процесс формования позволяют получать кольца из вольфрамового сплава с гладкой поверхностью и стабильными размерами, что удобно для последующей механической обработки и поверхностной обработки.

Подводя итог, можно сказать, что подготовка сырья и процесс порошковой металлургии колец из вольфрамового сплава играют ключевую роль в обеспечении их высокой производительности и долговечности. С развитием технологий нанопорошков, современного оборудования для формования и интеллектуального управления процессом технология изготовления колец из вольфрамового сплава будет продолжать совершенствоваться для удовлетворения потребностей всё более сложных и ответственных применений.

3.2 Процесс формовки колец из вольфрамового сплава (литье под давлением, изостатическое прессование и т. д.)

Кольца из вольфрамового сплава имеют решающее значение для определения их окончательной формы, точности размеров и внутренней плотности. Правильный выбор и оптимизация методов формовки не только влияют на механические свойства и срок службы материала, но и напрямую влияют на эффективность производства и контроль затрат. В настоящее время компрессионное формование и изостатическое прессование являются двумя наиболее распространёнными методами формовки колец из вольфрамового сплава.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.2.1 Процесс компрессионного формования

Компрессионное формование — это метод прессования порошка вольфрамового сплава в полость формы с помощью специальной пресс-формы. Процесс включает в себя заполнение формы порошком, предварительное прессование, окончательное прессование и извлечение из формы.

- **Заполнение порошком** : предварительно смешанный порошок вольфрамового сплава загружается в полость формы, чтобы обеспечить равномерное распределение порошка и избежать неравномерной плотности готового изделия.
- **Стадия предварительного уплотнения** : используйте меньшее давление для предварительного уплотнения порошка, чтобы улучшить его стабильность и уменьшить дефекты формования.
- **этап прессования** : применение повышенного давления для полного уплотнения порошка. Обычно давление может достигать сотен МПа для повышения плотности сырца.
- **Извлечение из формы** : После завершения прессования необходимо осторожно извлечь форму, чтобы избежать растрескивания или деформации заготовки. Сформированная заготовка кольца из вольфрамового сплава будет направлена на последующий процесс спекания.

Преимуществами компрессионного формования являются относительно небольшие инвестиции в оборудование и отработанные производственные процессы, что делает его пригодным для производства колец из вольфрамовых сплавов простой конструкции и большими партиями. Однако его недостатком является неравномерное давление формования, которое может привести к градиентам плотности, влияющим на механические свойства. Кроме того, формование колец сложной формы или с тонкими стенками представляет собой более сложную задачу.

3.2.2 Процесс изостатического прессования

Холодное изостатическое прессование (ХИП) — это метод прессования порошков в закрытой гибкой форме путём равномерного давления во всех направлениях с помощью жидкости или газа. Процесс включает в себя заполнение порошка мешком, размещение в изостатическом прессе, нагнетание давления и распаковку.

- **Упаковка порошка** : поместите равномерно перемешанный порошок вольфрамового сплава в резиновый или пластиковый гибкий мешок, убедившись в отсутствии пузырьков и растекания порошка в мешке.
- **Изостатическое прессование** : упакованный порошок помещается в камеру изостатического прессования, где гидравлическая система равномерно распределяет давление. Диапазон давления обычно составляет 100–400 МПа.
- **Распаковка** : После герметизации и формования гибкий мешок удаляется, а

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

сформированное сырое тело имеет высокую и однородную плотность.

Существенным преимуществом изостатического прессования является равномерное давление формовки, что позволяет получать высокоплотную заготовку с равномерным распределением плотности. Этот процесс особенно подходит для колец из вольфрамовых сплавов сложной формы с большой разницей в толщине стенок. Этот процесс также эффективно снижает дефекты формовки, повышает эффективность последующего спекания и механической обработки, а также улучшает качество готовой продукции.

Влияние параметров процесса формовки на свойства колец из вольфрамового сплава
кольца из вольфрамового сплава влияет множество параметров:

- **Давление формования** : чем выше давление, тем больше плотность сырого тела, но слишком высокое давление может привести к повреждению формы и ухудшению текучести порошка.
- **распределение частиц порошка** : Мелкий и равномерно распределенный порошок способствует плотной формовке и уменьшению пор и трещин.
- **Конструкция пресс-формы** : Продуманная конструкция пресс-формы и конструкция выпуска порошка обеспечивают равномерное заполнение порошком, избегая концентрации напряжений и градиента плотности.
- **Скорость формования** : Слишком высокая скорость прессования в процессе формования может привести к агломерации порошка и образованию трещин, поэтому скорость прессования необходимо разумно контролировать.

3.2.4 Другие вспомогательные технологии формования

- **Горячее прессование:** Метод формования, сочетающий нагрев и давление, способствующий диффузии и связыванию частиц порошка, тем самым улучшая плотность и механические свойства сырого тела.
- **Прокатка** : Порошок вольфрамового сплава формуется с помощью прокатного оборудования, которое подходит для изготовления трубчатых или кольцеобразных изделий.
- **Литье под давлением (MIM)** : технология литья металлов под давлением в сочетании с процессом литья пластмасс под давлением подходит для высокоточного серийного производства колец сложной формы из вольфрамового сплава, но она предъявляет высокие требования к оборудованию и процессу.

3.3 Технология спекания кольца из вольфрамового сплава

Изготовление колец из вольфрамового сплава является критически важным этапом технологического процесса для уплотнения порошка, улучшения механических свойств и повышения структурной целостности. В процессе спекания порошки вольфрама и его сплавов подвергаются воздействию высоких температур, что приводит к диффузионному связыванию частиц и образованию сплошной плотной металлической матрицы, что придает кольцам из вольфрамового сплава превосходную прочность, твердость и износостойкость.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Высококачественный процесс спекания не только влияет на микроструктуру и стабильность характеристик колец из вольфрамового сплава, но и определяет срок службы и надёжность конечного изделия.

3.3.1 Основные принципы процесса спекания

Спекание — это процесс термической обработки, при котором частицы порошка диффундируют и связываются друг с другом при температурах ниже точки плавления материала, образуя прочное и плотное тело. Кольца из вольфрамовых сплавов обычно спекаются методом твердофазного спекания, при котором частицы порошка связываются при высоких температурах посредством твердофазной диффузии и физико-химических реакций между частицами. Этот процесс включает такие стадии, как активация поверхности частиц, формирование шейки, рост частиц и закрытие пор.

Высокая температура плавления вольфрама (приблизительно 3422 °C) требует спекания при температуре выше 1800 °C, типичный диапазон составляет от 1500 °C до 1800 °C. Конкретная температура зависит от состава сплава и требуемых эксплуатационных характеристик. Такие параметры, как температура спекания, время и атмосфера, оказывают решающее влияние на плотность и микроструктуру.

3.3.2 Распространенные методы спекания

- **Вакуумное спекание**
использует среду высокого вакуума, чтобы избежать окисления и загрязнения примесными газами, что способствует поддержанию чистоты материала и уменьшению поверхностных дефектов. Вакуумное спекание позволяет улучшить плотность и механические свойства колец из вольфрамовых сплавов и является широко используемым методом спекания в промышленном производстве.
- **Спекание в восстановительной водородной атмосфере**
использует восстановительные свойства водорода для удаления оксидного слоя с поверхности порошка, усиления диффузионной связи между частицами, снижения температуры спекания и улучшения структуры и свойств сплава. Однако чистота и расход водорода должны строго контролироваться для предотвращения таких нежелательных явлений, как водородная хрупкость.
- **Спекание в инертной атмосфере**
использует инертные газы, такие как аргон и азот, для защиты среды спекания, предотвращения окисления и улучшения качества поверхности сплава. Этот метод подходит для сложных колец из вольфрамовых сплавов с высокими требованиями к атмосфере.
- **Горячее изостатическое прессование (ГИП)**
сочетает в себе высокотемпературное и изостатическое спекание под давлением, что способствует закрытию пор и микроструктурной гомогенизации посредством приложения давления, значительно улучшая плотность и механические свойства колец из вольфрамового сплава. Технология ГИП подходит для изготовления

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

высокопроизводительных и высоконадежных колец из вольфрамового сплава.

Влияние параметров процесса спекания на свойства колец из вольфрамового сплава

- **Контроль температуры:**

при слишком низкой температуре диффузия недостаточна, что приводит к снижению плотности и прочности; при слишком высокой температуре легко происходит укрупнение зерна, что снижает прочность и износостойкость. Правильный контроль температуры — ключ к обеспечению качества спекания.

- **Время выдержки**

обеспечивает достаточную диффузию между частицами и закрытие пор, но слишком длительное время выдержки может привести к росту зерен и структурной деградации.

- **Скорости нагрева и охлаждения.**

Правильная скорость нагрева может снизить термическое напряжение и деформацию, а также предотвратить растрескивание заготовки; скорость охлаждения влияет на структурную стабильность и снятие внутренних напряжений.

- **Выбор и чистота атмосферы**

: соответствующая защита атмосферы предотвращает окисление и обезуглероживание, а также сохраняет чистоту материала и качество поверхности.

3.3.4 Дефекты спекания и контроль качества

К распространённым дефектам спекания относятся пористость, трещины, включения, образовавшиеся в результате спекания, и неоднородность зерен. Эти дефекты могут снизить механические свойства и долговечность колец из вольфрамовых сплавов. Оптимизация качества порошка, строгий контроль параметров спекания и применение вспомогательных технологий спекания (таких как горячее изостатическое прессование и спекание под тёплым прессованием) позволяют эффективно снизить количество дефектов и улучшить однородность продукции.

3.4 Прецизионная обработка колец из вольфрамового сплава

Изготовление колец из вольфрамового сплава — важнейший этап в преобразовании спеченных заготовок из вольфрамового сплава в готовые формы и размеры, соответствующие проектным требованиям. Из-за высокой плотности, твердости, температуры плавления и низкой пластичности вольфрамовых сплавов их механическая обработка представляет собой сложную задачу, требующую специальных методов и технологических параметров для обеспечения качества, повышения эффективности производства и продления срока службы инструмента.

3.4.1 Проблемы обработки колец из вольфрамового сплава

- Кольца из вольфрамового сплава после спекания обладают **высокой** твёрдостью, что может привести к износу и поломке инструмента. В то же время, материал очень хрупкий, что может привести к образованию трещин и разрушению

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

кромки во время обработки. Следует избегать чрезмерных усилий резания и термических напряжений.

- **Высокая плотность приводит к высоким нагрузкам при обработке**
. Высокая плотность вольфрамового сплава (обычно 17–19 г/см³) увеличивает нагрузку при резании, поэтому обрабатываемое оборудование и инструменты должны обладать высокой жесткостью и долговечностью.
- **Низкая теплопроводность и высокая аккумуляция тепла**
. Вольфрамовый сплав обладает низкой теплопроводностью. Тепло, выделяющееся при обработке, трудно отводить быстро, что может привести к перегреву поверхности заготовки и инструмента, вызывая деформацию обработки и ухудшение качества поверхности.

3.4.2 Основные процессы обработки колец из вольфрамового сплава

- **Черновая и чистовая обработка**
обычно выполняются сначала для удаления большей части излишков материала, а затем — чистовая обработка для достижения необходимой точности размеров и качества поверхности. Черновая обработка использует более высокие параметры резания для повышения эффективности, тогда как чистовая обработка требует точной настройки параметров для снижения сил резания и термического воздействия.
- **Точение**
— распространённый метод обработки колец из вольфрамового сплава, подходящий для обработки внутренних и наружных поверхностей. Твёрдосплавные или алмазные инструменты используются в сочетании с охлаждающими и смазывающими жидкостями, а скорость резания и подача контролируются для достижения идеального качества поверхности и точности размеров.
- **Шлифование**
используется для высокоточной размерной обработки и обработки поверхности колец из вольфрамового сплава. Оно особенно подходит для сложных криволинейных поверхностей и деталей малых размеров, трудно поддающихся обработке. Алмазные шлифовальные круги часто используются в качестве шлифовального инструмента в сочетании с эффективными системами охлаждения, предотвращающими перегрев заготовки.
- **Электроэрозионная обработка (ЭЭО)**
подходит для обработки колец из вольфрамовых сплавов сложной формы и труднообрабатываемых участков. Она обеспечивает высокую точность и хорошее качество поверхности, а также меньше зависит от твёрдости материала. Однако скорость обработки низкая, что делает её подходящей в качестве вспомогательной технологии обработки.
- **Полировка**
— важный процесс для улучшения качества поверхности колец из вольфрамового сплава. Она часто используется для повышения коррозионной стойкости и улучшения внешнего вида поверхности. Могут применяться механическая,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

химическая и электролитическая полировка. Выбор подходящего метода зависит от требований к заготовке.

3.4.3 Ключевые параметры обработки и оптимизация процесса

- **Скорость резания**

обычно регулируется на более низком уровне в диапазоне 30~100 м/мин для уменьшения износа инструмента и температуры заготовки.

- **Подача и глубина резания**

. Подача должна быть умеренной, чтобы избежать чрезмерного усилия резания. Глубина резания обычно невелика, чтобы обеспечить качество поверхности и размерную стабильность заготовки.

- **охлаждения и**

смазки используется большое количество охлаждающей жидкости или охлаждающего газа для повышения эффективности рассеивания тепла, снижения термической нагрузки и износа инструмента, а также продления срока службы инструмента.

- **При выборе материала инструмента**

в основном используются алмазные инструменты, инструменты из кубического нитрида бора (КНБ) или твердосплавные инструменты с учетом твердости и прочности для обеспечения режущего эффекта.

3.4.4 Контроль качества и инспекция процесса обработки

- **При проверке точности размеров**

используется высокоточное измерительное оборудование, такое как трехкоординатные измерительные машины (КИМ), измерители внутреннего диаметра и микрометры наружного диаметра, чтобы гарантировать соответствие размеров и соосности проектным требованиям.

- **Контроль качества поверхности**

осуществляется с помощью измерителя шероховатости поверхности и микроскопа для выявления текстуры и дефектов поверхности, чтобы гарантировать отсутствие трещин и сколов на обработанной поверхности и достижение ею требуемой гладкости.

- **Обнаружение внутренних дефектов**

сочетает в себе технологию неразрушающего контроля (ультразвуковой, рентгеновский и т. д.) для обнаружения новых трещин или внутренних дефектов в процессе обработки с целью обеспечения структурной целостности.

3.5 Технология обработки поверхности и улучшения характеристик колец из вольфрамового сплава

Кольца из вольфрамового сплава, благодаря высокой плотности, прочности и термостойкости, широко используются в аэрокосмической, военной, атомной энергетике и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

высокотехнологичном машиностроении. Для дальнейшего повышения общих эксплуатационных характеристик колец из вольфрамового сплава, особенно их износостойкости, коррозионной стойкости и срока службы, ключевым этапом стала технология обработки поверхности. Благодаря соответствующим процессам модификации поверхности можно не только улучшить качество поверхности колец из вольфрамового сплава, но и улучшить их механические свойства и устойчивость к воздействию окружающей среды.

3.5.1 Основные цели обработки поверхности колец из вольфрамового сплава

- **Повышенная износостойкость:**

Кольца из вольфрамового сплава подвержены сильному поверхностному износу в условиях сильного трения и ударных нагрузок. Использование твёрдого покрытия или технологии поверхностной закалки может эффективно продлить срок службы.

