

## Что такое Аре Верхние планки из вольфрамового сплава с заклепками

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](http://www.ctia.com.cn)

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

## ВВЕДЕНИЕ В CTIA GROUP

CTIA GROUP LTD , дочерняя компания с полной собственностью и независимым юридическим лицом, 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](http://www.chinatungsten.com) в качестве отправной точки — первого в Китае веб-сайта с продукцией из вольфрама высшего уровня — является пионерской компанией электронной коммерции в стране, сосредоточенной на вольфрамовой, молибденовой и редкоземельной промышленности. Используя почти три десятилетия обширного опыта в области вольфрама и молибдена, CTIA GROUP унаследовала исключительные проектные и производственные возможности своей материнской компании, превосходное обслуживание и международную деловую репутацию, став поставщиком комплексных прикладных решений в области вольфрамовых химикатов, вольфрамовых металлов, твердых сплавов, высокоплотных сплавов, молибдена и молибденовых сплавов.

За последние 30 лет CHINATUNGSTEN ONLINE создала более 200 многоязычных профессиональных веб-сайтов по вольфраму и молибдену, охватывающих более 20 языков, с более чем миллионом страниц новостей, цен и анализа рынка, связанных с вольфрамом, молибденом и редкоземельными металлами. С 2013 года ее официальный аккаунт WeChat "CHINATUNGSTEN ONLINE" опубликовал более 40 000 единиц информации, обслуживая почти 100 000 подписчиков и ежедневно предоставляя бесплатную информацию сотням тысяч специалистов отрасли по всему миру. Благодаря совокупным посещениям кластера ее веб-сайта и официального аккаунта, достигающим миллиардов раз, он стал признанным мировым и авторитетным информационным центром для отраслей вольфрама, молибдена и редкоземельных металлов, предоставляя круглосуточные многоязычные новости, характеристики продукции, рыночные цены и услуги по тенденциям рынка.

Основываясь на технологиях и опыте CHINATUNGSTEN ONLINE, CTIA GROUP фокусируется на удовлетворении индивидуальных потребностей клиентов. Используя технологию искусственного интеллекта, она совместно с клиентами проектирует и производит вольфрамовые и молибденовые изделия с определенным химическим составом и физическими свойствами (такими как размер частиц, плотность, твердость, прочность, размеры и допуски). Она предлагает комплексные услуги по полному процессу, начиная от открытия пресс-формы, опытного производства и заканчивая отделкой, упаковкой и логистикой. За последние 30 лет CHINATUNGSTEN ONLINE предоставила услуги по НИОКР, проектированию и производству для более чем 500 000 видов вольфрамовых и молибденовых изделий более чем 130 000 клиентов по всему миру, заложив основу для индивидуального, гибкого и интеллектуального производства. Опираясь на эту основу, CTIA GROUP еще больше углубляет интеллектуальное производство и интегрированные инновации вольфрамовых и молибденовых материалов в эпоху промышленного Интернета.

Доктор Ханис и его команда в CTIA GROUP, основываясь на своем 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 с 1990-х годов в электронной коммерции и международной торговле вольфрамовой и молибденовой продукцией, а также в проектировании и производстве цементированных карбидов и сплавов высокой плотности, является известным 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 широкую похвалу в отрасли. Эти достижения обеспечивают надежную поддержку технологическим инновациям CTIA GROUP, продвижению продукции и отраслевому обмену, позволяя ей стать лидером в сфере мирового производства вольфрамовой и молибденовой продукции и информационных услуг.



### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

## Оглавление

### **Глава 1. Обзор заклепочных стержней из вольфрамового сплава.**

- 1.1 Определение заклепочных стержней из вольфрамового сплава
  - 1.1.1 Структурные особенности заклепочных стержней из вольфрамового сплава
  - 1.1.2 Основные характеристики заклепочных стержней из вольфрамового сплава
  - 1.1.3 Позиционирование заклепочных стержней из вольфрамового сплава в материаловедении
- 1.2 Анализ основных элементов в заклепочных стержнях из вольфрамового сплава
  - 1.2.1 Роль вольфрама в заклепочных стержнях из вольфрамового сплава
  - 1.2.2 Интеграция вспомогательных металлических элементов в заклепочные стержни из вольфрамового сплава
    - 1.2.2.1 Влияние добавления никеля на прочность заклепочных стержней из вольфрамового сплава
    - 1.2.2.2 Влияние добавки железа на прочность заклепочных стержней из вольфрамового сплава
    - 1.2.2.3 Механизм легирования медью заклепочных стержней из вольфрамового сплава
    - 1.2.2.4 Механизм легирования другими элементами в заклепочных стержнях из вольфрамового сплава
  - 1.3 Микроструктура заклепочных стержней из вольфрамового сплава
    - 1.3.1 Влияние кристаллической структуры на характеристики заклепочных стержней из вольфрамового сплава
    - 1.3.2 Наблюдение явления фазового разделения в заклепочных стержнях из вольфрамового сплава
  - 1.4 Теоретические основы изготовления заклепочных стержней из вольфрамового сплава
    - 1.4.1 Применение диаграмм фазового состояния сплавов в заклепочных стержнях из вольфрамового сплава
    - 1.4.2 Влияние термодинамических принципов на заклепочные стержни из вольфрамового сплава

### **Глава 2. Классификация и соответствующий анализ заклепочных стержней из вольфрамовых сплавов.**

- 2.1 Классификация заклепочных стержней из вольфрамового сплава по составу
  - 2.1.1 Высокоплотные заклепочные стержни из сплава вольфрама
  - 2.1.2 Заклепочные стержни из низкоплотного вольфрамового сплава
  - 2.1.3 Заклепочные стержни из легированного редкоземельными элементами сплава вольфрама
- 2.2 Классификация заклепочных стержней из вольфрамового сплава по областям применения
  - 2.2.1 Заклепочные стержни из вольфрамового сплава для области механической обработки
  - 2.2.2 Заклепочные стержни из вольфрамового сплава для полевых работ с прецизионными приборами
  - 2.2.3 Заклепочные стержни из вольфрамового сплава для работы в условиях высоких температур
  - 2.2.4 Заклепочные стержни из вольфрамового сплава для работы в условиях износа
- 2.3 Анализ различий в характеристиках различных типов заклепочных стержней из вольфрамового сплава
  - 2.3.1 Влияние изменений состава на физические свойства заклепочных стержней из вольфрамового сплава
  - 2.3.2. Воплощение прикладного проектирования в заклепочных стержнях из вольфрамового

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

сплава

2.3.3 Регулирование влияния различий в микроструктуре на механические свойства заклепочных стержней из вольфрамового сплава

### **Глава 3. Процесс подготовки заклепочных стержней из вольфрамового сплава.**

3.1 Метод порошковой металлургии для изготовления заклепочных стержней из вольфрамового сплава

3.1.1 Этапы подготовки сырья для изготовления заклепочных стержней из вольфрамового сплава

3.1.1.1 Очистка и контроль размера частиц порошка вольфрама

3.1.1.2 Равномерность смешивания легирующих элементов

3.1.2 Влияние процесса спекания на плотность заклепочных стержней из вольфрамового сплава

3.1.3 Оптимизация технологии прессования при изготовлении заклепочных стержней из вольфрамового сплава

3.1.4 Роль жидкофазного спекания в уплотнении заклепочных стержней из вольфрамового сплава

3.2 Технология механической обработки заклепочных стержней из вольфрамового сплава

3.2.1 Применение формовки в заклепочных стержнях из вольфрамового сплава

3.2.2 Применение пластической деформации в заклепочных стержнях из вольфрамового сплава

3.2.3 Оптимизация микроструктуры методом термообработки в заклепочных стержнях из вольфрамового сплава

3.2.4 Применение процесса прецизионной шлифовки при обработке поверхности заклепочных стержней из вольфрамового сплава

3.2.5 Применение электроэрозионной обработки для получения сложных форм заклепочных стержней из вольфрамового сплава

3.3 Характеристика и контроль качества заклепочных стержней из вольфрамового сплава

3.3.1 Использование микроскопического анализа при изготовлении заклепочных стержней из вольфрамового сплава

3.3.2 Идентификация состава вольфрамовых сплавов в заклепочных стержнях с помощью спектроскопических методов

3.3.3 Важность определения плотности при оценке качества заклепочных стержней из вольфрамового сплава

3.3.4 Выявление внутренних дефектов в заклепочных стержнях из вольфрамового сплава с помощью неразрушающего контроля

3.4 Инновационные методы в процессе изготовления заклепочных стержней из вольфрамового сплава

3.4.1 Возможности литья под давлением в производстве заклепочных стержней из вольфрамового сплава

3.4.2 Влияние аддитивных технологий на индивидуальную настройку заклепочных стержней из вольфрамового сплава

### **Глава 4. Физические свойства заклепочных стержней из вольфрамового сплава.**

4.1 Плотность и тепловые свойства заклепочных стержней из вольфрамового сплава

4.1.1 Принцип измерения плотности в заклепочных стержнях 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](http://www.ctia.com.cn)

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

- 4.1.2 Вклад коэффициента теплового расширения в стабильность заклепочных стержней из вольфрамового сплава
  - 4.1.2.1 Термическое поведение заклепочных стержней из вольфрамового сплава в условиях высоких температур
  - 4.1.2.2 Реакция заклепочных стержней из вольфрамового сплава в условиях низких температур
- 4.1.3 Применение дифференциальной сканирующей калориметрии в заклепочных стержнях из вольфрамового сплава
- 4.1.4 Количественная оценка теплопроводности заклепочных стержней из вольфрамового сплава
- 4.1.5 Роль удельной теплоемкости в тепловом регулировании заклепочных стержней из вольфрамового сплава
- 4.2 Электрические и магнитные свойства заклепочных стержней из вольфрамового сплава
  - 4.2.1 Характеристики электропроводности в заклепочных стержнях из вольфрамового сплава
  - 4.2.2 Влияние магнитных параметров на применение заклепочных стержней из вольфрамового сплава
  - 4.2.3 Влияние температурного коэффициента сопротивления на электрическую стабильность заклепочных стержней из вольфрамового сплава
  - 4.2.4 Наблюдение за анализом петли гистерезиса в заклепочных стержнях из вольфрамового сплава
- 4.3 Оптические и радиационные свойства заклепочных стержней из вольфрамового сплава
  - 4.3.1 Актуальность анализа отражательной способности в заклепочных стержнях из вольфрамового сплава
  - 4.3.2 Оценка радиационной стойкости заклепочных стержней из вольфрамового сплава
  - 4.3.3 Характеристика спектра поглощения в оптических характеристиках заклепочных стержней из вольфрамового сплава
  - 4.3.4 Вклад сечения поглощения нейтронов в радиационную защиту заклепочных стержней из вольфрамового сплава
- 4.4 Паспорт безопасности материала (MSDS) для заклепочных стержней из вольфрамового сплава компании CTIA GROUP LTD.

## **Глава 5. Механические свойства заклепочных стержней из вольфрамового сплава.**

- 5.1 Прочность и твердость заклепочных стержней из вольфрамового сплава
  - 5.1.1 Методы испытания на прочность при растяжении заклепочных стержней из вольфрамового сплава
    - 5.1.1.1 Механизм разрушения заклепочных стержней из вольфрамового сплава под статической нагрузкой
    - 5.1.1.2 Влияние динамической нагрузки на заклепочные стержни из вольфрамового сплава
  - 5.1.2 Количественная оценка твердости по Виккерсу в заклепочных стержнях из вольфрамового сплава
  - 5.1.3 Оценка прочности на растяжение образцов заклепочных зажимов из вольфрамового сплава
  - 5.1.4 Оценка прочности на сжатие заклепочных стержней из вольфрамового сплава
    - 5.1.4.1 Исследование влияния скорости деформации на изгиб заклепочных стержней 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](http://www.ctia.com.cn)

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

- 5.1.4.2 Результаты анализа разрушения заклепочных стержней из вольфрамового сплава
- 5.1.5 Дополнительная проверка прочности на изгиб механических свойств заклепочных стержней из вольфрамового сплава
- 5.2 Прочность и усталостное поведение заклепочных стержней из вольфрамового сплава
  - 5.2.1 Роль ударной вязкости в долговечности заклепочных стержней из вольфрамового сплава
  - 5.2.2 Применение анализа циклической усталости в заклепочных стержнях из вольфрамового сплава
  - 5.2.3 Методы измерения трещиностойкости в заклепочных стержнях из вольфрамового сплава
  - 5.2.4 Прогнозирование влияния высокоциклической усталости на срок службы заклепочных стержней из вольфрамового сплава
- 5.3 Характеристики трения и износа заклепочных стержней из вольфрамового сплава
  - 5.3.1 Оптимизация путем измерения коэффициента трения для заклепочных стержней из вольфрамового сплава
  - 5.3.2 Обсуждение механизмов износа в заклепочных стержнях из вольфрамового сплава
  - 5.3.3 Анализ абразивного износа и повреждений поверхности заклепочных стержней из вольфрамового сплава
  - 5.3.4 Характеристики адгезионного износа в процессе контакта при заклепочном формировании стержней из вольфрамового сплава

## **Глава 6. Коррозия и долговечность заклепочных стержней из вольфрамового сплава.**

- 6.1 Электрохимическое коррозионное поведение заклепочных стержней из вольфрамового сплава
  - 6.1.1 Использование поляризационных кривых в исследованиях коррозии заклепочных стержней из вольфрамового сплава
  - 6.1.2 Защита путем формирования пассивного слоя на заклепочных стержнях из вольфрамового сплава
    - 6.1.2.1 Устойчивость заклепочных стержней из вольфрамового сплава в кислых средах
    - 6.1.2.2 Реакция заклепочных стержней из вольфрамового сплава в щелочных условиях
  - 6.1.3 Характеристика заклепочных стержней из вольфрамового сплава методом измерения коррозионного потенциала
  - 6.1.4 Применение импедансной спектроскопии в кинетике коррозии заклепочных стержней из вольфрамового сплава
  - 6.1.5 Влияние реакций окисления на коррозионное поведение заклепочных стержней из вольфрамового сплава
  - 6.1.6 Регулирование влияния факторов окружающей среды на химические свойства заклепочных стержней из вольфрамового сплава
- 6.2 Механизм высокотемпературного окисления заклепочных стержней из вольфрамового сплава
  - 6.2.1 Влияние кинетики окисления на заклепочные стержни из вольфрамового сплава
  - 6.2.2 Нанесение защитных покрытий на заклепочные стержни из вольфрамового сплава
  - 6.2.3 Разрушение путем образования летучих оксидов на заклепочных стержнях из вольфрамового сплава
  - 6.2.4 Регулирование легирующих элементов на стойкость к окислению заклепочных стержней 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](http://www.ctia.com.cn)

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

- 6.3 Испытания на стойкость к воздействию окружающей среды заклепочных стержней из вольфрамового сплава
  - 6.3.1 Оценка прочности заклепочных стержней из вольфрамового сплава методом испытания солевым туманом
  - 6.3.2 Роль циклов изменения влажности в долговечности заклепочных стержней из вольфрамового сплава
  - 6.3.3 Интеграция многомасштабного моделирования в заклепочные стержни из вольфрамового сплава
  - 6.3.4. Испытание чувствительности к коррозионному растрескиванию под напряжением на заклепочных стержнях из вольфрамового сплава

## **Глава 7. Применение заклепочных стержней из вольфрамового сплава.**

- 7.1 Применение заклепочных стержней из вольфрамового сплава в процессах клепки
  - 7.1.1 Механическая роль заклепочных стержней из вольфрамового сплава в процессе формовки заклепок
  - 7.1.2 Механизм взаимодействия между зажимным стержнем и материалом заклепки
  - 7.1.2.1 Анализ распределения контактных напряжений в конструкциях из вольфрамовых сплавов для заклепочных соединений
  - 7.1.2.2 Влияние координации деформаций на долговечность заклепочных стержней из вольфрамового сплава
  - 7.1.3 Требования к высокопрочной клепке при изготовлении заклепочных брусков из вольфрамового сплава
  - 7.1.4 Применимость заклепочных стержней из вольфрамового сплава в автоматизированном клепальном оборудовании
- 7.2 Применение заклепочных стержней из вольфрамового сплава в конструкционных соединениях аэрокосмической отрасли
  - 7.2.1 Принципы выбора заклепочных стержней из вольфрамового сплава при клепке из титанового сплава
  - 7.2.2 Требования к характеристикам поверхности заклепочных стержней из вольфрамового сплава при клепке композитных материалов
  - 7.2.3 Анализ устойчивости заклепочных стержней из вольфрамового сплава в условиях вибрации
  - 7.2.4 Особые требования к низкотемпературным процессам клепки заклепочных стержней из вольфрамового сплава
- 7.3 Применение заклепочных брусков из вольфрамового сплава в автомобилестроении и железнодорожном транспорте
  - 7.3.1 Применимость заклепочных стержней из вольфрамового сплава в клепке легких кузовов
  - 7.3.2 Исследование износа заклепочных стержней из вольфрамового сплава в процессах высокочастотной клепки
  - 7.3.3 Совместимость заклепочных стержней из вольфрамового сплава в многокомпонентных соединениях
- 7.4 Применение заклепочных стержней из вольфрамового сплава в прецизионной механической сборке

### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

7.4.1 Требования к точности размеров заклепочных стержней из вольфрамового сплава при микроклепке

7.4.2 Роль модификации поверхности в прецизионных применениях заклепочных стержней из вольфрамового сплава

7.4.3 Требования к чистоте материала заклепочных стержней из вольфрамового сплава в условиях чистых помещений

## **Глава 8. Типичные проблемы при изготовлении заклепочных стержней из вольфрамового сплава.**

8.1 Образование дефектов в процессе изготовления заклепочных стержней из вольфрамового сплава

8.1.1 Влияние неравномерного спекания на микроструктуру заклепочных стержней из вольфрамового сплава

8.1.2 Источники и контроль загрязнения примесями в заклепочных стержнях из вольфрамового сплава

8.1.3 Механизм образования трещин на стадии прессования заклепочных стержней из вольфрамового сплава

8.1.4 Анализ причин остаточной пористости в заклепочных стержнях из вольфрамового сплава

8.2 Виды отказов при использовании заклепочных стержней из вольфрамового сплава

8.2.1 Механизм разрушения, вызванный механической перегрузкой в заклепочных стержнях из вольфрамового сплава

8.2.2 Кумулятивный эффект износа и усталости в заклепочных стержнях из вольфрамового сплава

8.2.3 Сокращение срока службы заклепочных стержней из вольфрамового сплава под воздействием коррозионных сред

8.2.4 Явление растрескивания, вызванное термическим ударом в заклепочных стержнях из вольфрамового сплава

8.2.5 Влияние отслаивания поверхности на функционирование заклепочных стержней из вольфрамового сплава

8.3 Оптимизация производительности и диагностика неисправностей заклепочных стержней из вольфрамового сплава

8.3.1. Смягчение распространенных проблем путем корректировки состава заклепочных стержней из вольфрамового сплава

8.3.2 Применение неразрушающих методов контроля для выявления дефектов в заклепочных стержнях из вольфрамового сплава

8.3.3 Повышение долговечности заклепочных стержней из вольфрамового сплава за счет термообработки

8.3.4 Повышение износостойкости за счет технологии поверхностного упрочнения в заклепочных стержнях из вольфрамового сплава

8.3.5 Роль анализа причин отказов в оптимизации заклепочных стержней из вольфрамового сплава

8.4 Сравнительный анализ характеристик заклепочных стержней из вольфрамового сплава с стержнями из других материалов.

8.4.1 Сравнительная оценка характеристик твердосплавных зажимных стержней и зажимных

### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

стержней из вольфрамового сплава с заклепками

8.4.2 Сравнительная оценка характеристик стальных зажимных стержней, заменяющих зажимные стержни из вольфрамового сплава.

8.4.3 Сравнительная оценка характеристик керамических и вольфрамовых заклепочных стержней

**Приложения:**

Приложение А. Китайские стандарты на заклепочные стержни из вольфрамового сплава.

Приложение В. Международные стандарты для заклепочных стержней из вольфрамового сплава.

Приложение С. Стандарты для заклепочных стержней из вольфрамового сплава в Европе, Америке, Японии, Корее и др.

Приложение Д. Глоссарий терминов, используемых для обозначения заклепок из вольфрамовых сплавов.

Ссылки



CTIA GROUP LTD. Заклепочный стержень 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](http://www.ctia.com.cn)

电话/TEL: 0086 592 512 9696  
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V  
[sales@chinatungsten.com](mailto: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 ( $17\text{-}19 \text{ g/cm}^3$ ), 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**

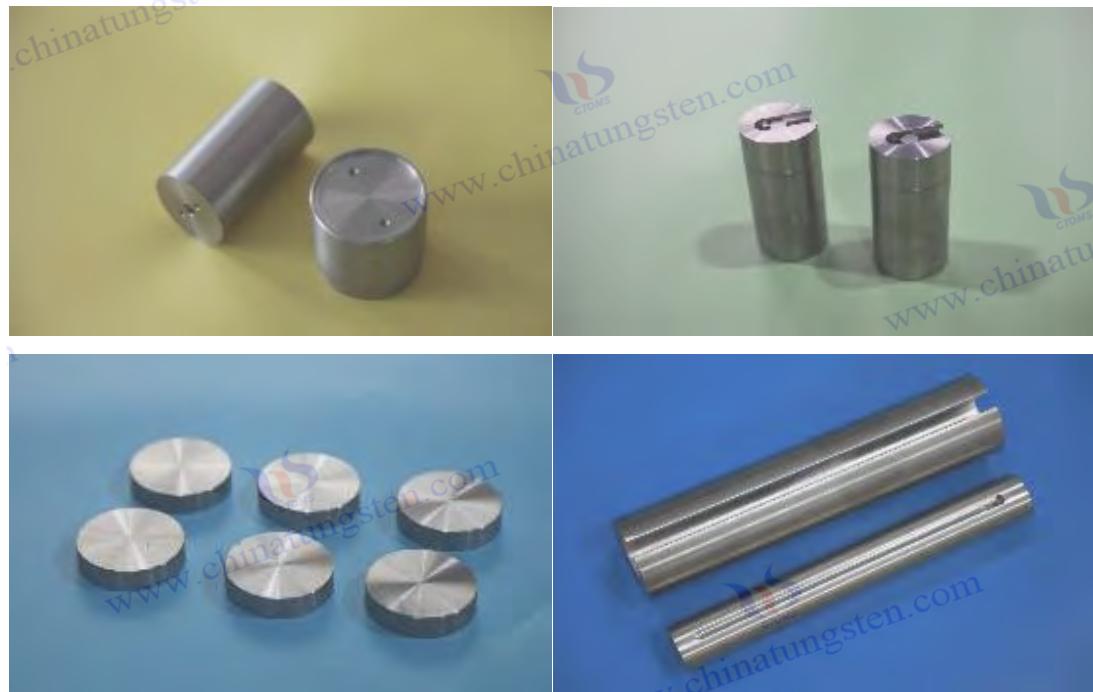
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

Tel: +86 592 5129696

Official website: [www.tungsten-alloy.com](http://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](http://www.ctia.com.cn)

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

## Глава 1. Обзор заклепок из вольфрамового сплава.

### 1.1 Определение заклепочного стержня из вольфрамового сплава

Оправки для заклепок из вольфрамового сплава — это изделия из сплава, основным компонентом которого является вольфрам. Обычно их изготавливают методом порошковой металлургии и обрабатывают в виде специальных стержнеобразных инструментов, используемых в основном для поддержки и придания формы в процессе клепки. Эти оправки устанавливаются на хвостовую часть заклепки во время установки, выполняя функцию обратной опоры, выдерживающей удары молотка или давление, что позволяет головке заклепки плавно деформироваться и образовывать надежное соединение. Вольфрамовый сплав выбирается из-за его высокой плотности и твердости, что позволяет ему сохранять стабильность формы при многократных ударах, а также обладает определенной прочностью, предотвращающей хрупкое разрушение. Диаметр и длина оправки проектируются в соответствии со спецификациями заклепки, а ее поверхность часто подвергается прецизионной шлифовке для обеспечения хорошего прилегания к хвостовой части заклепки.

В качестве оправок для заклепок обычно используются сплавы вольфрама, никеля и железа или вольфрама, никеля и меди. Связующее вещество обеспечивает необходимую пластичность, делая оправку менее склонной к растрескиванию во время обработки и эксплуатации. Процесс изготовления включает смешивание порошков, прессование, спекание и термомеханическую обработку, с окончательной термической обработкой для корректировки микроструктуры. Рабочая поверхность оправки должна быть гладкой и плоской, чтобы уменьшить трение и повреждения во время деформации заклепки. Появление оправок из вольфрамовых сплавов решило проблему недостаточной долговечности традиционных стальных оправок в высокопрочных заклепочных системах, особенно в областях применения, требующих многократного использования, где их срок службы более стабилен.

С функциональной точки зрения, заклепочные инструменты из вольфрамового сплава не только обеспечивают механическую поддержку, но и, благодаря своей высокой плотности, помогают сконцентрировать передачу энергии, что приводит к более равномерной деформации заклепки. Форма торцевой поверхности инструмента может быть различной, например, плоской, вогнутой или выпуклой, для работы с различными типами заклепок. При использовании инструмент крепится к пневматическому или ручному заклепочному пистолету, а оператор контролирует усилие для выполнения соединения. Техническое обслуживание заклепочных инструментов из вольфрамового сплава относительно простое; достаточно регулярного осмотра износа поверхности и полировки.

#### 1.1.1 Структурные особенности заклепочных планок из вольфрамового сплава

Оправки для заклепок из вольфрамового сплава в основном отличаются своей стержнеобразной формой и внутренней двухфазной микроструктурой. Внешняя конструкция обеспечивает функциональную адаптивность, а внутренняя микроструктура определяет долговечность.

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

Оправка имеет цилиндрическую форму, один конец которой служит рабочей поверхностью для непосредственного контакта с хвостовой частью заклепки, а другой конец — зажимным или фиксирующим элементом для легкой установки в заклепочное оборудование. Рабочая поверхность обычно плоская или имеет неглубокие канавки для лучшего учета деформации хвостовой части заклепки, а гладкие стороны снижают сопротивление при работе. Соотношение длины и диаметра подбирается в соответствии с размером заклепки для обеспечения стабильной опоры без помех со стороны окружающих компонентов.

Внутренняя структура демонстрирует типичные для вольфрамовых сплавов двухфазные характеристики: частицы вольфрама образуют непрерывный каркас в качестве твердой фазы, а связующие фазы, такие как никель-железо или никель-медь, заполняют зазоры, обеспечивая связность и прочность. Эта микроструктура формируется в процессе спекания, при этом частицы вольфрама имеют почти сферическую форму, а связующая фаза равномерно распределена для предотвращения концентрации напряжений. После горячей обработки микроструктура приобретает волокнистую текстуру, ориентированную вдоль оси, что повышает продольную прочность. Поверхность тщательно шлифуется, что приводит к низкой шероховатости и уменьшению адгезии заклепок.

Конструктивные особенности также включают в себя конструкцию торцевой поверхности; вогнутые верхние планки помогают заклепке формировать грибовидную головку, а плоские поверхности обеспечивают временную опору для заклепок большой площади. Неподвижный конец часто имеет резьбу или пазы для быстрого соединения с заклепочным пистолетом. Верхние планки из вольфрамового сплава компактны, умеренно тяжелы и просты в использовании как вручную, так и автоматически. После термообработки внутренние напряжения снимаются, и конструкция стабилизируется для сопротивления ударной усталости.

С точки зрения применения, эта конструктивная особенность повышает эффективность передачи энергии в оправке и улучшает контроль зоны деформации во время клепки. Конструкция оправки из вольфрамового сплава отражает практические соображения в инструментальной инженерии, оптимизируя ее опорную функцию за счет координации формы и структуры, а также играя стабилизирующую роль на сборочных линиях и при проведении ремонтных работ. С развитием технологии клепки конструкция оправки также постепенно совершенствуется, чтобы соответствовать большему количеству потребностей в соединениях.

### 1.1.2 Основные характеристики заклепочных планок из вольфрамового сплава

Заклепочные оправки из вольфрамового сплава в первую очередь обусловлены сочетанием свойств материала и функциональной конструкции. Этот инструмент служит опорой во время клепки, должен выдерживать многократные удары и давления, сохраняя при этом стабильность формы. Высокая плотность вольфрамового сплава — одна из его наиболее важных особенностей. Это свойство позволяет оправке иметь большую массу при том же объеме, обеспечивая более сильную инерционную поддержку и помогая концентрировать передачу энергии при деформации

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

хвостовой части заклепки, что приводит к более равномерному соединению. Высокая твердость — еще одна важная характеристика. Вольфрамовая фаза действует как твердый каркас, противостоящий износу, в то время как связующая фаза обеспечивает определенную степень прочности, предотвращая сколы или вмятины при высокочастотном использовании. Термостойкость также превосходна. Вольфрамовый сплав имеет низкую склонность к размягчению под воздействием локальных высоких температур, возникающих во время клепки, и материал заклепки нелегко прилипает к поверхности, сохраняя рабочую поверхность гладкой.

Обрабатываемость оправок из вольфрамового сплава позволяет выполнять прецизионную формовку; диаметр оправки и форма торцевой поверхности могут быть настроены в соответствии с типом заклепки. Низкий коэффициент трения после полировки поверхности снижает сопротивление при деформации заклепки. Химическая стабильность делает оправку устойчивой к коррозии от масла или охлаждающей жидкости в условиях цеха, и она не подвержена ржавчине при длительном хранении. Ее умеренный вес облегчает удержание операторами или установку оборудования без создания чрезмерной нагрузки. Эти характеристики оправок из вольфрамового сплава обусловлены двухфазной структурой, образованной порошковой металлургией, где частицы вольфрама равномерно распределены, а связующая фаза заполняет зазоры, что приводит к сбалансированным механическим свойствам.

На практике эти характеристики проявляются в виде длительного срока службы, позволяющего использовать один и тот же оправку для нескольких операций клепки без частой замены, а также возможности восстановления изношенной рабочей поверхности путем простой полировки. Оправки из вольфрамового сплава также обладают превосходными акустическими характеристиками, издавая четкий звук при ударе, что позволяет операторам легко оценить качество клепки. Они имеют различные конструкции торцевых поверхностей; плоские головки подходят для стандартных заклепок, а вогнутые головки помогают создавать головки определенной формы. Эти фундаментальные характеристики делают оправки из вольфрамового сплава превосходными для сборочных линий и ремонтных работ, постепенно становясь широко используемым инструментом для высокопрочной клепки. Благодаря достижениям в обработке материалов эти характеристики постоянно совершенствуются, чтобы адаптироваться к более разнообразным потребностям в соединениях.