- **Повышенная коррозионная стойкость.**

В ядерной и химической среде кольца из вольфрамового сплава могут быть повреждены окислением, коррозией или радиацией. Поверхностный защитный слой может образовать прочный барьер, предотвращающий повреждение основного материала.

- **Улучшить шероховатость поверхности и размерную стабильность**

путем полировки, шлифовки и других процессов для достижения более высокой чистоты поверхности, снижения коэффициента трения, улучшения характеристик уплотнения и точности сборки.

- **Улучшает адгезию и прочность соединения на границе раздела.**

Предварительная обработка поверхности усиливает связь между покрытием и подложкой, предотвращая отслоение или растрескивание покрытия.

3.5.2 Типичная технология обработки поверхности кольца из вольфрамового сплава

- **Механическая полировка и шлифовка**

удаляют поверхностные окислы и дефекты механическими методами, такими как шлифование и полирование шлифовальным кругом, для создания однородной и гладкой поверхности. Они подходят для улучшения шероховатости поверхности и подготовки её к последующей обработке.

- **Химическая полировка и травление**

используют специальные химические реагенты для удаления поверхностных оксидов и загрязнений, образуя однородный и плотный поверхностный слой, одновременно улучшая чистоту поверхности.

- **Технология гальванического покрытия:**

Кольца из вольфрамового сплава часто покрываются такими металлами, как никель и гальванический хром, для повышения износостойкости и коррозионной стойкости. Контроль толщины и равномерности покрытия имеет решающее значение для обеспечения соответствия допусков размеров.

- **Физическое осаждение из паровой фазы (PVD) и химическое осаждение из**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

паровой фазы (CVD)

используют технологию осаждения путем испарения или химической реакции в вакуумной среде для формирования твердого керамического покрытия (например, TiN, CrN, TiC и т. д.) на поверхности колец из вольфрамового сплава, значительно повышая твердость поверхности и износостойкость.

- **Лазерная наплавка и модификация плавлением**
используют высокоэнергетический лазерный луч для локальной наплавки или быстрого затвердевания поверхности кольца из вольфрамового сплава с целью формирования плотного износостойкого слоя, тем самым повышая прочность сцепления поверхности и коррозионную стойкость.
- **Плазменное напыление**
использует высокотемпературную плазму для распыления металлического или керамического порошка для получения функциональных покрытий, что позволяет добиться многократного улучшения характеристик стойкости к высоким температурам, коррозионной стойкости и износостойкости.

3.5.3 Механизм повышения производительности технологии улучшения поверхности

- **Повышение твердости:**
путем нанесения твердого покрытия или поверхностного легирования можно значительно повысить твердость поверхности колец из вольфрамового сплава, тем самым повысив стойкость к царапинам и усталостную прочность.
- **Антикоррозийное барьерное**
покрытие образует плотную и устойчивую защитную пленку, изолирующую кислород, влагу и агрессивные среды, а также замедляющую коррозию основания.
- **Антифрикционный эффект**
оптимизирует шероховатость поверхности и коэффициент трения покрытия, снижает трение и износ между движущимися частями, а также повышает механическую эффективность.
- **Повышенная термостойкость:**
благодаря высокотемпературному износостойкому покрытию и модификации поверхности повышается устойчивость и срок службы колец из вольфрамового сплава в условиях высоких температур.

3.5.4 Контроль процесса обработки поверхности и проверка качества

- **Оптимизация параметров процесса**
включает выбор материала покрытия, температуру осаждения, давление, время и процесс последующей обработки для обеспечения соответствия требованиям однородности, адгезии и физико-химических свойств покрытия.
- **Для проверки шероховатости поверхности**
используется такое оборудование, как измеритель шероховатости и сканирующий электронный микроскоп (СЭМ), для оценки плоскостности поверхности и наличия дефектов.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Испытание толщины покрытия и адгезии**
гарантирует качество покрытия посредством анализа микрошлифов, испытания на царапание и испытания на прочность при растяжении.
- **Испытания на износостойкость и коррозионную стойкость**
проводятся на машинах для испытаний на трение и износ, испытания в солевом тумане и т. д. для имитации реальных условий эксплуатации и проверки эффекта обработки поверхности.

3.5.5 Тенденции будущего развития

- **Экологичная и безопасная для окружающей среды технология обработки поверхностей**
использует безопасный процесс обработки поверхности с низким уровнем загрязнения и энергопотребления, который соответствует нормам по охране окружающей среды.
- **Интеллектуальные и точные процессы**
используют цифровое управление и онлайн-мониторинг для достижения интеллектуальной оптимизации и отслеживания качества процессов обработки поверхности.
- **Технология нанесения функционального градиентного покрытия**
обеспечивает постепенное изменение характеристик покрытия от подложки к поверхности с учетом как прочности сцепления, так и функциональности поверхности.
- **Разработка композитных нанопокрытий**
предполагает объединение нескольких наноматериалов для получения высокопроизводительных композитных покрытий, отвечающих более жестким требованиям эксплуатации.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Глава 4. Методы контроля качества и характеристики колец из вольфрамового сплава

4.1 Контроль точности размеров и геометрии колец из вольфрамового сплава

Строгий контроль точности размеров и геометрии колец из вольфрамового сплава, являющихся высокопроизводительными структурными и функциональными компонентами, имеет ключевое значение для обеспечения соответствия проектных требований и сохранения стабильной производительности в практическом применении. В связи с высокой плотностью, высокой твёрдостью и сложностью обработки вольфрамового сплава, точный контроль размеров и геометрии имеет решающее значение для оптимизации процесса и контроля качества.

4.1.1 Важность размерного контроля

- **вольфрамового сплава**
часто используются в высокотехнологичном машиностроении, атомной энергетике и аэрокосмической отрасли. Точные внутренний и внешний диаметры, толщина и ширина кольца напрямую влияют на точность сборки и безопасность эксплуатации.
- **Контроль производственных ошибок и деформаций.**
Вольфрамовый сплав подвержен напряжениям и деформациям в процессе обработки. Контроль размеров помогает своевременно выявлять и устранять отклонения, предотвращая проблемы с качеством в последующих процессах.
- **Повышение однородности и стабильности продукции.**
Благодаря стандартизированному размерному тестированию достигается контролируемое и стабильное качество продукции при массовом производстве.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.1.2 Содержание теста геометрической точности

- **Внутренний и внешний**
диаметры кольца из вольфрамового сплава измеряются с помощью высокоточного измерителя внутреннего диаметра, внешнего микрометра или координатно-измерительной машины (КИМ), чтобы гарантировать соответствие размеров проектным допускам.
- **Равномерность толщины стенки**
измеряет толщину стенки кольца, чтобы гарантировать, что толщина стенки равномерно распределена в пределах проектного диапазона, предотвращая недостаточную прочность или концентрацию напряжений, вызванную локальной неравномерной толщиной.
- **Проверка круглости и концентричности**
осуществляется с помощью кругломера и трехмерной координатно-измерительной машины для оценки круглости и концентричности внутреннего и внешнего диаметров кольца из вольфрамового сплава с целью обеспечения точности окружности и структурной устойчивости кольца.
- **плоскостность и перпендикулярность торцов**
позволяет проверить, параллельны ли два торца кольца, а также соответствует ли перпендикулярность между торцом и осью корпуса кольца требованиям, обеспечивающим надежность монтажа и уплотнения.

4.1.3 Основное испытательное оборудование и технологии

- **Трёхмерная координатно-измерительная машина (КИМ) обеспечивает высокоточное измерение всего диапазона размеров и геометрических форм**
колец из вольфрамового сплава посредством трёхмерного измерения координат. Данные могут быть сохранены в цифровом формате для лёгкого отслеживания качества.
- **Оптические профилометры и лазерные сканеры**
используют бесконтактную технологию измерения для получения профиля поверхности и морфологии колец из вольфрамового сплава, которые подходят для измерения сложных поверхностей и небольших деформаций.
- **Измерители внутреннего диаметра и микрометры наружного диаметра — это**
традиционные прецизионные измерительные приборы, подходящие для повседневного контроля размеров. Они просты в эксплуатации и подходят для быстрого контроля в мастерской.
- **Приборы для проверки круглости и измерения формы**
специально используются для проверки круглости, концентричности и плоскостности с целью обеспечения геометрической точности колец из вольфрамового сплава.

4.1.4 Процесс тестирования и контроль качества

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. **Подготовка заготовки**

: Очистите поверхность кольца из вольфрамового сплава, чтобы удалить масло и загрязнения, которые могут повлиять на точность измерений.

2. **Разработка плана измерений:**

разработка планов контроля на основе проектных чертежей и определение основных размеров и требований к допускам.

3. **Сбор данных**

Используйте соответствующее измерительное оборудование для измерения размеров и геометрии и сбора подробных данных.

4. **Анализ данных и оценка:**

результаты измерений подвергаются статистическому анализу с целью определения их соответствия проектным и технологическим спецификациям.

5. **Обратная связь и корректировка качества:**

обратная связь по производственной линии на основе результатов испытаний для корректировки параметров обработки и оптимизации производственного процесса.

4.1.5 Распространенные проблемы и решения

- **Отклонение размеров, вызванное деформацией обработки,**
решается путем применения разумной поддержки приспособлений и поэтапной обработки для снижения технологического напряжения.
- **Источники погрешности измерений**
Убедитесь, что температура среды измерения стабильна, откалибруйте измерительное оборудование и выберите подходящий метод измерения.
- **Шероховатость поверхности влияет на точность измерений**
. Для повышения точности измерений можно полировать и очищать поверхность.

4.2 Метод анализа состава кольца из вольфрамового сплава

Состав колец из вольфрамового сплава напрямую определяет их основные физико-механические свойства, а также коррозионную стойкость. Поэтому точный и комплексный анализ состава имеет решающее значение для обеспечения стабильного качества и превосходных эксплуатационных характеристик. В данной статье систематически рассматриваются широко используемые методы анализа состава колец из вольфрамового сплава и особенности их применения.

4.2.1 Важность анализа ингредиентов

- **Обеспечьте точность формулы . Эффективность**
колец из вольфрамового сплава зависит от разумного соотношения вольфрама (W), никеля (Ni), железа (Fe) и других элементов. Точный анализ состава помогает проверить правильность применения формулы сплава.
- **Контроль примесей:**
Избыточное содержание примесей, таких как кислород (O), углерод (C), сера (S) и т.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

д., серьезно влияет на плотность и механические свойства материала. Анализ состава помогает обнаружить и контролировать уровень примесей.

- **Руководить оптимизацией процесса**
посредством анализа изменения состава для управления корректировкой параметров процесса, таких как подготовка порошка, спекание и термическая обработка, для достижения улучшения производительности.

4.2.2 Распространенные методы анализа состава

1. Оптическая эмиссионная спектроскопия с индуктивно связанной плазмой (ICP-OES)

- **Принцип:**
После растворения образца плазма используется для возбуждения элементов с целью излучения характерных спектров, а содержание элементов определяется путем анализа спектральной интенсивности.
- **Преимущества:**
Высокая чувствительность обнаружения, возможность одновременного определения нескольких элементов, особенно подходит для точного анализа следовых примесей и основных элементов.
- **Применение:**
Подходит для количественного определения вольфрама, никеля, железа и примесных элементов в кольцах из вольфрамового сплава, широко используется при контроле качества и проверке формул.

2. Рентгенофлуоресцентный спектрометр (РФС)

- **Принцип:**
Для возбуждения образца используются рентгеновские лучи, а интенсивность характеристического флуоресцентного рентгеновского излучения, испускаемого элементами, измеряется для определения типа и содержания элементов.
- **Преимущества**
: Не нужно растворять образец, быстрое обнаружение, подходит для неразрушающего анализа твердых образцов.
- **Применение:**
Используется для быстрого определения основных легирующих элементов и их приблизительного содержания в кольцах из вольфрамового сплава, подходит для экспресс-анализа на месте или на производственных линиях.

3. Анализатор кислорода, азота и водорода (ONH)

- **Принцип:**
Для измерения содержания кислорода, азота и водорода в образце используется метод высокотемпературного сжигания или пиролиза.
- **Преимущества:**
позволяет точно определять трудноконтролируемые примесные элементы и обеспечивать чистоту и стабильные характеристики сплава.
- **Применение**
: определение содержания кислорода, азота, водорода и других примесей в кольцах

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

из вольфрамового сплава для предотвращения ухудшения характеристик материала из-за примесей.

4. Электронно-зондовый микроанализ (ЭЗМА)

- **Принцип:**

Образец возбуждается электронным пучком, и испускаемые характеристические рентгеновские лучи анализируются для получения информации о распределении и содержании элементов в микрообласти.

- **Преимущества:**

Высокое пространственное разрешение, позволяющее определять локальный состав и неравномерное распределение элементов.

- **Применение:**

используется для изучения микроскопического распределения легирующих элементов и степени легирования в кольцах из вольфрамового сплава.

5. Масс-спектрометрия (например, ИСП-МС)

- **Принцип:**

Путем ионизации элементов образца и измерения массы ионов осуществляется количественный анализ содержания элементов с чрезвычайно высокой чувствительностью.

- **Преимущества**

: Обнаруживает элементы в крайне низких концентрациях и подходит для анализа следов примесей.

- **Применение:**

используется для обнаружения следов элементов в кольцах из высокочистого вольфрамового сплава с целью обеспечения чистоты материала.

4.2.3 Процесс анализа компонентов

1. **Подготовка образцов**

В соответствии с требованиями метода испытаний образцы колец из вольфрамового сплава предварительно обрабатываются путем резки, измельчения, растворения или дробления для обеспечения однородности образца и его соответствия стандартам анализа.

2. **Калибровка прибора**

осуществляется с помощью стандартных образцов или калибровочных растворов для калибровки прибора с целью обеспечения точности и надежности результатов испытаний.

3. **Сбор данных**

Собирайте количественные или качественные данные об элементах в соответствии со стандартными процедурами испытаний.

4. **Обработка данных и анализ результатов**

используются для корректировки и расчета собранных данных, а также для оценки соответствия состава спецификациям, основанным на требованиях к конструкции сплава.

5. **Формирование отчетов и обратная связь по качеству.**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Выпуск подробных отчетов об испытаниях в качестве основы для корректировки производства и контроля качества.

4.2.4 Проблемы и аспекты анализа ингредиентов

- **Репрезентативность выборки:**

Поскольку состав материала колец из вольфрамового сплава может иметь локальные различия, для обеспечения репрезентативности результатов анализа требуется многоточечный отбор проб.

- **Предел обнаружения и чувствительность**

: Для обнаружения следов примесей требуются высокочувствительные приборы, чтобы избежать отклонения данных.

- **Влияние подготовки образцов на результаты**

Неполное растворение или загрязнение образцов повлияет на точность результатов, поэтому процесс подготовки должен строго контролироваться.

4.3 Испытание механических свойств кольца из вольфрамового сплава

Качество колец из вольфрамового сплава напрямую зависит от их надежности и срока службы в различных интенсивных и суровых условиях эксплуатации. Поэтому систематические и комплексные испытания механических свойств являются ключевым этапом оценки качества и эксплуатационных характеристик колец из вольфрамового сплава. В этом разделе рассматриваются наиболее часто используемые параметры испытаний механических свойств, методы испытаний и стандарты для колец из вольфрамового сплава.