### 1.1.3. Положение заклепочных наконечников из вольфрамового сплава в материаловении

Оправки для заклепок из вольфрамовых сплавов относятся к категории высокоплотных тугоплавких сплавов, используемых в инструментальных материалах. Такое позиционирование обусловлено применением вольфрамовых сплавов в композитных конструкциях с твердыми и прочными фазами, что позволяет восполнить пробелы в ударопрочности традиционных инструментальных сталей. В материаловении вольфрамовые сплавы считаются представителями порошковой металлургии композитных материалов, где частицы вольфрама связываются со связующим веществом посредством жидкофазного спекания или инфильтрации расплава, образуя псевдосплавные или истинные сплавные структуры. Оправки для заклепок, как специфический

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

продукт из этого материала, воплощают инженерное расширение применения тугоплавких металлов в области функциональных инструментов.

Положение оправок из вольфрамовых сплавов также подчеркивает их роль в спектре материалов для ударных инструментов. По сравнению с твердым сплавом карбида вольфрама, вольфрамовые сплавы обеспечивают лучший баланс прочности, а по сравнению с быстрорежущей сталью — приоритет плотности и термостойкости. В исследованиях в области материаловедения эти оправки часто используются в качестве примеров для анализа механического поведения двухфазных микроструктур, где частицы вольфрама обеспечивают поддержку твердости, а связующая фаза координирует деформацию и поглощает энергию. Позиционируясь как материал для инструментов прецизионной сборки, оправки из вольфрамовых сплавов способствуют разработке высокопрочных клепальных изделий, особенно в областях применения, требующих многократного использования. В более широкой классификации материалов оправки из вольфрамовых сплавов относятся к категории функциональных конструкционных материалов, обеспечивающих как механическую поддержку, так и оптимизацию передачи энергии за счет характеристик плотности. Достижения в материаловедении привели к эволюции этих оправок: от традиционных заменителей стали до оптимизированных композитных материалов, при этом обработка поверхности или микролегирование еще больше повышают их характеристики. Роль оправок из вольфрамовых сплавов отражает путь трансформации тугоплавких сплавов от фундаментальных исследований к применению в инструментальной промышленности, обеспечивая надежную поддержку в сборочном машиностроении. С развитием технологий соединения роль этого материала также расширяется, включая в себя более интеллектуальные или экологически чистые элементы.

## 1.2 Основной элементный анализ заклепочных стержней из вольфрамового сплава

производстве заклепочных оправок из вольфрамового сплава основное внимание уделяется синергетическому эффекту вольфрама как основного компонента в сочетании с другими вспомогательными металлами. Этот анализ помогает понять, что определяет характеристики материала при ударном скреплении. Вольфрам обеспечивает высокую плотность и твердость, в то время как вспомогательные элементы, такие как никель, железо или медь, улучшают баланс между обрабатываемостью и ударной вязкостью. Соотношение элементов определяется на основе фазовых диаграмм и поведения при спекании: более высокое содержание вольфрама обеспечивает поддержание плотности, а соответствующее добавление вспомогательных элементов способствует формированию однородной микроструктуры.

При изготовлении оправок из вольфрамового сплава учитываются функциональные требования: высокая плотность для обеспечения передачи энергии удара, твердость для сопротивления износу и ударная вязкость для предотвращения хрупкого разрушения. Тугоплавкие свойства вольфрама проявляются в виде высокотемпературной стабильности в оправке, в то время как вспомогательные элементы снижают температуру хрупкого перехода, позволяя обрабатывать материал при комнатной температуре. Интеграция элементов достигается методом порошковой

### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

металлургии с гомогенным смешиванием и последующим спеканием для образования двухфазной структуры. Анализ также включает контроль примесей; остаточный кислород или углерод могут вызывать дефекты, требующие очистки. Элементный анализ оправок из вольфрамового сплава обеспечивает основу для оптимизации процесса, поддерживая стабильную работу инструмента при клепке. С развитием материаловедения элементный анализ становится все более совершенным, адаптируясь к большему количеству сценариев соединения.

### **1.2.1 Роль вольфрама в заклепочных оправках из вольфрамового сплава**

Основная роль вольфрама в заклепочных оправках из вольфрамового сплава заключается в обеспечении высокой плотности и твердости. Это гарантирует сохранение формы оправки и эффективную передачу энергии при клепке. В качестве основного элемента вольфрам обладает большой атомной массой и компактной кристаллической структурой, образуя в оправке твердый фазовый каркас, который противостоит износу и вмятинам на рабочей поверхности. Во время клепки оправка подвергается многократным ударам молотка; высокая твердость вольфрама уменьшает деформацию поверхности, обеспечивает точный контакт с хвостовой частью заклепки и способствует равномерному формированию головки заклепки. Термостойкость вольфрама также играет важную роль в использовании оправок. При локальном фрикционном нагреве фаза вольфрама имеет низкую склонность к размягчению, что приводит к минимальным общим изменениям размеров оправки и предотвращает повреждения от термической усталости. Высокая плотность вольфрама концентрирует массу оправки, что приводит к большей инерции при том же объеме, более эффективной передаче энергии удара на заклепку и более стабильной прочности соединения. В процессе спекания сферическое распределение частиц вольфрама снижает поверхностную энергию, способствуя уплотнению, что приводит к уменьшению количества внутренних пор и обеспечению стабильной прочности внутри оправки.

Роль вольфрама также отражается в его химической стабильности. При воздействии на оправку условий цеха вольфрамовая фаза проявляет высокую стойкость к окислению, предотвращая образование пористого слоя на ее поверхности и обеспечивая гладкую отделку. Даже после добавления вспомогательных элементов вольфрамовая фаза по-прежнему доминирует в работе, что приводит к медленному износу оправки при длительном использовании. Роль вольфрама в заклепочных оправках из вольфрамовых сплавов демонстрирует фундаментальный вклад тугоплавких металлов в инструментальные материалы, обеспечивая надежные процессы клепки за счет плотности и твердости, и приобретая практическую ценность в области сборки.

### **1.2.2 Интеграция вспомогательных металлических элементов в заклепочные стержни из вольфрамового сплава**

Интеграция вспомогательных металлических элементов в заклепочные оправки из вольфрамового сплава достигается главным образом за счет связующей фазы. Эти элементы, такие как никель, железо или медь, соединяются с частицами вольфрама, образуя двухфазную структуру, что улучшает общую прочность и технологичность. Процесс интеграции завершается

#### **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](http://www.ctia.com.cn)

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

на стадиях смешивания порошков и спекания. Порошок вспомогательного элемента равномерно распределяется между частицами вольфрамового порошка, плавя и смачивая частицы вольфрама в процессе жидкофазного спекания, заполняя зазоры и образуя соединения. С химической точки зрения, вспомогательные элементы обладают низкой смешиваемостью с вольфрамом, поддерживая четкие границы фаз, в то время как связующая фаза обеспечивает координацию деформации и снижает хрупкость оправки.

Роль интеграции заключается в уравновешивании высокой твердости вольфрама и вспомогательных элементов, а также в снижении температуры хрупкого перехода при комнатной температуре, что позволяет оправке поглощать энергию ударных нагрузок и предотвращать внезапное разрушение. Никель обычно используется в качестве основного вспомогательного элемента; его высокая пластичность улучшает характеристики холодной обработки оправки после интеграции, облегчая прецизионную шлифовку торцевой поверхности. Добавление железа или меди дополнительно регулирует плотность или теплопроводность, а степень интеграции корректируется в соответствии со спецификациями оправки. Послеспекательная термообработка способствует диффузии элементов, улучшает прочность межфазного сцепления и повышает усталостную прочность оправки.

Интеграция вспомогательных элементов также влияет на свойства поверхности; открытая связующая фаза повышает коррозионную стойкость, а оправка становится более стабильной во влажной среде. Равномерность интеграции контролируется с помощью шарового измельчения порошка или распылительной сушки, чтобы избежать колебаний производительности, вызванных локальной агломерацией. Интеграция вспомогательных металлических элементов в оправки из вольфрамового сплава воплощает в себе синергетический дизайн композитных материалов, оптимизируя общую производительность инструмента за счет связующего эффекта связующей фазы и обеспечивая надежную основу для клепки.

#### **1.2.2.1 Влияние добавления никеля на верхние части заклепок из вольфрамового сплава.**

Добавление никеля к заклепочным оправкам из вольфрамового сплава в первую очередь улучшает прочность и обрабатываемость. Этот эффект позволяет оправке поглощать больше энергии при ударных нагрузках, снижая риск хрупкого разрушения. В качестве ключевого связующего элемента никель образует гранецентрированный кубический твердый раствор в процессе спекания, инкапсулируя частицы вольфрама и обеспечивая непрерывные каналы деформации. С химической точки зрения никель обладает хорошей смачиваемостью по отношению к вольфраму, что приводит к равномерному течению в жидкой фазе, способствует перегруппировке частиц и уплотнению, а также к более плотной внутренней структуре в оправке.

Добавление никеля улучшает пластичность выталкивающего стержня при комнатной температуре, что снижает вероятность растрескивания при холодной обработке, такой как шлифовка или токарная обработка, и облегчает достижение необходимой чистоты поверхности. В ударных приложениях никель помогает сбалансировать распределение напряжений в частицах вольфрама,

#### **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](http://www.ctia.com.cn)

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

уменьшая склонность рабочей поверхности выталкивающего стержня к образованию вмятин или сколов, что приводит к более стабильному сроку службы. Коррозионная стойкость никеля также передается на поверхность выталкивающего стержня, обеспечивая защиту от масла и влаги в мастерской и поддерживая чистоту.

Доля добавляемого никеля влияет на баланс эффектов; соответствующее количество значительно повышает ударную вязкость, в то время как избыточное количество незначительно снижает плотность. После термообработки никелевая фаза становится более однородной, улучшается межфазное сцепление и повышается усталостная прочность оправки. Влияние добавления никеля на заклепочные оправки из вольфрамового сплава отражает упрочняющий эффект связующего элемента, поддерживающего долговечность инструмента при клепке за счет межфазной координации и приносящего практическую пользу в сборочных операциях.

### **1.2.2. 2 Влияние добавления железа на верхние части заклепочных стержней из вольфрамового сплава**

Добавление железа в заклепочные оправки из вольфрамового сплава в основном приводит к образованию связующей фазовой системы с никелем, создавая твердый раствор никеля и железа. Это добавление существенно влияет на механические свойства и технологические характеристики оправки. Железо бесконечно смешивается с никелем, снижая температуру появления ликвидуса во время спекания, способствуя перегруппировке и уплотнению частиц вольфрама, и одновременно регулируя энергию дефектов упаковки связующей фазы, делая ее более склонной к поперечному скольжению и двойникованию. Добавление железа усиливает эффект закрепления дислокаций связующей фазой, улучшая общую прочность на растяжение и усталостную прочность оправки. В условиях многократной ударной клепки рабочая поверхность оправки менее подвержена образованию микротрещин или вмятин.

Добавление железа улучшает магнитные свойства оправки, что может быть использовано для магнитного зажима или позиционирования в некоторых сборочных операциях, облегчая автоматизированную работу. Железо также улучшает стойкость к окислению связующей фазы, образуя более плотный защитный слой на поверхности, что делает оправку менее подверженной локальной коррозии во влажной или масляной среде. Регулировка соотношения железа и никеля влияет на силу эффекта; умеренное содержание железа обеспечивает хороший баланс между прочностью и ударной вязкостью, снижая вероятность сколов кромок во время холодной обработки, такой как токарная обработка или шлифовка. Во время термообработки железо способствует равномерному распределению осажденных фаз, дополнительно упрочняя микроструктуру. Добавление железа также способствует термической стабильности оправки; во время высокотемпературного отжига железо препятствует чрезмерному укрупнению связующей фазы, сохраняя мелкозернистую структуру, что приводит к минимальным изменениям размеров при локальном трение нагреве. Экономическая эффективность железа делает систему вольфрам-никель-железо распространенным выбором, поскольку сырье легкодоступно, а производственные затраты относительно контролируемые. Влияние добавления железа также

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

отражается на акустических характеристиках: звук при ударе становится более приглушенным, что помогает операторам оценивать усилие заклепки. Добавление железа в заклепочные оправки из вольфрамового сплава демонстрирует усиливающий эффект вспомогательных элементов в связующей фазе. Благодаря синергии с никелем, это оптимизирует общие характеристики оправки и обеспечивает практическую ценность в области заклепочных инструментов.

#### 1.2.2.3 Механизм легирования медью заклепочных оправок из вольфрамового сплава

Механизм легирования медью заклепочных оправок из вольфрамового сплава в основном проявляется в образовании немагнитной связующей фазы и улучшении теплопроводности. Этот механизм подходит для клепальных работ, требующих предотвращения магнитных помех или быстрого отвода тепла. Медь и никель бесконечно смешиваются, образуя гранецентрированный кубический твердый раствор в системе вольфрам-никель-медь. В процессе спекания жидкая фаза течет и смачивает частицы вольфрама, способствуя перегруппировке и уплотнению. В то же время высокая теплопроводность меди делает температурный градиент оправки более плавным при ударном нагреве, снижая концентрацию термических напряжений.

Суть легирования медью заключается в его вкладе в однородность микроструктуры. Фаза меди заполняет зазоры в вольфрамовом каркасе, образуя непрерывную сеть. С химической точки зрения, медь имеет малый угол смачивания вольфрамом, что приводит к чистоте границы раздела и более равномерному распределению энергии при ударных испытаниях. Высокая пластичность меди улучшает пластичность выталкивающего штифта при комнатной температуре, повышая его характеристики при холодной обработке и облегчая прецизионное формование сложных торцевых поверхностей. Легирование медью также создает немагнитный эффект, предотвращая помехи при использовании выталкивающего штифта вблизи магнитного оборудования, что делает его пригодным для использования на линиях электронной сборки. Медь также модулирует поведение механизма при термическом расширении, снижает внутренние напряжения за счет согласования с вольфрамом и минимизирует склонность к растрескиванию при термических циклах оправки. С точки зрения поверхностных свойств, открытая медная фаза повышает коррозионную стойкость, а оправка устойчива к маслам и чистящим средствам. Соотношение легирования медью влияет на характеристики механизма; при соответствующем уровне достигается баланс теплопроводности и прочности. После термообработки медная фаза становится более однородной, повышая усталостную прочность оправки. Механизм легирования медью воплощает функциональную интеграцию проводящей фазы в композитном материале, оптимизируя термомеханическое поведение оправки за счет заполнения сетки и играя стабилизирующую роль в опорах для клепки.

#### 1.2.2.4 Механизм легирования другими элементами в заклепочных оправках из вольфрамового сплава

Легирование оправок из вольфрамового сплава другими элементами в основном достигается за счет микролегирования или дисперсионного упрочнения. Эти элементы, такие как кобальт,

##### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

молибден или соединения редкоземельных элементов, добавляются в небольших количествах для улучшения микроструктуры или определенных свойств. Легирование кобальтом повышает прочность связующей фазы; химически кобальт снижает энергию дефектов упаковки и способствует деформации двойникования, тем самым улучшая ударную вязкость оправки . Молибден частично замещает вольфрам, регулируя термическое расширение и температуру рекристаллизации, что приводит к лучшей высокотемпературной размерной стабильности оправки .

Редкоземельные элементы, такие как лантан или иттрий, диспергируются в оксидной форме, закрепляя границы зерен, препятствуя миграции и повышая температуру рекристаллизации. Это приводит к образованию мелких зерен в оправках после горячей обработки, повышая их прочность и долговечность. Добавление небольших количеств карбидов, таких как карбид титана, образует третью фазу для упрочнения, дополнительно увеличивая твердость поверхности оправок и сопротивляясь износу заклепок. С механистической точки зрения, эти элементы сегрегируют на границах раздела или границах зерен во время спекания, изменяя поверхностную энергию и пути диффузии, что приводит к более плотной и однородной микроструктуре.

Механизм легирования также включает в себя эффект очистки, при котором редкоземельные элементы захватывают примеси кислорода и серы, образуя стабильные соединения и уменьшая хрупкость включений. Композитное легирование кобальтом и молибденом синергетически упрочняет материал, что приводит к сбалансированным общим характеристикам оправки . Строгий контроль количества легирующей добавки поддерживается во избежание образования избыточного количества новых фаз, которые могут ухудшить прочность. Термическая обработка активирует материал, а обработка раствором и старение приводят к осаждению мелких частиц. Механизмы легирования другими элементами демонстрируют оптимизацию материала посредством микролегирования; целенаправленное улучшение характеристик оправок из вольфрамового сплава достигается за счет небольших добавок, что вносит практический вклад в улучшение клепальных инструментов.

### 1.3 Микроструктура верхней планки заклепки из вольфрамового сплава

Микроструктура заклепочных оправок из вольфрамового сплава характеризуется двухфазной композитной структурой. Частицы вольфрама, выступающие в качестве твердой фазы, заключены в связующую фазу, образуя керметоподобную микроструктуру. Эта структура возникла в результате порошковой металлургии и получила дальнейшее развитие после спекания и горячей обработки. Частицы вольфрама в основном имеют почти сферическую или многогранную форму, а их распределение по размерам влияет на баланс между прочностью и ударной вязкостью. Связующая фаза заполняет межчастичные зазоры, обеспечивая непрерывные каналы деформации. Межфазный слой имеет решающее значение для структуры; переходная зона, образованная диффузией элементов, усиливает связь. Для поддержания ударопрочности оправки необходимо контролировать такие дефекты, как пористость или сегрегация внутри структуры.

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

Для микроструктурного анализа обычно используются сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) и просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ), позволяющие определить степень сфероидизации частиц и равномерность распределения фаз. Прокатка создает волокнистую текстуру, выравнивая ее по оси для повышения продольной прочности. Термическая обработка регулирует размер зерен и осажденные фазы, оптимизируя характеристики. Микроструктура оправок из вольфрамового сплава воплощает инженерную практику проектирования тугоплавких композитных сплавов, обеспечивая стабильную работу инструмента при клепке за счет межфазной координации и надежную поддержку в сборочных операциях.

### 1.3.1 Влияние кристаллической структуры на характеристики заклепочных шпилек из вольфрамового сплава

Влияние кристаллической структуры на характеристики заклепочных оправок из вольфрамового сплава в основном проявляется во взаимодействии между объемно-центрированной кубической решеткой вольфрамовой фазы и гранецентрированной кубической решеткой связующей фазы. Это влияние определяет твердость, ударную вязкость и усталостную прочность оправки. Частицы вольфрама сохраняют объемно-центрированную кубическую структуру с ограниченным количеством систем скольжения, но высокой твердостью, обеспечивая жесткую опору при ударных нагрузках и сопротивляясь деформации рабочей поверхности. Связующая фаза, с ее обилием систем скольжения в гранецентрированной кубической решетке, обладает сильной способностью к координации деформаций, поглощает энергию удара и предотвращает хрупкое разрушение оправки. Ориентация кристаллов формирует текстуру в процессе обработки, с удлинением зерен вдоль направления прокатки, что увеличивает осевую прочность.

Влияние кристаллической структуры также отражается на согласовании границ раздела. Несоответствие кристаллической решетки между вольфрамом и связующей фазой создает поле напряжений, которое снимается термической обработкой, что приводит к более стабильному соединению. Отжиг вызывает рекристаллизацию, а измельчение зерен улучшает баланс между прочностью и ударной вязкостью. Примеси сегрегируют на границах зерен, изменяя структурную стабильность; процессы очистки уменьшают эти эффекты. Кристаллические дефекты, такие как дислокации, размножаются при ударе, и связующая фаза быстро восстанавливается, что приводит к лучшей усталостной стойкости оправки .

В процессе термического циклирования разница в термическом расширении кристаллической структуры создает микронапряжения, но связующая фаза смягчает это напряжение, обеспечивая стабильность размеров оправки . Открытые поверхностные кристаллы влияют на износ; полировка снижает трение, создавая гладкую кристаллическую поверхность. Влияние кристаллической структуры на характеристики заклепочных оправок из вольфрамового сплава отражает принцип фазово-решеточной синергии, лежащий в основе материаловедения. Структурная оптимизация повышает долговечность инструмента, придавая ему практическую ценность в клепальной практике.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 1.3.2 Наблюдение явления фазового разделения в стержнях заклепочных колец из вольфрамового сплава

Наблюдение фазового разделения в заклепочных оправках из вольфрамового сплава в основном связано с характеристиками распределения вольфрамовой фазы и связующей фазы. Это явление возникает из-за течения жидкой фазы и осаждения при охлаждении во время спекания, проявляясь в виде сфероидизации и разделения частиц вольфрама и заполнения сетчатой структурой связующей фазы. Для наблюдения обычно используется сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) в режиме обратного рассеяния; вольфрамовая фаза, имеющая более высокий атомный номер, выглядит ярче, в то время как связующая фаза выглядит темнее, создавая резкий контраст. Частицы вольфрама разделены почти сферически, причем расстояние между ними определяется объемом связующей фазы; такое равномерное разделение способствует рассеиванию напряжений.

Наблюдение за фазовым расслоением также выявило переходный слой на границе раздела фаз, где диффузия элементов образует градиентную область, усиливая связь и предотвращая расслоение. Недостаточное спекание приводит к неполному расслоению и остаточным порам; переспекание приводит к укрупнению частиц, чрезмерному расслоению и снижению прочности. После горячей обработки фазовое расслоение удлиняется вдоль направления деформации, образуя волокнистую структуру, а наблюдение в поперечном сечении показывает слоистое распределение. Отжиг способствует гомогенизации фазового расслоения, в результате чего образуются мелкие и дисперсные осадки.

Скорость охлаждения влияет на явление разделения фаз; быстрое охлаждение обеспечивает тонкое разделение, тогда как медленное охлаждение приводит к незначительному росту частиц. Примеси агломерируются на границах фаз в виде темных пятен; очистка уменьшает это явление. Наблюдение за фазовым разделением в заклепочных оправках из вольфрамового сплава позволяет выявить процесс формирования композитных структур. Микроскопический анализ помогает корректировать технологический процесс, поддерживает стабильность работы оправки и позволяет использовать ее в качестве заклепочного инструмента.

### 1.4 Теоретические основы стержней для заклепок из вольфрамового сплава

Разработка оправок для заклепок из вольфрамовых сплавов в основном основана на анализе фазовых диаграмм сплавов и термодинамических принципах. Эти основы помогают объяснить изменения поведения материала в процессе изготовления и использования. Фазовые диаграммы обеспечивают основу для межэлементных взаимодействий, раскрывая растворимость и фазовое равновесие вольфрама с вспомогательными металлами, в то время как термодинамика анализирует осуществимость и стабильность процесса с энергетической точки зрения. Применение этой теоретической основы делает проектирование оправок более научным; от выбора состава до параметров процесса — все основано на данных фазовых диаграмм и энергетических расчетах, что позволяет избежать необдуманных решений.

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

Теория фазовых диаграмм в оправках находит отражение в предсказании области жидкой фазы в системах вольфрам-никель-железо или вольфрам-никель-меди. Температура спекания устанавливается с учетом фазовой диаграммы, чтобы обеспечить наличие соответствующего количества жидкой фазы, способствующей перегруппировке частиц. Термодинамические принципы включают изменения свободной энергии Гиббса, определяющие механизм растворения-переосаждения; уплотнение микроструктуры оправки зависит от процесса с отрицательной свободной энергией. Теоретическая основа также включает концепцию межфазной энергии; снижение поверхностной энергии частиц вольфрама способствует сфероидизации, что повышает ударную вязкость оправки.

Термодинамическое равновесие направляет снятие напряжений во время отжига, а остаточные напряжения в оправке минимизируют энергию за счет диффузии. Сочетание фазовых диаграмм и термодинамики анализирует высокотемпературную стабильность оправки, а расчеты скорости диффузии элементов помогают оптимизировать время выдержки. Теоретическая основа оправок из вольфрамовых сплавов отражает междисциплинарный характер материаловедения, поддерживая прогнозирование характеристик инструмента с помощью фазовых диаграмм и энергетических принципов, а также обеспечивая теоретическую поддержку для клепальных работ.

#### 1.4.1 Применение диаграмм фазового состояния сплавов в заклепочных стержнях из вольфрамовых сплавов

Применение диаграмм фазового состояния сплавов в заклепочных оправках из вольфрамовых сплавов в первую очередь помогает в проектировании состава и выборе параметров процесса. Это позволяет прогнозировать межэлементное фазовое равновесие и температурную зависимость поведения, обеспечивая стабильную микроструктуру оправки и стабильную работу. Диаграмма фазового состояния отображает области смешиваемости вольфрама со вспомогательными металлами, такими как никель и железо. Состав оправки устанавливается в пределах твердого раствора, чтобы избежать образования вредных фаз. Область жидкой фазы используется в процессе спекания; нагрев оправки до температуры, указанной на диаграмме фазового состояния, способствует плавлению и смачиванию связующей фазы и частиц вольфрама, обеспечивая перегруппировку и уплотнение.

Диаграммы фазового состояния также применяются на стадии термообработки. Температура рекристаллизации оценивается по диаграмме фазового состояния, а отжиг на оправке позволяет избежать чрезмерно высоких температур, которые могут привести к укрупнению зерен. Бинарная диаграмма фазового состояния вольфрам-никель показывает низкотемпературное разделение; во время охлаждения оправки диаграмма фазового состояния направляет контроль осаждения, поддерживая мелкодисперсное распределение и повышая прочность. Диаграмма фазового состояния вольфрам-железо используется для регулирования магнетизма; в немагнитных средах оправка уменьшает содержание железа, чтобы оно соответствовало немагнитной области диаграммы фазового состояния. Для многоэлементных расширений диаграммы фазового состояния, таких как тройная фаза вольфрам-никель-железо, оптимизация соотношения оправок

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

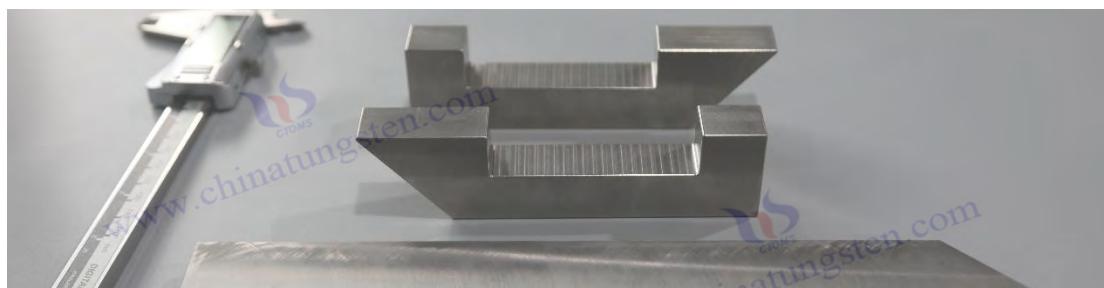
电话/TEL: 0086 592 512 9696  
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V  
[sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

основывается на линии ликвидуса, балансируя смачиваемость и прочность. В этих приложениях программное обеспечение для моделирования диаграмм фазового состояния помогает в прогнозировании, а эксперименты на оправке проверяют данные диаграммы фазового состояния. Применение фазовых диаграмм в оправках демонстрирует связь теории с практикой, подтверждая надежность подготовки материала посредством анализа равновесия и внося практическую ценность в область клепальных инструментов.

#### 1.4.2 Влияние термодинамических принципов на заклепочные стержни из вольфрамового сплава

Термодинамические принципы, влияющие на заклепочные оправки из вольфрамового сплава, в первую очередь проявляются в определении осуществимости и стабильности процесса посредством изменений энергии. Это влияние сохраняется от спекания до использования, помогая в анализе механизма поведения оправки. Принцип свободной энергии Гиббса определяет образование жидкой фазы во время спекания, отрицательные значения способствуют перегруппировке частиц, а уплотнение оправки зависит от пути минимизации энергии. Изменения эндогалпии влияют на процесс нагрева; по мере повышения температуры оправки она поглощает тепло, а плавление связующей фазы обеспечивает энергию потока.

Принцип увеличения энтропии проявляется в диффузии; во время термообработки оправки случайное распределение элементов увеличивает значение энтропии, что приводит к более стабильному межфазному соединению. Термодинамика фазового равновесия направляет корректировку состава, а соотношение вспомогательных элементов в оправке определяется на основе кривой свободной энергии, чтобы избежать образования высокоэнергетических фаз. Термодинамические эффекты также включают снятие напряжений; во время отжига оправки остаточная энергия уменьшается за счет диффузии, восстанавливая рабочие характеристики. В ударных приложениях термодинамический анализ переноса энергии помогает сконцентрировать кинетическую энергию, и процесс деформации подчиняется закону сохранения энергии. Термодинамика окисления предсказывает поведение поверхности, а расчет свободной энергии оправки на воздухе направляет защиту покрытия. Влияние термодинамических принципов на оправки для заклепок из вольфрамового сплава отражает энергетическое понимание материалов, и применение этих принципов способствует оптимизации характеристик инструмента, играя определяющую роль в практике клепки.



CTIA GROUP LTD. Заклепочный стержень 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](http://www.ctia.com.cn)

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

## Глава 2. Классификация и анализ заклепок из вольфрамовых сплавов.

### 2.1 Классификация заклепок из вольфрамового сплава по составу

заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов основана, главным образом, на содержании различных элементов связующей фазы, что отражает систематические различия в плотности, прочности, технологичности и стоимости. К распространенным категориям относятся системы вольфрам-никель-железо (TNI), вольфрам-никель-медь (TNC) и другие варианты . Вольфрам является доминирующим элементом с высокой долей, а доля элементов связующей фазы регулируется для обеспечения баланса характеристик. Системы TNI ориентированы на механическую прочность и магнитные свойства, в то время как системы TNC ориентированы на немагнитные свойства и теплопроводность. Категории с высокой плотностью направлены на максимальное содержание вольфрама.

Классификация основана на фазовых диаграммах и поведении при спекании. Никель, как основной связующий элемент, растворим в твердые растворы с другими металлами. Добавление железа или меди изменяет фазовые свойства. В производстве композиционная классификация определяет состав порошка и технологические маршруты. Системы вольфрам-никель-железо имеют более высокие температуры жидкотекущего спекания, в то время как системы вольфрам-никель-медь легче подвергаются холодной обработке. Классификация также учитывает применимость в различных областях: магнитные толкатели подходят для определенных задач зажима, а немагнитные толкатели используются для сборки электронных компонентов. Контроль примесей является универсальным в данной классификации, с низким содержанием кислорода и углерода во избежание окисления.

Классификация по составу обеспечивает основу для выбора оправки. Инженеры подбирают категории в зависимости от материала заклепки и условий эксплуатации; системы на основе вольфрама, никеля и железа обладают высокой ударопрочностью , а системы на основе вольфрама, никеля и меди обеспечивают стабильность поверхности. Система классификации расширяется по мере развития материаловедения, и легирование редкоземельными элементами или кобальтом образует новые направления.