4.3.1 Важность механических свойств колец из вольфрамового сплава

Кольца из вольфрамового сплава обычно используются в атомной, военной, аэрокосмической и высокотехнологичной промышленности. Эти области применения предъявляют чрезвычайно высокие требования к механическим свойствам материалов, таким как прочность, ударная вязкость, твердость и т. д. Испытания механических свойств позволяют:

- Подтвердить, что кольцо из вольфрамового сплава соответствует проектным условиям;
- Понимать закономерности деформации и разрушения материалов в различных средах;
- Руководить оптимизацией процесса подготовки материалов и повышать комплексную производительность;
- Обеспечить безопасность и стабильность продукции.

4.3.2 Основные объекты испытаний механических свойств

1. **Прочность на растяжение**

определяет максимальную несущую способность материала при растяжении, отражая способность кольца из вольфрамового сплава противостоять разрыву.

о Метод испытания: используйте стандартную испытательную машину на

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

растяжение в соответствии с ASTM E8 или GB/T 228 и другими спецификациями.

- о Подготовка образцов: В зависимости от особенностей кольцевой структуры для подготовки образцов часто используют образцы, подвергаемые изгибу и растяжению, или разрезанию сегментов колец.

2. Предел текучести

показывает значение напряжения, при котором материал начинает подвергаться пластической деформации. Это ключевой показатель, используемый при расчёте запаса прочности конструкции.

- о Стандарт испытания такой же, как и для предела прочности на растяжение, и определяется пределом текучести на кривой растяжения.

3. Вязкость разрушения

определяет способность колец из вольфрамового сплава противостоять распространению трещин и отражает вязкость и поведение материала при разрушении.

- о Метод испытания: Испытание на вязкость разрушения проводится с использованием образцов на трехточечный изгиб или компактное растяжение в соответствии со стандартом ASTM E399.
- о Применение: Особенно подходит для оценки характеристик безопасности колец из вольфрамового сплава при наличии ударов или трещин.

4. Твердость

характеризует способность поверхности материала сопротивляться пластической деформации и обычно измеряется с помощью твердости по Роквеллу (HR), Виккерсу (HV) или Бринеллю (HB).

- о Испытательное оборудование: твердомер или микротвердомер.
- о Кольца из сплава с высокой твердостью обычно обладают превосходной износостойкостью и устойчивостью к царапинам.

5. Ударная вязкость

проверяет способность материала поглощать энергию при ударной нагрузке и оценивает устойчивость материала к ударным повреждениям.

- о Стандарт испытаний: применяется испытание на ударную вязкость по Шарпи (ASTM E23), и подходящие образцы должны быть специально разработаны.

6. Усталостная прочность

оценивает долговечность колец из вольфрамового сплава при многократных циклических нагрузках.

- о Метод испытания: Используйте машину для испытания на усталость, чтобы провести испытания на изгиб при вращении или на усталость при растяжении и сжатии.
- о Кольца из сплава, используемые в условиях вибрации или знакопеременных нагрузок .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.3.3 Процесс испытания механических свойств

1. **Подготовка образцов: Из-за особой формы**

кольца из вольфрамового сплава необходимо разрезать или обработать до размеров образцов стандартного образца в соответствии с параметрами испытаний, чтобы обеспечить достоверность и сопоставимость результатов испытаний.

2. **Калибровка оборудования и контроль состояния**

осуществляются с использованием испытательного оборудования, соответствующего стандартам, и проведением испытаний при комнатной температуре или заданной температуре, чтобы исключить влияние факторов окружающей среды на результаты.

3. **Сбор и обработка данных**

регистрируют кривые напряжения-деформации, энергию удара и другие данные в режиме реального времени, а также рассчитывают показатели эффективности с использованием стандартных методов.

4. **Оценка результатов и составление отчетов**

: проанализируйте данные испытаний, чтобы определить, соответствуют ли они требованиям проекта или отраслевым стандартам, и выпустите подробный отчет об испытаниях.

4.3.4 Стандарты и спецификации

колец из вольфрамового сплава в основном соответствует следующим международным и отечественным стандартам:

- **Стандарты ASTM**

- o ASTM E8 (испытание на растяжение)
- o ASTM E23 (испытание на удар)
- o ASTM E399 (вязкость разрушения)

- **Стандарт GB/T**

- o GB/T 228 (Методы испытаний на растяжение металлических материалов)
- o GB/T 229 (Метод испытания на удар)
- o GB/T 6396 (испытание на вязкость разрушения)

- **стандарты ИСО**

- o ISO 6892 (Испытание металлов на растяжение)
- o ISO 148-1 (испытание на удар)

4.3.5 Особые задачи испытаний механических свойств

- **Подготовка образцов сложна.**

Кольца из вольфрамового сплава имеют сложную форму и высокую твердость, поэтому их обработка в стандартные образцы требует высокоточного оборудования и высокоточных процессов.

- **Испытательное оборудование для материалов высокой плотности требует, чтобы**

вольфрамовые сплавы имели высокую плотность и высокие испытательные нагрузки,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

а оборудование должно обладать достаточными механическими свойствами.

- **Испытание эксплуатационных характеристик при высоких температурах**
Поскольку кольца из вольфрамового сплава часто используются в условиях высоких температур, испытание механических характеристик при высоких температурах требует специальных систем нагрева и контроля.

4.4 Микроструктура и обнаружение дефектов кольца из вольфрамового сплава

Микроструктура и дефекты колец из вольфрамового сплава являются ключевыми факторами, влияющими на их механические свойства, коррозионную стойкость и срок службы. Микроструктурное исследование и обнаружение дефектов дают представление о внутренних структурных характеристиках материала и потенциальных проблемах с качеством, помогая оптимизировать процесс и контролировать качество. Ниже подробно описаны методы анализа микроструктуры и методы обнаружения дефектов колец из вольфрамового сплава.

4.4.1 Важность микроструктуры кольца из вольфрамового сплава

Кольца из вольфрамового сплава состоят из частиц вольфрама высокой плотности и связующих металлов, таких как никель и железо. Однородность микроструктуры, размер частиц и качество межфазного соединения напрямую влияют на механическую прочность и долговечность. Хорошая микроструктура проявляется в следующем:

- Частицы вольфрама мелкие и равномерно распределены;
- Фаза связывания непрерывна и прочна;
- Явных внутренних дефектов, таких как отверстия и трещины, нет.

Микроструктурный анализ помогает оценить степень уплотнения спекания, эффекты термообработки и стабильность материала.

4.4.2 Метод анализа микроструктуры

1. Наблюдение с помощью оптической микроскопии (ОМ)

- о Наблюдение проводилось на образцах-срезах после шлифовки, полировки и антикоррозионной обработки.
- о Можно определить частицы вольфрама, однородность связующей фазы и пористость.
- о Часто используется для предварительной макроорганизационной оценки.

2. Анализ с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ)

- о Высокоразрешающее наблюдение микроструктурных деталей кольца из вольфрамового сплава.
- о Можно наблюдать границы частиц, состояния связей на интерфейсе и мельчайшие дефекты.
- о Энергодисперсионную спектроскопию (ЭДС) можно использовать для анализа распределения компонентов и идентификации примесей и вторичных фаз.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Рентгеновская дифракция (XRD)

- Используется для анализа кристаллической структуры и фазового состава материалов.
- Определить состояние твердого раствора и фазовые переходы вольфрама и других элементов.
- Помогает определить влияние термической обработки и спекания материалов.

4. Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ)

- наномасштабных структур и границ зерен.
- Подходит для изучения микродефектов и искажений решетки колец из вольфрамового сплава.

4.4.3 Технология обнаружения дефектов

1. Оптический осмотр

- Макродефекты, такие как поверхностные и приповерхностные трещины и отверстия, обнаруживаются с помощью микроскопа.

2. Ультразвуковой контроль (УЗК)

- Ультразвуковые волны могут проникать в материалы и обнаруживать внутренние дефекты, такие как поры и трещины.
- Подходит для неразрушающего контроля толстостенных колец из вольфрамового сплава.

3. Рентгеновская/компьютерная томография (КТ)

- Высококонтрастное обнаружение пор, включений и трещин внутри материалов.
- Он может осуществлять трехмерное изображение дефекта и точно определять размер и положение дефекта.

4. Магнитопорошковый контроль (МТ)

- Обнаружение поверхностных и подповерхностных трещин.
- Дефектоскопия колец из магнитного вольфрамового сплава.

5. Пенетрантный контроль (РТ)

- Обнаружение поверхностных микротрещин и отверстий, особенно в немагнитных материалах.
- Просто и быстро, но подходит только для поверхностных дефектов.

4.4.4 Влияние микроструктуры и дефектов на производительность

- **Пористость и трещины** : снижают плотность материала, становятся точками концентрации напряжений и легко приводят к усталостному разрушению и потере прочности.
- **Агломерация частиц и неравномерное распределение** : приводят к локальной неравномерности механических свойств и снижают общую стабильность эксплуатационных характеристик.
- **сцепление интерфейса** : влияет на эффективность передачи нагрузки и снижает

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

прочность и ударную вязкость.

- **Осаждение примесей и вторичных фаз** : может вызвать коррозию и ухудшение производительности.

4.4.5 Рекомендации по контролю качества и оптимизации процесса

- Оптимизируйте процессы приготовления и смешивания порошка, чтобы обеспечить однородный состав.
- Контролируйте температуру и время спекания для улучшения уровня уплотнения.
- Используйте соответствующий процесс термообработки для улучшения микроструктуры и сцепления интерфейсов.
- Усилить неразрушающий контроль для своевременного выявления и устранения дефектов.

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 5. Технология и случаи применения колец из вольфрамового сплава

5.1 Применение колец из вольфрамового сплава в аэрокосмической промышленности

Кольца из вольфрамового сплава стали незаменимым материалом в аэрокосмической промышленности благодаря своей высокой плотности, прочности и превосходной термостойкости. Их уникальные физические и химические свойства делают их важными компонентами и системами, обеспечивая безопасность, устойчивость и эксплуатационные характеристики летательных аппаратов.

5.1.1 Применение колец противовеса высокой плотности

Авиационно-космическая промышленность предъявляет чрезвычайно высокие требования к материалам для противовесов, требуя точного контроля веса и высокой термостойкости и коррозионной стойкости. Кольца из вольфрамового сплава являются идеальными противовесами благодаря своему высокому удельному весу и широко используются в следующих областях:

- Кольца из вольфрамового сплава могут использоваться в качестве **балансировочных грузов ротора в инерциальных измерительных блоках (ИИБ)** для обеспечения точности гироскопов и акселерометров, а также для повышения стабильности и надежности навигации самолетов.
- **Балансировочный блок системы управления полетом**, поверхность управления самолетом и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

противовесное кольцо в сервоприводе эффективно регулируют распределение веса, обеспечивают чувствительность и скорость реагирования поверхности управления, улучшают летные характеристики.

5.1.2 Высокотемпературные износостойкие кольца

Высокотемпературные среды, такие как авиационные двигатели, предъявляют чрезвычайно высокие требования к термостойкости и износостойкости компонентов. Кольца из вольфрамового сплава обладают превосходной термостойкостью и износостойкостью и подходят для:

- Кольца из вольфрамового сплава используются в качестве подшипников и уплотнений для высокотемпературных подшипников газотурбинных двигателей. Они выдерживают высокие температуры и высокие скорости, снижают износ и продлевают срок службы компонентов.
- В системе воздухопроводов двигателя используются высокотемпературные направляющие и уплотнительные кольца. Кольца из вольфрамового сплава обеспечивают эффективную герметизацию и стабильность воздушного потока, тем самым повышая КПД двигателя.

5.1.3 Противорадиационные и защитные кольца

Космические корабли и спутники часто подвергаются воздействию сильного космического излучения. Кольца из вольфрамового сплава широко используются в:

- **Радиационно-защитное кольцо космического корабля**
защищает электронное оборудование и чувствительные приборы от повреждения высокоэнергетическими частицами и радиацией, обеспечивая стабильную работу оборудования.
- **Структурные кольца в ядерных энергетических системах**
В космических аппаратах с ядерными двигателями кольца из вольфрамового сплава используются в качестве поглотителей нейтронов и колец радиационной защиты для повышения безопасности системы.

5.1.4 Конструктивные соединения и высокопрочные крепежные элементы

Высокая прочность и высокомодульные механические свойства колец из вольфрамового сплава делают их пригодными для использования в качестве ключевых компонентов конструктивных соединений, включая:

- **высокопрочное соединительное кольцо**
выдерживает экстремальные механические нагрузки и обеспечивает общую прочность самолета.
- **Антивибрационные буферные кольца**
снижают передачу вибрации, повышая безопасность полета и комфорт езды.

5.1.5 Анализ типичного случая

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Определенный тип системы противовеса военных спутников**
использует кольца из вольфрамового сплава в качестве основных компонентов противовеса для достижения точного управления положением спутника и повышения эффективности корректировки орбиты.
- Кольца из вольфрамового сплава используются для замены традиционных материалов **в высокотемпературных уплотнительных кольцах определенных типов реактивных двигателей**
, повышая термостойкость уплотнения и продлевая цикл технического обслуживания двигателя.
- **Устройство радиационной защиты космического корабля**
объединяет кольца из вольфрамового сплава и композитные материалы для создания многослойной защитной структуры, которая эффективно защищает от космического излучения.

5.2 Применение колец из вольфрамового сплава в энергетике и атомной промышленности

Кольца из вольфрамового сплава стали незаменимым и важным материалом в энергетике и атомной промышленности благодаря высокой плотности, прочности и превосходной радиационной и термостойкости. Их широкое применение в таких ключевых областях, как конструкции ядерных реакторов, поглотители нейтронов и радиационная защита, значительно повысило безопасность, устойчивость и срок службы ядерных установок.

5.2.1 Кольца поглощения нейтронов в ядерных реакторах

Кольца из вольфрамового сплава обладают сильными свойствами поглощения нейтронов и часто используются в системах управления и безопасности ядерных реакторов:

- При изготовлении стержней управления или безопасности реактора кольца из вольфрамового сплава являются важными поглощающими материалами, которые эффективно регулируют скорость ядерной реакции и обеспечивают стабильность и безопасность работы реактора.
- **Кольца радиационной защиты**
используются вокруг активной зоны реактора для предотвращения утечки нейтронов и гамма-излучения, а также для защиты окружающего оборудования и персонала от радиационной опасности.

5.2.2 Высокотемпературные структурные кольца

Многие виды оборудования в атомной промышленности длительное время эксплуатируются в условиях высоких температур. Кольца из вольфрамового сплава широко используются в:

- **Опорные кольца тепловыделяющих сборок**
используются для поддержки и фиксации тепловыделяющих стержней, выдерживают радиационные и тепловые нагрузки, обеспечивают структурную

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

целостность тепловыделяющей сборки.

- **Высокотемпературные направляющие кольца и уплотнения**
используются в системах охлаждения ядерных реакторов и вспомогательном оборудовании для обеспечения направления жидкости и герметичности, а также повышения эффективности и безопасности оборудования.

5.2.3 Защитные кольца в оборудовании для обращения с радиоактивными отходами

Кольца из вольфрамового сплава играют важную защитную роль в оборудовании для переработки и хранения радиоактивных отходов:

- **Кольца радиационной защиты**
изготавливаются из различных радиационно-защитных конструкций, которые эффективно блокируют высокоэнергетические частицы, испускаемые радиоактивными веществами, и обеспечивают экологическую безопасность.
- **Коррозионностойкие защитные кольца**
используются в ключевых зонах контейнеров для хранения отходов для предотвращения деградации материала, вызванной коррозией и радиацией.

5.2.4 Ключевые компоненты ядерных энергетических систем

Кольца из вольфрамового сплава также используются при изготовлении ключевых компонентов атомных электростанций, таких как атомные подводные лодки и энергетические установки атомных авианосцев:

- **Динамические балансировочные грузики**
обеспечивают стабильную работу вращающихся механических частей на высоких скоростях.
- **Высокопрочные соединения и уплотнительные кольца**
выдерживают значительные механические нагрузки и радиационное излучение, обеспечивая безопасность и стабильность работы системы.

5.2.5 Типичные случаи применения

- **Кольцо из вольфрамового сплава**
атомной электростанции использует кольца из высокочистого вольфрамового сплава для изготовления основных компонентов стержня управления, что позволяет добиться точного управления ядерными реакциями и гарантировать безопасную и стабильную работу электростанции.
- **Кольцо радиационной защиты резервуара для хранения ядерных отходов**
изготовлено из колец из вольфрамового сплава, которые образуют многослойную защитную структуру для эффективной изоляции радиации и продления срока службы резервуара для хранения.
- **Высокотемпературные уплотнительные кольца**
атомных судов сохраняют превосходные уплотнительные свойства в условиях высоких температур, обеспечивая эффективную и безопасную работу энергосистемы.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.3 Применение колец из вольфрамового сплава в машиностроении и военной технике

Кольца из вольфрамового сплава широко используются в машиностроении и военной технике благодаря высокой плотности, прочности и превосходной износостойкости. Они играют ключевую роль в обеспечении опорной конструкции, противовеса и защиты, а также отвечают строгим требованиям к эксплуатационным характеристикам материалов в сложных условиях эксплуатации.

5.3.1 Применение колец из вольфрамового сплава в машиностроении

- **Высокопрочные**

кольца механических подшипников используются для изготовления ключевых компонентов высоконагруженных механических подшипников. Благодаря превосходной износостойкости и высокой плотности они эффективно повышают долговечность и стабильность подшипников, а также адаптируются к условиям эксплуатации с высокими нагрузками и скоростями.

- **Прецизионные механические противовесные кольца**

используют высокий удельный вес вольфрамового сплава для изготовления противовесных колец в механическом оборудовании для достижения динамического равновесия машины, снижения вибрации и повышения точности и стабильности работы оборудования.

- **Износостойкие втулки и уплотнительные кольца**

Кольца из вольфрамового сплава часто используются для изготовления втулок и уплотнительных колец уязвимых деталей механического оборудования благодаря их хорошей износостойкости, что продлевает цикл технического обслуживания оборудования и снижает эксплуатационные расходы.

- Кольца из сплава используются для поддержки и направления компонентов в высокоточных станках, обеспечивая точность обработки и стабильность работы станков, а также отвечая высоким стандартам эксплуатационных свойств материалов, требуемым прецизионным производством.

5.3.2 Применение колец из вольфрамового сплава в военной технике

- **сердечник бронебойного снаряда ,**

Кольцо из вольфрамового сплава является основным материалом в современном оборонительном оружии из-за его высокой твердости и плотности, что позволяет улучшить проникающую способность и разрушительный эффект.

- **Кольца противовесов инерциальных ракет**

используются в инерциальных навигационных системах ракет. Кольца из вольфрамового сплава используются для изготовления прецизионных противовесов, обеспечивающих устойчивость полёта и точность наведения. Они являются важнейшими компонентами современного военного оборудования.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Защитная броня и экранирующие кольца**

Кольца из вольфрамового сплава широко используются в конструкции брони военных транспортных средств и оборудования, обеспечивая эффективную защиту от пробития и ударов, а также повышая живучесть оборудования.

- **Механические компоненты боеголовок и систем управления огнем**

используются для изготовления прецизионных механических колец в системах управления огнем, отвечающих высоким требованиям прочности и точности в экстремальных условиях и обеспечивающих надежную работу систем вооружения.

5.3.3 Типичные военные случаи использования колец из вольфрамового сплава

- **В кольцевом сердечнике из вольфрамового сплава**

определенного типа бронебойного снаряда используется кольцевой материал из высокотвердого вольфрамового сплава для улучшения пробивной способности и эффективности преобразования кинетической энергии бронебойного снаряда, что существенно повышает боевую эффективность.

- **Противовес из**

вольфрамового сплава для **инерциальной навигационной системы**. Кольца из вольфрамового сплава подвергаются точной обработке для достижения однородности и точности размеров противовеса, что гарантирует точность систем наведения ракет.

- **из сплава** используются в качестве ключевого компонента **защитной конструкции бронированного автомобиля**

, значительно повышая защитные характеристики и долговечность брони.

5.4 Применение колец из вольфрамового сплава в электронике и медицинских приборах

Кольца из вольфрамового сплава благодаря высокой плотности, превосходным механическим свойствам и превосходной радиационной стойкости становятся ключевым материалом для изготовления функциональных компонентов электронных устройств и медицинского оборудования. Они не только играют важную роль в повышении производительности изделий, но и отвечают строгим требованиям современных высокотехнологичных приложений к стабильности и безопасности материалов.

5.4.1 Применение колец из вольфрамового сплава в электронных устройствах

- из вольфрамового сплава **часто используются в качестве защитных материалов в электронных устройствах** благодаря их превосходной радиационной стойкости и электромагнитным свойствам. Они позволяют эффективно снижать электромагнитные помехи (ЭМП) и обеспечивать стабильную работу оборудования, особенно в высокочастотных и мощных устройствах.

- Отличная теплопроводность колец из вольфрамового сплава делает их идеальным

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

выбором для систем теплоотвода в электронных устройствах. Благодаря высокой теплопроводности и теплоёмкости, они помогают ключевым компонентам быстро рассеивать тепло, повышая надёжность и срок службы электронных систем.

- Кольца из вольфрамового сплава используются в механической конструкции прецизионных электронных приборов для выполнения функций позиционирования, поддержки и противовеса, обеспечивая точность работы и долговременную стабильность приборов.

5.4.2 Применение колец из вольфрамового сплава в медицинских изделиях

- Кольца из вольфрамового сплава широко используются в радиотерапевтическом оборудовании благодаря своей высокой плотности и отличным защитным свойствам. Они предотвращают утечку радиации и обеспечивают безопасность медицинского персонала и пациентов.
- Противовесы и стабилизирующие кольца для медицинского диагностического оборудования
В медицинском диагностическом оборудовании, таком как компьютерные томографы и рентгеновские аппараты, кольца из вольфрамового сплава используются для достижения механического равновесия и устойчивости оборудования, повышения точности визуализации и чувствительности работы.
- Кольца из вольфрамового сплава используются в механических деталях высокоточных медицинских инструментов для обеспечения износостойкости и коррозионной стойкости, отвечая двойным требованиям гигиены материала и долговечности в медицинской среде.
- Компоненты для упаковки и защиты радиоизотопов
Кольца из вольфрамового сплава служат в качестве защитных колец для контейнеров с радиоизотопами, играя важную роль в экранировании и механической защите, обеспечивая безопасность и стабильность изотопов в медицинских целях.

5.4.3 Типичные случаи и тенденции развития

- Защитное кольцо из вольфрамового сплава радиотерапевтического устройства использует кольцо из вольфрамового сплава высокой плотности для эффективного снижения утечки радиации и повышения уровня защиты оборудования.
- Кольца противовеса из вольфрамового сплава для медицинских электронных приборов. Прецизионные кольца из вольфрамового сплава используются в приборах для обеспечения стабильной работы и точности измерений.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Новые функциональные кольца из вольфрамового сплава**

Кольца из вольфрамового сплава сочетают в себе поверхностные покрытия и микроструктурную конструкцию для повышения их многофункциональной применимости в электронных и медицинских устройствах, например, антибактериальные свойства, антикоррозионную стойкость и устойчивость к высоким температурам.

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

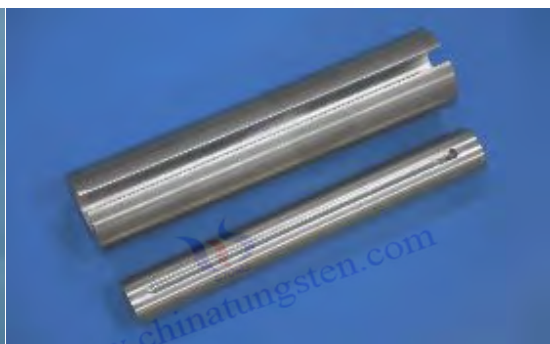
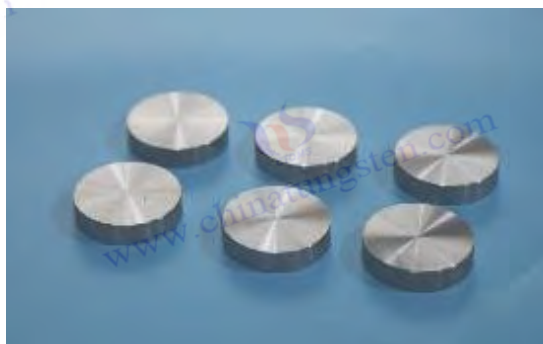
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

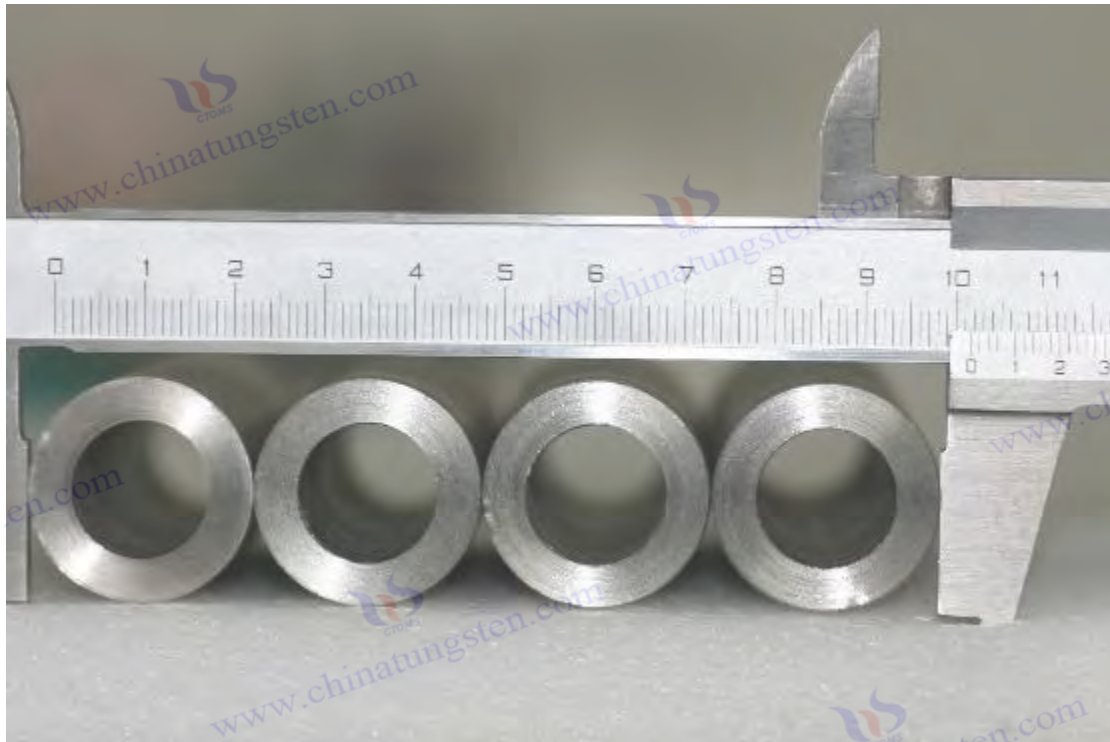
Official website: www.tungsten-alloy.com



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 Международные стандарты и отраслевые спецификации для колец из вольфрамового сплава

6.1 Основные международные стандарты для колец из вольфрамового сплава

Кольца из вольфрамового сплава должны соответствовать ряду международных стандартов и отраслевых спецификаций, чтобы гарантировать соответствие качества, эксплуатационных характеристик и безопасности продукции требованиям мирового рынка. Ниже представлен обзор основных международных стандартов, действующих в настоящее время в области колец из вольфрамового сплава:

6.1.1 Стандарты ASTM (Американского общества по испытаниям и материалам)

- **ASTM B777** — Стандартные технические условия на изделия из вольфрама и вольфрамовых сплавов. Этот стандарт охватывает состав, свойства, процессы производства и методы испытаний материалов из вольфрамовых сплавов. Он определяет технические требования к механическим свойствам, плотности, точности размеров и другим характеристикам колец и других изделий из вольфрамовых сплавов. Он широко применяется производителями в США и за рубежом.
- **ASTM E3** — Подготовка металлических образцов — описывает спецификации подготовки образцов для колец из вольфрамового сплава для металлографического анализа и микроструктурного исследования, обеспечивая точную и последовательную оценку характеристик материала.
- **ASTM E8/E8M** — Стандарт испытаний металлических материалов на растяжение

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

применяется к испытаниям механических свойств колец из вольфрамового сплава и устанавливает методы определения таких ключевых показателей, как прочность на растяжение, предел текучести и удлинение после разрыва.

6.1.2 Стандарты ISO (Международной организации по стандартизации)

- **ISO 9001** — Система менеджмента качества
Этот стандарт широко применяется производителями колец из вольфрамового сплава, чтобы гарантировать, что весь процесс производства продукции, от проектирования, закупки и производства до доставки, находится под контролем и соответствует требованиям к качеству, предъявляемым международными заказчиками.
- **ISO 6507** — Испытание твердости металла
охватывает определение твердости по Виккерсу колец из вольфрамового сплава, обеспечивая точность и повторяемость испытаний твердости.
- **ISO 6508** — Испытание металлов на твердость по Бринеллю
Этот стандарт также используется для испытания твердости колец из вольфрамового сплава и особенно подходит для испытания более толстых колец.

6.1.3 MIL (военный стандарт США)

- **MIL-STD-810** — Вопросы экологии и методы лабораторных испытаний
Кольца из вольфрамового сплава широко используются в военной и аэрокосмической сферах и должны соответствовать строгим требованиям испытаний этого стандарта на устойчивость к экстремальным условиям окружающей среды, таким как высокие и низкие температуры, удары и вибрация, а также коррозия.
- **MIL-STD-883** — Испытание микроэлектронных устройств и материалов При использовании колец из вольфрамового сплава в высокоточных электронных компонентах необходимо проводить соответствующие испытания производительности в соответствии с этим военным стандартом.