#### 2.1.1 Верхняя планка заклепки из высокоплотного вольфрамового сплава

Высокоплотные заклепочные оправки из вольфрамового сплава характеризуются высоким содержанием вольфрама. Эти оправки используют преимущество концентрированной массы в опоре для заклепки, обеспечивая более сильную инерционную реакцию и эффективность передачи энергии, что приводит к более равномерной и полной деформации заклепки. Высокая плотность достигается за счет уменьшения доли связующей фазы, при этом частицы вольфрама преобладают в составе. После спекания микроструктура становится плотной с меньшим количеством пор, что приводит к большей общей массе при том же объеме и более стабильной силе реакции при ударе.

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

Структура высокоплотной оправки в основном состоит из вольфрамового каркаса с тонким слоем связующего вещества, обволакивающего частицы, что обеспечивает прочное межфазное соединение. Рабочая поверхность оправки обладает высокой твердостью, что обеспечивает устойчивость к многократным вдавливаниям в хвостовой части заклепки. В процессе обработки высокоплотная заготовка подвергается горячей прокатке и формовке; холодная обработка требует дополнительного отжига для снятия напряжений и предотвращения растрескивания. После шлифовки поверхность становится гладкой, что снижает адгезию заклепок. Оправка демонстрирует низкий уровень вибрации и стабильную работу при использовании в высокоскоростном клепальном оборудовании.

Высокоплотные оправки для заклепок из вольфрамового сплава подходят для поддержки крупных или высокопрочных заклепок. Высокая плотность вольфрама концентрирует энергию в заклепке, обеспечивая стабильную прочность соединения. Они обладают хорошей термической стабильностью, с минимальным изменением формы при локальном нагреве, что приводит к увеличению срока службы оправки. Они также обладают высокой химической стабильностью, медленно коррозионно-активны в условиях цеха и требуют минимального технического обслуживания. К высокоплотным разновидностям также относятся варианты из вольфрам-никель-железа для магнитно-управляемого позиционирования и варианты из вольфрам-никель-меди для немагнитных применений в электронной сборке.

В производстве для повышения плотности заклепочных наконечников высокой плотности используется мелкодисперсный порошок вольфрама, а длительное спекание и выдержка способствуют перегруппировке. Термическая обработка корректирует микроструктуру, а отжиг измельчает зерна для достижения баланса прочности. Эти свойства заклепочных наконечников высокой плотности обусловлены преимуществами материала вольфрама, обеспечивающим надежную поддержку в клепальных инструментах и постепенно становящимся распространенным выбором для тяжелых условий эксплуатации. С увеличением разнообразия требований к сборке расширяется и область применения заклепочных наконечников из высокоплотного вольфрамового сплава, что способствует практическому улучшению процессов соединения.

### **2.1.2 Верхняя планка заклепки из вольфрамового сплава низкой плотности**

Низкоплотные оправки для заклепок из вольфрамового сплава представляют собой вариант, в котором общая плотность снижается за счет регулирования соотношения компонентов или введения облегченных элементов. Эти оправки поддерживают баланс между основной твердостью и ударной вязкостью вольфрамового сплава, одновременно снижая вес, что облегчает управление нагрузкой на оператора и оборудование. В низкоплотных конструкциях обычно снижается содержание вольфрама или частично заменяется молибденом, что приводит к соответствующему увеличению доли связующей фазы. Микроструктура после спекания остается двухфазным композитом, но каркас из частиц вольфрама относительно разреженный, в то время как медная или никелевая сетка более непрерывна. Хотя твердость рабочей поверхности оправки

#### **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](http://www.ctia.com.cn)

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

несколько ниже, чем у высокоплотного типа, она достаточна для того, чтобы выдерживать типичные ударные нагрузки при клепке, а износ поверхности равномерный.

В оправках из вольфрамового сплава низкой плотности преобладает связующая фаза, при этом основной характеристикой является координация деформации. Частицы вольфрама обеспечивают необходимую поддержку, что приводит к более мягкому поглощению энергии при ударе и уменьшению люфта оборудования. Улучшенная обрабатываемость облегчает холодную и горячую прокатку для получения тонкостенных или длинных прутков, а также позволяет гибко формировать торцы. Термическая стабильность по-прежнему зависит от фазы вольфрама или молибдена, при этом изменение формы при локальном нагреве минимально. Хорошая химическая стабильность облегчает нанесение покрытий или полировку поверхности, обеспечивая устойчивость к коррозии в условиях цеха.

Эти оправки подходят для легкого клепального оборудования или для ручной работы. Их малый вес снижает утомляемость оператора, а умеренная инерция способствует точному формированию заклепок. Вариант на основе молибдена и меди обладает лучшей теплопроводностью, что приводит к быстрому рассеиванию тепла и низкому повышению температуры при непрерывной работе. К категории низкоплотных также относятся псевдосплавы вольфрама и меди, где медная фаза непрерывно повышает проводимость, а оправки не создают магнитных помех при сборке электронных устройств. В производстве порошок для оправок низкой плотности легче равномерно смешивается, имеет более широкий диапазон температур спекания и упрощает управление процессом.

заклепочных оправок из вольфрамового сплава низкой плотности получило распространение в качестве портативных инструментов или легких рабочих мест на автоматизированных линиях, где их малый вес облегчает управление при необходимости частой замены оправок. Доступны различные виды обработки поверхности, при этом химическое покрытие улучшает внешний вид и коррозионную стойкость. Эти характеристики оправок из сплава низкой плотности обусловлены оптимизацией материала за счет корректировки состава, что обеспечивает легкий вариант для заклепочных опор и постепенно становится практическим инструментом для конкретных применений. В связи с тенденцией к облегчению сборочных работ, сфера применения этой категории также расширяется, обеспечивая гибкость в процессах соединения.

### **2.1.3 Заклепочный стержень из легированного редкоземельными элементами вольфрамового сплава**

Заклепочные оправки из легированного редкоземельными элементами вольфрамового сплава представляют собой особую категорию, оптимизированную путем добавления следовых количеств редкоземельных элементов, таких как лантан, Иттрий или Церий. Эти оправки улучшают микроструктуру традиционных вольфрамовых сплавов, повышая высокотемпературную стабильность и усталостную прочность. Легирование редкоземельными элементами обычно осуществляется путем добавления в порошок оксидов и диспергирования в

#### **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](http://www.ctia.com.cn)

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

связующей фазе или на границе раздела фаз во время спекания. С химической точки зрения, редкоземельные элементы захватывают примеси кислорода и серы, образуя стабильные соединения и очищая границы зерен, что снижает источники хрупкости.

Легированные редкоземельными элементами оправки в основном способствуют измельчению зерен и упрочнению межфазных границ. Закрепление редкоземельных элементов на границах зерен препятствует миграции, повышает температуру рекристаллизации и сохраняет мелкозернистую микроструктуру после горячей обработки, что приводит к высокой прочности и долговечности. Частицы вольфрама более полно сфероидизированы, а связующая фаза равномерно инкапсулирована, что приводит к более сбалансированному распределению напряжений при ударе. Улучшаются поверхностные свойства, агломерация редкоземельных элементов образует тонкий защитный слой, повышая стойкость оправки к окислению.

Этот тип оправки подходит для высокотемпературной или длительной клепки. Она не укрупняется при локальном трением нагреве, а её твёрдость снижается медленно. Легирование редкоземельными элементами также улучшает усталостную прочность; распространение микротрещин замедляется при многократных ударах, что приводит к более стабильному сроку службы оправки. В процессе обработки легированная оправка демонстрирует несколько лучшую обрабатываемость в холодном состоянии и менее склонна к сколам кромок. Она также обладает высокой химической стабильностью, поскольку редкоземельные элементы препятствуют началу коррозии.

Для изготовления заклепочных оправок из вольфрамового сплава, легированного редкоземельными элементами, необходимо контролировать равномерность распределения легирующих примесей, при этом шаровое измельчение порошка или распылительная сушка способствуют равномерному распределению. Термическая обработка активирует механизм легирования, а осаждение в процессе старения дополнительно усиливает редкоземельную фазу. Эти свойства оправок, легированных редкоземельными элементами, обусловлены принципом микролегирования в материаловедении, что обеспечивает повышение производительности заклепочных инструментов и постепенно становится предпочтительным выбором для сложных применений. По мере развития исследований эта категория легирования становится все более совершенной, что способствует потенциальному расширению функциональности оправок.

## **2.2 Классификация заклепочных планок из вольфрамового сплава в зависимости от области применения**

Оправки для заклепок из вольфрамовых сплавов классифицируются в первую очередь по их применению и условиям работы, что отражает различную адаптивность оправок к различным условиям клепки. В механической обработке приоритет отдается ударопрочности и сроку службы, тогда как в прецизионных инструментах — точности и стабильности. Классификация основана на твердости, плотности и свойствах поверхности оправки. Оправки для механической обработки имеют высокое содержание вольфрама для повышения износостойкости, в то время как оправки

### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

для прецизионных инструментов имеют однородную микроструктуру для предотвращения микродеформаций.

Классификация также учитывает материал заклепки и тип оборудования; заклепки из алюминиевых сплавов используются с оправками низкой твердости, тогда как для стальных заклепок требуются оправки высокой прочности. В производстве классификация определяет конструкцию торцевой поверхности и обработку рабочей поверхности; в механических приложениях вогнутые поверхности компенсируют деформацию, а в прецизионных приложениях плоские поверхности обеспечивают временную опору. Система классификации развивается вместе с технологиями сборки, включая элементы, совместимые с автоматизацией. Классификация оправок из вольфрамовых сплавов на основе областей применения обеспечивает практическую основу для выбора, поддерживает оптимизацию процессов клепки за счет сопоставления областей применения и играет важную роль в промышленной сборке.

### **2.2.1 Заклепочные пистолеты из вольфрамового сплава, используемые при механической обработке**

В машиностроительной промышленности оправки для заклепок из вольфрамового сплава — это инструменты, специально разработанные для высокопрочной клепки. Эти оправки служат в качестве опоры в станках или ручных клепальных пистолетах, выдерживая сильные ударные нагрузки и помогая заклепкам образовывать прочное соединение с листовым металлом. Оправка имеет большой диаметр и плоскую или слегка вогнутую рабочую поверхность для компенсации расширения хвостовой части заклепки, а ее гладкие боковые стороны уменьшают трение оборудования. Высокая твердость вольфрамового сплава позволяет оправке противостоять многократным вмятиям от стальных или алюминиевых заклепок, а износ ее поверхности происходит медленно, что делает ее подходящей для массового производства.

В механической обработке эти выталкивающие штифты обычно используются для клепки автомобильных кузовов, судовых компонентов или стальных строительных конструкций. Каркас из частиц вольфрама обеспечивает жесткость, а связующая фаза поглощает энергию вибрации, предотвращая сколы кромок. Конструкция торцевой поверхности регулируется в зависимости от типа заклепки: плоская головка подходит для глухой клепки, а вогнутая головка — для самопрокалывающей клепки. Выталкивающий штифт крепится к пневматическому клепальному пистолету; при высоком рабочем давлении инерционная сила реакции концентрируется, что приводит к равномерной деформации заклепки. Он обладает высокой химической стабильностью, устойчив к загрязнению охлаждающей жидкостью или маслом, и может быть очищен для восстановления своей гладкости.

В области механической обработки используются регулируемые по длине оправки ; короткие оправки применяются вручную, а более длинные — на автоматизированных линиях. После термообработки микроструктура становится волокнистой, что обеспечивает высокую осевую прочность и сопротивление изгибу под действием боковых сил. Обработка поверхности

#### **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](http://www.ctia.com.cn)

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

шлифовкой увеличивает трение захвата и облегчает замену. Применение оправок из вольфрамовых сплавов в этой области повышает эффективность клепки, сокращает время простоя на техническое обслуживание и обеспечивает стабильное качество соединения. В производстве широко используются системы из высокоплотного вольфрам-никелевого сплава с магнитным позиционированием. Эти адаптивные характеристики обусловлены сочетанием материалов и процессов, обеспечивая надежную поддержку при механической сборке. Техническое обслуживание этих оправок включает периодический осмотр вмятин на рабочей поверхности и полировку для восстановления гладкости. Усталостная прочность вольфрамовых сплавов обеспечивает стабильную работу при высокочастотной клепке, что приводит к эстетически привлекательным головкам заклепок. Области применения распространяются и на техническое обслуживание тяжелой техники, где оправки выдерживают удары заклепок большого диаметра без деформации. Использование заклепочных оправок из вольфрамового сплава в области механической обработки отражает инженерную ценность долговечности инструмента, оптимизируя процессы соединения за счет поддержки ударов и внося практические улучшения в промышленное производство.

## 2.2.2 Верхние планки заклепок из вольфрамового сплава для использования в прецизионных инструментах

В области прецизионных инструментов оправки для заклепок из вольфрамового сплава являются специализированными инструментами для миниатюрной или высокоточной клепки. Эти оправки имеют малый диаметр и зеркально гладкую рабочую поверхность, служа опорой для обеспечения точной и бездефектной деформации заклепки на мелких деталях. Корпус оправки короткий и точный, с плоской торцевой поверхностью для предотвращения царапин на прецизионных поверхностях и полированными боковыми сторонами для снижения сопротивления при работе. Однородная структура вольфрамового сплава обеспечивает постоянную плотность в оправке, стабильную силу реакции при ударе и симметричную форму головки заклепки.

В прецизионных инструментах эти оправки используются для клепки электронных устройств, медицинских приборов или оптических приборов. Мелкодисперсные частицы вольфрама обеспечивают прочное соединение и минимальную деформацию, предотвращая образование точечных повреждений на рабочей поверхности. Конструкция торцевой поверхности обеспечивает плоскость, гарантируя равномерное распределение давления при работе с микрозаклепками. Обладая высокой химической инертностью, оправка устойчива к условиям чистых помещений, предотвращая отслоение частиц и загрязнение компонентов. Устанавливаемые на ручные или электрические прецизионные клепальные пистолеты, они требуют небольшого усилия при работе, а их умеренная инерция позволяет точно контролировать деформацию. В области прецизионных инструментов длина оправки имеет решающее значение, и более короткие оправки облегчают работу в ограниченных пространствах. Термообработка измельчает размер зерна, делая оправку устойчивой к микроусталости и сохраняя ее форму в течение длительного времени. Электролитическое покрытие или пассивация поверхности улучшают совместимость, гарантируя, что оправка не вступает в реакцию с материалами

### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

инструмента. Применение вольфрамовых сплавов в этой области гарантирует точность клепки, предотвращает ослабление соединений и обеспечивает стабильную работу приборов. В процессе производства вольфрам-никель-медь является немагнитной, что делает ее пригодной для электронной сборки. Низкое тепловое расширение вольфрамового сплава обеспечивает стабильность размеров при изменении температуры, гарантируя точное позиционирование заклепки. Области применения распространяются на аэрокосмические приборы и лабораторное оборудование, а миниатюрная конструкция оправки адаптируется к пространственным ограничениям. Позиционирование вольфрамовых сплавов в прецизионных приборах отражает ценность материала инструмента, оптимизируя мелкие соединения за счет прецизионной поддержки и играя важную роль в высокотехнологичной сборке.

### **2.2.3 Верхняя планка для заклепок из вольфрамового сплава для работы в условиях высоких температур**

Высокотемпературные заклепочные оправки из вольфрамового сплава, предназначенные для работы в условиях высоких температур, представляют собой инструмент, оптимизированный для горячей обработки или высокотемпературной клепки. Эти оправки должны выдерживать локально высокие температуры и термические циклы во время клепки, сохраняя при этом стабильность формы и точность опоры. В конструкции оправки приоритет отдается термической стабильности, благодаря высокому содержанию вольфрама, что повышает устойчивость к высоким температурам плавления. Выбирается жаростойкая связующая фаза, что приводит к плотной микроструктуре после спекания и снижает склонность к термическому размягчению. Рабочая поверхность плоская или слегка вогнутая и подвергается специальной термообработке для образования высокотемпературного слоя, препятствующего выделению тепла за счет трения.

В высокотемпературной клепке этот тип оправки используется для горячей клепки или соединения горячих металлических деталей. Каркас из частиц вольфрама обеспечивает жесткость при высоких температурах, а фазы меди или никеля компенсируют термическое расширение, предотвращая деформацию или растрескивание. Конструкция торцевой поверхности учитывает теплопроводность, обеспечивая быстрое рассеивание тепла и уменьшая его накопление, что приводит к низкому повышению температуры при непрерывной работе. Она обладает высокой химической стабильностью; поверхность оправки образует естественный или искусственно пассивированный антиоксидантный слой, препятствующий коррозии под воздействием высокотемпературных газов. Ее умеренная длина облегчает работу с высокотемпературным оборудованием, а фиксированный конец совместим с жаростойкими материалами.

Изготовление оправок для высокотемпературных сред включает высокотемпературный отжиг, который измельчает зерна, повышая устойчивость к термической усталости. Оправки демонстрируют медленное распространение микротрещин при многократных термических ударах. Поверхностные покрытия или дисперсионное упрочнение дополнительно повышают термостойкость, обеспечивая стабильность оправок в высокотемпературных нефтегазовых средах. Применение оправок из вольфрамового сплава в этой области повышает надежность соединений,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

получаемых при горячей обработке, обеспечивая равномерное формирование заклепок и стабильное качество соединения.

Одной из основных категорий заклепочных оправок является проверка поверхности на наличие окисления после охлаждения и полировки для восстановления гладкой поверхности. Вариант высокой плотности обладает высокой инерцией, обеспечивая эффективную передачу энергии во время горячей клепки. Высокотемпературная категория заклепочных оправок из вольфрамового сплава отражает инженерную адаптивность термостойкой конструкции материала, обеспечивая стабильную поддержку во время горячей сборки и постепенно становясь практическим выбором для высокотемпературной клепки. С развитием технологий горячей обработки область применения этих оправок расширяется, повышая термостойкость процесса соединения.

#### **2.2.4 Верхняя планка из вольфрамового сплава для заклепок, предназначенная для использования в условиях износа.**

Оправки для заклепок из вольфрамового сплава, предназначенные для абразивных сред, представляют собой усиленные инструменты, разработанные для работы в условиях высокого трения или абразивного воздействия. Эти оправки устойчивы к износу поверхности, обеспечивают гладкую рабочую поверхность и точность при клепке твердых материалов или выполнении высокочастотных операций. Корпус оправки обладает высокой твердостью, усилен дисперсными частицами вольфрама или упрочнен поверхностью, а связующая фаза поддерживает баланс прочности, предотвращая сколы. Рабочая поверхность зеркально отполирована или имеет микротекстуру для уменьшения прилипания заклепок и внедрения абразива. В абразивных средах эти оправки используются для клепки нержавеющей стали, титановых сплавов или композитных материалов. Вольфрамовая фаза устойчива к абразивным царапинам, а образование точечных повреждений на поверхности происходит медленно. Плоская торцевая поверхность позволяет устанавливать заклепки большой площади, а износостойкое покрытие по бокам снижает трение оборудования. Благодаря хорошей химической стабильности оправка устойчива к абразивному воздействию охлаждающей жидкости, а поверхность менее подвержена образованию борозд износа. Длина регулируется в зависимости от оборудования, а фиксирующий конец усилен для предотвращения ослабления.

В конструкции оправок, специально разработанных для абразивных сред, используется имплантация ионов на поверхность или нанесение карбидного покрытия, что приводит к повышению износостойкости за счет градиента твердости и увеличению срока службы при высокочастотной клепке. Термическая обработка изменяет размер зерна, дополнительно улучшая усталостную прочность и износостойкость. Применение оправок из вольфрамового сплава в этой области повышает долговечность, а стабильная форма головки заклепки снижает частоту ее замены. В число таких домкратов для заклепок входит регулярный осмотр шероховатости поверхности, полировка или нанесение корректирующего покрытия. Система вольфрам-никель-железо обладает высокой твердостью, что делает ее подходящей для применения в условиях сильного износа. Специализированная категория домкратов для заклепок

##### **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](http://www.ctia.com.cn)

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

из вольфрамового сплава отражает инженерную оптимизацию износостойкой конструкции материала, обеспечивая надежную поддержку в условиях сильного трения и постепенно становясь распространенным инструментом для высокопрочной клепки.

### 2.3 Анализ различий в характеристиках заклепочных стержней из вольфрамового сплава различных типов

Типы заклепочных оправок из вольфрамового сплава в основном определяются на основе сравнения состава, области применения и структурных вариаций. Этот анализ помогает понять, на что ориентированы различные категории заклепочных опор. Высокоплотные типы обладают высокой плотностью и сильной инерционной реакцией, что делает их пригодными для тяжелых ударных нагрузок. Передача энергии в них сконцентрирована, а деформация заклепки равномерна. Низкоплотные типы легкие, гибкие в эксплуатации, подходят для легкого оборудования, отличаются низкой вибрацией и хорошей точностью управления. Легированные редкоземельными элементами сплавы обладают улучшенной микроструктурой, повышенной усталостной прочностью и термостойкостью, что приводит к уменьшению микроповреждений выталкивающего штифта при термических циклах или длительной эксплуатации. Сплавы, предназначенные для механической обработки, обеспечивают высокую твердость, износостойкость и длительный срок службы рабочей поверхности выталкивающего штифта. Сплавы, предназначенные для прецизионных инструментов, обладают хорошей однородностью, минимальной микродеформацией и высокой точностью опоры выталкивающего штифта. Сплавы, предназначенные для высоких температур, имеют высокие температуры размягчения, стабильную форму и стабильную работу при термическом ударе. Сплавы, предназначенные для износостойкости, отличаются упрочнением поверхности, высокой устойчивостью к царапинам и долговечностью в условиях трения.

Различия в характеристиках также отражаются на обрабатываемости и обслуживании; для обработки высокоплотных материалов требуется термическая обработка, тогда как низкоплотные материалы легче подвергаются холодной обработке. Материалы с добавлением редкоземельных элементов обладают хорошей термостойкостью и требуют более специализированной механической обработки поверхности. Этот анализ различий помогает в выборе: высокоплотные материалы предназначены для тяжелых условий эксплуатации, низкоплотные — для легких, а материалы с добавлением редкоземельных элементов — для высокотемпературных условий и агрессивных сред износа. Анализ различий в характеристиках типов оправок из вольфрамовых сплавов отражает значимость классификации в материаловении, поддерживая целевое применение инструментов и предоставляя разнообразные варианты в клепальной практике.

#### 2.3.1 Влияние изменения состава на физические свойства заклепочных стержней из вольфрамового сплава

Изменение состава и физических свойств заклепочных оправок из вольфрамового сплава в основном отражается в регулировании плотности, термической стабильности и характеристик

##### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

поверхности, обеспечивая разнообразные варианты применения для различных областей. Увеличение содержания вольфрама повышает общую плотность оправки, что приводит к более концентрированному распределению массы. Это обеспечивает более стабильную инерционную силу реакции во время удара при заклепке, что приводит к более равномерной деформации в хвостовой части заклепки. Регулировка доли связующей фазы изменяет поведение при термическом расширении. Когда преобладает никель-железная система, оправка демонстрирует превосходную размерную стабильность при различных температурах. Переход к никель-медной системе улучшает теплопроводность, позволяя быстрее рассеивать локальное тепло трения и снижая повышение температуры на рабочей поверхности.

Изменения состава также влияют на смачиваемость поверхности и химическую стабильность. Увеличение содержания меди облегчает образование равномерного защитного слоя на поверхности оправки, предотвращая коррозию от рабочих масел или чистящих средств, а добавление железа способствует образованию плотной оксидной пленки, повышая устойчивость к атмосферной коррозии. Незначительное легирование редкоземельными элементами очищает границы зерен оправки, улучшая ее структурную стабильность при термических циклах и снижая вероятность образования микротрещин на поверхности. Корректировка состава также влияет на распределение остаточных напряжений после обработки; соответствующее соотношение никеля и меди может снизить внутренние напряжения, позволяя оправке более стабильно сохранять свою форму при многократном использовании. В реальном производстве вариации состава достигаются за счет пропорций порошка и параметров спекания. Согласование размера частиц порошка вольфрама с размером частиц порошка связующей фазы дополнительно улучшает влияние на эксплуатационные характеристики. При одинаковых условиях клепки, оправки различного состава демонстрируют более концентрированную передачу энергии у оправок с более высокой плотностью, лучший контроль повышения температуры у оправок с лучшей теплопроводностью и более длительные циклы технического обслуживания у оправок с высокой коррозионной стойкостью. Влияние изменений состава на физические свойства заклепочных оправок из вольфрамового сплава обеспечивает гибкость в выборе инструмента. Соответствующее соотношение компонентов отвечает различным требованиям, таким как механическая обработка, прецизионная сборка и высокотемпературные условия, демонстрируя значительную адаптивность в практике клепки.

### **2.3.2 Ориентированный на практическое применение дизайн отражен в оправках для заклепок из вольфрамового сплава.**

Ориентированный на конкретное применение подход к проектированию оправок для заклепок из вольфрамовых сплавов в первую очередь отражается в целенаправленной оптимизации их размеров, формы рабочей поверхности и обработки поверхности. Эта философия проектирования позволяет оправке лучше адаптироваться к конкретным условиям клепки, повышая эффективность работы и качество соединения. Оправки, используемые в механической обработке, часто имеют больший диаметр и вогнутые рабочие концы для компенсации значительной деформации хвостовой части высокопрочной заклепки. Длина оправки умеренная для удобства

#### **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](http://www.ctia.com.cn)

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

фиксации с помощью пневматического заклепочного пистолета, а противоскользящие текстуры по бокам облегчают ручную регулировку. В области прецизионных приборов предпочтительны тонкая оправка и плоская рабочая поверхность для обеспечения точной фиксации миниатюрных заклепок, а зеркально отполированная поверхность предотвращает царапины на чувствительных компонентах . Оправки, предназначенные для работы в условиях высоких температур, проектируются с учетом теплоотвода. Неглубокие канавки на рабочей поверхности способствуют циркуляции воздуха, корпус оправки изготовлен из термостойкого связующего вещества, а концы покрыты теплоизолирующим слоем для уменьшения теплопередачи к оборудованию. Оправки, предназначенные для работы в абразивных средах, имеют закаленную или микротекстурированную рабочую поверхность для увеличения толщины износостойкого слоя и усиленные фиксированные концы для выдерживания высокочастотных ударов. Проектирование, ориентированное на конкретное применение, распространяется и на способ крепления; некоторые оправки имеют быстросъемные или резьбовые соединения для бесшовной интеграции с автоматизированным оборудованием. Обработка поверхности также отражает ориентацию на применение. Для оправок для механической обработки часто используются маслостойкие покрытия, в то время как для оправок прецизионных инструментов выбираются полированные покрытия, предотвращающие отслаивание частиц. Высокотемпературные оправки дополнительно покрываются антиоксидантным покрытием. Соотношение длины и диаметра подбирается в соответствии со спецификациями заклепок; короткие и толстые типы подходят для больших нагрузок, а длинные и тонкие типы удобны для работы в ограниченных пространствах. Эта ориентированная на практическое применение конструкция заклепочных оправок из вольфрамового сплава превращает инструмент из универсального в специализированный. Благодаря согласованности структуры и обработки повышается адаптивность процессов клепки, что играет практическую роль в различных промышленных сценариях.

### 2.3.3 Влияние микроструктурных различий на механические свойства заклепочных оправок из вольфрамового сплава

Микроструктурные различия в заклепочных оправках из вольфрамовых сплавов в первую очередь влияют на их механические свойства за счет размера частиц вольфрама, распределения связующей фазы и межфазного сцепления. Этот микроструктурный контроль определяет прочность, ударную вязкость и сопротивление усталости оправки при ударных нагрузках. Оправки высокой плотности характеризуются более мелкими и равномерно распределенными частицами вольфрама, а тонкий слой связующей фазы образует плотный каркас. Это приводит к более тщательному распределению напряжений при ударе, снижая вероятность образования вмятин или микротрещин на поверхности. Напротив, оправки низкой плотности имеют большее расстояние между частицами вольфрама, более непрерывную сеть связующей фазы и улучшенную координацию деформации, что приводит к более мягкому поглощению энергии при малых нагрузках или вибрации.

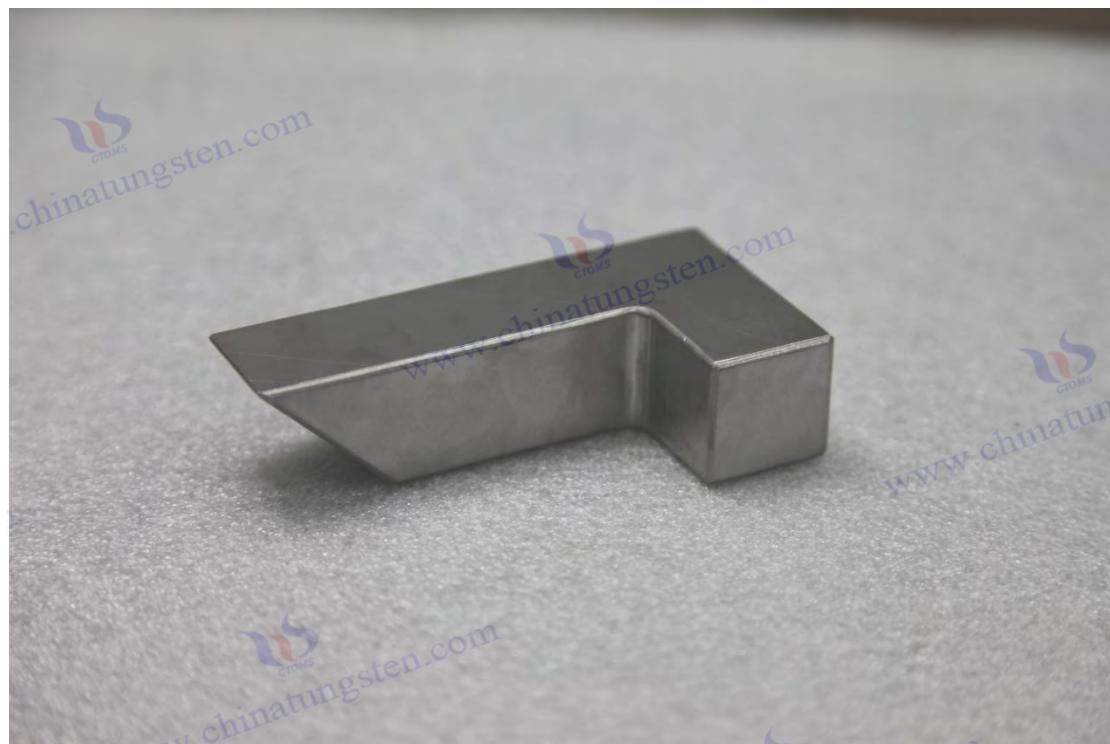
Оправки, легированные редкоземельными элементами, характеризуются очисткой границ зерен и упрочнением дисперсной фазой. Соединения редкоземельных элементов закрепляют границы

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

зерен, препятствуя скольжению, тем самым повышая сопротивление оправки высокотемпературной усталости и приводя к более медленному снижению прочности после термических циклов. В специально разработанных для обработки оправках используется поверхностное упрочнение для формирования градиентной структуры, при этом обогащенные частицы вольфрама на поверхности повышают износостойкость, в то время как связующая фаза в сердцевине поддерживает прочность и предотвращает хрупкое скальвание кромок. Оправки для прецизионных инструментов демонстрируют высокую сфероидизацию частиц, чистые границы раздела без агломерации примесей, минимальную концентрацию напряжений при незначительных ударах и выдающуюся стабильность формы. Волокнистая текстура, создаваемая горячей обработкой, также является методом контроля. Вытягивание зерен в направлении прокатки повышает осевую прочность, что приводит к меньшей склонности оправки к изгибу под действием боковых сил. Отжиг измельчает рекристаллизованные зерна, обеспечивая баланс твердости и пластичности, и оправка демонстрирует хорошее восстановление характеристик после многократного использования. Микроструктурные различия в управлении механическими свойствами заклепочных оправок из вольфрамового сплава обеспечивают градиенты производительности для различных применений. Микроструктурная оптимизация позволяет достичь разумного баланса между прочностью и ударной вязкостью, демонстрируя стабильную механическую реакцию в заклепочных опорах. Благодаря достижениям в технологиях наблюдения этот метод управления постоянно совершенствуется, открывая новые возможности для повышения производительности оправок.