6.1.4 Китайские национальные стандарты (GB/T)

- **GB/T 3877** — Вольфрам и материалы из вольфрамовых сплавов.
Это базовый стандарт для отечественного производства и контроля колец из вольфрамовых сплавов. Он охватывает такие технические показатели, как состав, механические свойства и допуски размеров, и способствует повышению качества отечественных колец из вольфрамовых сплавов.
- **GB/T 14654** — Методы испытаний на растяжение металлических материалов
определяют технические требования и процедуры испытаний механических свойств колец из вольфрамового сплава, гарантируя, что эксплуатационные характеристики изделия соответствуют стандартам проектирования.

6.1.5 Отраслевые стандарты и технические характеристики

- Стандарты отрасли аэрокосмических материалов

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Кольца из вольфрамового сплава, используемые в аэрокосмической отрасли, обычно должны соответствовать требованиям системы качества AS9100 и соответствующим отраслевым стандартам (например, стандартам SAE), чтобы гарантировать безопасность и надежность материала.

- **Спецификации материалов для атомной промышленности** При использовании колец из вольфрамового сплава в защитных конструкциях ядерных реакторов они также должны соответствовать спецификациям материалов, характерным для атомной промышленности, таким как соответствующие стандарты испытаний характеристик радиационной защиты.

6.1.6 Правила и стандарты охраны окружающей среды и безопасности

- **Директива RoHS** (Директива ЕС об ограничении использования опасных веществ) Изделия из вольфрамового сплава при поступлении на рынок ЕС должны соответствовать требованиям RoHS по защите окружающей среды, ограничивая использование вредных элементов, таких как свинец и ртуть.
- Производители колец из вольфрамового сплава должны соблюдать **правила REACH** (Регистрация, оценка, авторизация и ограничение химических веществ в ЕС), чтобы гарантировать соответствие и безопасность химического состава своей продукции.

6.2 Национальные стандарты и спецификации испытаний для колец из вольфрамового сплава

В связи с быстрым развитием китайской индустрии производства колец из вольфрамовых сплавов, создание и совершенствование системы стандартов, соответствующей национальным условиям, стало важной мерой для содействия технологическому прогрессу, обеспечению качества продукции и регулированию рынка. В данном разделе рассматриваются национальные стандарты (GB), отраслевые стандарты (YS) и основные требования к испытаниям колец из вольфрамовых сплавов в Китае, которые обеспечивают техническую основу для производства и контроля.

6.2.1 Национальный стандарт (GB) для колец из вольфрамового сплава

- **GB/T 3877 — Вольфрам и материалы из вольфрамовых сплавов.** Этот стандарт определяет химический состав, механические свойства, физические свойства и другие технические характеристики материалов для колец из вольфрамовых сплавов. Он охватывает такие ключевые параметры, как содержание вольфрама, плотность, твердость и предел прочности на разрыв, для обеспечения стабильности и постоянства эксплуатационных характеристик материала. Это базовый стандарт для испытаний и приемки материалов для колец из вольфрамовых сплавов в Китае.
- **GB/T 14654 — Методы испытаний металлических материалов на растяжение.** В этом стандарте подробно описаны методы испытаний механических свойств колец

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

из вольфрамового сплава, обеспечивающие точное и единообразное испытание эксплуатационных показателей, таких как прочность на растяжение, предел текучести и удлинение после разрыва.

- **Стандарт GB/T 10561 — «Метод определения твердости металлических материалов по Виккерсу»**

применим для определения твердости кольца из вольфрамового сплава. Он устанавливает условия испытаний, процедуры измерений и методы обработки данных, обеспечивающие научный характер и сопоставимость результатов испытаний на твердость.

- **Стандарт GB/T 11345 «Неразрушающий контроль. Ультразвуковые методы контроля» содержит технические требования к ультразвуковому контролю внутренних дефектов**

колец из вольфрамового сплава. Он подходит для обнаружения скрытых дефектов, таких как поры и трещины, внутри материала кольца, тем самым повышая уровень контроля качества изделия.

6.2.2 Отраслевой стандарт для колец из вольфрамового сплава (YS)

- **Серия YS/T 200 – отраслевые стандарты на вольфрамовые сплавы и изделия из них,**

разработанные национальной промышленностью цветных металлов. Они охватывают спецификации материалов, эксплуатационные требования и методы испытаний колец из вольфрамовых сплавов, а также уточняют технические характеристики колец из вольфрамовых сплавов различного назначения. Они подходят для таких ключевых отраслей, как военная и авиационная.

- **Стандарт YS/T 415 «Размеры и допуски колец из вольфрамового сплава»** устанавливает требования к испытаниям геометрических размеров, однородности толщины стенок и соосности колец из вольфрамового сплава для обеспечения точности обработки изделия и производительности сборки.

6.2.3 Основные характеристики испытаний и технические требования

- **Анализ химического состава**

использует спектральный анализ (такой как ICP-OES), рентгеновскую флуоресцентную спектроскопию (XRF) и элементный анализатор (анализ ONH), чтобы гарантировать, что содержание вольфрама, никеля, железа и примесных элементов в кольцах из вольфрамового сплава соответствует стандартным требованиям.

- **Испытания физических свойств**

проводятся с помощью приборов для измерения плотности, микроструктурного анализа (оптический микроскоп, сканирующий электронный микроскоп (СЭМ)) и т. д. для оценки плотности и внутренней структуры материала.

- **Испытания механических характеристик**

включают испытания на растяжение, испытания на твердость (по Виккерсу, Роквеллу,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Бринеллю) и испытания на удар, которые проводятся строго в соответствии с действующими стандартами GB/T, чтобы гарантировать, что кольца из вольфрамового сплава обладают необходимой прочностью и вязкостью.

- **Технология неразрушающего контроля**

использует ультразвуковой контроль, рентгеновский контроль, магнитопорошковый контроль и другие средства для оценки внутренних и поверхностных дефектов колец из вольфрамового сплава для обеспечения целостности и надежности изделия.

- **Контроль качества поверхности**

осуществляется с помощью трехмерного профилометра и измерителя шероховатости для проверки шероховатости поверхности и адгезии покрытия с целью обеспечения соответствия процесса обработки поверхности требованиям проекта и повышения долговечности и функциональности материала кольца .

6.2.4 Система менеджмента качества и сертификация

- **Система менеджмента качества ISO 9001**

Большинство отечественных производителей колец из вольфрамового сплава прошли сертификацию ISO 9001, что обеспечивает стандартизированные процессы производства и контроля качества, а также гарантирует качество продукции с самого начала.

- **Отраслевая сертификация**

предназначена для особых областей применения, таких как авиация и военная промышленность. Предприятия должны соблюдать соответствующие стандарты менеджмента качества, такие как сертификация AS9100 в авиационной отрасли, чтобы соответствовать строгим требованиям безопасности и надежности.

6.3 Стандарты качества колец из вольфрамового сплава производства CTIA GROUP

Являясь ведущей компанией в Китае в производстве вольфрамовых сплавов, CTIA GROUP обладает обширным опытом и передовыми технологиями в области исследований, разработки и производства колец из вольфрамовых сплавов. Компания разрабатывает и внедряет стандарты качества для колец из вольфрамовых сплавов в строгом соответствии с национальными и отраслевыми нормами. Эта система, в сочетании с многолетним техническим опытом и потребностями клиентов, позволила создать комплексную и конкурентоспособную систему контроля качества.

6.3.1 Состав материала и стандарты процесса

- **Группа компаний CTIA использует**

высокоочищенный вольфрамовый порошок, а также высококачественный никель, железо и другие легирующие элементы для обеспечения стабильности химического состава вольфрамовых колец. Содержание примесей строго контролируется на передовом в отрасли уровне, что гарантирует однородность и надежность свойств материала.

- **При испытании состава**

используются передовые аналитические приборы, такие как ИСП-ОЭС и РФА, для

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

точного определения элементов сплава, что позволяет гарантировать, что каждая партия материалов соответствует заданному соотношению и отвечает требованиям к эксплуатационным характеристикам продукта.

- **В технологических спецификациях**

используются независимо разработанные технологии порошковой металлургии, спекания и прецизионной обработки, что гарантирует соответствие плотности, механических свойств и точности размеров колец из вольфрамового сплава передовому международному уровню.

6.3.2 Стандарты индекса производительности

- **Плотность и компактность Фактическая плотность**

кольца из вольфрамового сплава близка к более чем 98% от теоретической плотности, а высокий уровень уплотнения обеспечивает изделию отличную механическую прочность и стабильные физические свойства.

- **Кольца из вольфрамового сплава производства Zhongtung Интеллектуальное**
производство соответствует или даже превосходит отраслевые стандарты GB и YS. Твёрдость контролируется в идеальном диапазоне для удовлетворения требований к высокопрочным и высоконагруженным деталям.

- **Размеры и допуски:**

Точность размеров изделий строго контролируется в пределах $\pm 0,01$ мм, а однородность толщины стенок и соосность соответствуют требованиям точности сборки высококласного оборудования.

6.3.3 Качество поверхности и контроль дефектов

- **Шероховатость поверхности Внутренняя и внешняя поверхности**

кольца из вольфрамового сплава подвергаются многократным процедурам полировки и обработки, а значение шероховатости поверхности Ra контролируется в пределах 0,2 мкм, что обеспечивает хорошие контактные характеристики и износостойкость.

- **Для обнаружения дефектов**

используются различные технологии неразрушающего контроля, такие как ультразвук, рентген и компьютерная томография, чтобы гарантировать отсутствие внутренних и внешних дефектов, таких как поры, трещины и включения, тем самым повышая надежность и срок службы изделия.

6.3.4 Система управления качеством

- **Полный контроль качества.**

CTIA GROUP реализует трёхуровневую систему управления качеством, включающую входной контроль сырья, контроль качества технологического процесса и выходной контроль готовой продукции. Компания оснащена современными испытательными приборами и автоматизированным оборудованием для контроля качества продукции в режиме реального времени.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Система сертификации.**

Компания прошла сертификацию по стандартам ISO 9001, AS9100 и другим международным системам менеджмента качества. Некоторые продукты соответствуют требованиям RoHS и REACH по охране окружающей среды, что гарантирует их соответствие мировым стандартам.

6.3.5 Индивидуальная настройка и реагирование на особые запросы клиентов

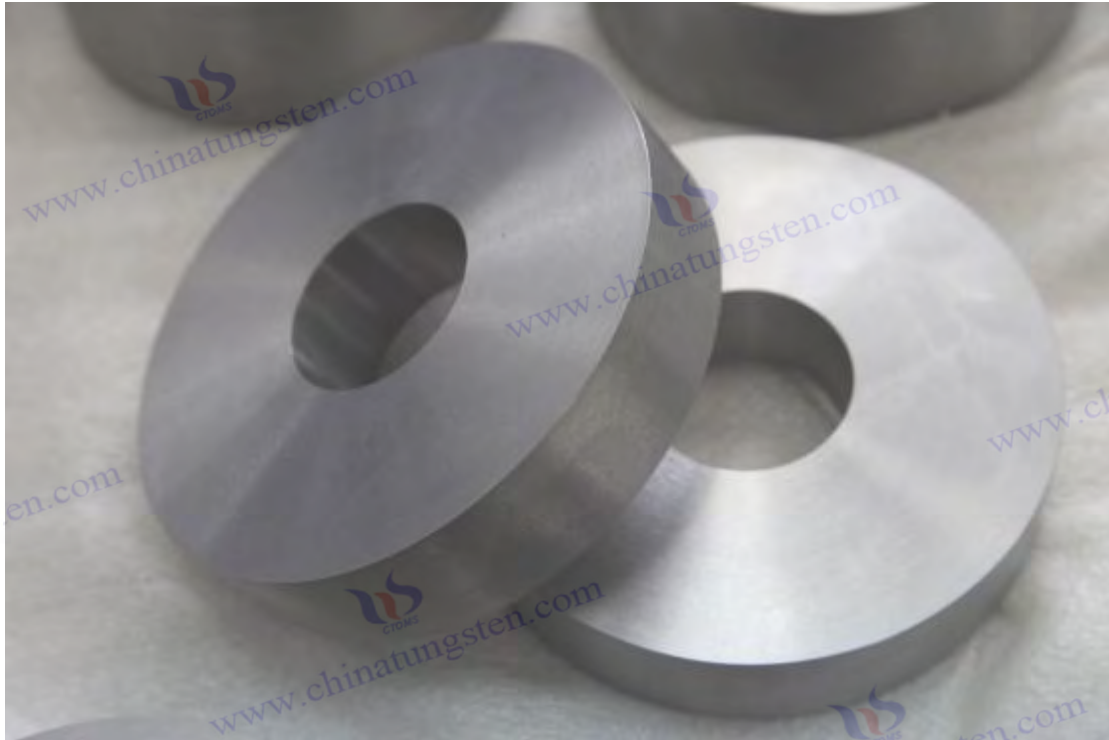
- **Индивидуальные услуги**

ориентированы на такие высокотехнологичные отрасли, как аэрокосмическая, атомная и военная промышленность. CTIA GROUP может адаптировать состав сплава, параметры процесса и показатели качества в соответствии с особыми потребностями клиентов и предложить индивидуальные решения для колец из вольфрамового сплава.

- **Техническая поддержка**

У нас есть профессиональная команда по исследованиям и разработкам и контролю качества, которая предоставляет клиентам технические консультации, поддержку в испытаниях и послепродажное обслуживание для обеспечения стабильности характеристик и безопасности изделий из вольфрамового сплава в реальных условиях применения.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Глава 7. Анализ рынка и экономики колец из вольфрамового сплава

7.1 Мировой рынок колец из вольфрамового сплава

Кольца из вольфрамового сплава широко используются в таких высокотехнологичных областях, как аэрокосмическая промышленность, военная промышленность, атомная энергетика и медицина, благодаря своей превосходной плотности, прочности и стойкости к высоким температурам. В связи с быстрым развитием мировой высокотехнологичной промышленности рынок колец из вольфрамового сплава стал многоуровневым и многорегиональным, что в основном отражается в следующих аспектах:

7.1.1 Глобальное распределение ресурсов вольфрама и влияние на цепочку поставок

Мировые запасы вольфрама сосредоточены преимущественно в таких странах, как Китай, Россия, Вьетнам, Канада и Австрия. Китай, будучи крупнейшим в мире производителем вольфрамовой руды, доминирует на мировом рынке вольфрама, обеспечивая более 80% его мирового производства. Богатые запасы вольфрама в Китае обеспечивают прочную сырьевую базу для мирового производства колец из вольфрамовых сплавов.

В то же время географическое распределение ресурсов оказывает существенное влияние на цепочку поставок колец из вольфрамового сплава. Концентрация ресурсов вольфрамовой руды приводит к колебаниям цен на сырье и рискам поставок, побуждая страны ускорить стратегическое резервирование и переработку вольфрамовых ресурсов, способствуя стабильному развитию цепочки поставок колец из вольфрамового сплава.

7.1.2 Основные производственные зоны и промышленные кластеры

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Кольца из вольфрамовых сплавов производятся в таких провинциях Китая, как Гуандун, Цзянсу, Хунань и Цзянси, а также на некоторых передовых производственных предприятиях Европы, США, Японии и Южной Кореи. В этих регионах сформирована полная цепочка производства вольфрамовых сплавов, обеспечивающая эффективную производственную систему, охватывающую подготовку вольфрамового порошка, выплавку сплавов, порошковую металлургию и прецизионную обработку.