CTIA GROUP LTD. Заклепочный стержень 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](http://www.ctia.com.cn)

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

### Глава 3. Процесс изготовления заклепочных стержней из вольфрамового сплава.

#### 3.1 Метод металлургии для изготовления заклепочных стержней из вольфрамового сплава

Изготовление заклепочных оправок из вольфрамового сплава представляет собой полный технологический процесс от порошкового сырья до готовых инструментов. Этот метод позволяет получить композит из вольфрама и вспомогательных элементов путем смешивания, формования, спекания и последующей обработки для получения стержнеобразных изделий, пригодных для использования в качестве опор для заклепок. Выбор порошка является основополагающим в этом методе. Высокочистый порошок вольфрама и порошки связующей фазы, такие как никель-железо или никель-медь, смешиваются в определенном соотношении. Мелкодисперсный размер частиц порошка вольфрама повышает плотность, а высокая активность порошка связующей фазы способствует смачиванию. На стадии смешивания для равномерного распределения используется механическая шаровая мельница или V-образная мельница. В химическом отношении используются поверхностно-активные вещества для предотвращения агломерации и обеспечения макроскопической однородности элементов.

Процесс формования включает в себя прессование смешанных порошков в заготовки стержнеобразной формы. Холодное изостатическое прессование обычно используется для изготовления заготовок стержней больших размеров. Жидкая среда передает давление изотропно, что приводит к равномерной плотности заготовки и предотвращает градиенты напряжений. Компрессионное формование подходит для небольших партий, используя стальную форму с однонаправленным давлением и смазкой для снижения трения. После формования прочность заготовки повышается за счет временного связующего вещества, облегчающего обработку.

Спекание является ключевым этапом процесса. Нагрев в вакууме или водородной атмосфере приводит к расплавлению связующей фазы и смачиванию частиц вольфрама при появлении жидкой фазы, что вызывает перегруппировку и уплотнение. Контроль температурного диапазона обеспечивает надлежащий поток жидкой фазы, предотвращая разрушение или сегрегацию. Период выдержки включает механизм растворения-переосаждения для сфероидизации частиц, что приводит к чистому межфазному сцеплению. Медленное охлаждение фиксирует микроструктуру, предотвращая растрескивание под воздействием термических напряжений. Горячее изостатическое прессование способствует спеканию, закрывая поры и увеличивая плотность заготовки.

Горячая обработка деформирует спеченную заготовку, волочение или прокатка уменьшают ее диаметр, многонаправленная ковка создает однородную микроструктуру, а промежуточный отжиг устраняет упрочнение и восстанавливает пластичность. Торцевая поверхность оправки обрабатывается и шлифуется до гладкой поверхности. Термическая обработка с последующим старением приводит к осаждению фаз, упрочняя оправку и обеспечивая баланс прочности и ударной вязкости.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Обработка поверхности включает химическую очистку для удаления окисления, полировку для улучшения гладкости и нанесение покрытия для повышения коррозионной стойкости. Финишная обработка включает резку до фиксированной длины и проверку плотности. Гибкость метода порошковой металлургии позволяет корректировать параметры в зависимости от характеристик оправки; высокоплотные материалы увеличивают время выдержки при спекании, а низкоплотные — долю связующей фазы. Метод экономичен, а отходы порошка могут быть переработаны.

Применение порошковой металлургии в производстве заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов воплощает в себе инженерные решения в области материаловедения от микроскопического композитного процесса до макроскопического формования. Оптимизация цепочки повышает долговечность инструмента и обеспечивает стабильную основу для поддержки клепки. Благодаря технологическим достижениям этот метод также включает в себя элементы автоматизации, что повышает эффективность производства оправок.

### 3.1.1 Этапы подготовки сырья при изготовлении заклепочных оправок из вольфрамового сплава

Этап подготовки сырья при изготовлении заклепочных оправок из вольфрамового сплава является отправной точкой процесса порошковой металлургии. Этот этап, посредством очистки вольфрамового порошка, контроля размера частиц и смешивания легирующих элементов, обеспечивает однородность микроструктуры и стабильность характеристик при последующем формировании и спекании. Подготовка сырья подчеркивает соответствие химической чистоты и физических свойств. Вольфрамовый порошок, как основной компонент, должен быть очень чистым, чтобы избежать дефектов, вызванных примесями, в то время как порошки легирующих элементов с высокой активностью способствуют смачиванию. Процесс начинается с восстановления вольфрамата аммония, затем следует просеивание и смешивание порошка. С химической точки зрения, реакция восстановления удаляет кислород, а смешивание способствует хаотичному распределению элементов.

Процесс подготовки включает в себя подготовку порошка вольфрама, отбор вспомогательного порошка и гомогенизацию. Размер частиц порошка вольфрама контролируется путем гранулометрического состава, полученного методом восстановления водородом, в то время как порошки сплавов, таких как никель, железо и медь, готовятся с использованием карбонильных или распылительных методов. Перед смешиванием порошок высушивают для предотвращения поглощения влаги, а химическая очистка удаляет поверхностные загрязнения. Систематический характер этапов подготовки обеспечивает контролируемый состав оправки, что приводит к стабильной основе для плотности и твердости. Качество сырья напрямую влияет на ударопрочность оправки, а очистка снижает источники хрупкости. Гибкость подготовки сырья позволяет корректировать процесс в зависимости от типа оправки; для высокоплотных типов используется мелкодисперсный чистый порошок вольфрама, а для низкоплотных — связующая фаза. Порошок хранится в сухом месте для предотвращения окисления и агломерации. Этапы подготовки сырья при производстве заклепочных оправок из вольфрамового сплава воплощают в

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

себе инженерное управление основными материалами, обеспечивая бесперебойную работу технологической цепочки за счет очистки и смешивания, а также создавая надежную материальную основу для производства оправок. Благодаря технологическим достижениям, эта подготовка также включает в себя автоматизированное взвешивание и тестирование, что повышает эффективность и стабильность.

### 3.1.1.1 Очистка и контроль размера частиц порошка вольфрама

Основные аспекты подготовки сырья для заклепочных оправок из вольфрамового сплава. Этот контроль обеспечивает высокую чистоту и оптимальное распределение вольфрамового порошка за счет многоступенчатого восстановления и просеивания, гарантируя плотное спекание и однородную микроструктуру оправки . Очистка начинается с перекристаллизации вольфрамата аммония для удаления щелочных металлов, а также примесей фосфора и серы. После прокаливания до оксидов происходит водородное восстановление, при котором водород реагирует с оксидами, образуя воду, которая затем удаляется. Контроль точки росы обеспечивает своевременное удаление влаги, предотвращая повторное окисление вольфрамового порошка. Поэтапное восстановление при низких температурах удаляет кристаллизационную воду, в то время как высокие температуры формируют металлический вольфрам. Этот процесс повторяется для повышения чистоты.

Контроль размера частиц отражается в параметрах восстановления. Высокая температура и высокая скорость движения лодочки приводят к образованию крупнозернистого порошка, тогда как низкая температура и низкая скорость приводят к образованию мелкозернистого порошка. С химической точки зрения, кинетика восстановления влияет на рост зародышей кристаллов, а регулирование концентрации влаги препятствует аномальному укрупнению. Распределение контролируется с помощью лазерного анализатора размера частиц или метода Фишера. Мелкозернистый порошок повышает активность спекания, тогда как крупнозернистый порошок обеспечивает поддержку прочности. Аномальные частицы удаляются путем просеивания или воздушной классификации. Для получения стержней с высокой плотностью требуется однородный мелкозернистый порошок, тогда как для стержней с низкой плотностью допускается несколько более широкое распределение.

Сочетание очистки и контроля обеспечивает чистую поверхность вольфрамового порошка, низкое содержание кислорода и углерода, уменьшение количества хрупких включений и улучшенную ударную вязкость оправки . Химическая очистка и кислотная промывка удаляют остатки, после чего следует сушка и хранение в герметичной инертной газовой среде. Очистка и контроль размера частиц вольфрамового порошка отражают совершенствование технологии обработки сырья, а просеивание способствует надежному формированию структуры оправки, что имеет фундаментальное значение в производстве заклепочных инструментов. Благодаря достижениям в технологиях тестирования этот контроль постоянно совершенствуется, что позволяет оптимизировать свойства материала.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 3.1.1.2 Однородность легирующих элементов

Однородность легирующих элементов является важнейшим этапом в подготовке сырья для изготовления заклепочных оправок из вольфрамового сплава. Эта однородность достигается путем механического смешивания или шарового измельчения, что обеспечивает случайное распределение элементов и предотвращает сегрегацию при спекании, влияющую на стабильность характеристик оправки. Перед смешиванием порошки сплавов, таких как никель, железо и медь, подвергаются предварительной обработке для удаления оксидного слоя путем восстановления, а также для химического повышения поверхностной активности и улучшения сцепления. Для предотвращения расслоения используется V-образный или двухконусный смеситель на низкой скорости, а длительное время смешивания обеспечивает макроскопическую однородность.

Шаровое измельчение обеспечивает очистку порошка за счет высокоенергетического ударного перемешивания и предварительного легирования, вызывая диффузию под действием химических и механических сил, что приводит к образованию начальных межфазных связей. Вариант распылительной сушки распыляет суспензию в сферический композитный порошок, улучшая текучесть и однородность. После смешивания отбираются образцы для химического анализа или электронной микроскопии для проверки распределения; низкое отклонение по элементам считается приемлемым. Равномерность смешивания влияет на распределение плотности в оправке. Равномерное смешивание обеспечивает плавное спекание, уменьшает локализованную фазу связующего вещества и балансирует прочность и ударную вязкость оправки. Химические добавки способствуют диспергированию, а смесь перемешивается во влажном состоянии с использованием спирта с последующей сушкой. Контроль равномерности смешивания обеспечивает распределение напряжений при ударе и равномерный износ рабочей поверхности. Равномерность смешивания легирующих элементов в оправках для заклепок из вольфрамового сплава отражает стремление к однородности в технологии дозирования, поддерживая макроскопическую согласованность микроструктуры за счет физико-химических взаимодействий и закладывая основу для производительности в инструментальном производстве. Благодаря усовершенствованиям в смесительном оборудовании, эта однородность продолжает улучшаться, что вносит существенный вклад в повышение надежности оправки.

### 3.1.2 Влияние процесса спекания на плотность заклепочных оправок из вольфрамового сплава

Влияние процесса спекания на плотность заклепочных оправок из вольфрамового сплава в основном определяется контролем температуры, атмосферы и времени выдержки. Это влияние определяет степень превращения оправки из пористой заготовки в плотное изделие, тем самым влияя на стабильность ее опоры и долговечность при ударных нагрузках при клепке. На начальной стадии твердофазной диффузии спекания происходит сцепление частиц, и плотность медленно увеличивается. После перехода в жидкую фазу связующая фаза плавится и смачивает частицы вольфрама, а механизм перегруппировки приводит к плотной упаковке частиц, значительно увеличивая плотность. Более высокие температуры увеличивают количество жидкой фазы, что

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

приводит к более полному растеканию и заполнению пор; однако чрезмерно высокие температуры приводят к переливу, вызывая деформацию или сегрегацию заготовки и неравномерное распределение плотности.

Выбор атмосферы влияет на плотность; восстановление водородом удаляет оксидные включения, поддерживает чистоту границы раздела фаз и способствует смачиванию и уплотнению; вакуумная среда удаляет летучие примеси и уменьшает остаток с закрытыми ячейками. Длительное время выдержки обеспечивает достаточную перегруппировку и растворение-переосаждение, снижая поверхностную энергию сфероидизации частиц вольфрама и увеличивая плотность сжатия пор; однако чрезмерное время выдержки может привести к укрупнению частиц и образованию новых пор. Низкие скорости нагрева предотвращают преждевременное локальное разжижение, которое может создавать градиенты плотности. Контролируемое охлаждение предотвращает растрескивание под воздействием термических напряжений, которое может повлиять на конечную плотность.

Влияние процесса спекания распространяется и на размеры оправки. Когда отношение длины к диаметру заготовки в форме стержня велико, плотность на конце, как правило, низкая, что требует использования опорных приспособлений для обеспечения однородности. Вспомогательные процессы, такие как горячее изостатическое прессование, после спекания создают давление для закрытия пор, что дополнительно увеличивает плотность. При высоком содержании вольфрама плотность спекания в большей степени зависит от оптимизации жидкой фазы; меньшее количество связующей фазы требует более длительного времени выдержки. Влияние процесса спекания на плотность заклепочных оправок из вольфрамового сплава отражает принцип уплотнения высокотемпературной металлургии, поддерживая объемные свойства оправки за счет координации параметров, тем самым закладывая механическую основу для заклепочных инструментов. Благодаря достижениям в мониторинге процесса, контроль этого эффекта становится все более совершенным, обеспечивая надежную гарантию стабильности плотности оправки.

### **3.1.3 Оптимизация технологии прессования при изготовлении заклепочных стержней из вольфрамового сплава**

Оптимизация технологии прессования заклепочных оправок из вольфрамового сплава в основном направлена на улучшение распределения давления, конструкции матрицы и текучести порошка. Эта оптимизация обеспечивает равномерную плотность заготовки и ее полную форму, создавая высококачественную основу для последующего спекания. Оптимизация холодного изостатического прессования использует изотропную передачу давления жидкой среды, что приводит к небольшому градиенту плотности в стержнеобразной заготовке. Оптимизированные параметры включают низкую скорость нагнетания давления и увеличенное время выдержки, чтобы избежать растрескивания, вызванного упругим отскоком. Выбор гибкого материала матрицы соответствует твердости вольфрамового порошка, уменьшая повреждения от трения.

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

Оптимизация процесса формования включает в себя двунаправленное создание давления, плавающую конструкцию формы для балансировки плотности верхней и нижней частей, а также тоннаж пресса, соответствующий объему порошка, с постепенным увеличением скорости прессования для предотвращения расслоения. Оптимизация текучести порошка включает добавление смазки, а химический стеарат цинка снижает межчастичное трение, что приводит к более плотному наполнению. Оптимизация также включает предварительное создание давления и вентиляцию для уменьшения количества остаточных газов внутри. Оптимизация стержнеобразной заготовки включает в себя контроль соотношения длины и диаметра и использование поддерживающей оправки для предотвращения изгиба.

Оптимизация технологии прессования влияет на однородность выталкивающих штифтов; использование заготовок высокой плотности приводит к меньшей усадке при спекании и лучшей точности размеров. Мелкодисперсный порошок вольфрама оптимизирует уплотнение, в то время как более крупнозернистый порошок требует более высокого давления. Оптимизированное тестирование включает многоточечное измерение плотности заготовки для определения параметров. Контроль химической чистоты обеспечивает низкий уровень остатков смазки, предотвращая загрязнение при спекании. Оптимизация технологии прессования выталкивающих штифтов из вольфрамового сплава демонстрирует координацию давления в процессе формования, обеспечивая надежную подготовку заготовок за счет улучшения пресс-форм и параметров, что вносит практический вклад в производство инструментов. С развитием точности прессования эта оптимизация расширяется, предоставляя больше возможностей для формования выталкивающих штифтов.

### 3.1.4 Влияние жидкофазного спекания на уплотнение заклепочных оправок из вольфрамового сплава

Жидкофазное спекание на оправках для заклепок из вольфрамового сплава в основном достигается за счет механизмов смачивания, перегруппировки и растворения-повторного осаждения после плавления связующей фазы. Этот процесс преобразует оправку из пористого состояния прессованной заготовки в высокоплотный продукт, повышая ее механические свойства. При появлении жидкой фазы связующая фаза растекается и инкапсулирует частицы вольфрама, снижая поверхностное натяжение и вызывая перегруппировку частиц для заполнения крупных пор, что приводит к быстрому увеличению плотности. Малый угол смачивания способствует капиллярному эффекту, а химическое снижение межфазной энергии ускоряет процесс.

Механизм растворения-переосаждения начинает действовать в течение периода выдержки. Мелкие частицы вольфрама растворяются в жидкой фазе, в то время как более крупные частицы осаждаются на их поверхности. Сфериодизация частиц снижает напряжение в острых углах, а сужение пор дополнительно уплотняет структуру. Механизм работает лучше всего при умеренном объеме жидкой фазы; чрезмерный поток приводит к деформации, а недостаточный объем — к недостаточной перестройке. Температурный диапазон контролирует соотношение жидкой фазы, а время выдержки позволяет механизму полностью развиться. Защитная атмосфера

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

предотвращает влияние окисления на смачивание, а восстановление водородом обеспечивает чистоту границы раздела фаз.

Роль жидкофазного спекания также отражается в однородности стержнеобразных оправок. Длинные заготовки, поддерживаемые крепежными элементами, облегчают распределение жидкой фазы, предотвращая низкую плотность на концах. При высоком содержании вольфрама эффект зависит от оптимизации связующей фазы; в медных системах температура жидкой фазы низкая и легко контролируется. Последующее повышение давления восполняет остаточные поры в жидкой фазе. Уплотняющий эффект жидкофазного спекания на оправках для заклепок из вольфрамового сплава воплощает металлургический принцип высокотемпературного течения, поддерживая объемную стабильность оправки за счет синергетического механизма, закладывая прочную основу для заклепочных инструментов. С развитием оборудования для спекания контроль этого эффекта становится все более совершенным, обеспечивая надежный путь для уплотнения оправок.

### 3.2 Технология обработки верхушек заклепок из вольфрамового сплава

Технология обработки заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов является важным компонентом постобработки в порошковой металлургии. Эта технология преобразует спеченные заготовки в прецизионные стержнеобразные инструменты посредством токарной обработки, шлифовки, волочения и горячей ковки, оптимизируя точность размеров, качество поверхности и микроструктуру. Механическая обработка компенсирует ограничения формы и шероховатость поверхности спеченных заготовок. Высокая твердость вольфрамовых сплавов требует использования твердых режущих инструментов и соответствующего охлаждения во время обработки. Технология включает в себя формование и пластическую деформацию; формование обеспечивает получение более изящной формы, а пластическая деформация улучшает микроструктуру и повышает прочность.

Технология обработки делает упор на износостойкость инструмента и соответствие параметрам резания. Твердая фаза частиц вольфрама облегчает заточку инструмента, а связующая фаза обеспечивает плавное резание. Охлаждающая жидкость обеспечивает химическую стабильность и защиту от коррозии, а сухое резание или минимальная смазка снижают термические повреждения. Последовательность обработки идет от черновой до чистовой: сначала токарная обработка для придания формы, затем шлифовка для получения гладкой поверхности. Горячая обработка сочетается с холодной обработкой: горячая ковка для первоначальной вырубки, за которой следует холодная шлифовка для чистовой обработки. Контроль дефектов сосредоточен на трещинах и поверхностных царапинах, которые устраняются путем снятия напряжений во время отжига. Технология обработки заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов отражает сложности формования тугоплавких сплавов. Точная обработка инструмента достигается за счет оптимизации инструмента и процесса, обеспечивая размерно стабильную основу для опор заклепок. Благодаря применению оборудования с ЧПУ точность этой технологии также повышается, что вносит практическую ценность в диверсификацию функций оправок.

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

### 3.2.1 Применение формования в заклепочных оправках из вольфрамового сплава

Формование заклепочных оправок из вольфрамового сплава в основном осуществляется путем токарной, фрезерной и шлифовальной обработки. Этот процесс придает спеченной заготовке точную форму стержня с функциональными торцевыми поверхностями, обеспечивая хорошее прилегание оправки к хвостовой части заклепки и стабильную опору. Процесс формования начинается со спеченной заготовки, за которым следует токарная обработка для удаления внешней оболочки и определения диаметра. Для сопротивления твердости вольфрама используются твердосплавные или алмазные режущие инструменты, а скорость резания умеренная, чтобы избежать накопления тепла. Для смазки и отвода тепла используется химическое охлаждение, предотвращающее поверхностные ожоги или микротрешины.

При формовке конструкция торцевой поверхности разнообразна: плоские заготовки обрабатываются для получения гладкой поверхности, а вогнутые — фрезеруются для компенсации деформации при заклепках. Шлифовка боковых сторон заготовки улучшает округлость, а низкая шероховатость поверхности снижает трение. Точность формовки достигается с помощью токарных станков с ЧПУ, а строгий контроль допусков размеров обеспечивает автоматизированную клепку. Термическая обработка после формовки предотвращает концентрацию напряжений, а отжиг смягчает поверхность, улучшая обрабатываемость.

Формование также включает в себя механическую обработку неподвижного конца, например, нарезание резьбы или паза, для облегчения установки оборудования. Химическая очистка удаляет стружку, а полировка восстанавливает гладкую поверхность. Применение формования в заклепочных оправках из вольфрамового сплава демонстрирует контроль размеров, достигаемый при прецизионной обработке, обеспечивая надежную обработку профиля инструмента за счет оптимизации траектории движения инструмента и оказывая практическую поддержку в клепальных работах. С развитием обрабатывающих центров это применение расширяется, предлагая больше возможностей для индивидуальной настройки оправок.

### 3.2.2 Применение пластической деформации в верхней части заклепок из вольфрамового сплава

Применение пластической деформации в заклепочных оправках из вольфрамового сплава в основном достигается путем ковки, волочения и прокатки. Эта технология измельчает спеченную микроструктуру и улучшает прочность, ударную вязкость и однородность плотности оправки. Пластическая деформация начинается с горячей ковки, где связующая фаза размягчается при высоких температурах, координируя деформацию частиц вольфрама; многонаправленная ковка выравнивает напряжения; химическая диффузия способствует связыванию частиц; а микроструктурный фиброз улучшает осевые свойства.

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

В процессах деформации волочение уменьшает диаметр, удлиняет зерна стержня и повышает сопротивление изгибу. Прокатка включает в себя многократные проходы обжатия, промежуточный отжиг снимает упрочнение и восстанавливает пластичность, а холодная прокатка обеспечивает гладкую поверхность. Механизм пластической деформации включает в себя размножение дислокаций и упрочнение, в то время как связующая фаза поглощает энергию, предотвращая хрупкое разрушение. Деформация контролируется постепенно, с большим начальным обжатием для формования и меньшим обжатием для чистовой обработки на более поздних этапах.

Пластическая деформация также улучшает внутреннюю пористость и увеличивает плотность закрытых остаточных дефектов. Активно происходит динамическое восстановление после горячей деформации, что снижает перегруппировку и накопление дислокаций. Защита химической атмосферой предотвращает окисление, а деформированная поверхность легко очищается. Применение пластической деформации в оправках из вольфрамовых сплавов воплощает в себе инженерную практику высокотемпературной низкоскоростной деформации, поддерживая механические свойства инструмента за счет оптимизации микроструктуры и обеспечивая прочную основу для ударных клепальных работ. С повышением точности деформационного оборудования это применение становится все более совершенным, способствуя практическому улучшению прочности оправок.

### 3.2.3 Оптимизация микроструктуры стержней заклепочных головок из вольфрамового сплава методом термообработки

Термообработка заклепочных оправок из вольфрамового сплава в основном достигается за счет таких этапов, как отжиг, обработка раствором и старение. Эта оптимизация регулирует размер зерна, распределение фаз и дефектное состояние, улучшая баланс прочности, ударной вязкости и усталостной стойкости оправки. Термообработка проводится до и после механической обработки. После спекания отжиг снимает остаточные напряжения, а химическая диффузия стимулирует миграцию и аннигиляцию дислокаций, снижая внутренние напряжения в оправке и предотвращая распространение микротрещин во время эксплуатации. Защита вакуумом или водородной атмосферой предотвращает окисление, а температура контролируется в диапазоне рекристаллизации связующей фазы. В течение периода выдержки миграция границ зерен измельчает зерна.

Процесс оптимизации также включает термическую обработку, при которой высокотемпературное растворение легирующих элементов образует пересыщенный твердый раствор, за которым следует быстрое охлаждение для фиксации состояния, а связующая фаза упрочняет и повышает твердость оправки. Термическая обработка приводит к осаждению мелкодисперсных фаз, закрепляющих дислокации и препятствующих скольжению, тем самым повышая ударную вязкость оправки. Термическая обработка оптимизирует межфазное сцепление, а диффузия элементов формирует градиентную зону, повышая износстойкость рабочей

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

поверхности оправки. Дальнейшая сфероидизация частиц вольфрама достигается в процессе оптимизации, снижая поверхностную энергию и минимизируя напряжение в острых углах.

Термическая обработка оптимизирует микроструктуру, существенно влияя на общие характеристики оправки. Мелкозернистая структура обеспечивает высокую прочность без ущерба для ударной вязкости и согласованную деформацию при многократном заклепывании. Параметры оптимизации корректируются в зависимости от системы сплавов; более высокие температуры способствуют восстановлению в сплавах вольфрам-никель-железо, в то время как сплавы вольфрам-никель-медь обеспечивают лучшую теплопроводность и более быстрое рассеивание тепла. Управление химической чистотой минимизирует примеси и предотвращает осаждение аномальных фаз. Термическая обработка, оптимизирующая микроструктуру оправки, отражает контроль материала над тепловой диффузией, поддерживая стабильность работы инструмента при циклической обработке и обеспечивая надежную основу для опор при заклепках. Благодаря достижениям в технологии управления печами эта оптимизация становится все более совершенной, внося практическую ценность в долговечность оправки.

### 3.2.4 Применение технологии прецизионного шлифования при обработке поверхности заклепочных инструментов из вольфрамового сплава

Обработка заклепочных оправок из вольфрамового сплава в основном направлена на достижение высокого качества поверхности и точных размеров. Эта процедура включает постепенное удаление материала с помощью шлифовального круга или ленты для получения гладкой рабочей поверхности и контроля округлости оправки. Процесс шлифовки делится на черновую и чистовую. Черновая шлифовка удаляет припуски и дефекты поверхности, а чистовая шлифовка улучшает качество поверхности. С химической точки зрения, алмазные или твердосплавные шлифовальные круги противостоят твердости вольфрама, а охлаждающая жидкость рассеивает тепло и предотвращает термическое повреждение.

В практических применениях зеркальная шлифовка рабочей поверхности выталкивающего штифта снижает адгезию заклепки, что приводит к низкому коэффициенту трения и равномерному формованию. Бесцентровая или центрированная шлифовка внешней цилиндрической части штифта обеспечивает стабильную опору и высокую округлость. Строгий контроль параллельности при шлифовке торцевой поверхности обеспечивает хорошее прилегание выталкивающего штифта к заклепке. Процессы прецизионной шлифовки адаптированы к соотношению длины и диаметра стержнеобразного выталкивающего штифта, а способ зажима исключает изгибные вибрации. Частая правка шлифовального круга поддерживает остроту, а параметры шлифовки (скорость и давление) соответствуют характеристикам вольфрамовых сплавов.

Высокоточная шлифовка также включает в себя создание специальных форм, вогнутых поверхностей или канавок с помощью формовочных кругов, а также улучшение компенсации деформации заклепки. Химическая очистка удаляет шлифовальные отходы, а полировка помогает

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

восстановить блеск. Процесс высокоточной шлифовки выталкивающих штифтов из вольфрамового сплава воплощает в себе совершенствование поверхностной инженерии, обеспечивая высококачественные поверхности инструмента за счет поэтапного удаления материала и внося практические улучшения в методы клепки. С развитием станков с ЧПУ точность этой обработки также повышается, предоставляя больше возможностей для поверхностных функций выталкивающих штифтов.

### 3.2.5 Изготовление заклепочных стержней из вольфрамового сплава сложной формы методом электроэрозионной обработки

Электроэрозионная обработка (ЭЭО) используется для получения сложных форм заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов, главным образом, путем удаления материала посредством электрического разряда. Этот метод подходит для точного формирования канавок, неровных форм или внутренних элементов на торцевой поверхности оправки, преодолевая ограничения традиционной механической обработки. В ЭЭО используется импульсный разряд между электродом инструмента и оправкой; химически нагретая искра плавит и испаряет локализованный материал, а среда смывает удаленный материал. Вольфрамовые сплавы обладают хорошей электропроводностью, что обеспечивает стабильный разряд, а процесс обработки исключает деформацию, поскольку механическая сила не используется.

Электрод технологического инструмента формируется в негативную форму с использованием меди или графита. Выталкивающий штифт фиксируется в рабочей жидкости, а скорость травления контролируется параметром ширины импульса тока. Сложные формы, такие как многоуровневые вогнутые поверхности или боковые отверстия, формируются с помощью ЧПУ-проводолочной резки посредством программирования траектории электрода. Выталкивающий штифт охлаждается и скальвается с использованием керосина или деионизированной воды в качестве химической среды для предотвращения чрезмерного термического воздействия. Шероховатость поверхности регулируется прецизионным разрядом и восстанавливается полировкой после финишной обработки поверхности. Преимущества электроэрозионной обработки (ЭЭО) заключаются в ее бесконтактном характере. Для вольфрамовых сплавов с высокой твердостью традиционные методы резки затруднительны, в то время как ЭЭО обеспечивает равномерное удаление материала. Легко создаются мелкие детали на оправке, такие как микроуглубления или текстуры, что улучшает удержание заклепки. Химическая очистка удаляет белый слой, а термообработка снимает остаточные напряжения. ЭЭО вольфрамовых сплавов на оправках позволяет гибко формовать сложные формы, поддерживает различные конструкции инструментов благодаря механизму разряда и обеспечивает индивидуальную поддержку в специализированных областях клепки.

## 3.1 Характеристика и контроль качества заклепочных стержней из вольфрамового сплава

Заклепочные оправки из вольфрамового сплава являются важнейшим элементом производственного процесса. Контроль качества включает проверку однородности

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

микроструктуры, состава и свойств материала с помощью микроскопического анализа, спектроскопических методов и физических испытаний, что обеспечивает надежную работу оправки в качестве опоры для клепки. Характеризация фокусируется на микроструктуре и распределении элементов, в то время как контроль качества охватывает однородность плотности, распределение твердости и дефекты поверхности. Микроскопическое наблюдение сфероидизации частиц и фазовых границ, спектроскопическая идентификация чистоты компонентов и физические испытания позволяют оценить механические свойства.

Контроль качества осуществляется на всех этапах производства, от порошкового сырья до готовых оправок, с использованием многоточечного отбора проб и испытаний для предотвращения отклонений в партиях. Проводится химический анализ для определения примесей, микроскопическая проверка пористости и механические испытания на ударную вязкость. Данные характеристики используются для обратной связи при корректировке процесса, а параметры спекания оптимизируются для снижения количества дефектов. Стандарты контроля качества соответствуют отраслевым спецификациям, а диапазоны плотности и твердости оправок подбираются в соответствии с требованиями применения. Проводятся работы в чистой лаборатории, чтобы предотвратить влияние загрязнений на результаты.

Оправки для заклепок из вольфрамового сплава воплощают в себе замкнутую систему контроля, используемую в материаловедении, и обеспечивают стабильность работы инструмента за счет взаимодействия различных методов, гарантируя надежную работу в практике клепки.

### **3.3.1 Применение микроскопического анализа в заклепочных стержнях из вольфрамового сплава**

Микроскопический анализ заклепочных оправок из вольфрамового сплава в основном проводится с использованием оптических микроскопов, сканирующих электронных микроскопов (СЭМ) и просвечивающих электронных микроскопов (ПЭМ). Это позволяет наблюдать микроструктурные особенности, распределение частиц и морфологию дефектов, что способствует оптимизации процесса и оценке качества. Оптические микроскопы используются для предварительного металлографического наблюдения; после полировки и травления поперечного сечения образца частицы вольфрама и связующая фаза четко контрастируются, что позволяет оценить сфероидизацию и равномерность распределения фаз. Химическое травление избирательно растворяет связующую фазу, выделяя контур вольфрамового каркаса.

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) обеспечивает более высокое разрешение и изображение в режиме обратного рассеяния, выявляя высокую яркость вольфрамовой фазы, более темную связующую фазу и четкую видимость расстояний между частицами и границ раздела в поперечном сечении верхнего стержня. Энергодисперсионная спектроскопия (ЭДС) помогает в картировании элементов, выявляя локализованную сегрегацию или примеси. Наблюдение тонких срезов образцов с помощью просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) выявляет

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

дислокации, границы зерен и осажденные фазы после ионного утонения, что позволяет анализировать механизм повреждения верхнего стержня при ударе.

Микроскопический анализ применяется в производственном контроле. После спекания образцы проверяются на остаточную пористость; после горячей обработки наблюдается волокнистая текстура; а после износа поверхности оценивается поврежденный слой. Результаты анализа позволяют определить оптимальные температуры отжига, измельчить зерна и повысить ударную вязкость. Анализ продольного сечения оправки обеспечивает осевую однородность, а торцевые поверхности используются для проверки наличия дефектов на рабочей поверхности. Химическая обработка и коррозия проводятся надлежащим образом, чтобы избежать чрезмерного растворения, которое маскирует ключевые особенности. Использование микроскопического анализа в оправках для заклепок из вольфрамового сплава демонстрирует инструмент материаловедения — микроскопическую характеристику. Благодаря многомасштабному наблюдению, оно способствует пониманию свойств микроструктуры, играет ключевую роль в контроле качества и предоставляет визуальные доказательства для повышения долговечности оправки.

### **3.3.2 Идентификация состава заклепочных оправок из вольфрамового сплава с использованием спектроскопических методов**

Спектроскопические методы определения состава заклепочных оправок из вольфрамового сплава в основном включают рентгеновскую флуоресценцию, оптическую эмиссионную спектроскопию и атомно-абсорбционную спектроскопию. Эти методы предоставляют информацию о содержании и распределении элементов, гарантируя соответствие состава оправки проектным требованиям и предотвращая влияние примесей на эксплуатационные характеристики. Рентгеновская флуоресцентная спектроскопия обеспечивает неразрушающий анализ состава поверхности; интенсивность характерного флуоресцентного возбуждения отражает долю вольфрама, никеля, железа или меди. Многоточечное сканирование корпуса оправки позволяет оценить однородность.

Фотоэмиссионная спектроскопия включает растворение образца с последующим возбуждением плазмы и использование спектральных линий для идентификации типа и содержания элементов, что подходит для обнаружения следовых примесей, таких как кислород и углерод. Атомно-абсорбционная спектроскопия использует характерный свет, поглощаемый распыленным раствором, для чувствительного определения низкоконцентрированных вспомогательных элементов. Применение спектроскопических методов очевидно при приемке сырья и контроле готовой продукции, включая определение чистоты порошковой партии и анализ поперечного сечения верхнего стержня на предмет сегрегации.

Подготовка образцов имеет решающее значение в процессе идентификации; очистка поверхности предотвращает загрязнение, а растворяющая кислота обладает высокой селективностью. Спектроскопические методы идентификации состава заклепочных оправок из вольфрамового сплава обеспечивают прослеживаемость качества, позволяя корректировать соотношение компонентов смеси при возникновении отклонений. Химические стандартные образцы

#### **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](http://www.ctia.com.cn)

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

калибруют прибор, а повторные измерения гарантируют стабильность результатов. Результаты идентификации определяют порядок термообработки, поскольку распределение элементов влияет на поведение при осаждении.

Комплексное использование спектроскопических методов охватывает макроскопический и микроскопический масштабы, что позволяет проводить быструю флуоресцентную скрининговую оценку и точное количественное определение излучения. Состав оправки остается стабильным в процессе клепки, а спектроскопическая идентификация обеспечивает долговременные доказательства. Идентификация состава заклепочных оправок из вольфрамового сплава с помощью спектроскопических методов демонстрирует материальную основу аналитической химии, оптимизирует контроль производства за счет информации об элементарном составе и предоставляет надежные данные для оценки качества инструмента.

### **3.3.3 Важность определения плотности при оценке качества заклепочных стержней из вольфрамового сплава**

В оценке качества заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов измерение плотности играет первостепенную роль в качестве прямого индикатора общей плотности и однородности микроструктуры. Этот тест помогает определить, соответствуют ли объемные свойства оправки после спекания и обработки требованиям к опоре. Плотность отражает степень заполнения частиц вольфрама связующей фазой. Оправки высокой плотности имеют меньше пор, более сильные инерционные силы реакции, концентрированную передачу энергии при ударах при заклепке и равномерную деформацию заклепки. Оправки низкой плотности могут иметь остаточную пористость, неравномерное распределение прочности и склонны к локальным вмятинам или усталостным повреждениям во время эксплуатации.

Для определения плотности обычно используется метод Архимеда или метод вытеснения газа, с несколькими точками отбора проб для оценки однородности стержня. Небольшая разница в плотности между концами и серединой указывает на достаточную перестройку в процессе спекания. С химической точки зрения, плотность связана с соотношением компонентов; более высокое содержание вольфрама приводит к более высокой теоретической плотности. Отклонения в результатах испытаний выявляют сегрегацию или примеси. Определение плотности позволяет корректировать технологический процесс; если спекание недостаточное, увеличение времени выдержки или проведение изостатического прессования с дополнительным нагревом может улучшить механические свойства верхней части стержня.

В ходе испытаний также оценивалось влияние термообработки; незначительное изменение плотности после отжига отражало снятие напряжений, а размеры оправки оставались стабильными. Испытание плотности после финишной обработки поверхности подтвердило отсутствие потери материала и стабильное качество оправки. Важность испытания плотности при оценке качества заклепочных оправок из вольфрамового сплава заключается в его всестороннем отражении объемных свойств. Численные сравнения обеспечивают надежный выбор инструмента

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

и служат основой для качественной практики клепки. Стабильный контроль плотности закладывает основу для массового производства оправок, обеспечивая сбалансированную опорную функцию для каждого инструмента.

### 3.3.4 Технология тестирования для обнаружения внутренних дефектов в заклепках из вольфрамового сплава

Методы неразрушающего контроля (НК) для обнаружения внутренних дефектов в заклепочных оправках из вольфрамового сплава в основном используют ультразвуковые, рентгеновские и вихретковые методы. Эти методы позволяют выявлять пористость, трещины или включения, не повреждая оправку, что способствует контролю качества и предотвращает потенциальные отказы. Ультразвуковой контроль использует отражение звуковых волн для обнаружения внутренних разрывов; сканирование продольной волной стержнеобразной оправки позволяет обнаруживать осевые дефекты; а химический анализ, с помощью интенсивности межфазных отражений, позволяет различать пористость и трещины. Рентгеновская трансмиссионная визуализация выявляет различия в плотности, четко показывая области низкой плотности внутри оправки, что делает ее подходящей для серийного скрининга.

Вихретковый контроль позволяет обнаруживать дефекты поверхности или приповерхностного слоя. Зонд обладает хорошей проводимостью, а вихретковые возмущения выявляют микротрещины или сегрегацию. Процесс контроля обеспечивает чистоту образца, полное покрытие траектории движения зонда и многоугловое сканирование для повышения эффективности. Он сочетает в себе методы неразрушающего контроля, включая глубокий ультразвуковой контроль, общее распределение рентгеновского излучения и чувствительность поверхности к вихретковому воздействию.

Результаты испытаний служат ориентиром для доработки; дефектные оправки ремонтируются или удаляются методом горячего изостатического прессования; а ударная вязкость надежно определяется после очистки внутренней поверхности оправки. Высокая химическая чистота снижает количество ложных срабатываний и повышает чувствительность дефектоскопии. Технология неразрушающего контроля для обнаружения внутренних дефектов в заклепочных оправках из вольфрамового сплава демонстрирует надежность материала, обеспечиваемую неразрушающим контролем. Совместное использование нескольких методов поддерживает внутреннее качество инструмента и обеспечивает основу для контроля дефектов в заклепочных опорах. Накопление данных о дефектоскопии закладывает основу для обратной связи в процессе, обеспечивая безопасную работу партий оправок.

### 3.4 Инновационные методы изготовления заклепочных стержней из вольфрамового сплава

Инновационные методы производства заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов в первую очередь направлены на расширение возможностей традиционной порошковой металлургии и внедрение новых технологий формования. Эти инновации помогают преодолеть ограничения

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

традиционных процессов при обработке сложных форм, малых размеров и серийном производстве, повышая гибкость производства и эффективность использования материалов. К инновационным методам относятся литье под давлением и аддитивное производство, которые расширяют возможности проектирования оправок, сохраняя при этом преимущества вольфрамовых сплавов по плотности и твердости. Литье под давлением позволяет получать заготовки, близкие к окончательной форме, за счет подачи материала, в то время как аддитивное производство позволяет создавать многослойные конструкции и формировать произвольные геометрические формы.

Движущей силой инновационного подхода являются разнообразные потребности в клепальных инструментах. Традиционное прессование и спекание подходят для стандартных стержневых деталей, в то время как новый метод адаптируется к оправкам неправильной формы или миниатюрным оправкам. С химической точки зрения, инновация сохраняет двухфазную структуру, где частицы вольфрама обеспечивают опорный каркас и координирующую связующую фазу. Инновационный процесс также направлен на защиту окружающей среды, сокращение отходов и энергопотребления. Инновационный метод изготовления оправок для клепок из вольфрамового сплава отражает современные тенденции в формовке материалов, поддерживая персонализированную разработку инструментов за счет технологической интеграции и предоставляя больше возможностей в области сборки.

### 3.4.1 Потенциал литья под давлением в производстве заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов

Литье под давлением при производстве заклепочных оправок из вольфрамового сплава в первую очередь обусловлено его способностью получать сложные формы и изделия, близкие к окончательной форме. Этот метод включает смешивание порошка вольфрамового сплава с органическим связующим для образования исходного материала, который затем под высоким давлением впрыскивается в форму для образования заготовки, после чего происходит удаление связующего и спекание для получения готового изделия. В процессе подготовки исходного материала достигается высокая концентрация порошка, а связующие вещества, такие как восковые или полимерные связующие, обеспечивают текучесть и прочность. Химически связующее вещество инкапсулирует частицы, предотвращая их расслоение. Параметры впрыска, такие как температура и давление, подбираются в соответствии с вязкостью исходного материала, а форма точно проектируется с торцевыми канавками или боковыми отверстиями, что позволяет осуществлять одностадийное формование и сокращать последующую обработку.

Потенциал заключается в возможности индивидуальной настройки формы выталкивающих штифтов. Многоуровневые вогнутые поверхности или внутренние элементы, которые трудно сформировать традиционным прессованием, легко достигаются с помощью литья под давлением. Выталкивающие штифты лучше компенсируют деформацию специальных заклепок. Тонкостенные или тонкие выталкивающие штифты имеют равномерную толщину стенок и высокую плотность. Литье под давлением позволяет производить мелкосерийные изделия по

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

индивидуальному заказу, быстрая смена пресс-форм и гибкие характеристики выталкивающих штифтов, позволяющие адаптировать их к различному клепальному оборудованию. Процесс удаления связующих веществ осуществляется с помощью сольвотермического комбинированного удаления связующих, а усадка после спекания контролируется, что обеспечивает высокую точность размеров.

Производственный потенциал этого метода также отражается в повышении эффективности. Автоматизированные машины для литья под давлением работают непрерывно с короткими циклами, что делает их подходящими для среднесерийного производства. Метод демонстрирует хорошую химическую стабильность, с низким содержанием остатков добавок в исходном материале, что не влияет на характеристики выталкивающего штифта. Потенциал литья под давлением в производстве выталкивающих штифтов из вольфрамового сплава открывает новые возможности для проектирования оснастки, способствуя реализации сложных функций посредством формования потоком и демонстрируя перспективные применения в прецизионной клепке. Разработка этого метода также способствовала оптимизации состава исходного материала, что дополнительно улучшило однородность микроструктуры выталкивающего штифта.

### **3.4.2 Влияние аддитивных технологий на индивидуальную настройку стержней заклепок из вольфрамового сплава**

Технология аддитивного производства для изготовления заклепочных оправок из вольфрамового сплава основана главным образом на достижении произвольной геометрии и внутренней структуры путем послойного конструирования. Такие методы, как селективное лазерное плавление (SLM) или напыление связующего вещества, избирательно затвердевают слой за слоем порошка вольфрамового сплава, образуя оправки без необходимости использования пресс-форм. При послойном спекании порошка лазерное плавление частиц химически приводит к локальному высокотемпературному смачиванию жидкой фазой, подобно спеканию, что обеспечивает прочную межслойную металургическую связь. Напыление связующего вещества с последующим спеканием и удалением связующего вещества подходит для сложных полых или градиентных оправок.

Преимущество заключается в высокой степени свободы индивидуализации, позволяющей напрямую создавать микротекстуры на торцевой поверхности выталкивающего штифта или внутренних каналах охлаждения, а также оптимизировать клепку для рассеивания тепла или снижения вибрации. Многофункциональные выталкивающие штифты, которые трудно изготовить традиционными методами, могут быть быстро смоделированы с помощью цифровых моделей, что приводит к сокращению циклов проектирования. Аддитивное производство поддерживает мелкосерийную персонализацию, при этом характеристики выталкивающих штифтов точно соответствуют оборудованию, что исключает использование отходов пресс-форм.

Технологическое влияние также отражается на использовании материалов: высокие показатели извлечения порошка и оправки, близкие к окончательной форме, сокращают объем механической

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

обработки. В химическом отношении межслойная диффузия равномерна, что приводит к плотной микроструктуре оправки со свойствами, приближающимися к свойствам обычных оправок. Возможно проектирование градиентного состава, что обеспечивает высокую твердость поверхности и хорошую ударную вязкость сердцевины оправки. Влияние аддитивных технологий на индивидуальную настройку заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов привело к революции в проектировании инструментов, поддерживая интегрированные функциональные инновации за счет послойного нанесения и предоставляя гибкие решения для специализированных задач клепки.



CTIA GROUP LTD. Заклепочный стержень 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](http://www.ctia.com.cn)

电话/TEL: 0086 592 512 9696  
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V  
[sales@chinatungsten.com](mailto: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 ( $17\text{-}19 \text{ g/cm}^3$ ), 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**

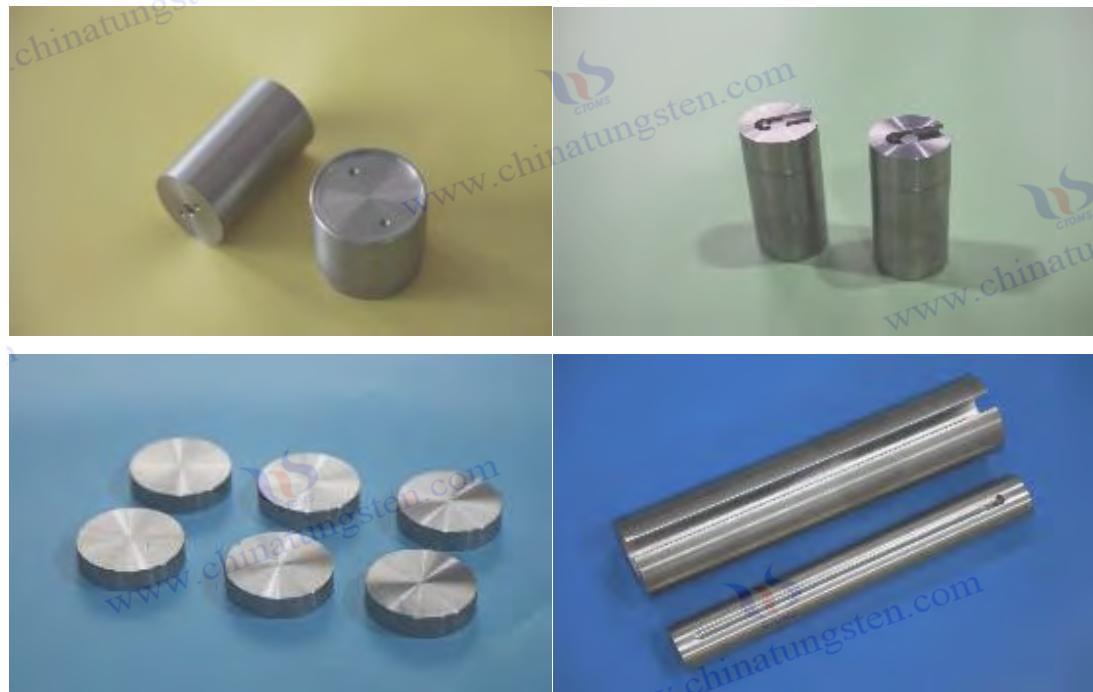
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

Tel: +86 592 5129696

Official website: [www.tungsten-alloy.com](http://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](http://www.ctia.com.cn)

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

## Глава 4. Физические свойства заклепочных стержней из вольфрамового сплава.

### 4.1 Плотность и тепловые свойства заклепочных стержней из вольфрамового сплава

Плотность и тепловые свойства заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов являются ключевыми компонентами их физических характеристик, напрямую влияя на силу инерционной реакции, передачу энергии и температурную адаптивность во время клепки. Высокая плотность концентрирует массу оправки, обеспечивая стабильную опору при ударе. Тепловые свойства, включая тепловое расширение и теплопроводность, определяют сохранение размеров и рабочих характеристик оправки при локальном нагреве или изменении температуры окружающей среды. Двухфазная структура вольфрамовых сплавов обеспечивает эти свойства; вольфрамовая фаза обеспечивает высокую плотность основы, а связующая фаза регулирует соответствие теплового расширения.

Сбалансированное соотношение плотности и тепловых свойств позволяет оправке адаптироваться к различным условиям клепки. Высокоплотные типы обладают высокой инерцией и подходят для больших нагрузок, в то время как типы с хорошей теплопроводностью быстро рассеивают тепло, снижая повышение температуры. Характеристические испытания помогают в выборе материала; равномерная плотность обеспечивает постоянную силу реакции, а низкое тепловое расширение поддерживает точность подгонки. Плотность и тепловые свойства [оправок для заклепок из вольфрамового сплава](#) отражают инженерное применение физических свойств материала. Оптимизация характеристик обеспечивает стабильную работу инструмента при сборке и надежную основу для практики клепки.

#### 4.1.1 Принцип измерения плотности в заклепочных оправках из вольфрамового сплава

Принцип измерения плотности в заклепочных оправках из вольфрамового сплава в основном основан на вытеснении объема и расчете массы. Этот принцип помогает оценить плотность и однородность микроструктуры оправки, тем самым определяя ее инерционные характеристики в качестве опоры для заклепки. Обычно используется метод Архимеда, при котором оправка погружается в жидкость, объем рассчитывается с использованием разницы плавучести, а плотность определяется по массе. Химический состав жидкости выбирается таким образом, чтобы она не вступала в реакцию со сплавом, чтобы избежать растворения поверхности, влияющей на точность. Многоточечные измерения стержнеобразной оправки позволяют оценить осевую однородность; постоянная плотность на концах и в центре указывает на достаточную перестройку в процессе спекания.

Принцип измерения также включает варианты с вытеснением газа, где изменения давления в заполненном инертным газом контейнере отражают объем, что подходит для чувствительных к поверхности оправок. Суть принципа заключается в точном определении объема; для оправок правильной формы используется прямой геометрический расчет, тогда как для неправильных форм более подходит метод вытеснения. Для измерения массы используются прецизионные весы,

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

а для коррекции плотности жидкости используется температура окружающей среды. Применение принципов измерения плотности позволяет выявить технологические эффекты: недостаточное спекание приводит к низкой плотности, в то время как горячее изостатическое прессование увеличивает плотность.

Измерение имеет решающее значение для контроля качества оправок. Высокая плотность приводит к сильной инерционной реакции и равномерной деформации заклепки. Чистота влияет на измерение; примеси и пористость снижают показания. Сегментированное измерение длины оправки позволяет избежать ошибок. Принцип измерения плотности в заклепочных оправках из вольфрамового сплава обеспечивает количественную основу для объемных свойств, поддерживает оценку инерции инструмента посредством расчетов замещения и служит практическим ориентиром в клепальной практике.

#### **4.1.2 Вклад коэффициента теплового расширения в стабильность заклепочного стержня из вольфрамового сплава**

Коэффициент теплового расширения, влияющий на стабильность заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов, в основном отражается в их способности сохранять размер и форму при изменении температуры. Этот вклад обеспечивает плотное прилегание оправки к хвостовой части заклепки при локальном трением нагреве или изменении температуры окружающей среды, предотвращая зазоры или избыточное давление. Вольфрамовые сплавы имеют низкий коэффициент теплового расширения, вольфрамовая фаза преобладает с небольшими изменениями объема, а связующая фаза регулирует общий коэффициент, что приводит к ограниченному увеличению длины оправки при нагреве и хорошему сохранению плоскости рабочей поверхности.

Механизм действия проявляется во взаимодействии двух фаз: частицы вольфрама ограничивают расширение связующей фазы, химически компенсируя термическую деформацию за счет межфазного напряжения, а оправка возвращается в исходное положение после термического циклирования. Низкий коэффициент теплового расширения снижает растрескивание от термического напряжения, а оправка демонстрирует высокую стабильность при многократном использовании. Во время нагрева при клепке оправка расширяется минимально, обеспечивая точное позиционирование заклепки и стабильное качество соединения.

Вклад коэффициента теплового расширения также влияет на совместимость оборудования; хорошее тепловое соответствие между оправкой и заклепочным пистолетом обеспечивает надежную сборку. Корректировка состава оптимизирует этот вклад, при этом легирование молибденом дополнительно снижает коэффициент. Термическая обработка гомогенизирует микроструктуру, что приводит к более сбалансированному вкладу. Вклад коэффициента теплового расширения в стабильность заклепочных оправок из вольфрамового сплава отражает материальную основу для термофизических свойств. Конструкция с низким коэффициентом

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

расширения оптимизирует температурную адаптивность инструмента, обеспечивая основу для надежности размеров в условиях клепки.

#### 4.1.2.1 Термическое поведение заклепочных оправок из вольфрамового сплава в условиях высоких температур

В условиях высоких температур при работе с заклепочными оправками из вольфрамового сплава наблюдаются в основном изменения размеров, эволюция микроструктуры и склонность к окислению поверхности. Это поведение особенно заметно при локальном фрикционном нагреве или горячей клепке , влияя на сохранение формы и точность опоры оправки . Высокая температура плавления вольфрамовой фазы приводит к относительно высокой общей температуре размягчения оправки . При высоких температурах связующая фаза течет и координирует частицы вольфрама . Тепловое расширение создает микронапряжения, но межфазное сцепление смягчает это напряжение, предотвращая значительную деформацию. По мере нагрева рабочей поверхности оправки поверхностная энергия увеличивается, частицы вольфрама слегка укрупняются, а диффузия связующей фазы способствует однородности межфазной границы.

К термическим свойствам также относятся: усталостная прочность, миграция границ зерен при многократном нагреве и охлаждении, незначительный рост зерен в оправке (но контролируемый термической обработкой), химическая диффузия при высоких температурах, образование тонкого оксидного слоя на поверхности оправки, преимущественная реакция связующей фазы, но общая защита фазой вольфрама, теплопроводность, способствующая рассеиванию тепла при высоких температурах, плавный температурный градиент в оправке и равномерное распределение термических напряжений. Термические свойства оправки в условиях высоких температур подходят для горячей клепки, а сила реакции оправки стабильна во время формования заклепок.

Термические характеристики включают соотношение компонентов; более высокое содержание вольфрама приводит к большей термической стабильности, в то время как более высокая концентрация меди способствует более быстрому рассеиванию тепла. Термическая обработка предварительно оптимизирует микроструктуру, высокотемпературный отжиг снимает напряжение, и оправка хорошо восстанавливается после термических циклов. Поверхностные покрытия или пассивация обеспечивают дополнительную защиту при высоких температурах, уменьшая потери от окисления. Термические характеристики заклепочных оправок из вольфрамового сплава в условиях высоких температур демонстрируют температурную адаптивность огнеупорных композитов, сохраняя размеры и характеристики инструмента за счет синергии межфазных слоев, что имеет практическое значение при горячей сборке.

#### 4.1.2.2. Реакция заклепочных оправок из вольфрамового сплава в условиях низких температур

В условиях низких температур в работе заклепочных оправок из вольфрамового сплава преобладают тенденции к хрупкому переходу и усадке. Эта реакция проявляется при холодной

##### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

клепке или низкотемпературной сборке, влияя на ударную вязкость и точность посадки оправки . Объемно-центрированная кубическая структура вольфрамовой фазы имеет меньше систем скольжения при низких температурах, в то время как гранецентрированная кубическая пластичность связующей фазы способствует координации процесса. Общая температура хрупкого перехода оправки относительно низка, что предотвращает внезапное разрушение. Во время низкотемпературной усадки низкий коэффициент теплового расширения вольфрама приводит к небольшим изменениям размеров оправки , обеспечивая хорошее соответствие заклепке.

Реакция также включает снятие термических напряжений, релаксацию остаточных напряжений при низких температурах и повышенную склонность к заживлению микротрещин внутри оправки. С химической точки зрения, низкотемпературная активность кислорода приводит к медленному окислению поверхности оправки, обеспечивая гладкую поверхность. Поглощение энергии удара при низких температурах достигается за счет деформации связующей фазы, что приводит к постоянной силе реакции оправки и равномерному формированию заклепки. Реакция оправки в низкотемпературных условиях подходит для холодной клепки, обеспечивая стабильную нагрузку на оборудование при низких рабочих температурах.

К факторам, влияющим на характеристики, относятся корректировки состава; более высокое содержание никеля приводит к улучшению низкотемпературной ударной вязкости, а добавление железа регулирует температуру фазового превращения. Низкотемпературная термообработка упрочняет осажденные частицы и повышает сопротивление оправке хрупкости . Обработка поверхности предотвращает конденсатную коррозию, обеспечивая стабильность оправки при хранении при низких температурах. Характеристики заклепочных оправок из вольфрамового сплава в низкотемпературных условиях демонстрируют широкую температурную адаптивность композитных материалов, сохраняя механические характеристики инструмента за счет структурной координации и обеспечивая надежную поддержку при холодной сборке.

#### **4.1.3 Применение дифференциальной сканирующей калориметрии в заклепочных стержнях из вольфрамового сплава**

Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) в основном используется для анализа поведения материала при термических превращениях и характеристик фазовых переходов в заклепочных оправках из вольфрамовых сплавов. Этот метод позволяет выявить эндотермические или экзотермические процессы в оправке при изменении температуры путем сравнения разницы теплового потока между образцом и эталоном, что помогает оптимизировать процессы термообработки и оценить высокотемпературную стабильность. Во время испытаний небольшой образец оправки помещается в тигель прибора и нагревается или охлаждается одновременно с инертным эталоном. Записывается кривая теплового потока, а химические фазовые превращения, такие как плавление или осаждение связующей фазы, отображаются изменениями пиков на кривой.

##### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

В практическом применении дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) используется для определения температуры рекристаллизации оправки , что позволяет корректировать параметры отжига и предотвращать чрезмерно высокие температуры, которые могут привести к укрупнению зерен. Температура термической обработки определяется по эндотермическому пику кривой, наглядно демонстрирующему растворение легирующих элементов в оправке. Анализ экзотермического пика осаждения при старении указывает на образование упрочняющих фаз, подтверждая механизм повышения прочности оправки . Оценка высокотемпературной стабильности проводится путем наблюдения за тепловым потоком вблизи точки плавления, что позволяет прогнозировать тенденцию к размягчению оправки в условиях горячей клепки.

Этот метод также используется для изучения влияния примесей; остаточный кислород или углерод вызывают дополнительные пики, что способствует контролю чистоты оправки. Интегралы кривых используются для расчета изменения энталпии, количественно определяя изменения теплоемкости оправки . Применение дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) к заклепочным оправкам из вольфрамового сплава предоставляет подробную информацию о термическом поведении, поддерживает рациональную настройку температур процесса посредством анализа фазовых превращений и вносит экспериментальные данные в управление тепловыми процессами материалов. Чувствительность метода позволяет фиксировать мельчайшие фазовые переходы, открывая температурный подход к оптимизации характеристик оправки.

#### **4.1.4 Количествоенная оценка стержней заклепок из вольфрамового сплава на основе измерения теплопроводности**

Для количественной оценки теплопроводности заклепочных оправок из вольфрамового сплава в основном используются стационарные или переходные методы. Эти измерения помогают оценить способность оправки рассеивать тепло во время клепки, что позволяет выбирать материал в условиях тепловой нагрузки. Стационарные методы включают нагрев одного конца и охлаждение другого, измерение градиента температуры и теплового потока; осевое тестирование образца оправки отражает фактическую передачу тепла. Переходные методы, такие как лазерная сцинтиляция, предполагают импульсный нагрев одной стороны и регистрацию повышения температуры на другой стороне, что позволяет рассчитать теплопроводность.