Китайские компании, используя свои ресурсные преимущества и контроль затрат, доминируют на рынке колец из вольфрамовых сплавов среднего и низкого ценового диапазона. Европа, США, Япония и Южная Корея, с другой стороны, уделяют больше внимания исследованиям, разработкам и производству высококачественных колец из вольфрамовых сплавов, уделяя особое внимание технологическим инновациям и контролю качества, что приводит к формированию дифференцированной конкурентной среды.

7.1.3 Структура рыночного спроса и распределение терминальной отрасли

Кольца из вольфрамового сплава в основном поставляются из следующих ключевых областей:

- **Авиационно-космическая промышленность** : используется для изготовления высокопрочных противовесов, инерциального навигационного оборудования и высокотемпературных конструктивных элементов, требующих исключительно высоких эксплуатационных характеристик и надежности материала.
- **Военная промышленность**: Кольца из вольфрамового сплава широко используются в сердечниках бронебойных снарядов, компонентах хвостового оперения ракет и высокопрочных механических деталях, что отражает его важность в высокопроизводительных системах оружия.
- **Атомная энергетика** : Кольца из вольфрамового сплава используются в качестве защитных материалов и конструктивных элементов, обладают превосходной защитой от радиации и устойчивостью к высоким температурам.
- **Медицинское оборудование** : Спрос на защитные и позиционирующие конструкции в оборудовании для радиотерапии быстро растет, что обуславливает расширение рынка колец из вольфрамового сплава.
- **Прецизионное машиностроение и электроника** : Кольца из вольфрамового сплава используются в высокоточных механических деталях и электронных структурах рассеивания тепла и продолжают расширяться по мере модернизации электронной промышленности.

7.1.4 Конкурентная среда и концентрация рынка

Рынок колец из вольфрамовых сплавов отличается высокой концентрацией. Ведущие китайские компании, такие как CTIA GROUP и China Molybdenum Co., Ltd. (CMOC), занимают лидирующие позиции на рынке, способствуя тесному сотрудничеству между секторами добычи и переработки в отрасли. Компании с мировым именем, используя свои технологические преимущества и влияние бренда, доминируют в сегменте высокого класса. С повышением технических барьеров и ужесточением требований к охране окружающей

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

среды порог входа на рынок постепенно повышается. Развивающимся компаниям необходимо увеличивать инвестиции в НИОКР и управление качеством, чтобы занять лидирующие позиции в условиях жесткой конкуренции.

7.1.5 Тенденции и проблемы развития рынка

- **Экологичное производство и экологическая нагрузка** : процесс производства колец из вольфрамового сплава потребляет большое количество энергии и оказывает серьезную нагрузку на окружающую среду, что побуждает компании ускорять исследования и разработки экологически чистых процессов и технологий переработки.
- **Благодаря технологическим инновациям** : продолжают появляться новые материалы и новые процессы (такие как наноукрепление и аддитивное производство) , способствующие повышению производительности и расширению сферы применения колец из вольфрамового сплава .
- **Корректировки глобальной цепочки поставок** : изменения в геополитике и торговой политике повлияли на поставки вольфрамовых ресурсов и экспорт продукции, побуждая компании диверсифицировать свою структуру.
- **Повышение спроса на конечном этапе** : высокотехнологичная обрабатывающая промышленность предъявляет более высокие требования к точности, прочности и особым эксплуатационным характеристикам колец из вольфрамового сплава, что подталкивает рынок к развитию в направлении высокой добавленной стоимости.

7.2 Анализ основных стран-производителей и цепочки поставок колец из вольфрамового сплава

из вольфрамового сплава, являющихся ключевым компонентом высокопроизводительных материалов на основе вольфрама, во многом зависят от глобального распределения ресурсов вольфрама, технологического прогресса и всей производственной цепочки. В этом разделе представлен подробный анализ основных стран-производителей колец из вольфрамового сплава и характеристик их цепочек поставок.

7.2.1 Обзор основных стран-производителей

- **Китай**
является крупнейшим в мире владельцем и производителем вольфрамовых ресурсов, контролируя более 80% запасов вольфрамовой руды. Технология производства колец из вольфрамового сплава в Китае и объемы производства являются одними из самых высоких в мире. Китайские производители колец из вольфрамового сплава в основном сосредоточены в Лояне, провинция Хэнань, Ганьжжоу, провинция Цзянси, и Дунгуане, провинция Гуандун. Они сформировали комплексную промышленную цепочку, охватывающую добычу сырья, плавку вольфрамового порошка, подготовку порошка сплава, формование и спекание, прецизионную обработку и обработку поверхности.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Используя ресурсные преимущества и контроль затрат, китайские компании занимают доминирующее положение на рынках среднего и нижнего ценового диапазона. Они также активно продвигают исследования и разработки в области высоких технологий, чтобы сократить разрыв с международными передовыми технологиями.

- **Россия**

обладает богатыми запасами вольфрамовой руды и значительными преимуществами в технологиях плавки материалов на его основе и приготовления сплавов. Производство колец из вольфрамовых сплавов в России ориентировано в первую очередь на военную и аэрокосмическую отрасли, при этом продукция отличается высокой производительностью и надёжностью. Хотя российские компании обычно используют импортный вольфрамовый порошок для дальнейшей обработки, в последние годы они также укрепили свой потенциал в области независимых НИОКР.

- **Соединенные Штаты**

имеют ограниченные запасы вольфрама и в основном полагаются на импортное сырье для производства колец из вольфрамовых сплавов. Тем не менее, Соединенные Штаты являются мировым лидером в области разработки высокотехнологичных сплавов и технологий точного производства. Американские производители в первую очередь обслуживают высокотехнологичные рынки, такие как военная, аэрокосмическая и атомная промышленность, делая акцент на улучшенных характеристиках и надежности продукции. Соединенные Штаты активно продвигают локализацию цепочки производства труб из вольфрамовых сплавов для снижения внешней зависимости.

- **Страны (такие как Германия, Франция и Австрия) обладают ограниченными запасами вольфрама, но обладают передовыми исследованиями в области материаловедения и возможностями высокоточного производства.** Немецкие и французские производители колец из вольфрамовых сплавов в первую очередь ориентируются на продукцию с высокой добавленной стоимостью, особенно для аэрокосмической промышленности и медицинского оборудования. Австрия, являясь крупным поставщиком вольфрамовых сплавов, также поставляет на европейский рынок высококачественный вольфрамовый порошок и полуфабрикаты.

- **Япония и**

Южная Корея, несмотря на ограниченность ресурсов, развили уникальную отрасль производства колец из вольфрамовых сплавов, используя свою мощную промышленную базу и возможности научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Эта продукция в основном используется в электронике, средствах связи и высокотехнологичном машиностроении, где особое внимание уделяется контролю микроструктуры и функциональным характеристикам композитных материалов.

7.2.2 Анализ структуры цепочки поставок

Цепочка поставок колец из вольфрамового сплава в основном охватывает следующие

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ключевые звенья:

- **Цепочка поставок**
начинается с добычи вольфрамовой руды и производства вольфрамового порошка. Мировые запасы вольфрама сосредоточены, и качество и чистота вольфрамовой руды напрямую влияют на эксплуатационные характеристики вольфрамового порошка. Некоторые страны обеспечивают стабильные поставки сырья за счёт стратегических резервов и сотрудничества в сфере ресурсов.
- **Подготовка вольфрамового порошка и порошка сплава.**
Контроль размера частиц, чистоты и морфологии вольфрамового порошка является основой определения свойств сплава. Последующее равномерное смешивание и дозирование со связующими металлами, такими как никель, железо и медь, является ключевым этапом подготовки порошковой металлургии.
- **формования**
(такие как штамповка и изостатическое прессование) и спекания напрямую определяют плотность, микроструктуру и эксплуатационные характеристики колец из вольфрамового сплава. Разные производители выбирают различные технологические схемы для оптимизации качества продукции в зависимости от рыночного спроса.
- Кольца из вольфрамового сплава часто **обрабатываются** методом прецизионной токарной обработки, шлифовки и полировки для обеспечения контроля размеров и качества поверхности. Обработка поверхности, такая как гальваническое и PVD-покрытие, может дополнительно повысить коррозионную стойкость и износостойкость.
- **вольфрамового**
сплава часто являются дорогостоящими, высокотехнологичными товарами, требующими строгой защиты, влагостойкости и стойкости к окислению при транспортировке и хранении. В международной торговле соблюдение правил экспорта и сертификации также влияет на эффективность цепочки поставок.

7.2.3 Преимущества и проблемы цепочки поставок

- **Преимущества**
 - Китай обладает значительными ресурсными преимуществами и полной цепочкой поставок, способной удовлетворить потребности крупномасштабного производства.
 - такие страны, как Россия и США, обладают богатым технологическим накоплением и возможностями производить высокотехнологичную продукцию.
 - Страны Европы, Японии и Южной Кореи лидируют в области высокотехнологичного производства и инновационных материалов, являясь движущей силой технологического прогресса.
- **испытание**
 - Ресурсы вольфрама влекут за собой риски поставок, которые особенно

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

очевидны в периоды напряженности в международной торговле.

- о Высокое потребление энергии и экологическая нагрузка в цепочке поставок растут, и экологически чистое производство срочно нуждается в прорыве.
- о На рынках технологических барьеров и высокотехнологичных приложений наблюдается жесткая конкуренция, а недостаточная дифференциация продукции может повлиять на размер прибыли.

7.3 Тенденция цен и структура затрат на кольца из вольфрамового сплава

На кольца из вольфрамового сплава влияет множество факторов, включая колебания цен на сырье, сложность производственного процесса и изменения требований к конечному использованию. Понимание ценовых тенденций и структуры затрат на кольца из вольфрамового сплава имеет решающее значение для разработки компаниями обоснованных производственных стратегий и планирования рынка.

7.3.1 Анализ ценовых тенденций на кольца из вольфрамового сплава

- **Колебания цен на сырье приводят к**
кольцам из вольфрамового сплава. Вольфрамовый порошок является основным сырьем для колец из вольфрамового сплава, а колебания цен на вольфрамовую руду напрямую влияют на стоимость вольфрамового порошка. В последние годы на мировые ресурсы вольфрама влияли такие факторы, как политика в области горнодобывающей промышленности, экологические ограничения и геополитические влияния, что приводило к циклическим колебаниям цен на вольфрамовую руду. Например, в периоды дефицита поставок цены на вольфрамовую руду резко растут, что приводит к росту цен на вольфрамовый порошок и изделия из сплавов. И наоборот, цены падают, когда на рынке имеется избыточное предложение. Кроме того, колебания цен на легирующие элементы, такие как никель и железо, также влияют на стоимость, особенно в периоды значительной волатильности цен на международном рынке металлов.
- **Влияние технологических и технологических усовершенствований:**
благодаря постоянному совершенствованию технологий производства колец из вольфрамовых сплавов, эксплуатационные характеристики изделий, изготовленных с использованием современных методов спекания, термической обработки и модификации поверхности, значительно улучшились, однако при этом увеличились и производственные затраты. Цена на высококачественные кольца из вольфрамовых сплавов в целом демонстрирует тенденцию к росту, что отражает рост технологического содержания и добавленной стоимости.
- **Спрос на конечном рынке стимулирует рост спроса на высокопроизводительные**
кольца из вольфрамовых сплавов в аэрокосмической, атомной, военной и медицинской отраслях. Это привело к увеличению спроса на высококачественную продукцию и росту цен. Это особенно актуально для рынка высококачественных

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

колец из сплавов специального назначения, изготовленных на заказ, и колец со специальными эксплуатационными характеристиками, где цены более гибкие и могут расти.

- **Влияние международной торговли и политики, включая** торговые ограничения, корректировку тарифов и усиление мер по защите окружающей среды, также в определенной степени способствовало росту рыночной цены на кольца из вольфрамового сплава. Экспортный контроль и перекладывание расходов на охрану окружающей среды являются распространенными факторами колебаний цен.

7.3.2 Анализ структуры затрат на кольца из вольфрамового сплава

Кольца из вольфрамового сплава в основном состоят из следующих частей:

- **Расходы на сырье** (составляющие примерно 60–75%)
составляют основную часть стоимости колец из вольфрамового сплава. Они включают в себя закупку вольфрамового порошка, никеля, железа и других легирующих элементов. Чистота, размер частиц и стабильность поставок вольфрамового порошка напрямую влияют на общую стоимость. Дефицит и сложность добычи вольфрама приводят к значительным колебаниям стоимости сырья.
- **Расходы на обработку и производство** (составляющие примерно 15–25%)
включают в себя литье под давлением, спекание, термическую и механическую обработку. Высокоточная обработка требует значительных инвестиций в оборудование и расходов на технический персонал, а производство изделий сложной формы или со специальными свойствами обходится ещё дороже.
- **Расходы на обработку поверхности и испытания** (составляют примерно 5–10%):
для обеспечения коррозионной стойкости и механических свойств колец из вольфрамового сплава обычно требуются полировка поверхности, гальваническое покрытие, PVD-покрытие и другие виды обработки. Кроме того, строгий контроль качества, неразрушающий контроль и проверка эксплуатационных характеристик также увеличивают расходы.
- **Расходы на управление и логистику** (составляющие около 5%)
включают в себя расходы на управление производством, сборы за соблюдение экологических норм, упаковку, транспортировку и складирование. Кольца из вольфрамового сплава часто представляют собой дорогостоящие, высокотехнологичные материалы, требующие сложных логистических и транспортных требований, а упаковка и защитные меры приводят к дополнительным расходам.

7.3.3 Обзор ценовых тенденций и перспективы на будущее

В целом, цены на кольца из вольфрамового сплава демонстрируют структурную тенденцию к росту, обусловленную совокупным влиянием мирового спроса и предложения на вольфрам, развитием производственных технологий и спросом на конечном рынке. Доминирующим

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

фактором являются цены на сырье, при этом колебания цен на вольфрамовый порошок, в частности, оказывают значительное влияние на рынок колец из вольфрамового сплава.

В будущем, благодаря развитию технологий разработки месторождений вольфрама и исследованиям альтернативных материалов, ожидается стабилизация цен на сырье. В то же время, интеллектуализация и автоматизация производственных процессов снизят затраты на обработку и повысят эффективность производства. Растущий спрос на высокопроизводительные кольца из вольфрамового сплава, особенно в секторах новой энергетики, аэрокосмической промышленности и производства высокотехнологичного оборудования, позволяет предположить, что цены на кольца из вольфрамового сплава сохранят разумный потенциал роста.

Предприятиям следует уделять пристальное внимание динамике рынка сырья, оптимизировать структуру затрат, усиливать технологические инновации и дифференциацию продукции, чтобы сохранить ценовые преимущества и норму прибыли в условиях жесткой рыночной конкуренции.