Количественные результаты отражают влияние состава. Более высокое содержание меди приводит к большей теплопроводности и меньшему локальному повышению температуры в оправке, что делает ее пригодной для непрерывной клепки. Преобладание вольфрама обеспечивает относительно низкую теплопроводность, но большую теплоемкость, смягчая пиковые температуры. Для подготовки образца отрезается часть оправки ; гладкая поверхность снижает контактное тепловое сопротивление. С химической точки зрения, чистый интерфейс влияет на измерение, поскольку рассеяние примесей снижает теплопроводность.

##### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

Количественные измерения теплопроводности помогают в выборе технологического оборудования; оправки с высокой теплопроводностью быстро рассеивают тепло, обеспечивая равномерное охлаждение заклепки; оправки с низкой теплопроводностью обеспечивают лучшую изоляцию, что делает их пригодными для горячей клепки. Измерения также позволяют оценить эффективность термообработки, обеспечивая однородную микроструктуру и стабильную теплопроводность после отжига. Для оправок различной длины измерения проводятся по нескольким сегментам для усреднения, что позволяет избежать краевых эффектов. Измерения теплопроводности обеспечивают основу для количественной оценки эффективности теплопередачи оправок из вольфрамового сплава, а численные сравнения помогают в выборе инструментов для термической адаптации, играя решающую роль в управлении тепловыми процессами клепки. Систематический характер измерений позволяет сравнивать тепловое поведение партий оправок, обеспечивая количественную обратную связь для улучшения процесса.

#### **4.1.5 Роль удельной теплоемкости в тепловом регулировании заклепочных оправок из вольфрамового сплава**

Удельная теплоемкость в теплоотводе заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов в основном определяется их способностью поглощать и смягчать тепло, выделяемое при ударе. Это помогает контролировать повышение температуры оправки во время клепки, предотвращая локальный перегрев, который может повлиять на ее форму или рабочие характеристики. Более высокая удельная теплоемкость приводит к большему поглощению тепла оправкой, меньшим изменениям температуры при том же подводимом энергетическом затрате, более плавному повышению температуры на рабочей поверхности и меньшей зоне термического воздействия во время формирования заклепки. Вольфрамовые сплавы вносят значительный вклад в удельную теплоемкость, что приводит к высокой общей теплоемкости оправки и медленному накоплению тепла при непрерывной работе.

Механизм действия отражается в распределении энергии: часть кинетической энергии удара преобразуется в тепло, которое рассеивается при высокой удельной теплоемкости, что приводит к более плавному температурному градиенту внутри оправки. С химической точки зрения, двухфазная структура работает синергетически: частицы вольфрама аккумулируют тепло, а связующая фаза передает тепло, что приводит к быстрому достижению теплового равновесия в оправке. Удельная теплоемкость также влияет на стабильность при термических циклах; при многократной клепке оправка быстро восстанавливает комнатную температуру с минимальными изменениями размеров.

В области терморегулирования оправки с высокой удельной теплоемкостью подходят для высокочастотной или высоконагруженной клепки, обеспечивая хороший контроль повышения температуры и комфортную работу. Регулировка состава играет важную роль: высокое содержание вольфрама приводит к высокой удельной теплоемкости, в то время как более высокая концентрация меди способствует теплопроводности и помогает рассеиванию тепла. Термическая обработка гомогенизирует микроструктуру, обеспечивая равномерное распределение удельной

##### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

теплоемкости. Роль удельной теплоемкости в терморегулировании оправок из вольфрамовых сплавов демонстрирует буферную функцию материала по отношению к теплоемкости, поддерживая контроль температуры инструмента благодаря его эндотермическим свойствам и обеспечивая термически стабильную основу в практике клепки. Это улучшенное качество позволяет оправке адаптироваться к большему количеству условий работы, повышая комфорт её эксплуатации.

#### **4.2 Электрические и магнитные свойства верхушек заклепок из вольфрамового сплава**

Электрические и магнитные свойства заклепочных оправок из вольфрамового сплава в основном зависят от их состава. Хотя эти свойства не являются основной функцией оправки как инструмента, они ценные в качестве ориентира в определенных условиях сборки или вспомогательных операциях. Электрические свойства в основном характеризуются проводимостью, в то время как магнитные свойства зависят от того, вносят ли элементы связующей фазы ферромагнетизм. Сам вольфрам обладает умеренной электрической и тепловой проводимостью; связующая фаза после легирования регулирует общие показатели. Система вольфрам-никель-медь является немагнитной и обладает хорошей электрической проводимостью, в то время как система вольфрам-никель-железо демонстрирует значительный магнетизм и несколько более низкую проводимость.

Анализ электрических и магнитных свойств помогает выбрать подходящую оправку для конкретных применений, например, для предотвращения магнитных помех при сборке электронных устройств и обеспечения проводимости, способствующей электростатическому разряду. Тестирование свойств определяет состав материала; варианты из вольфрамо-медного сплава обладают высокой проводимостью, а варианты из вольфрамо-железного сплава – магнетизмом, подходящим для зажима. Электрические и магнитные свойства заклепочных оправок из вольфрамового сплава отражают материальную модуляцию вспомогательных элементов, и эти различия в свойствах обеспечивают универсальность применения инструмента, предоставляя дополнительную адаптивность в клепальной практике.

##### **4.2.1 Проводимость в стержнях заклепок из вольфрамового сплава**

Проводимость заклепочных оправок из вольфрамового сплава в основном зависит от типа и распределения связующей фазы. Хотя это и не является основным требованием, это влияет на накопление статического электричества и теплопроводность. Сам вольфрам обладает умеренной проводимостью; однако непрерывная сетка медной фазы внутри сплава обеспечивает более высокую проводимость, плавную передачу тока и легкое рассеивание статического электричества на поверхности оправки, предотвращая прилипание пыли или искр во время сборки. Никель-железные системы имеют относительно более низкую проводимость, но она все еще достаточна для применения в системах механической поддержки.

###### **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](http://www.ctia.com.cn)

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

Механизм проявляется в псевдосплавной структуре, где медная фаза заполняет зазоры, образуя каналы, что приводит к низкому сопротивлению миграции электронов и равномерной осевой проводимости верхнего стержня. После спекания граница раздела чистая, а проводящий путь непрерывный. Горячая обработка и прокатка удлиняют медную фазу, что приводит к небольшой анизотропии проводимости и низкому общему удельному сопротивлению верхнего стержня. Полировка поверхности уменьшает оксидный слой, поддерживая стабильную проводимость.

Проводимость также влияет на теплоотвод; при прохождении тока происходит меньшее джоулево нагревание, что приводит к более медленному повышению температуры в оправке. Хорошая химическая стабильность гарантирует, что проводимость оправки не снижается во влажной среде. Варианты из вольфрамо-медного сплава демонстрируют еще лучшие характеристики, обеспечивая превосходный электростатический контроль в чистых помещениях для электроники. Проводимость оправок из вольфрамового сплава обеспечивает электрическую поддержку инструмента, способствует адаптации к условиям сборки за счет оптимизации каналов и придает практические характеристики операциям клепки.

#### **4.2. 2. Влияние магнитных параметров на применение заклепок из вольфрамового сплава**

Влияние магнитных параметров на применение заклепочных оправок из вольфрамового сплава в первую очередь обусловлено ферромагнетизмом, возникающим в результате добавления железа. Это обеспечивает дополнительное удобство позиционирования или зажима в некоторых сборочных операциях. Система вольфрам-никель-железо обладает значительным магнетизмом, позволяя оправке притягиваться магнитными инструментами, что облегчает ее фиксацию или замену во время работы, особенно обеспечивая стабильное позиционирование при ручной клепке. Система вольфрам-никель-медь является немагнитной, что предотвращает воздействие магнитного поля при сборке электронных или прецизионных приборов, гарантируя сохранность компонентов.

Механизм проявляется в твердом растворе связующей фазы, где железо и никель образуют ферромагнитную фазу с умеренной намагниченностью, что приводит к слабому намагничиванию оправки без остаточного сильного намагничивания. Термическая обработка для размагничивания или старения позволяет контролировать уровень магнитных свойств, обеспечивая гибкое применение оправки. Вдохновение для выбора магнитных параметров также включает магнитное затухание в вибрационной среде, что приводит к лучшему поглощению микровибраций оправкой.

Применение: Магнитные оправки подходят для механического позиционирования с помощью линий, тогда как немагнитные оправки используются для чувствительного оборудования. Химическая чистота контролируется содержанием железа, а магнитные свойства поддаются регулированию. Применение магнитных параметров в оправках для заклепок из вольфрамового сплава демонстрирует практическую возможность модуляции вспомогательных элементов, облегчающих работу инструмента за счет магнитных различий и предоставляющих варианты выбора в различных сценариях сборки.

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

#### 4.2.3 Влияние температурного коэффициента сопротивления на электрическую стабильность заклепочного стержня из вольфрамового сплава

Температурный коэффициент сопротивления (ТКС) влияет на электрическую стабильность заклепочных оправок из вольфрамового сплава, главным образом, регулируя поведение сопротивления при изменении температуры. Это влияние помогает понять проводимость и потенциальный электростатический отклик оправки в условиях клепки при переменной температуре. ТКС описывает тенденцию изменения сопротивления с повышением температуры. В оправках из вольфрамового сплава он определяется совместно вольфрамовой фазой и связующей фазой. Вольфрамовая фаза имеет положительный, но низкий ТКС, в то время как связующая фаза, такая как медь или никель, имеет более высокий коэффициент. В целом, коэффициент положителен, и сопротивление увеличивается с повышением температуры. Электрическая стабильность оправки проявляется при колебаниях температуры. Когда коэффициент низок, изменение сопротивления незначительно, проводящий путь остается непрерывным, и вызванные температурой скачки сопротивления не влияют на вспомогательные функции, такие как электростатический разряд. взаимодействии двух фаз : рассеяние электронов на частицах вольфрама увеличивается с повышением температуры, а изменения концентрации носителей заряда в связующей фазе регулируют общее удельное сопротивление. Термическая обработка гомогенизирует микроструктуру, что приводит к равномерному распределению коэффициента и стабильному осевому удельному сопротивлению верхнего стержня. Корректировка состава влияет на коэффициент; при большей концентрации медной фазы коэффициент приближается к линейной зависимости проводимости меди, и проводимость верхнего стержня становится более стабильной при изменении температуры. Образование поверхностного оксидного слоя при высоких температурах незначительно увеличивает коэффициент, но защитный эффект покрытия ослабляется, и электрические характеристики верхнего стержня остаются неизменными. Влияние температурного коэффициента сопротивления (ТКС) также используется для оценки теплового регулирования оправки . Низкий ТКС приводит к меньшему термически генерируемому сопротивлению и самоограничивающему повышению температуры в оправке. При низких температурах ТКС положителен, что указывает на снижение сопротивления, но это не связано напрямую с хрупкостью. Температурный коэффициент сопротивления (ТКС) измеряется с помощью четырехзондового метода для оптимизации сплава. Влияние ТКС на электрическую стабильность заклепочных оправок из вольфрамового сплава дает представление о температурной зависимости материала. Регулировка ТКС позволяет поддерживать адаптацию проводимости инструмента, обеспечивая стабильную работу при колебаниях температуры во время клепки.

#### 4.2.4 Наблюдения анализа петли гистерезиса в заклепочных оправках из вольфрамового сплава

Анализ петли гистерезиса в заклепочных оправках из вольфрамового сплава в основном используется для оценки магнитного поведения и остаточной намагниченности, что помогает понять отклик оправки и потенциал позиционирования в условиях магнитного поля. Петля

##### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

гистерезиса отображает циклическую кривую намагниченности как функцию внешнего магнитного поля. В оправках из вольфрамового сплава это определяется ферромагнетизмом связующей фазы; вольфрамовая фаза является немагнитной. Петля гистерезиса широка в системе никель-железо, с существенной коэрцитивной силой и остаточной намагниченностью, в то время как в немагнитной системе вольфрам-медь петля гистерезиса узкая и почти линейная . Наблюдения проводятся с использованием вибрационного магнитометра, при этом образец оправки помещается в переменное магнитное поле, и регистрируются кривые намагниченности.

Механизм наблюдения отражается в фазовом магнетизме. Движение магнитных доменных стенок в ферромагнитной фазе вызывает гистерезис, а остаточная намагниченность после намагничивания верхнего стержня до насыщения невелика, что облегчает магнитное закрепление. Термическая обработка корректирует форму петли гистерезиса, а старение улучшает фиксацию магнитных доменных стенок; изменения площади петли гистерезиса отражают однородность микроструктуры. Состав влияет на наблюдение; высокое содержание железа приводит к более широкой петле гистерезиса и более сильному магнитному отклику от верхнего стержня; медные системы имеют более узкие петли гистерезиса и меньшее магнитное воздействие от верхнего стержня. Анализ петель гистерезиса применяется в контроле качества оправок; аномальные петли выявляют сегрегацию или дефекты, направляя процесс к равномерному перемешиванию. Наблюдение остаточной намагниченности позволяет оценить магнитную совместимость оправок в электронной сборке, при этом более узкие типы петель являются более подходящими. Обработка поверхности напрямую не влияет на петлю, но покрытие изолирует магнитное поле. Анализ петель гистерезиса в заклепочных оправках из вольфрамового сплава позволяет получить количественное представление о магнитных свойствах, что способствует выбору магнитных инструментов на основе характеристик кривых и дает практические знания в специализированных узлах.

#### 4.3 Оптические и радиационные свойства заклепочных оправок из вольфрамового сплава

На характеристики заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов в первую очередь влияют состав их поверхности и микроструктура. Хотя эти свойства не являются определяющими при использовании оправки в качестве инструмента, они важны для понимания отражения света и реакции на излучение в определенных условиях сборки. Оптические свойства в основном характеризуются отражательной способностью, в то время как радиационные свойства сосредоточены на радиационной стойкости. Двухфазная микроструктура вольфрамовых сплавов обуславливает эти свойства; вольфрамовая фаза имеет гладкую поверхность и сильное отражение, в то время как связующая фаза модулирует поглощение излучения. Анализ оптических и радиационных свойств помогает в выборе оправок для конкретных применений, таких как предотвращение бликов в оптических сборках и поддержание стабильности в условиях радиационного воздействия.

Сочетание оптических и радиационных свойств позволяет оправке адаптироваться к различным условиям освещения или излучения. Высокая отражательная способность обеспечивает яркую,

##### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

легко очищаемую поверхность, а хорошая радиационная стойкость минимизирует микроструктурные изменения. Характеристические испытания определяют обработку поверхности, измерение отражательной способности оптимизирует полировку, а радиационные испытания оценивают фазовые переходы. Оптические и радиационные свойства заклепочных оправок из вольфрамового сплава отражают реакцию материала на свет, а настройка свойств способствует адаптивности инструмента и обеспечивает дополнительную стабильность при клепке.

#### **4.3.1 Корреляция результатов анализа отражательной способности эталонных стержней заклепок из вольфрамового сплава**

Анализ отражательной способности заклепочных оправок из вольфрамового сплава имеет важное значение прежде всего для оценки качества поверхности и оптического отклика. Этот анализ помогает понять рабочие характеристики оправки и поведение теплового излучения при освещении. Отражательная способность описывает долю света, отражаемого от поверхности, и определяется состоянием поверхности вольфрама и связующего вещества в оправке. Более высокая отражательная способность после полировки приводит к более яркому виду, облегчая наблюдение за процессом деформации заклепки. Химические оксидные слои на поверхности снижают отражательную способность, в то время как покрытия или пассивация восстанавливают зеркальный эффект.

Механизм корреляции проявляется в микроструктуре: частицы вольфрама имеют гладкую поверхность с сильным отражением, равномерно распределенную связующую фазу с низким рассеянием света и постоянную отражательную способность. После термообработки зерна измельчаются, что приводит к более равномерному распределению отражательной способности и уменьшению бликов во время сборки оправки. Анализ отражательной способности используется для контроля качества; высокие измеренные значения указывают на меньшее количество дефектов поверхности и лучшую износостойкость оправки. Реакция на длину волн наблюдается с помощью спектрофотометра; металлический блеск оправки отражает сильный видимый свет. Корреляционный анализ также влияет на теплоотвод; более высокая отражательная способность приводит к меньшим радиационным потерям тепла и более медленному повышению температуры в оправке. Текстура поверхности регулирует отражательную способность; шлифованная поверхность уменьшает зеркальное отражение, что делает ее подходящей для применения в антибликовых покрытиях. Вариации состава также имеют корреляцию; более высокое содержание меди приводит к несколько большей отражательной способности и более яркому внешнему виду оправки.

#### **4.3.2 Оценка радиационной стойкости верхушек заклепок из вольфрамового сплава**

Радиационная стойкость заклепочных оправок из вольфрамового сплава определяется главным образом путем испытаний на воздействие радиации и микроструктурного анализа. Эта оценка помогает понять структурную стабильность и сохранение рабочих характеристик оправки в

##### **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](http://www.ctia.com.cn)

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

условиях радиационного воздействия. Радиационная стойкость описывает сопротивление материала радиации или частицам. В оправке высокая плотность вольфрамовой фазы ослабляет радиацию, в то время как связующая фаза координирует реакцию на повреждения. Процесс оценки включает в себя изучение изменений плотности и микроскопических дефектов после облучения образца. Оправка показала минимальное набухание и неповрежденную микроструктуру после облучения.

Механизм оценки отражается в фазовой структуре: частицы вольфрама поглощают энергию, создавая вакансии, а связующая фаза диффундирует, залечивая дефекты, что приводит к хорошей общей стабильности оправки. Термическая обработка повышает радиационную стойкость, а высокая температура рекристаллизации препятствует накоплению повреждений. Оправка оценивается на предмет использования в медицинских или ядерных сборках; деградация ее характеристик под воздействием радиации происходит медленно, а ее опора надежна. Испытания включают облучение с градиентом дозы для наблюдения за зарождением трещин и фазовыми переходами.

Оценка радиационной стойкости также помогает оптимизировать состав, легировать редкоземельными элементами дефекты закрепления и повышает пороговое значение допустимой радиации. Поверхностные покрытия защищают от падающего излучения, что приводит к минимальным изменениям микроструктуры оправки. Результаты оценки передаются в технологический процесс, демонстрируя высокую устойчивость после спекания и уплотнения. Оценка радиационной стойкости заклепочных оправок из вольфрамового сплава обеспечивает перспективу адаптации материала к окружающей среде, поддерживает радиационную совместимость инструмента посредством анализа повреждений и создает надежную основу для специальных применений в клепке.

#### **4.3.3 Характеристика спектра поглощения в оптических свойствах заклепочных оправок из вольфрамового сплава**

Характеризация оптических свойств заклепочных оправок из вольфрамового сплава с помощью абсорбционной спектроскопии в основном осуществляется посредством анализа в ультрафиолетовом, видимом и ближнем инфракрасном диапазонах. Эта характеристика помогает понять поведение поглощения света поверхностью оправки и ее общей структурой, а также оценить ее характеристики отражения и пропускания на разных длинах волн. Спектры поглощения регистрируют интенсивность поглощения материала для определенных длин волн света. Исследования проводятся на полированных образцах оправок; характерные пики поглощения генерируются электронными переходами в фазе вольфрама, в то время как связующие фазы, такие как медь или никель, модулируют форму спектра. Химически поверхостный оксидный слой увеличивает поглощение; полировка удаляет этот слой, что приводит к более гладким спектральным линиям.

##### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

Ключевым моментом в процессе характеризации является подготовка образца. Поперечное сечение или поверхность зонда должны быть плоскими, а световой луч должен падать перпендикулярно во время тестирования для регистрации кривой поглощения. Зонды из вольфрамового сплава демонстрируют высокое поглощение в видимом диапазоне с соответствующим снижением отражательной способности. Шлифованная текстура поверхности увеличивает рассеяние и поглощение света. Микроструктурные изменения после термообработки влияют на спектральные линии; отжиг измельчает зерна и обеспечивает равномерное поглощение. Корректировка состава способствует различиям в характеризации; более высокое содержание фазы меди приводит к более сильному поглощению в ближнем инфракрасном диапазоне, и изменяется поведение зонда в отношении теплового излучения.

Применение абсорбционной спектроскопии очевидно в контроле качества поверхности; аномалии поглощения выявляют окисление или загрязнение, направляя процессы полировки. Спектры поглощения оправок в освещенных условиях сборки позволяют оценить блики; плоские спектральные линии указывают на более мягкие отражения. Испытания на химическую стабильность выявляют изменения в спектрах поглощения, при этом пики поглощения смещаются после коррозии. Характеризация оптических свойств заклепочных оправок из вольфрамового сплава с помощью абсорбционной спектроскопии обеспечивает спектральный взгляд на взаимодействие света, поддерживает оптимизацию поверхности инструмента посредством анализа кривых и служит основой для визуальной адаптации во время клепальных операций.

#### **4.3.4 Вклад сечения поглощения нейтронов в радиационную защиту стержня заклепки из вольфрамового сплава**

Вклад сечения поглощения нейтронов в радиационную защиту стержня из вольфрамового сплава, используемого в качестве заклепки, в основном обусловлен его способностью ослаблять нейтронный поток. Этот вклад помогает снизить воздействие нейтронного излучения при использовании верхнего стержня в качестве вспомогательного экранирующего элемента. Ядра вольфрама обладают высокими сечениями рассеяния и поглощения нейтронов, высокоплотная структура верхнего стержня усиливает объемное ослабление, а фаза связи модулирует общий отклик. Сечение поглощения нейтронов описывает вероятность ядерных реакций; изотопы вольфрама вносят основной вклад в рассеяние и умеренную энергию нейтронов.

Механизм рассеяния проявляется в многократном рассеянии. После попадания в верхний стержень нейтроны теряют кинетическую энергию в результате многократных столкновений, и часть её поглощается. Затухание становится более выраженным с увеличением толщины верхнего стержня. С химической точки зрения, введение лёгких ядер, таких как водород, в легирующие элементы может способствовать замедлению рассеяния, но в системе верхнего стержня преобладает вольфрам, поэтому рассеяние является основным процессом. Термическая обработка не изменяет поперечное сечение, но улучшает эффективный путь рассеяния за счёт достижения более однородной микроструктуры.

##### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

Вклад сечения поглощения нейтронов оценивался с помощью моделирования или экспериментов. Оправка действует как локальный экран в радиационной среде, уменьшая воздействие рассеянных нейтронов на окружающую среду. Изменение состава влияет на этот вклад; более высокое содержание вольфрама приводит к большему сечению и более стабильному экранирующему эффекту. Состояние поверхности влияет на падающее излучение; полировка уменьшает потери на отражение. Вклад сечения поглощения нейтронов вольфрамовой заклепочной оправкой обеспечивает ядерно-физический взгляд на взаимодействие с излучением, поддерживая безопасность инструмента в радиационно-активных сборках за счет ослабления излучения и играя экранирующую роль в особых условиях.

#### **4.4 Паспорт безопасности материалов (MSDS) заклепочных стержней из вольфрамового сплава от CTIA GROUP LTD.**

Паспорт безопасности материала (MSDS) для заклепочных оправок из вольфрамового сплава, производимых компанией Zhongwu Intelligent Manufacturing, представляет собой документ, содержащий информацию о безопасности стержневых инструментов из вольфрамового сплава, выпускаемых компанией Zhongwu Intelligent Manufacturing. Этот документ соответствует международным стандартам и соответствующим национальным нормам, предоставляя оценку рисков и рекомендации по защите материалов во время производства, транспортировки, хранения, использования и утилизации. Продукция Zhongwu Intelligent Manufacturing из вольфрамового сплава в основном включает серии вольфрам-никель-железо и вольфрам-никель-медь, используемые для сборки и соединения компонентов и т. д.

Общая структура паспорта безопасности материала (MSDS) обычно делится на несколько разделов, каждый из которых анализирует поведение материала с химической точки зрения. Например, информация о составе акцентирует внимание на композитных свойствах вольфрамового сплава, в котором вольфрам является основным элементом, обеспечивающим высокую плотность, в то время как связующие элементы, такие как никель и железо, влияют на потенциальные реакции при контакте с кожей. В процессе составления документа компания China Tungsten Manufacturing Co., Ltd. учла характеристики порошковой металлургии сплава. Процессы спекания и прокатки могут вносить следовые примеси; поэтому в документе указаны меры контроля чистоты, чтобы избежать дополнительных рисков, вызванных оксидами или карбидами. В разделе, посвященном транспортировке, обсуждается стабильность сплава в твердом состоянии, с акцентом на влагонепроницаемую упаковку для предотвращения окисления поверхности. Утилизация отходов включает в себя переработку, соблюдение экологических требований и извлечение вольфрамовых ресурсов путем химического восстановления.

В описании клепальных оправок из вольфрамового сплава подробно указан химический состав сплава. Как правило, вольфрам является доминирующим компонентом, обеспечивающим высокую плотность и твердость, а в качестве связующих фаз добавляются никель, железо или медь. Пропорции корректируются в зависимости от серии; например, в системе вольфрам-никель-железо соотношение никеля и железа обеспечивает баланс между смачиванием и упрочнением.

##### **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](http://www.ctia.com.cn)

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

Содержание микроэлементов, таких как углерод и кислород, контролируется на низком уровне, чтобы избежать образования охрупчивающих фаз. В химическом отношении для идентификации элементов используются номера CAS: вольфрам CAS 7440-33-7, никель CAS 7440-02-0. Раскрываются примеси, включая потенциальные загрязняющие вещества, такие как фосфор и сера, происходящие из сырья, с акцентом на процессы очистки для снижения их содержания.

В описании оправки из вольфрамового сплава также приводится описание фазовой структуры сплава. В двухфазном композите частицы вольфрама имеют объемно-центрированную кубическую структуру, а связующая фаза представляет собой твердый раствор с гранецентрированной кубической структурой. Он химически стабилен и не содержит летучих компонентов. Анализ растворимости показывает, что материал нерастворим в воде, медленно реагирует в слабых кислотах и выделяет вольфрамат. В декларации о чистоте указано, что оправка из сплава изготовлена методом порошковой металлургии и обладает высокой стабильностью от партии к партии.

При оценке рисков для здоровья, физических и экологических рисков, связанных с использованием заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов, компания Zhongwu Intelligent Manufacturing проводит систематическую оценку на основе химической активности состава сплава. Опасности для здоровья в основном связаны с пылью или обломками, образующимися в процессе обработки; частицы вольфрама могут вызывать механическое раздражение, а никель обладает сенсибилизирующим потенциалом, приводящим к аллергическим реакциям на коже или дыхательных путях. Физические опасности включают риск удара из-за высокой плотности оправки из сплава и потенциальный источник возгорания от искр, образующихся при резке. Оценка экологических опасностей учитывает низкую растворимость вольфрамовых сплавов, которые нелегко выщелачиваются в почву при утилизации; однако порошкообразная форма может влиять на водные организмы за счет накопления осадка.

Метод идентификации основан на стандарте GHS, и верхний стержень из вольфрамового сплава классифицируется как неопасное твердое вещество.



CTIA GROUP LTD. Заклепочный стержень 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](http://www.ctia.com.cn)

电话/TEL: 0086 592 512 9696  
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V  
[sales@chinatungsten.com](mailto: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 ( $17\text{-}19 \text{ g/cm}^3$ ), 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**

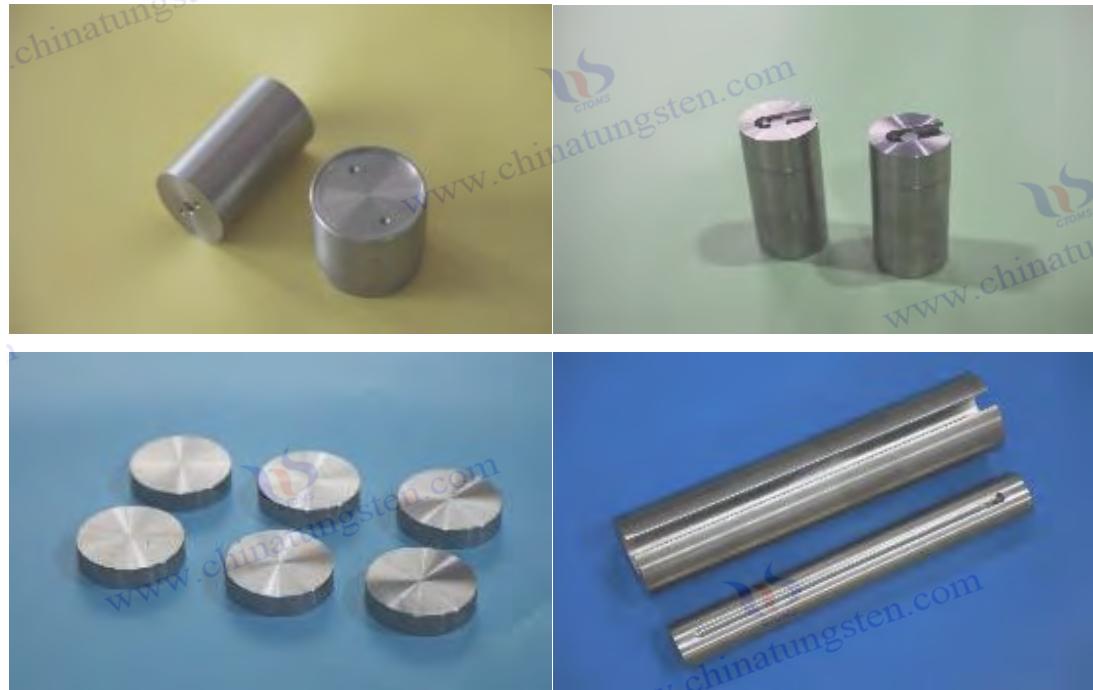
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

Tel: +86 592 5129696

Official website: [www.tungsten-alloy.com](http://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](http://www.ctia.com.cn)

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

## Глава 5. Механические свойства заклепочных стержней из вольфрамового сплава.

### 5.1 Прочность и твердость верхушек заклепок из вольфрамового сплава

заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов определяют их сопротивление деформации и долговечность во время ударных нагрузок при клепке и поддерживающих процессов. Прочность включает в себя сопротивление растяжению, сжатию и удару, а твердость отражает сопротивление поверхности вдавливанию или износу. Двухфазная структура вольфрамовых сплавов обеспечивает эти свойства: частицы вольфрама образуют высокотвердый каркас, а связующая фаза координирует вязкость, предотвращая хрупкое разрушение. Этот баланс прочности и твердости позволяет оправке выдерживать многократные нагрузки, что приводит к равномерному формированию заклепок.

Прочность и твердость обусловлены процессом порошковой металлургии, за которым следует термическая обработка для улучшения микроструктуры после спекания и уплотнения, что приводит к высокой осевой прочности и равномерной твердости поверхности оправки. Химически, межфазная связь прочная, а распределение напряжений постепенное. Используются стандартизованные методы испытаний, при этом прочность оценивается с помощью испытаний на растяжение или удар, а твердость измеряется методом индентации. Оптимизация характеристик достигается путем корректировки состава и термической обработки; более высокое содержание вольфрама приводит к большей твердости, а более высокая доля связующей фазы способствует повышению ударной вязкости.

Оправки из вольфрамового сплава в клепальных инструментах обеспечивают надежную опору, минимальную деформацию оправки и стабильное качество заклепочного соединения. В различных областях применения прочность и твердость подбираются в соответствии с материалом заклепки; высокопрочные оправки используются для стальных заклепок, а сбалансированные — для алюминиевых. Прочность и твердость оправок из вольфрамового сплава демонстрируют механические преимущества композитных материалов, способствуя улучшению процессов сборки за счет координации характеристик и обеспечивая практическую ценность в промышленных соединениях.

#### 5.1.1 Метод испытания на прочность при растяжении заклепочных оправок из вольфрамового сплава

Метод испытания на прочность при растяжении заклепочных оправок из вольфрамового сплава в основном основан на стандартном испытании на растяжение. Этот метод оценивает несущую способность при растяжении и характер разрушения оправки при одноосном нагружении, что помогает понять реакцию материала на растягивающее напряжение. Образцы для испытаний вырезаются из оправки или обрабатываются в форме гантели или цилиндра с использованием специальной заготовки с гладкими поверхностями во избежание концентрации напряжений. Испытательная машина зажимает оба конца образца, прикладывает равномерное натяжение и

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

регистрирует кривые зависимости нагрузки от смещения. В процессе деформации преобладают химическое дислокационное скольжение и разделение границ раздела.

Метод включает предварительную настройку нагрузки, непрерывную нагрузку и измерение после разрушения. Связующая фаза оправки координирует деформацию частиц вольфрама, и кривая растяжения показывает как упругие, так и пластичные участки. Наблюдение и анализ поверхности разрушения выявляют механизм пластического разрушения с ямками, указывающими на пластическое разрушение, и хрупкими тенденциями в плоскостях скола. Испытательные условия поддерживаются при комнатной температуре; любые температурные эффекты должны быть отмечены. Этот метод испытания на прочность при растяжении оправок из вольфрамового сплава выявляет двухфазную синергию: фаза вольфрама несет высокие нагрузки, в то время как связующая фаза поглощает энергию.

Данный метод испытания применяется при приемке материалов и проверке технологических процессов. После спекания оценивается прочность на растяжение оправки по плотности, а также сравнивается эффект упрочнения после термообработки. Химическая чистота влияет на результаты испытания; примеси снижают прочность. Стержнеобразная форма оправки позволяет проводить осевой отбор проб, отражающий фактическое напряжение. Метод испытания на прочность на растяжение оправок из вольфрамового сплава обеспечивает количественный подход к определению прочностных характеристик, поддерживает оценку прочности инструмента посредством анализа кривых и служит ориентиром для проектирования клепальных систем.

### 5.1.1.1 Механизм разрушения верхушек заклепок из вольфрамового сплава при статической нагрузке

В условиях статической нагрузки на заклепочные оправки из вольфрамового сплава основное влияние оказывают напряженно-деформированная структура и накопление повреждений в двухфазной микроструктуре. Этот механизм демонстрируется в испытаниях на растяжение или изгиб, что помогает анализировать режим разрушения оправки при медленной нагрузке. На начальном этапе происходит упругая деформация, при этом основное напряжение несет каркас из частиц вольфрама, а связующая фаза координирует деформацию. По мере увеличения нагрузки дислокации в связующей фазе размножаются, напряжение концентрируется на границе раздела фаз, и хотя химически зона диффузии элементов обеспечивает буферизацию, сегрегация примесей легко приводит к образованию микропор.

На более поздних стадиях процесса микропоры сливаются, образуя пустоты, что приводит к сужению зерен вольфрама. Связующая фаза между зернами вольфрама растягивается и истончается, и окончательное разрушение определяется разделением границ раздела или разрушением зерен. Характеристики разрушения показывают сочетание ямок и сколов, причем больше ямок в связующей фазе и плоских поверхностей скола в фазе вольфрама. Термическая обработка оптимизирует механизм; отжиг измельчает зерна, уменьшает образование пустот и улучшает пластичность разрушения зерен вольфрама. Механизм статической нагрузки также

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

зависит от состава. Система никель-медь имеет высокое соотношение ямок и большое удлинение при разрушении; система никель-железо обладает высокой прочностью, но несколько большей склонностью к расщеплению. Более низкая химическая чистота приводит к меньшему количеству примесей и более пластичному механизму разрушения. Сила, действующая на стержнеобразный стержень, является осевой, и механизм разрушения распределен по его длине. Механизм разрушения заклепочного стержня из вольфрамового сплава при статической нагрузке отражает путь разрушения композитных материалов, поддерживает проектирование прочности инструмента посредством регулирования микроструктуры и обеспечивает понимание механизма разрушения в системах клепки.

#### **5.1.1.2 Влияние динамической нагрузки на верхнюю часть заклепки из вольфрамового сплава**

Динамические нагрузки на оправки заклепок из вольфрамового сплава проявляются главным образом в поглощении энергии удара и деформационном отклике. Этот эффект особенно заметен в условиях высокоскоростной клепки или вибрации, когда оправка выступает в качестве опорного элемента, воспринимающего мгновенные высокие нагрузки. Во время динамической нагрузки энергия быстро передается, каркас из частиц вольфрама сопротивляется сжатию, связующая фаза координирует деформацию, поглощая часть кинетической энергии, вмятина на рабочей поверхности оправки равномерна, а хвостовая часть заклепки имеет равномерную форму. Химические дислокации быстро размножаются, волны напряжений распространяются внутри оправки, а межфазное соединение смягчает и предотвращает расслоение.

К эффектам также относятся эффекты скорости деформации, проявляющиеся в небольшом увеличении прочности при динамической нагрузке и повышении сопротивления деформации оправки, однако чрезмерные нагрузки могут вызывать микроповреждения. Динамическая нагрузка сопровождается термическими эффектами: трение нагрев вызывает локальное повышение температуры, а теплопроводность вольфрамового сплава способствует рассеиванию тепла, что приводит к небольшому температурному градиенту в оправке. Повторяющаяся динамическая нагрузка накапливает усталость, что приводит к замедлению распространения микродефектов в оправке и стабильному сроку службы. Факторы, влияющие на динамическую нагрузку, включают диаметр оправки и форму торцевой поверхности; больший диаметр приводит к большей инерции и лучшему поглощению энергии, в то время как вогнутые поверхности уменьшают концентрацию напряжений и минимизируют деформацию. Оптимизация термообработки также играет роль; отжиг снижает остаточные напряжения, что приводит к более плавному динамическому отклику оправки.

#### **5.1.2 Количественная оценка твердости по Виккерсу в заклепочных оправках из вольфрамового сплава**

Количественная оценка твердости по Виккерсу в заклепочных оправках из вольфрамового сплава в основном осуществляется с помощью испытания алмазным индентором. Эта количественная

##### **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](http://www.ctia.com.cn)

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

оценка помогает оценить сопротивление поверхности оправки вдавливанию, отражающее ее износостойкость при клепке. Испытание включает полировку образца оправки, приложение нагрузки индентором для создания квадратного отпечатка и измерение диагонали для расчета значения твердости. С химической точки зрения, твердость определяется преимущественно вольфрамовой фазой, в то время как связующая фаза модулирует общую твердость. Высокая твердость на рабочей поверхности оправки способствует ее сопротивлению вдавливанию заклепки. Однородность процесса количественной оценки оценивается с помощью многоточечных измерений; постоянная твердость вдоль осевого направления и торцевой поверхности стержня указывает на стабильную микроструктуру. Термическая обработка влияет на количественную оценку; отжиг снижает твердость и повышает ударную вязкость, в то время как старение с осаждением повышает твердость и упрочняет поверхность. Корректировка состава позволяет количественно оценить различия; Более высокое содержание вольфрама повышает твердость, в то время как более высокое содержание меди обеспечивает умеренную твердость. Обработка поверхности, такая как гальваническое покрытие, количественно определяет твердость поверхности и улучшает износостойкость стержня. Количественная оценка твердости по Виккерсу помогает в выборе оправки; оправки высокой твердости используются для твердых заклепок, а оправки низкой твердости обеспечивают баланс между поглощением удара и твердостью. Количественная оценка также позволяет оценить результаты обработки, обеспечивая равномерную твердость и стабильную поверхность оправки после шлифовки. Количественная оценка твердости по Виккерсу в оправках для заклепок из вольфрамового сплава обеспечивает числовой эталон для свойств поверхности, поддерживает оценку износостойкости инструмента с помощью анализа вдавливания и способствует обеспечению качества в практике клепки.

### **5.1.3 Оценка заклепочных стержней из вольфрамового сплава методом испытаний на растяжение**

заклепочных оправок из вольфрамового сплава в основном осуществляется путем одноосного испытания на растяжение. Эта оценка помогает понять несущую способность и характер разрушения оправки под действием растягивающего напряжения, обеспечивая эталон прочности для заклепочных креплений. Образец для испытаний вырезается из оправки в стандартной форме, зажимается и растягивается с постоянной скоростью. Записывается кривая зависимости нагрузки от смещения. С химической точки зрения, связующая фаза расширяет и координирует частицы вольфрама. Кривая показывает упругий и пластический сегменты.

В процессе оценки анализировались предел текучести и относительное удлинение при разрушении. Высокая доля связующей фазы в оправке обеспечивала хорошую пластичность, в то время как преобладала вольфрамовая фаза, что приводило к высокой прочности. Механизм разрушения оценивался по наблюдению поверхности излома; ямки указывали на пластичность, а плоскости скола — на склонность к хрупкости. Эффективность термической обработки оценивалась; отжиг улучшал относительное удлинение и вязкость оправки. Оценивались различия в составе; никель-медная система демонстрировала высокую пластичность, а никель-железная система — высокую прочность.

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

Испытания на растяжение позволяют оценить осевые свойства оправок, а испытания на изгиб имитируют боковые нагрузки. Результаты этих испытаний определяют технологический процесс: спекание обеспечивает стабильную прочность на растяжение, а горячая обработка и волокнистая обработка повышают прочность. Испытания на растяжение дают экспериментальное представление о реакции оправок из вольфрамового сплава на растяжение, способствуя пониманию прочности инструмента по кривым и поверхностям разрушения, а также предоставляя основу для оценки конструкции заклепочных устройств.

#### **5.1.4 Оценка заклепок из вольфрамового сплава методом испытаний на сжатие**

Испытания на сжатие оправок из вольфрамового сплава в основном проводятся путем осевых испытаний на сжатие. Эта оценка помогает понять несущую способность при сжатии и деформационное поведение оправки в опоре для клепки, предоставляя ориентир для оценки характеристик инструмента при ударных нагрузках. Образец для испытаний представляет собой короткий цилиндрический отрезок, вырезанный из оправки, с параллельными и гладкими торцевыми поверхностями. Осевая нагрузка прикладывается испытательной машиной, и регистрируется кривая напряжение-деформация. С химической точки зрения, каркас из частиц вольфрама сопротивляется сжатию, в то время как связующая фаза координирует боковое расширение, предотвращая преждевременную деформацию ствола. В процессе оценки анализировались предел текучести и предел прочности. Двухфазная структура оправки приводила к тому, что кривая сжатия демонстрировала пластическое плато после упругого участка, при этом связующая фаза расширялась и поглощала энергию. В разрушенном образце наблюдалось боковое выпучивание; равномерная деформация наблюдалась, когда оправка обладала хорошей ударной вязкостью. Испытательные условия поддерживались при комнатной температуре, а высокотемпературные варианты использовались для оценки термического размягчения. Оценка результатов испытаний на сжатие оправки из вольфрамового сплава выявила реакцию на сжатие; высокое содержание вольфрама приводило к стабильной прочности, а соотношение связующей фазы было хорошо сбалансировано с ударной вязкостью.

Испытания на сжатие служат ориентиром для процесса оценки. Спекание и уплотнение обеспечивают высокую прочность на сжатие, в то время как горячая обработка и фиброусадка повышают осевую прочность на сжатие. Химическая чистота влияет на оценку; примеси снижают прочность. Стержнеобразная форма оправки позволяет имитировать сжатие реальной опоры. Испытания на сжатие обеспечивают экспериментальный взгляд на напряжение сжатия при оценке заклепочных оправок из вольфрамового сплава. Анализ кривых помогает понять несущую способность инструмента и вносит вклад в основу оценки в практике клепки.

##### **5.1.4.1 Исследование влияния скорости деформации на заклепочные оправки из вольфрамового сплава**

Исследования влияния скорости деформации на заклепочные оправки из вольфрамового сплава в основном сосредоточены на реакции скорости нагружения на деформацию и прочность. Эти

###### **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](http://www.ctia.com.cn)

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

исследования помогают проанализировать различия в характеристиках оправок при разных скоростях клепки. При низких скоростях деформации деформация оправки происходит медленно, связующая фаза эффективно координирует частицы вольфрама, что приводит к стабильной прочности и длительному пластическому плато. При высоких скоростях деформации, например, при ударной клепке, размножение дислокаций происходит быстро, что приводит к увеличению прочности оправки, но снижению пластичности. С химической точки зрения, связующая фаза проявляет чувствительность к скорости деформации, модулируя общую реакцию.

В исследовании использовались испытания на сжатие с различной скоростью или испытания с падающим грузом, регистрировались кривые для сравнения поведения при деформации и разрушении. При высоких скоростях деформации адиабатический нагрев приводил к локальному размягчению оправки, но вольфрамовый каркас обеспечивал ограничение деформации, что приводило к хорошему контролю деформации. Исследование выявило двухфазную синергию: соотношение частиц вольфрама было нечувствительным, обеспечивая жесткость, в то время как соотношение связующей фазы было чувствительным, поглощая энергию. Была исследована термическая обработка, показавшая, что отжиг снижает скорость изменения, и оправка адаптируется к широкому диапазону скоростей сжатия.

Изучение влияния скорости деформации определяет области применения; ручная клепка с низкой скоростью деформации обеспечивает хорошую прочность, в то время как пневматическая клепка отдает приоритет прочности при высокой скорости деформации. Исследования химического состава показывают, что преобладает медная фаза, что приводит к низкой чувствительности к скорости деформации и высокой стабильности оправки при высоких скоростях. Изучение влияния скорости деформации в оправках для заклепок из вольфрамового сплава дает представление о свойствах материала при динамической нагрузке, а сравнение скоростей позволяет адаптировать инструмент к скорости вращения, что способствует развитию исследований в области клепки с переменной скоростью.

#### 5.1.4.2 Анализ поверхности излома заклепок из вольфрамового сплава

Анализ поверхности излома позволяет получить представление о свойствах заклепочных оправок из вольфрамового сплава, главным образом, посредством наблюдения за поверхностями излома при сжатии или растяжении с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Этот анализ выявляет механизмы разрушения и микроструктурные характеристики, способствуя улучшению конструкции ударопрочных оправок. Особенности поверхности излома показывают сочетание ямок и сколов; глубина ямок в области связанной фазы отражает пластичность, в то время как плоскость поверхностей скола зерен вольфрама указывает на общую хрупкость. С химической точки зрения, распределение элементов наблюдается в зонах межфазного разделения, при этом значительная сегрегация примесей наблюдается при слабой связи.

После разрушения образца была проведена очистка, выявившая сложный путь разрушения в верхнем стержне. Изображения, полученные с помощью электронной микроскопии с высоким

##### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

увеличением, показали, что разрушение распространялось вдоль связующей фазы, а частицы вольфрама демонстрировали минимальное разрушение. Анализ различных условий нагружения выявил многочисленные ямки на статической поверхности разрушения и отчетливые полосы сдвига на динамической поверхности разрушения. Анализ термической обработки показал наличие однородных ямок после отжига, в то время как старение изменило путь разрушения из-за осаждения, препятствующего распространению трещин.

Анализ поверхности излома позволяет получить представление о контроле процесса, выявляя дефекты спекания на поверхности излома и обеспечивая оптимизацию уплотнения для уменьшения источников пустот. Анализ состава показывает высокую долю ямок в медной фазе, что приводит к хорошей устойчивости оправки к хрупкости. Анализ поверхности излома обеспечивает микроскопическое представление о механизмах разрушения в оправках из вольфрамовых сплавов, способствуя пониманию механизма работы инструмента посредством морфологических исследований и внося вклад в повышение долговечности клепки.

#### **5.1.5 Дополнительная проверка прочности на изгиб механических свойств заклепочных оправок из вольфрамового сплава**

Прочность на изгиб заклепочных оправок из вольфрамового сплава определяется главным образом с помощью трехточечных или четырехточечных испытаний на изгиб. Эта проверка помогает оценить несущую способность оправки и ее деформационное поведение под воздействием боковых нагрузок, предоставляя дополнительные данные о ее боковой устойчивости в заклепочных опорах. Образец для испытаний представляет собой прямоугольную полосу, вырезанную из оправки, с параллельными торцами. Испытательная машина прикладывает изгибающую нагрузку, регистрируя прогиб и нагрузку разрушения. Химически, каркас из частиц вольфрама сопротивляется изгибающему напряжению, а связующая фаза координирует поверхностное натяжение и сжатие, предотвращая преждевременное разрушение. Кривая изгиба показывает пластическую деформацию после упругого участка. Двухфазная структура оправки приводит к длинному плато кривой, что указывает на хорошую вязкость перед разрушением.

В процессе проверки был проанализирован характер распределения напряжений. При изгибе нейтральный слой оправки слегка смешался, а градиент поверхностных напряжений был пологим. После разрушения наблюдалась путь распространения трещины вдоль связующей фазы, при этом частицы вольфрама перекрывали и замедляли распространение. Термическая обработка подтвердила этот эффект: отжиг улучшил удлинение при изгибе и гибкость оправки. Были выявлены различия в составе: никель-медная система показала сбалансированную прочность на изгиб, в то время как никель-железная система имела более высокую прочность, но несколько меньшую гибкость.

Испытание на прочность при изгибе дополнительно подтверждает осевую прочность оправки, при этом стержнеобразная структура имитирует боковой удар. Эта проверка определяет процесс;

#### **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](http://www.ctia.com.cn)

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

прочность при изгибе остается стабильной после спекания и уплотнения, а внешняя прочность при изгибе увеличивается после горячей обработки и волокнистой обработки . Химическая чистота влияет на результаты проверки, поскольку примеси снижают прочность. Проверка прочности оправки на изгиб обеспечивает экспериментальное представление о боковой реакции, поддерживая механическое понимание инструмента посредством кривых и поверхностей разрушения и внося вклад в основу проверки конструкции клепальных машин.

## 5.2 Прочность и усталостное поведение верхушек заклепок из вольфрамового сплава

Важными аспектами механических свойств заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов являются их характеристики. Это поведение, проявляющееся при многократных ударах и циклических нагрузках, помогает оправке сохранять долговременную стабильность и предотвращать внезапное разрушение. К ударной вязкости относятся вязкость разрушения и вязкость вискоэластичности, в то время как усталостное поведение фокусируется на накоплении повреждений и сроке службы. Двухфазная структура вольфрамовых сплавов обеспечивает эти свойства: частицы вольфрама образуют твердый барьер, а связующая фаза поглощает энергию и координирует деформацию. Вязкость предотвращает хрупкое разрушение оправки при ударе заклепки, а усталостное поведение обеспечивает высокочастотную эксплуатацию.

Механизмы поведения проявляются в микроскопических повреждениях: двойниковое скольжение связующей фазы при ударе и образование устойчивых полос вследствие накопления дислокаций в течение циклов усталости. Термическая обработка оптимизирует это поведение; отжиг снимает напряжение и повышает ударную вязкость, а старение штифтов приводит к осаждению, повышая усталостную прочность. Корректировка состава влияет на поведение, обеспечивая хорошую ударную вязкость в никель-медной системе и высокую усталостную прочность в никель-железной системе. Поведенческие испытания определяют области применения: ударные испытания оценивают поглощение энергии, а испытания на усталость имитируют циклическую долговечность. Оправки из вольфрамового сплава в клепальных инструментах демонстрируют долговечность и надежность, с минимальной деформацией оправки и стабильным качеством соединения. В приложениях поведение подбирается в соответствии с условиями работы; оправки с высокой ударной вязкостью используются в вибрационных средах, а оправки с высокой усталостной прочностью подходят для непрерывной работы. Ударная вязкость и усталостное поведение оправок из вольфрамового сплава отражают динамический отклик композитных материалов, а оптимизация поведения способствует увеличению срока службы инструмента, обеспечивая надежную работу в сборочной практике.

### 5.2.1 Влияние ударной вязкости на долговечность заклепочных оправок из вольфрамового сплава

Ударная вязкость заклепочных оправок из вольфрамового сплава в первую очередь обусловлена их способностью поглощать мгновенную энергию и противостоять внезапным повреждениям. Этот эффект демонстрируется при ударах заклепочного молотка, помогая оправке сохранять

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

структурную целостность и обеспечивать непрерывность. Ударная вязкость оценивается с помощью испытаний по Шарпи или ударов молотком. Образец оправки демонстрирует высокое поглощение энергии в месте надреза, при этом химически связанная фаза расширяется и перекрывает трещину, в то время как частицы вольфрама блокируют путь распространения. Механизм включает в себя двухфазную синергию: жесткий вольфрамовый каркас поглощает часть кинетической энергии, в то время как связанная фаза пластически деформируется и поглощает оставшуюся часть, предотвращая хрупкое разрушение.

Ударный процесс делится на этапы: упругое поглощение на начальном этапе, пластическая деформация на среднем этапе и медленное распространение трещин на более позднем этапе. Термическая обработка усиливает эффект; отжиг измельчает зерна и повышает вязкость, а старение и осаждение упрочняют границы. Состав также играет роль; наличие фазы меди способствует хорошей вязкости и обеспечивает согласованную деформацию при ударе оправки. Ударная вязкость определяет долговечность оправок при высокочастотной клепке, обеспечивая хорошее поглощение энергии и длительный срок службы. Ударная вязкость обеспечивает материальную поддержку динамических нагрузок на долговечность оправки, способствует адаптации инструмента к удару за счет механизма поглощения и вносит вклад в основу долговечности в практике клепки.

### **5.2.2 Применение анализа циклической усталости в верхней части заклепок из вольфрамового сплава**

Анализ циклической усталости заклепочных оправок из вольфрамового сплава в основном включает моделирование накопления повреждений и поведения при разрушении под воздействием многократных нагрузок. Этот анализ помогает понять долговечность оправки в условиях высокочастотной клепки и направляет оптимизацию материала для увеличения общего срока службы. Анализ циклической усталости обычно включает испытания на вращательный изгиб или осевое растяжение/сжатие, при этом образец оправки помещается в периодическое поле напряжений, и регистрируется количество циклов и развитие повреждений. С химической точки зрения, связующая фаза координирует микронапряжения во время циклов, в то время как каркас из частиц вольфрама препятствует распространению усталостных трещин. Процесс анализа проводится в несколько этапов: сначала оценивается пороговое значение низкого напряжения, затем наблюдается ускоренное повреждение при высоком напряжении. Двухфазная структура оправки приводит к более плавной кривой усталости в форме SN, с началом повреждения на поверхности или границе раздела.

В практических применениях анализ циклической усталости позволяет выявить механизм усталости оправки. Первоначально происходит накопление дислокаций, образующих устойчивую полосу; на средней стадии в связующей фазе зарождаются микротрещины; а на более поздней стадии распространение через частицы вольфрама приводит к разрушению. Оптимизация термической обработки в ходе анализа показывает, что отжиг снижает остаточные напряжения и повышает порог усталости. Различия в составе указывают на то, что никель-медная

#### **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](http://www.ctia.com.cn)

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

система обладает хорошей усталостной вязкостью, но демонстрирует изгибные пути распространения трещин при циклической нагрузке; никель-железная система обладает высокой прочностью, но несколько более подвержена усталости. Анализ помогает в проектировании оправок; полировка поверхности уменьшает количество точек зарождения трещин, что приводит к получению оправок с высокой устойчивостью к циклической нагрузке.

Анализ циклической усталости также включает наблюдение за поверхностью излома, при этом сканирующая электронная микроскопия выявляет полосы усталости и плоскости скола. Анализ траектории повреждения оправки оптимизирует микроструктуру. Анализ контроля деформации оценивает низкоцикловую усталость, выявляя минимальную деформацию оправки и длительный срок службы при высокочастотной клепке. В анализ включены факторы окружающей среды, при этом коррозионные среды ускоряют усталость, а покрытие оправки обеспечивает защиту. Применение анализа циклической усталости к заклепочным оправкам из вольфрамового сплава обеспечивает экспериментальную перспективу для прогнозирования срока службы, поддерживает оптимизацию долговечности инструмента посредством исследований повреждений и способствует пониманию механизмов клепки на практике.

Систематический анализ обеспечивает стабильную усталостную прочность в разных партиях оправок, что позволяет корректировать параметры спекания на основе производственной информации. Усталостное поведение вольфрамовых сплавов характеризуется синергией фаз: связующая фаза поглощает циклическую энергию, а вольфрамовая фаза предотвращает растрескивание. Области применения расширены до программного обеспечения для моделирования, где анализ методом конечных элементов прогнозирует зоны повышенной усталости, а оптимизация формы оправки снижает концентрацию напряжений. Циклический анализ усталости заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов обеспечивает динамическую оценку для материаловедения, позволяя управлять сроком службы инструмента за счет циклической реакции и демонстрируя практическую ценность в области сборки.

### **5.2.3 Метод измерения трещиностойкости заклепочных оправок из вольфрамового сплава**

Измерение трещиностойкости заклепочных оправок из вольфрамового сплава в основном осуществляется с помощью трехточечных испытаний на изгиб или компактных испытаний на растяжение на предварительно треснувших образцах. Этот метод помогает оценить сопротивление оправки распространению трещин в присутствии трещин, определяя сопротивление материала разрушению в ударных опорах. Образец для испытаний представляет собой прямоугольную полосу или диск, вырезанный из оправки, с предварительно созданной трещиной для имитации реального повреждения. Изгибающие или растягивающие нагрузки прикладываются с помощью испытательной машины, и регистрируется кривая распространения трещины. Химически связанная фаза перекрывает трещину, а частицы вольфрама блокируют путь. Кривая показывает пик нагрузки и стабильный сегмент распространения.

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

Процесс измерения включает в себя предварительную подготовку трещины, циклическую усталость или надрез для создания вершинной трещины, а также использование оправки с двухфазной структурой для инициирования трещины в связующей фазе. Испытания на изгиб включают зажим образца с обоих концов и приложение нагрузки к центру; измеряется раскрытие трещины для расчета параметров вязкости разрушения. Компактный метод растяжения предполагает растяжение обоих концов образца с помощью зажимов, фиксирующих зону трещины; при хорошей вязкости оправки распространение трещины происходит медленно. Испытательные условия поддерживаются при комнатной температуре; высокотемпературные варианты используются для оценки термической вязкости разрушения.

Методы измерения трещиностойкости выявляют механизм «толкающего стержня» : трещины распространяются вдоль связующей фазы, а образование ямок в зернах вольфрама замедляет распространение. Измерения термической обработки показывают, что отжиг улучшает трещиностойкость, а путь разрушения «толкающего стержня» становится более изгибным. Различия в составе показывают, что система никель-медь обладает высокой трещиностойкостью и большим количеством перекрывающихся трещин; никель-железо обладает высокой прочностью, но умеренной трещиностойкостью. Измерения позволяют определить процесс: спекание уплотняет структуру, что приводит к стабильной трещиностойкости; горячая обработка и волокнистая обработка повышают трещиностойкость при изгибе.

Измерение трещиностойкости заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов обеспечивает экспериментальный взгляд на сопротивление растрескиванию, способствует пониманию прочности инструмента за счет расширенного анализа и вносит вклад в оценку при проектировании клепальных систем. Систематическое применение измерения обеспечивает стабильную прочность в разных партиях оправок, позволяя корректировать параметры на основе производственной информации. В ходе измерения демонстрируется фазовая синергия разрушения вольфрамовых сплавов, при которой связующая фаза создает мостиковые связи, а вольфрамовая фаза препятствует распространению трещин. Применение метода распространяется на программное обеспечение для моделирования, где конечно-элементный анализ прогнозирует зоны повышенной трещиностойкости, а оптимизация формы оправки снижает вероятность образования трещин. Оценка заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов с помощью измерения трещиностойкости обеспечивает оценку повреждений в материаловедении, позволяет управлять прочностью инструментов на основе результатов измерений и демонстрирует практическую ценность в сборочном производстве. Глубина анализа делает прочность оправки предсказуемой в условиях высоких нагрузок, что повышает безопасность эксплуатации.

#### **5.2.4 Прогнозирование срока службы заклепочных оправок из вольфрамового сплава в результате высокоцикловой усталости**

Анализ влияния высокоциклической усталости на срок службы заклепочных оправок из вольфрамового сплава в основном проводится с помощью кривых SN и моделей накопления

##### **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](http://www.ctia.com.cn)

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

повреждений. Это позволяет анализировать долговечность оправки при низком напряжении и высокой циклической нагрузке, что помогает оценить срок службы инструмента в условиях высокочастотной клепки. Высокоцикловая усталость — это состояние, когда напряжение ниже предела текучести, но количество циклов велико. Образцы оправок испытываются на машинах для вращательного изгиба или осевого растяжения/сжатия, регистрируются количество циклов и характер разрушения. В условиях высокоциклической усталости связующая фаза координирует микроповреждения, а каркас из частиц вольфрама препятствует распространению трещин.

Метод прогнозирования включает построение кривых SN и тестирование срока службы при различных уровнях напряжения. Двухфазная структура оправки приводит к более пологому наклону кривой и более высокому пределу усталости. Модели накопления повреждений, такие как правило Майнера, интегрируют переменные нагрузки для прогнозирования срока службы в реальных условиях эксплуатации. При прогнозировании высокоциклической усталости оправки учитывается состояние поверхности; полировка снижает начальный предел и увеличивает срок службы. Термическая обработка также учитывается в процессе прогнозирования; отжиг снижает остаточные напряжения и повышает предел усталости.

Прогнозирование высокоциклической усталости выявляет механизм разрушения верхней части стержня: микроповреждения начинаются с накопления дислокаций, за которыми следует инициирование и распространение трещин на границах зерен, приводящих к разрушению. Различия в составе при прогнозировании показывают, что никель-медная система демонстрирует хорошую высокоциклическую вязкость и медленное разрушение при циклировании; никель-железные системы обладают высокой прочностью, но умеренными пределами усталости. Прогнозирование применимо к различным областям применения: ручная клепка отдает приоритет прочности при малом количестве циклов, в то время как высокочастотные пневматические системы ориентированы на длительный срок службы при большом количестве циклов. Управление химической чистотой минимизирует примеси и снижает вероятность возникновения высокоциклических повреждений.