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

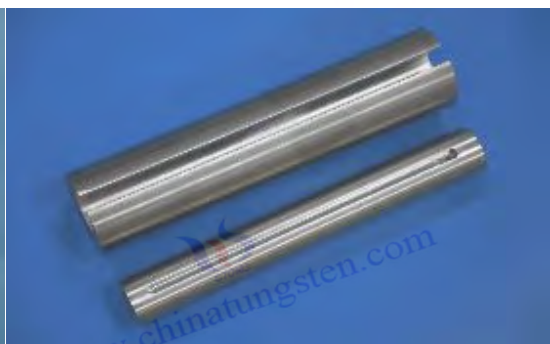
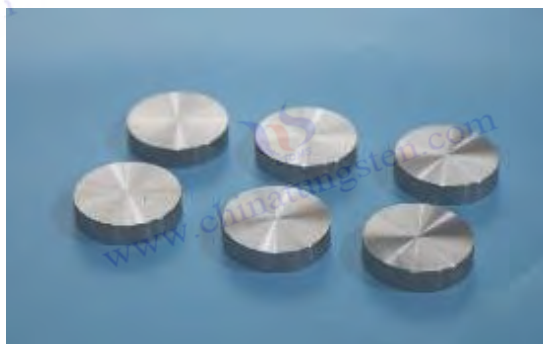
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

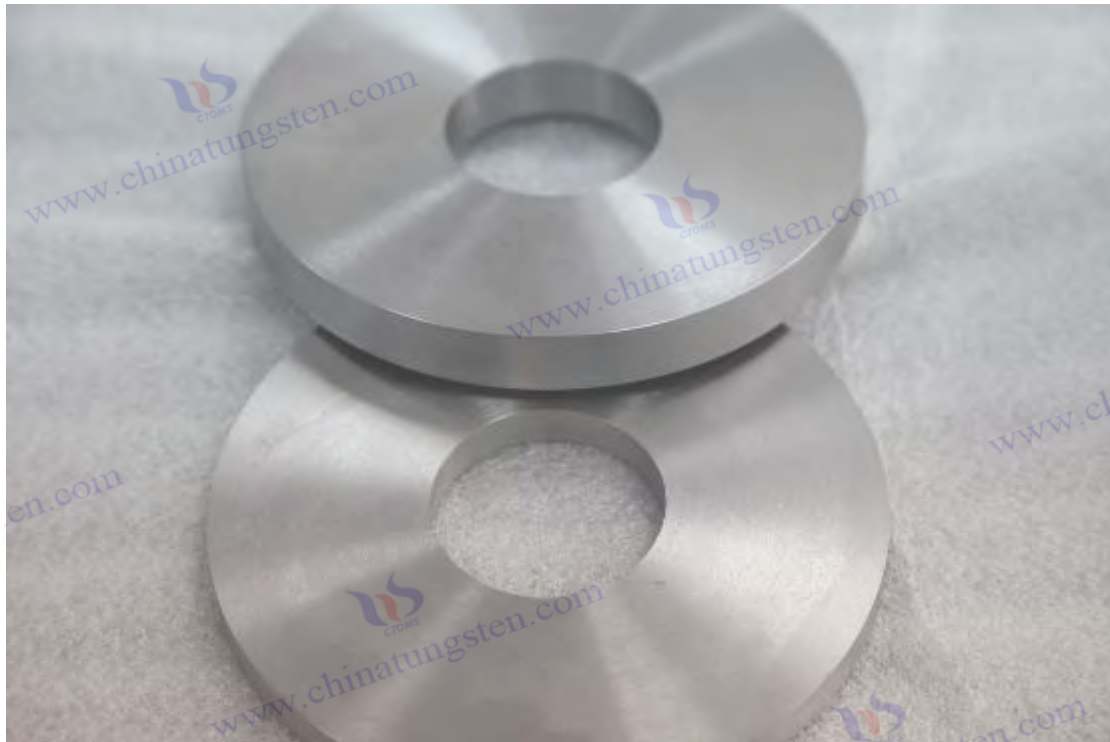
Official website: www.tungsten-alloy.com



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 8. Тенденции будущего развития колец из вольфрамового сплава

8.1 Новые материалы и системы сплавов для колец из вольфрамового сплава

Благодаря непрерывному развитию науки и техники, а также расширению сферы применения, материалы для колец из вольфрамовых сплавов развиваются в сторону повышения производительности, функциональности и разнообразия. Исследования и разработка новых материалов и сплавов стали ключевым фактором, способствующим дальнейшему развитию колец из вольфрамовых сплавов, что особенно проявляется в следующих аспектах:

1. Разработка высокопроизводительных многоэлементных сплавных систем.

Традиционные кольца из вольфрамовых сплавов в основном основаны на системах сплавов вольфрам-никель-железо или вольфрам-никель-медь. Чтобы удовлетворить потребность в более высокой прочности, улучшенной ударной вязкости и специальных физических свойствах, исследователи начали изучать многоэлементные сплавные системы, включающие дополнительные элементы, такие как молибден, титан, ниобий и хром. Эти новые сплавы не только улучшают общие механические свойства вольфрамовых сплавов, но и повышают их жаропрочность, коррозионную стойкость и радиационную стойкость, расширяя область применения колец из вольфрамовых сплавов в экстремальных условиях эксплуатации.

2. Наноструктурированные и функционально-градиентные сплавы

значительно повышают эксплуатационные характеристики колец из вольфрамовых сплавов благодаря наноупрочнению зерен и микроструктурному дизайну. Наноструктурированные сплавы повышают прочность и ударную вязкость за счет измельчения зерен и предотвращения распространения трещин. Кроме того, функционально-градиентные сплавы

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

обеспечивают пространственную вариацию свойств материала, например, за счет объединения высокотвердого поверхностного слоя и прочного внутреннего слоя. Это отвечает многочисленным эксплуатационным требованиям в сложных условиях эксплуатации и значительно повышает долговечность и надежность колец из вольфрамовых сплавов.

3. Композитные материалы и многофазные сплавы:

Новые кольца из вольфрамового сплава содержат керамические фазы (такие как карбиды и нитриды) или другие металлические фазы, создавая металлокерамическую композитную структуру. Эта многофазная сплавная система сочетает прочность металла с высокой твердостью и износостойкостью керамики. Она подходит для экстремальных условий эксплуатации, требующих высокой прочности, износостойкости и термостойкости, что повышает общие эксплуатационные характеристики колец из вольфрамового сплава.

4. Высокая теплопроводность, высокая электропроводность и антимагнитные свойства сплава:

для удовлетворения спроса на функциональные материалы в таких областях, как охлаждение электроники и аэрокосмическая промышленность, новая система кольцевых материалов из вольфрамового сплава также ориентирована на оптимизацию тепловых, электрических и магнитных свойств. Рациональное управление составом и микроструктурой сплава позволяет достичь высокой теплопроводности, превосходных электрических свойств и специфического магнитного отклика, что отвечает разнообразным требованиям к эксплуатационным характеристикам материалов в специализированных приложениях.

5. Экологичные и экологичные сплавы:

В условиях ужесточения экологических норм разработка материалов для колец из вольфрамовых сплавов с низким воздействием на окружающую среду, легкой переработкой и соответствием стандартам RoHS и REACH стала ключевым направлением. Новые сплавы не только повышают эксплуатационные характеристики, но и ориентированы на управление жизненным циклом материала и устойчивое развитие, способствуя экологизации отрасли производства колец из вольфрамовых сплавов.

8.2 Передовая технология производства колец из вольфрамового сплава (аддитивные (Производство и т.д.)

Благодаря постоянному совершенствованию производственных технологий традиционный процесс изготовления колец из вольфрамового сплава претерпевает революционные изменения. Передовые производственные технологии, особенно такие новые, как аддитивное производство (3D-печать), прецизионное горячее изостатическое прессование и литье под давлением порошков, обеспечивают беспрецедентную гибкость и эффективность проектирования и производства колец из вольфрамового сплава. Ниже приведены основные направления развития и области применения современных и будущих технологий производства колец из вольфрамового сплава:

1. Применение технологии аддитивного производства колец из вольфрамового сплава

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Технологии аддитивного производства, в частности, технологии плавления в порошковом слое, такие как селективная лазерная плавка (SLM) и электронно-лучевая плавка (EBM), позволяют напрямую формировать кольца сложной геометрической формы из вольфрамовых сплавов, значительно сокращая отходы материала и сложность процесса по сравнению с традиционной обработкой. Среди конкретных преимуществ:

- **Цельное литье сложной структуры** : за счет послойной укладки достигаются сложные внутренние каналы, пористые структуры и легкие конструкции, которые трудно обрабатывать традиционными процессами, тем самым улучшая функциональную интеграцию колец из вольфрамового сплава.
- **Быстрая итерация и индивидуальное производство** : адаптация к производственным потребностям небольших партий и различных разновидностей, поддержка быстрой модификации конструкции и производства на основе индивидуальных требований заказчика, а также реализация индивидуального производства.
- **Высокий коэффициент использования материала** : порошок вольфрамового сплава формируется напрямую, что значительно снижает образование отходов и затраты на обработку, а также имеет очевидный эффект экологичного производства.

Однако высокая температура плавления, высокая плотность и теплопроводность порошка вольфрамового сплава предъявляют высокие требования к оборудованию и процессам аддитивного производства. Оптимизация параметров процесса и последующая термическая обработка остаются приоритетными направлениями исследований.

2. Оптимизация технологии прецизионного горячего изостатического прессования (ГИП)

Горячее изостатическое прессование (ГИП) обеспечивает высокую плотность колец из вольфрамового сплава благодаря равномерному воздействию высокотемпературного и высоконапорного газа, устраняя внутреннюю пористость и дефекты, а также значительно улучшая механические свойства и долговечность. В последние годы технология ГИП в сочетании с технологиями порошковой металлургии и термической обработки обеспечила непрерывный прогресс в области повышения эксплуатационных характеристик колец из вольфрамового сплава, особенно в области высокотемпературной прочности и усталостной долговечности.

3. Прогресс технологии литья под давлением порошков (PIM)

Метод порошкового литья под давлением (ПИМ) сочетает в себе методы порошковой металлургии и литья пластмасс под давлением (ПИМ), что делает его пригодным для изготовления сложных высокоточных колец из вольфрамового сплава. ПИМ обладает такими преимуществами, как высокая эффективность формования, превосходное качество поверхности и минимальные этапы последующей обработки, и постепенно внедряется в массовое производство высококачественных колец из вольфрамового сплава.

4. Технология композитного производства и интеграции нескольких материалов

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

В будущем производство колец из вольфрамовых сплавов будет развиваться в направлении интеграции многокомпонентных композитов. Сочетание аддитивного производства с традиционной механической обработкой позволит совместно создавать функционально-градиентные структуры и покрытия, улучшающие поверхность. Эта технология производства композитов может обеспечить кольцам из вольфрамовых сплавов превосходные общие характеристики, отвечающие требованиям экстремальных условий эксплуатации, таких как аэрокосмическая промышленность, атомная энергетика и медицина.

5. Интеллектуальное производство и цифровое управление процессами

С развитием Индустрии 4.0 интеллектуальные производственные технологии включают в себя мониторинг датчиков, обратную связь в режиме реального времени и алгоритмы оптимизации на основе искусственного интеллекта для обеспечения точного управления и отслеживания качества в процессе производства колец из вольфрамового сплава. Технологии цифрового проектирования и моделирования также ускоряют цикл разработки и оптимизацию процесса производства новых колец из вольфрамового сплава.

8.3 Технология восстановления и переработки колец из вольфрамового сплава

В условиях растущего дефицита вольфрамовых ресурсов и ужесточения экологических норм переработка и повторное использование колец из вольфрамовых сплавов стали ключевым звеном в обеспечении устойчивого использования ресурсов и снижении производственных затрат. Переработка колец из вольфрамовых сплавов не только способствует экономии стратегических металлических ресурсов, но и снижает загрязнение окружающей среды, а также способствует развитию экологичного производства. Ниже перечислены основные технологии и тенденции в области переработки и повторного использования колец из вольфрамовых сплавов :

1. Важность восстановления колец из вольфрамового сплава

- Вольфрам — редкий металл с ограниченными запасами и неравномерным распределением. Переработка и утилизация могут эффективно снизить нагрузку на поставки вольфрамового сырья.
- Кольца из вольфрамового сплава, как правило, содержат большое количество вольфрама. Если их не перерабатывать после утилизации, большое количество драгоценного металла будет потрачено впустую.
- Переработка помогает снизить экологическую нагрузку от добычи руды и плавки при производстве вольфрамовых сплавов и соответствует концепции устойчивого развития.

2. Основные способы переработки колец из вольфрамового сплава

- **Механическая переработка**
включает резку, дробление и другие механические методы первичной переработки отходов колец из вольфрамового сплава с получением пригодных для повторного

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

использования частиц или порошка вольфрамового сплава. Этот метод подходит для отходов колец из вольфрамового сплава с неповрежденной структурой и низким уровнем загрязнения.

- **Химическая переработка**

использует химические методы, такие как кислотное выщелачивание и щелочное плавление, для растворения вольфрама из вольфрамового сплава. В результате осаждения и очистки получают высокочистые соединения вольфрама или металлический вольфрам. Этот метод подходит для переработки сложных смешанных отходов и позволяет эффективно удалять примеси.

- **Переработка методом термической обработки**

использует высокотемпературную плавку и обжиг для извлечения вольфрама и легирующих элементов из колец из вольфрамового сплава, обеспечивая восстановление металла и восстановление сплава. Этот метод требует высокой чистоты отходов и значительных инвестиций в оборудование.

3. Проблемы технологии восстановления колец из вольфрамового сплава

- Кольца из вольфрамового сплава содержат такие легирующие элементы, как никель и железо. В процессе переработки необходимо эффективно отделять вольфрам от других металлов, чтобы гарантировать чистоту и эксплуатационные характеристики переработанных материалов.
- Лом колец из вольфрамового сплава может содержать покрытия, примеси и загрязняющие вещества, что усложняет и удорожает процесс переработки.
- Воздействие процесса переработки на окружающую среду должно строго контролироваться, чтобы избежать вторичного загрязнения.

4. Тенденции развития передовых технологий переработки отходов

- **Экологичные процессы переработки отходов**
способствуют внедрению энергосберегающих и безвредных технологий химической переработки, таких как технология биовыщелачивания, позволяющая сократить использование вредных химикатов и добиться экологически чистой переработки.
- **Технология высокоэффективного разделения**
объединяет несколько технологий, таких как магнитное разделение, флотационное разделение и электрохимическое разделение, для повышения эффективности разделения и скорости извлечения вольфрама и легирующих элементов.
- Порошок вольфрамового сплава, полученный с помощью **технологии восстановления материалов**, может напрямую использоваться в передовых технологиях подготовки, таких как аддитивное производство и литье порошков под давлением, реализуя замкнутый цикл использования материалов.
- **Интеллектуальное управление переработкой отходов**
использует Интернет вещей и технологии больших данных для отслеживания, сортировки и контроля качества всего процесса переработки отходов колец из вольфрамового сплава, а также для повышения уровня научного управления

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

системой переработки отходов.

8.4 Потенциальные возможности применения колец из вольфрамового сплава в передовых технологиях

Благодаря постоянному развитию материаловедения и передовых производственных технологий, кольца из вольфрамового сплава продемонстрировали широкий потенциал применения во многих передовых областях науки и техники благодаря своим превосходным физическим и химическим свойствам. Ниже рассматриваются потенциальные инновационные применения колец из вольфрамового сплава в нескольких важных научных и технологических областях:

1. Высокопроизводительное аэрокосмическое и дальнекосмическое оборудование обнаружения

Кольца из вольфрамового сплава, благодаря высокой плотности, прочности и превосходной термостойкости, подходят для использования в блоках инерционных масс космических аппаратов, грузах системы ориентации, а также в уплотнительных и соединительных компонентах в условиях высоких температур. Для будущих миссий по исследованию дальнего космоса потребуются материалы с ещё большей приспособляемостью к экстремальным условиям, и кольца из вольфрамового сплава могут обеспечить критически важную структурную и функциональную поддержку космических аппаратов.

2. Ядерный синтез и современное ядерно-энергетическое оборудование

В термоядерных реакторах и современных ядерных энергетических устройствах материалы должны выдерживать интенсивное излучение, экстремальные температуры и коррозионные среды. Кольца из вольфрамового сплава, обладающие превосходной радиационной защитой и термической стабильностью, могут использоваться в качестве конструктивных элементов, защитных колец и поглотителей нейтронов в ядерных реакторах, способствуя контролируемому развитию технологии термоядерного синтеза.

3. Применение в квантовых вычислениях и высокоточных приборах

Квантовые компьютеры и высокоточные измерительные приборы предъявляют чрезвычайно высокие требования к материалам с точки зрения электромагнитного экранирования, коэффициента теплового расширения и механической стабильности. Низкий коэффициент теплового расширения и превосходные электромагнитные свойства колец из вольфрамового сплава делают их идеальными материалами для экранирующих конструкций и механических опор в квантовых устройствах, эффективно повышая стабильность системы и точность вычислений.

4. Оборудование для производства микроэлектроники и полупроводников

Кольца из вольфрамового сплава используются в качестве прочных, устойчивых противовесов и высокотемпературных износостойких компонентов в оборудовании для

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

производства микроэлектроники, обеспечивая точное управление движением и длительную стабильную работу. Кроме того, коррозионная стойкость вольфрама может продлить срок службы ключевых компонентов и повысить общую эффективность производственной линии.

5. Высококачественное медицинское оборудование и системы радиотерапии

Кольца из вольфрамового сплава подходят для использования в устройствах точного позиционирования и кольцах радиационной защиты в радиотерапевтическом оборудовании, обеспечивая безопасность и точность лечения. По мере развития медицинских технологий в сторону малоинвазивного и точного лечения кольца из вольфрамового сплава будут играть всё большую роль в медицинских устройствах.

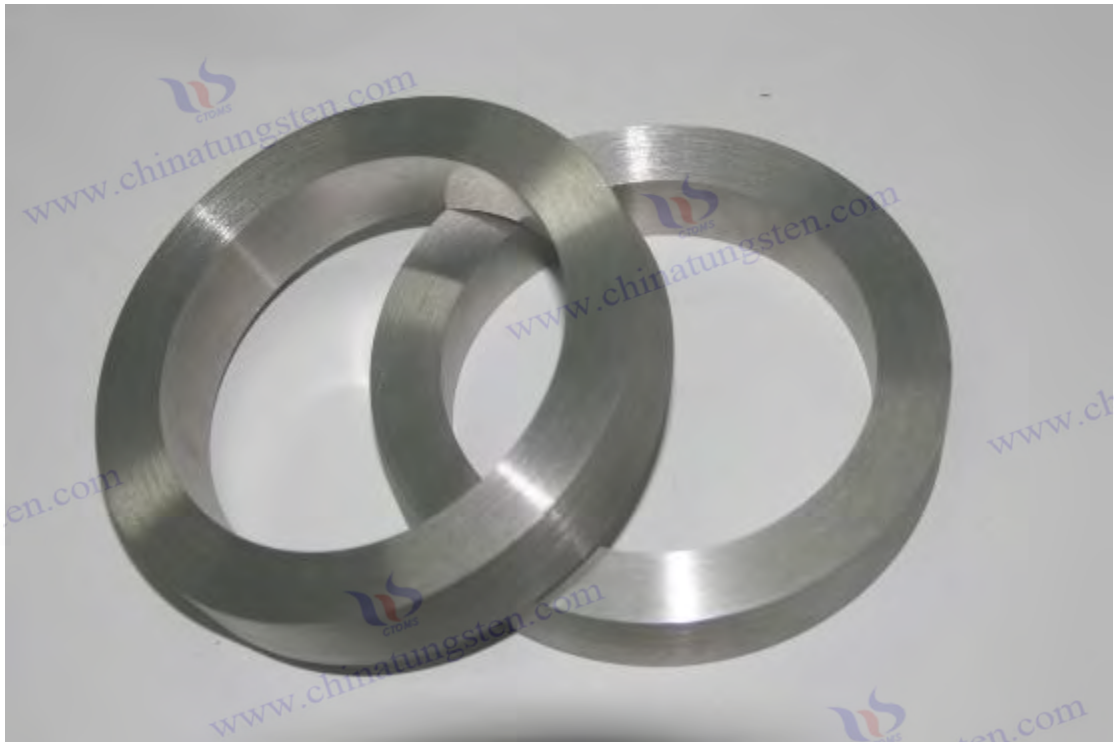
6. Новые системы энергетики и хранения энергии

В водородной энергетике, топливных элементах и современных системах накопления энергии кольца из вольфрамового сплава могут использоваться в качестве силовых элементов конструкции и компонентов электромагнитного экранирования для повышения безопасности и долговечности систем. Их высокая термостойкость и коррозионная стойкость также обеспечивают длительную и стабильную работу нового энергетического оборудования.

7. Аддитивное производство и интеллектуальное производственное оборудование

Кольца из вольфрамового сплава подходят для ключевых компонентов оборудования для аддитивного производства (3D-печати), обеспечивая точное изготовление сложных деталей. Требования к быстрому реагированию и высоким эксплуатационным характеристикам материалов в сфере интеллектуального производства привели к широкому применению колец из вольфрамового сплава в автоматизированном оборудовании.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Приложение

Приложение 1: Общие физические и химические данные колец из вольфрамового сплава

В настоящем приложении обобщены данные о физических и химических свойствах, обычно используемые при проектировании, производстве и применении колец из вольфрамового сплава, для справки инженерам, техническим специалистам и исследователям с целью облегчения выбора материала, оптимизации процесса и оценки эксплуатационных характеристик.

Категория параметров	проект	Типичный диапазон значений	Замечание
Физические свойства	Плотность (г/см³)	17,0 – 18,8	в зависимости от содержания вольфрама и состава сплава
	пропорция	17,0 – 18,8	Эквивалент плотности
	Температура плавления (°C)	3422	Температура плавления вольфрама
	Коэффициент теплового расширения (×10 ⁻⁶ / K)	4,5 – 6,0	Различные системы сплавов имеют небольшие различия.
	Теплопроводность (Вт/м·K)	100 – 150	Зависит от состава сплава

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	Проводимость (% IACS)	5 – 15	Влияние содержания никеля и железа
Механические свойства	Прочность на растяжение (МПа)	500 – 900	Зависит от соотношения сплава и процесса термообработки
	Предел текучести (МПа)	300 – 700	
	Вязкость разрушения (МПа·м ^{1/2})	10 – 25	
	Твердость (HV)	200 – 350	В зависимости от различных ингредиентов и процессов
химический состав	Содержание вольфрама (W, %)	85 – 98	Различные типы сплавов
	Содержание никеля (Ni, %)	1 – 12	
	Содержание железа (Fe, %)	1 – 12	
	Другие легирующие элементы	0 – 3	Такие как медь, молибден и т. д.
	Содержание кислорода (O, ppm)	< 100	Влияет на хрупкость и механические свойства
	Содержание углерода (C, ppm)	< 50	
поверхностные свойства	(Ra, мкм)	0,1 – 1,0	По технологии обработки
	Толщина поверхностного покрытия (мкм)	1 – 50	В зависимости от типа покрытия

Замечание:

- Приведённые выше данные являются типичными. Удельные характеристики зависят от таких факторов, как состав сплава, процесс изготовления, термическая обработка и условия эксплуатации.
- Параметры физических характеристик применимы к условиям комнатной температуры и должны корректироваться в соответствии с фактическими условиями использования.
- Содержание примесей в химическом составе оказывает большое влияние на эксплуатационные характеристики колец из вольфрамового сплава и должно строго контролироваться.
- Параметры характеристик поверхности в основном касаются состояния после обработки или нанесения покрытия, которое влияет на срок службы и функциональные характеристики.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Приложение 2: Сравнительная таблица международных стандартов для колец из вольфрамового сплава

В настоящем приложении обобщены основные международные стандарты, касающиеся колец из вольфрамового сплава, охватывающие технические характеристики материалов, испытания эксплуатационных характеристик, контроль качества и технические характеристики применения, для удобства инженеров и персонала по управлению качеством.

Стандартная система	Номер стандарта	Стандартное название (китайский)	Стандартное название (английский)	Краткое описание области применения и содержания
Китайский национальный стандарт (GB)	GB/T 1234-xxxx	Технические требования к материалам из вольфрамового сплава	Технические условия на материалы из вольфрамовых сплавов	кольца из вольфрамового сплава и сопутствующие изделия
	GB/T 5678-xxxx	Метод испытания механических свойств кольца из вольфрамового сплава	Методы испытаний механических свойств колец из вольфрамового сплава	Стандарты испытаний механических свойств колец из вольфрамового сплава
Американское общество по испытаниям и материалам (ASTM)	ASTM B777-xxxx	Технические характеристики вольфрамового сплава	Стандартные спецификации для материалов из вольфрамовых сплавов	Состав, свойства и стандарты процесса изготовления колец из вольфрамового сплава
	ASTM E8/E8M-xxxx	Стандарты испытаний на растяжение металлических материалов	Стандартные методы испытаний на растяжение металлических материалов	Метод испытания на растяжение кольца из вольфрамового сплава
Военный стандарт США (MIL)	MIL-DTL-xxxx	Технические требования к кольцам из вольфрамового сплава военного назначения	Военная спецификация колец из вольфрамового сплава	Требования к эксплуатационным характеристикам и качеству колец из вольфрамового сплава военного назначения
Международная организация по стандартизации (ISO)	ISO 11945:xxxx	Общие технические характеристики материалов из вольфрамовых	Материалы из вольфрамовых сплавов — общие технические характеристики	Международные спецификации материалов из вольфрамовых сплавов

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

		сплавов		
	ISO 6507-1 : xxxx	Метод определения твердости по Виккерсу	Металлические материалы — Испытание на твердость по Виккерсу — Часть 1	Стандартный метод испытания твердости колец из вольфрамового сплава
Европейские стандарты (EN)	EN 12502-xxxx	Свойства и испытания материалов из вольфрамового сплава	Характеристики и испытания вольфрамовых сплавов	Спецификации испытаний и контроля качества колец из сплава в ЕС
Стандарты соответствия экологическим нормам	Директива RoHS 2011/65/EC	Директива об ограничении использования опасных веществ	Директива об ограничении использования опасных веществ	Кольца из вольфрамового сплава и требования по охране окружающей среды
	REACH (EC) № 1907/2006	Регистрация, оценка, авторизация и ограничение химических веществ (REACH)	Регистрация, оценка, разрешение и ограничение регулирования химических веществ	Требования к содержанию химических веществ в материалах колец из вольфрамового сплава

Замечание:

- xxxx " в номере стандарта указывает на различные версии и конкретные годы. Для фактического применения необходимо подтвердить последнюю версию.
- В разных странах и регионах действуют разные требования к кольцам из вольфрамового сплава. Конкретные проекты следует выбирать с учетом целевого рынка.
- Некоторые стандарты фокусируются на испытаниях производительности, в то время как другие — на химическом составе материалов и соблюдении экологических норм, и оба эти стандарта должны применяться в сочетании.
- Предприятиям следует создать систему управления качеством, соответствующую международным и отечественным стандартам, основанную на реальных потребностях производства и применения.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

сокращения

В этом приложении обобщены наиболее часто используемые термины в области колец из вольфрамовых сплавов и соответствующие им английские выражения, а также объяснения связанных с ними сокращений для облегчения понимания и общения между техническими специалистами, сотрудниками отдела НИОКР и менеджерами.

Китайская терминология	Английская терминология	Сокращения	Объяснение
Кольцо из вольфрамового сплава	Кольцо из вольфрамового сплава	—	Кольцевые конструктивные детали из сплавов на основе вольфрама широко используются в высокотехнологичных областях.
Порошковая металлургия	Порошковая металлургия	премьер-министр	Технология получения металлических материалов методом прессования и спекания порошков.
спекание	Спекание	—	Процесс соединения частиц порошка при высоких температурах для образования плотного твердого вещества.
микроструктура	Микроструктура	—	Внутренние структурные характеристики материала, наблюдаемые под микроскопом.
плотность	Плотность/Компактность	—	Герметичность материала влияет на его механические и физические свойства.
предел прочности	Предел прочности	TC	Максимальное напряжение, при котором материал сопротивляется разрушению при растяжении.
Предел текучести	Предел текучести	YS	Значение напряжения, при котором материал начинает пластически деформироваться.
вязкость разрушения	Вязкость разрушения	—	Способность материала противостоять росту трещин.
твердость	Твердость	—	Способность противостоять локальной деформации или царапинам обычно выражается твердостью по Виккерсу (HV).
зернистость	Размер зерна	—	Размер зерен в микроструктуре материала влияет на его свойства.
Вакуумная упаковка	Вакуумная упаковка	—	Материал упаковывается в вакууме для предотвращения окисления и загрязнения.
Аддитивное производство	Аддитивное производство	ЯВЛЯЮСЬ	Технология, при которой детали изготавливаются путем послойного наращивания материалов, например, 3D-печать.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

шероховатость поверхности	Шероховатость поверхности	—	Степень микроскопической волнистости на поверхности материала.
Ультразвуковой контроль	Ультразвуковой контроль	ЮТ	Метод неразрушающего контроля, использующий ультразвуковые волны для обнаружения внутренних дефектов материалов.
Рентгеновский контроль	Рентгеновское обследование	XRT	Используйте рентгеновские лучи для проведения неразрушающего контроля материалов с целью выявления внутренних дефектов.
спектрометрия с индуктивно связанной плазмой	Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой	ИСП-МС	Аналитическая технология, используемая для определения содержания микроэлементов в материалах.
электронный микроскоп	Электронный микроскоп	ЭМ	Микроскопы высокого разрешения для наблюдения микроструктуры материалов.
Директива RoHS	Директива об ограничении использования опасных веществ	RoHS	Экологические нормы ЕС по ограничению использования опасных веществ.
Регламент REACH	Регистрация, оценка, разрешение и ограничение химических веществ	ДОСТИГАТЬ	ЕС по регистрации, оценке, авторизации и ограничению использования химических веществ.
твёрдость по Виккерсу	Твёрдость по Виккерсу	HV	Распространенный метод измерения твёрдости металла.
частицы порошка	Порошковая частица	—	Распределение размера частиц сырья, используемого для изготовления колец из вольфрамового сплава, влияет на качество готового продукта.
Микролегирование	Микролегирование	—	Технология, которая добавляет в матрицу следы легирующих элементов для улучшения характеристик.
Армирование наночастицами	Армирование наночастицами	—	Метод улучшения механических свойств материалов посредством диспергирования наночастиц.
Коаксиальность	Концентричность	—	Концентричность внутреннего и внешнего диаметров кольца из вольфрамового сплава влияет на точность посадки.
Антикоррозийное покрытие	Антикоррозийное покрытие	—	Покрытие, защищающее поверхность материала от химической коррозии.

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