Анализ обеспечивает математическую перспективу циклической реакции для прогнозирования срока службы заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов. Модельный анализ способствует пониманию срока службы инструмента и создает основу для прогнозирования при проектировании клепальных систем. Систематическое применение прогнозов обеспечивает стабильный срок службы оправок в партиях, позволяя получать обратную связь от производства для корректировки параметров спекания. Высокоциклическое поведение вольфрамовых сплавов отражается в прогнозе как синергетический эффект, при котором связующая фаза поглощает циклическую энергию, а вольфрамовая фаза предотвращает повреждения. Прогнозирование высокоциклической усталости обеспечивает динамическую модель для оценки срока службы заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов, позволяя управлять сроком службы инструмента за счет прогнозируемой реакции и демонстрируя практическую ценность в сборке. Глубина анализа позволяет прогнозировать срок службы оправок при непрерывной работе, что способствует оптимизации планов технического обслуживания.

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

### 5.3 Характеристики трения и износа верхних частей заклепок из вольфрамового сплава

Характеристики оправок для заклепок из вольфрамовых сплавов в первую очередь определяются контактным взаимодействием между их поверхностью и хвостовой частью заклепки. Эти характеристики влияют на скорость повреждения поверхности и общую долговечность оправки в процессе клепки. Характеристики трения связаны с сопротивлением скольжению между контактирующими поверхностями, а характеристики износа описывают процесс удаления материала. Двухфазная структура вольфрамовых сплавов обеспечивает гладкую поверхность с низким трением и твердую фазу, устойчивую к царапинам при медленном износе. Анализ характеристик помогает оптимизировать стабильность оправки при многократном использовании и уменьшает накопление точечных повреждений на поверхности.

Механизм трения и износа проявляется на рабочей поверхности оправки. Высокая твердость частиц вольфрама снижает въеточный износ, а прочность связующей фазы уменьшает адгезию. Трение увеличивается при образовании на поверхности слоя химического оксида, свойства которого улучшаются после удаления полировочной пленки. Характеристические испытания помогают в выборе материала; низкий коэффициент трения обеспечивает плавную деформацию заклепки, что приводит к низкой скорости износа и длительному сроку службы. Характеристики трения и износа оправок из вольфрамового сплава отражают реакцию поверхности композитных материалов. Характеристический контроль способствует долговечности инструмента и обеспечивает стабильную основу в практике клепки.

#### 5.3.1 Оптимизация верхней части заклепочного стержня из вольфрамового сплава на основе измерения коэффициента трения

Измерение коэффициента трения вольфрамовых заклепочных оправок в основном осуществляется с помощью испытаний на трение скольжения. Это измерение помогает оценить сопротивление поверхности оправки при контакте с заклепкой, что позволяет направлять обработку поверхности и корректировку состава для снижения трения и повышения эффективности клепки. Для измерения обычно используется установка типа «шифт-диск» или «шар-диск». Образец оправки закрепляется в виде диска, а нагрузка прикладывается к шлифовальному штифту во время его скольжения. Регистрируется отношение силы трения к нормальной силе. Химическим методом измеряется коэффициент влияния избирательного смачивания, который оказывается низким после полировки.

Кривые измерения, полученные в ходе анализа процесса, были оптимизированы. Смазка добавлялась при высоком коэффициенте сухого трения, а влияние охлаждающей жидкости проверялось во время влажного трения. Вольфрамовая фаза в выталкивающем штифте обладает высокой твердостью и низким коэффициентом; более высокая доля связующей фазы приводит к лучшей пластичности и более стабильному трению. Вариации измерений включали высокотемпературное трение, имитирующее условия горячей клепки, и увеличение коэффициента во время образования оксидного слоя выталкивающего штифта, что было

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

компенсировано защитным покрытием. Применение измерения коэффициента трения для оптимизации выталкивающего штифта находит отражение в управлении производством; при высоком коэффициенте корректируется текстура поверхности, а волочение проволоки снижает трение зеркала. Измерение состава направляющей показывает, что медная фаза имеет высокий коэффициент трения и низкий коэффициент трения, что приводит к более плавной деформации оправки . Измеряются изменения коэффициента после термообработки, указывающие на чистую и стабильную поверхность трения после отжига. Измерение коэффициента трения обеспечивает количественный подход к оптимизации взаимодействия поверхностей оправок из вольфрамового сплава , поддерживает контроль трения инструмента посредством анализа соотношения сил и способствует повышению эффективности операций клепки.

### **5.3.2 Обсуждение механизма износа в заклепочных планках из вольфрамового сплава**

Изучение механизмов износа в заклепочных оправках из вольфрамовых сплавов в основном включает адгезионный, абразивный и усталостный износ. Эти исследования помогают понять процесс удаления материала с рабочей поверхности оправки при контакте с заклепкой, что способствует разработке износостойких конструкций и стратегий технического обслуживания. Адгезионный износ возникает из-за размягчения и переноса связующей фазы на заклепку во время высокотемпературного контакта, за которым следует химическая межфазная реакция с образованием адгезионного слоя, приводящая к накоплению точечных повреждений на поверхности оправки. Абразивный износ проявляется в твердых заклепках, где внедренные частицы царапают вольфрамовую фазу, что приводит к образованию борозд на поверхности оправки. Усталостный износ проявляется при многократных ударах, при этом микровибрации приводят к отслаиванию поверхностного слоя и распространению усталостных трещин в связанной фазе оправки . Исследование механизма проводилось с помощью моделирования испытаний на износ, регистрации потери объема под нагрузкой и в условиях скольжения с использованием штифтового дискового устройства и наблюдения морфологии с помощью сканирующей электронной микроскопии. Наблюдался износ, вызванный химическим окислением, сопровождающийся ускоренным удалением поверхностного слоя из-за пористости. Полученные результаты позволяют оптимизировать процесс, включая упрочнение поверхности для уменьшения адгезии, нанесение покрытия для защиты от абразивных частиц и термообработку для повышения усталостной стойкости. Исследование механизма износа в заклепочных оправках из вольфрамового сплава обеспечивает понимание пути повреждения материала, способствует повышению износостойкости инструмента посредством типового анализа и вносит вклад в понимание механизмов клепки.

### **5.3.3 Анализ абразивного износа и повреждений поверхности заклепочных стержней из вольфрамового сплава**

Абразивный износ поверхности оправок заклепок из вольфрамового сплава в основном связан с режущим и царапающим воздействием твердых частиц во время контакта. Этот анализ помогает понять механизм изменения поверхности оправки при заклепке твердых заклепок или в средах,

#### **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](http://www.ctia.com.cn)

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

содержащих примеси. Абразивный износ возникает из-за внедрения хвостовиков или фрагментов заклепок в рабочую поверхность оправки . Во время относительного движения частицы прорезают канавки или микрорезы на поверхности. Химически частицы вольфрама обладают высокой твердостью и сопротивлением резанию, в то время как связующая фаза относительно мягкая и легко образует канавки. На ранних стадиях повреждения появляются мелкие царапины, а при дальнейшем воздействии канавки углубляются, и шероховатость поверхности увеличивается.

Процесс анализа был смоделирован с помощью испытаний на износ, в ходе которых образец толкателя скользил по абразивной среде, регистрируя потерю объема и морфологические изменения. Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) использовалась для наблюдения за морфологией борозд; на поверхности вольфрамовой фазы наблюдались неглубокие царапины, в то время как на поверхности связующей фазы — глубокие борозды. Механизм повреждения был поэтапным: на начальном этапе микрообработка удаляла небольшое количество материала, на среднем этапе происходило усталостное отслаивание, а позже — накопление борозд, влияющее на адгезию. Анализ термической обработки выявил влияние термической обработки; отжиг улучшил прочность связующей фазы, уменьшив отслаивание, а старение уменьшило глубину борозд.

Анализ абразивного износа также учитывает условия работы; высокоскоростная клепка приводит к высокой кинетической энергии абразива и быстрому повреждению, в то время как низкоскоростное непрерывное трение приводит к образованию длинных борозд. Анализ обработки поверхности также важен; покрытия или упрочняющие слои смягчают воздействие абразивных частиц, тем самым замедляя повреждение оправки . Управление химической чистотой минимизирует примеси и уменьшает количество самопроизвольно образующихся абразивных частиц. Анализ абразивного износа на поверхности оправок из вольфрамового сплава позволяет оценить реакцию материала на триботическую среду, а морфологические исследования способствуют оптимизации износостойкости инструмента, что помогает понять причины повреждений в практике клепки.

### 5.3.4 Поведение в процессе контакта заклепочного инструмента из вольфрамового сплава

Адгезионный износ в процессе контакта заклепочных оправок из вольфрамового сплава в основном связан с переносом поверхностного материала под воздействием высокой температуры или высокого давления. Это приводит к локальному прилипанию между оправкой и хвостовой частью заклепки, влияя на разделение и целостность поверхности. Адгезионный износ возникает из-за мгновенного высокотемпературного размягчения контактной поверхности. Химически сначала размягчается связующая фаза с более низкой температурой плавления, образуя микросварные швы с материалом заклепки. Во время относительного скольжения эти швы разрушаются, перенося материал на противоположную сторону. Первоначально это проявляется в виде шероховатостей на поверхности; при дальнейшем воздействии образуются ямки или выступы, снижающие качество обработки рабочей поверхности оправки .

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

Механизм проявляется на границе раздела: накопление тепла за счет трения приводит к локальному повышению температуры, вызывая растекание связующей фазы и ее прилипание к заклепке; при охлаждении точка соединения затвердевает. В точке соединения происходит сдвиговое разрушение, приводящее к отрыву материала от оправки или его прилипанию к заклепке. Высокая твердость частиц вольфрама снижает вероятность начала адгезии и уменьшает склонность к прилипанию к оправке. Высокая теплопроводность приводит к быстрой тепловой диффузии, быстрому падению температуры в точке соединения и снижению теплопередачи.

На адгезионный износ также влияет нагрузка; высокое давление обеспечивает плотный контакт и сильную адгезию, тогда как низкое давление способствует разделению. Обработка поверхности также играет роль; полировка снижает начальную адгезию, а покрытия изолируют и уменьшают реакции. Важна также хорошая химическая стабильность; тонкий оксидный слой на оправке приводит к замедлению адгезии. Характеристики адгезионного износа заклепочных оправок из вольфрамового сплава при контакте отражают взаимодействие материалов во время высокотемпературного трения. Анализ переноса помогает управлять поверхностью инструмента и предоставляет эталонные показатели для операций клепки.



CTIA GROUP LTD. Заклепочный стержень 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](http://www.ctia.com.cn)

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

## Глава 6. Коррозия и долговечность заклепочных штифтов из вольфрамового сплава.

### 6.1 Электрохимическое коррозионное поведение верхушек заклепок из вольфрамового сплава

свойства заклепочных оправок из вольфрамового сплава в основном влияют их двухфазная структура и окружающая среда. Это поведение особенно выражено во влажной или химически очищенной среде, влияя на стабильность поверхности и долговременную работоспособность оправки. Электрохимическая коррозия включает анодное растворение и катодное восстановление. Вольфрамовая фаза химически инертна, в то время как связующие фазы, такие как никель или медь, обладают высокой реакционной способностью и легко становятся центрами инициирования коррозии. Анализ поведения проводился с использованием поляризационных кривых и импедансной спектроскопии. Сканирование потенциала оправки в электролите выявило изменения потенциала коррозии и плотности тока.

Коррозионное поведение также включает в себя точечную и равномерную коррозию; связующая фаза преимущественно растворяется, образуя микроячейки, и коррозия замедляется после обнажения частиц вольфрама. Материал обладает хорошей химической стабильностью, самопассивируется в атмосфере и образует тонкий защитный слой на поверхности. Окружающая среда влияет на поведение: кислые среды ускоряют растворение связующей фазы, в то время как нейтральные или щелочные среды относительно мягкие. Электрохимическое коррозионное поведение заклепочных оправок из вольфрамового сплава отражает электрохимический отклик композитных материалов. Данное исследование поведения способствует оптимизации коррозионной стойкости инструмента и предоставляет рекомендации по адаптации к окружающей среде для технического обслуживания заклепочных изделий.

#### 6.1.1 Применение поляризационных кривых в исследовании коррозии заклепочных оправок из вольфрамового сплава

Применение поляризационных кривых в исследовании коррозии заклепочных оправок из вольфрамового сплава в основном осуществляется посредством динамического сканирования потенциала. Этот метод помогает оценить потенциал коррозии, диапазон пассивации и плотность тока коррозии оправки в электролите, что способствует повышению коррозионной стойкости. В качестве рабочего электрода используется образец оправки, погруженный в имитированную среду в трехэлектродной системе. Сканирование потенциала регистрирует токовый отклик; с химической точки зрения, анодная ветвь отражает процесс растворения, а катодная ветвь — процесс восстановления. Кривые показывают потенциал коррозии и плато пассивации, с увеличением тока в активной области связующей фазы и низким током пассивации в вольфрамовой фазе.

В процессе обработки поверхности образцов равномерно полировались, а окружающая среда имитировалась с помощью таких растворов, как растворы хлорида натрия или серной кислоты.

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

Для различения типов коррозии использовались поляризационные кривые; высокая чувствительность наблюдалась при низком потенциале питтинговой коррозии, а после нанесения покрытия на верхний стержень наблюдалось широкое плато . Для количественной оценки скорости коррозии использовалась экстраполяция Тафеля; скорость увеличивалась при высокой доле адгезионной фазы на верхнем стержне. Динамическое сканирование использовалось для наблюдения за репассивацей , выявив высокую способность верхнего стержня к восстановлению после повреждения.

Поляризационные кривые также использовались для оценки влияния термической обработки в исследовании. Отжиг расширил диапазон пассивации, что привело к повышению устойчивости к локальной коррозии в оправке. Различия в составе показали стабильную пассивацию в системе вольфрам-медь , в то время как магнитные свойства никель-железа напрямую не влияли на кривые. Сравнивая кривые в различных средах, было установлено, что оправка быстро корродировала в кислотах и демонстрировала сильную пассивацию в щелочах. Использование поляризационных кривых в исследовании коррозии заклепочных оправок из вольфрамового сплава дает экспериментальное представление об электрохимических параметрах. Анализ кривых способствует пониманию коррозионной стойкости инструмента и предоставляет метод оценки для практики технического обслуживания.

### 6.1.2 защищает верхние планки заклепок из вольфрамового сплава

Вольфрамовые сплавы для изготовления заклепочных оправок с пассивирующим слоем получают в основном за счет спонтанного или искусственного образования оксидных пленок на поверхности. Эта защита снижает скорость коррозии оправки во влажной среде или среде с чистящими средствами, сохраняя гладкость поверхности и функциональную стабильность. Пассивирующий слой образуется естественным образом на воздухе или в нейтральной среде, при этом вольфрам образует плотный оксидный слой, а никель или медь также участвуют в качестве связующих фаз. Химически этот тонкий слой блокирует диффузию кислорода и миграцию ионов. Защитный механизм проявляется электрохимически: пассивирующий слой увеличивает коррозионный потенциал и снижает анодный ток.

Процесс формирования пассивирующего слоя зависит от окружающей среды: в атмосфере пассивация происходит медленно, а электрохимическая анодная обработка ускоряет его утолщение. После полировки верхнего стержня пассивация происходит быстро, но шероховатый поверхностный слой пористый и обеспечивает слабую защиту. Термическая обработка способствует формированию пассивирующего слоя, а отжиг контролирует содержание кислорода, обеспечивая однородность нижнего слоя. Защитный эффект проявляется в устойчивости к точечной коррозии; пассивирующий слой имеет высокий потенциал пробоя, и верхний стержень подвергается меньшему локальному повреждению. Пассивирующий слой обеспечивает защиту оправки , включая механическую стабильность. Его тонкий слой обладает высокой адгезией, что делает его устойчивым к отслаиванию во время трения при клепке. После химической очистки слой восстанавливается, обеспечивая хорошую долговечность оправки. Состав влияет на

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

формирование слоя; медный пассивирующий слой обеспечивает электропроводность, а никелевый слой имеет высокую плотность. Защита вольфрамовой заклепочной оправки пассивирующим слоем демонстрирует барьерный эффект химического состава поверхности, поддерживая коррозионную стойкость инструмента за счет стабильности слоя и обеспечивая долговременную защиту в условиях клепки.

#### **6.1.2.1 Стабильность заклепочных стержней из вольфрамового сплава в кислых средах**

заклепочных оправок из вольфрамового сплава в кислых средах в основном влияют значение pH и тип ионов среды. Эта стабильность особенно заметна в цехах очистки или обработки кислотным туманом, где поведение пассивирующего слоя на поверхности оправки определяет скорость коррозии. Кислотные условия активируют растворение связующей фазы, а элементы никеля или меди легко образуют растворимые ионы. Хотя вольфрамовая фаза химически относительно инертна, микроячейки на границе раздела ускоряют локальную коррозию. Общая стабильность оправки зависит от толщины пассивирующего слоя; более тонкий полированный поверхностный слой незначительно снижает стабильность, в то время как кислотная эрозия замедляется после нанесения покрытия или предварительной пассивации .

взаимодействии двух фаз : связующая фаза преимущественно реагирует и потребляет ионы водорода; после обнажения частиц вольфрама поверхностный оксидный слой восстанавливается; и морфология коррозии оправки, как правило, однородна, а не имеет глубоких ямок. Увеличение концентрации кислоты снижает стабильность, но система вольфрамового сплава демонстрирует относительную стабильность в разбавленных кислотах, и гладкая поверхность оправки сохраняется в течение длительного времени. Термическая обработка влияет на стабильность; отжиг приводит к однородной микроструктуре, но замедляет проникновение кислоты. Корректировка состава улучшает стабильность; более высокая концентрация меди способствует проводимости, но приводит к более быстрому растворению в кислоте, в то время как никелевая фаза обеспечивает несколько лучшую кислотостойкость .

После погружения поверхность можно восстановить, протерев ее . Обработка поверхности повышает стабильность; химическая пассивация образует толстый слой, что приводит к минимальной коррозии под воздействием кислотного тумана. Испытания на погружение оценивают стабильность; минимальное изменение массы оправки указывает на хорошую кислотостойкость. Стабильность заклепочной оправки из вольфрамового сплава в кислых средах демонстрирует адаптивность композитного материала к различным средам. Защитный слой способствует поддержанию поверхности инструмента в надлежащем состоянии, повышая его долговечность при работе в кислых средах.

#### **6.1.2.2. Реакция заклепочного стержня из вольфрамового сплава в щелочных условиях**

В щелочных условиях заклепочные оправки из вольфрамового сплава в основном демонстрируют усиленную пассивацию поверхности и незначительное растворение. Эта реакция наблюдается

##### **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](http://www.ctia.com.cn)

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

при щелочной промывке или в щелочных средах с охлаждающей жидкостью, и оправка в целом проявляет хорошую стабильность. Щелочные среды способствуют образованию стабильных оксидов на поверхности вольфрамовой фазы. С химической точки зрения, связующие фазы, никель или медь, обладают низкой растворимостью в щелочи, что приводит к медленной скорости коррозии оправки. На начальной стадии реакции слой пассивации поверхности утолщается, предотвращая дальнейшие реакции и поддерживая гладкость оправки. Механизм реакции проявляется в фазовой селективности: частицы вольфрама обладают высокой инертностью в щелочи, связующая фаза слабо реагирует, образуя защитный осадок, и верхний поверхностный слой оправки становится плотным. Реакция мало изменяется с увеличением концентрации щелочи, и верхняя оправка демонстрирует равномерную коррозию, а не точечную. Термическая обработка влияет на реакцию; отжиг приводит к более чистым границам зерен и меньшему проникновению щелочи. Различия в составе приводят к лучшей пассивации никелевой фазы в щелочных металлах, в то время как медная фаза несколько более активна, но в целом стабильна.

Реакция выталкивающего штифта в щелочной среде подходит для поддержания работоспособности в условиях щелочной промывки, и поверхность не демонстрирует значительных повреждений после погружения. Предварительная обработка поверхности улучшает реакцию, а толстый пассивирующий слой обеспечивает стабильность выталкивающего штифта в условиях щелочного тумана. Оценка реакции с помощью испытаний на погружение в щелочь показывает минимальные морфологические изменения, что указывает на хорошую адаптивность. Реакция выталкивающего штифта из вольфрамового сплава в щелочной среде отражает адаптивность материала к щелочности, повышая устойчивость инструмента к очистке за счет пассивации и обеспечивая основу поверхности для работы в щелочных средах.

### **6.1.3 Характеристика заклепочных оправок из вольфрамового сплава методом измерения коррозионного потенциала**

Измерение коррозионного потенциала заклепочных оправок из вольфрамового сплава в основном осуществляется с помощью потенциала разомкнутой цепи и потенциодинамического сканирования. Эта характеристика помогает оценить термодинамическую стабильность оправки в среде и направляет оценку коррозионной стойкости. Образец оправки погружают в электролит, и регистрируют стабильный потенциал. С химической точки зрения, высокий потенциал указывает на сильную тенденцию к пассивации и затруднение инициирования коррозии. Потенциал разомкнутой цепи стабилизируется со временем, и потенциал двухфазной структуры оправки находится между потенциалами вольфрама и связующей фазы.

Процесс характеризации включал сравнение в различных средах; низкий потенциал в кислой среде приводил к легкой коррозии, тогда как высокий потенциал в щелочной среде обеспечивал стабильную пассивацию. Динамическое сканирование потенциала расширило процесс характеризации, показав, что точка нулевого тока представляет собой потенциал коррозии, а толкатель продемонстрировал широкий диапазон пассивации и хорошую коррозионную стойкость. Состояние поверхности измерялось как ограничивающий фактор; полировка

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

приводила к высокому потенциалу, тогда как шероховатость вызывала колебания потенциала. Характеризация термической обработки показала, что отжиг увеличивает потенциал и приводит к более однородной микроструктуре.

Измерение коррозионного потенциала позволяет оценить адаптивность заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов к различным областям применения; более высокие потенциалы обеспечивают большую стабильность оправок во влажной среде. Также учитываются различия в составе: вольфрамово-медные оправки демонстрируют умеренные потенциалы, в то время как никель-железные оправки показывают несколько более низкие потенциалы, но более сильную пассивацию. Измерения помогают в разработке защитных мер; более низкие потенциалы улучшают характеристики покрытия. Измерение коррозионного потенциала обеспечивает экспериментальную оценку электрохимической стабильности заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов, поддерживает оценку коррозии инструментов посредством анализа потенциала и вносит вклад в определение характеристик устойчивости к воздействию окружающей среды.

#### **6.1.4 Применение анализа импедансной спектроскопии в кинетике коррозии заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов**

Применение импедансной спектроскопии в кинетике коррозии заклепочных оправок из вольфрамового сплава в основном осуществляется посредством измерения импеданса переменного тока. Это применение помогает выявить межфазные реакции и изменения скорости коррозии оправки в электролите, что способствует оценке и улучшению коррозионной стойкости. Импедансная спектроскопия включает в себя подачу небольшого сигнала переменного тока, запись кривой частотной характеристики и аппроксимацию эквивалентной схемой. С химической точки зрения, пассивирующий слой на поверхности оправки ведет себя как емкостно-резистивный элемент, а растворение связующей фазы соответствует сопротивлению переноса. В процессе применения образец оправки используется в качестве рабочего электрода, погруженного в имитированную среду, а частота сканируется от высоких к низким значениям. Дугообразная форма кривой отражает целостность пассивирующего слоя.

В практических применениях анализ импедансной спектроскопии позволяет различать стадии коррозии; большая начальная дуга указывает на стабильную пассивацию, тогда как меньшая дуга со временем ускоряет коррозию. Двухфазная структура оправки отчетливо видна в анализе: вольфрамовая фаза демонстрирует высокое сопротивление, а связующая фаза контролируется низкочастотной диффузией. Параметризация процесса осуществляется с помощью подгонки эквивалентной схемы, количественно определяющей поведение на границе раздела фаз через сопротивление электролита, емкость двойного слоя и сопротивление переноса, на основе которых выводится кинетика коррозии оправки. Анализ помогает в выборе термической обработки; после отжига дуга импеданса увеличивается, микроструктура становится более однородной, а коррозионная стойкость улучшается. В зависимости от состава, система вольфрам-медь

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

демонстрирует высокое сопротивление и стабильную пассивацию, в то время как никель-железо имеет несколько более низкое сопротивление, но восстанавливается быстрее.

Анализ импедансной спектроскопии также позволяет оценить эффективность обработки поверхности; изменение формы дуги после нанесения покрытия отражает вклад защитного слоя. Анализ влияния среды показывает, что низкий импеданс в кислотах приводит к быстрой коррозии, в то время как большая дуга в щелочах способствует сильной пассивации. Области применения расширяются до динамического мониторинга; изменяющаяся во времени кривая импеданса оправки после длительного погружения позволяет прогнозировать срок ее службы. Управление химической чистотой обеспечивает меньшее количество примесей, что приводит к четкой и свободной от помех дуге импеданса. Применение импедансной спектроскопии в кинетике коррозии заклепочных оправок из вольфрамового сплава обеспечивает перспективу динамики межфазной границы в частотной области, способствует пониманию механизмов коррозии инструмента посредством аппроксимации кривых и вносит вклад в аналитические методы повышения экологической стойкости.

#### **6.1.5 Коррозионное поведение реакции окисления на заклепках из вольфрамового сплава.**

Коррозия заклепочных оправок из вольфрамового сплава в основном связана с изменениями поверхности, обусловленными кислородом в атмосфере или окружающей среде. Это явление проявляется при воздействии воздуха на оправку или высоких температур, влияя на стабильность ее поверхности и срок службы. Реакция окисления начинается с адсорбции молекул кислорода на поверхности оправки. Химически связанные элементы, такие как никель или медь, сначала окисляются, образуя тонкий слой, в то время как фаза вольфрама медленно образует оксиды. Коррозионное поведение оправки, как правило, замедляется после образования оксидного слоя. Толстый слой препятствует дальнейшей диффузии кислорода, но коррозия ускоряется, когда слой пористый.

Механизм поведения проявляется в фазовой селективности: окисление связующей фазы преимущественно потребляет кислород, образуя оксид никеля или оксид меди, в то время как окисление вольфрамовой фазы формирует плотный слой, и общее поведение оправки изменяется от быстрого окисления к стабильности пассивации. Высокая температура ускоряет реакцию; при нагреве оправки трением образуется толстый локальный оксидный слой, что приводит к изменению цвета поверхности. Влага в среде участвует в окислении, делая поведение более активным во влажной среде, а гидратный слой на поверхности оправки увеличивает склонность к коррозии. Влияние реакции окисления на коррозионное поведение оправки определяет защиту; предварительная пассивация формирует однородный слой, что приводит к более стабильному поведению. Поведение, обусловленное изменением состава: оксидный слой медной фазы является проводящим и способствует коррозии, в то время как слой никелевой фазы является плотным. Термическая обработка влияет на поведение; отжиг приводит к очищению поверхности и замедлению окисления. Коррозионное поведение окисляющей реакции на заклепочных оправках из вольфрамового сплава отражает поверхностный процесс, взаимодействующий с

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

кислородом, что позволяет оценивать коррозионную стойкость инструмента посредством образования слоев и предоставляет ориентиры для оценки его поведения в практике технического обслуживания.

### 6.1.6 Контроль химических свойств верхушек заклепок из вольфрамового сплава

Влияние факторов окружающей среды на химические свойства заклепочных оправок из вольфрамового сплава в основном определяется температурой, влажностью, средой и составом атмосферы. Это влияние сказывается на скорости поверхностной реакции и стабильности микроструктуры оправки, что проявляется в различных условиях цеха или хранения. Повышение температуры регулирует скорость окисления, химически и термически активируя молекулярные столкновения и ускоряя образование оксидного слоя на поверхности оправки. Однако высокая температура плавления вольфрамовой фазы смягчает общее поведение. Повышенная влажность приводит к образованию водяного пара, а адсорбция воды на поверхности оправки способствует образованию гидроксидов, смещающая химические свойства в сторону коррозионно-активного состояния.

Регулирование с помощью таких веществ, как кислоты и щелочи, регулирует химическую активность, растворяя связующую фазу в кислотах, в то время как щелочи стабилизируют пассивирующий слой и обеспечивают хорошую коррозионную стойкость. Состав атмосферы, например, содержание кислорода и азота, регулирует окисление и нитрирование; верхний стержень химически стабилен в чистом воздухе, но коррозия ускоряется в загрязненной среде. Свет или ультрафиолетовое излучение регулируют поверхностные фотохимические реакции, и химические свойства верхнего стержня остаются в значительной степени неизменными при хранении на открытом воздухе.

Факторы окружающей среды также влияют на химические свойства заклепочных оправок из вольфрамового сплава, включая вибрацию и напряжение. Механическое напряжение, обнажая трещины, ускоряет начало коррозии. Защитные меры, такие как покрытия, изолируют окружающую среду и сохраняют исходные химические свойства. Факторы состава регулируют реакцию на окружающую среду; высокая проводимость медной фазы регулирует электрохимическое поведение, а никелевая фаза — щелочестойкость. Влияние факторов окружающей среды на химические свойства заклепочных оправок из вольфрамового сплава отражает взаимодействие материала с внешними условиями. Факторный анализ способствует химической адаптации инструмента и вносит вклад в нормативно-правовую базу в условиях эксплуатации.

### 6.2 Механизм высокотемпературного окисления стержней заклепок из вольфрамового сплава

Процесс окисления заклепочных оправок из вольфрамового сплава в основном связан с взаимодействием поверхности с кислородом. Этот механизм проявляется, когда оправка

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

подвергается воздействию высокотемпературного воздуха или горячей обработки, влияя на стабильность ее поверхности и общую прочность. Механизм окисления начинается с адсорбции молекул кислорода на поверхности оправки. Химически связующие элементы, такие как никель или железо, сначала соединяются с кислородом, образуя оксиды, за которыми следует медленное окисление вольфрамовой фазы с образованием плотного слоя. Процесс протекает поэтапно: при низких температурах диффузия контролирует медленный рост оксидного слоя, в то время как при высоких температурах скорость реакции увеличивается, что приводит к утолщению слоя.

Основной механизм заключается в фазовой селективности. Высокореактивная связующая фаза преимущественно окисляется, образуя рыхлый оксидный слой, в то время как инертная фаза вольфрама образует плотный слой оксида вольфрама. Общий механизм окисления оправки изменяется от быстрого окисления к самоограничению. В механизме участвует диффузия элементов на границе раздела фаз, при этом оксид связующей фазы реагирует с вольфрамом, образуя композитный слой, что приводит к изменению цвета поверхности оправки. Термическая обработка влияет на механизм; после отжига микроструктура становится более однородной, и уменьшается количество точек начала окисления. Различия в механизмах состава также играют роль: в системе вольфрам-медь оксидный слой медной фазы является проводящим, тогда как в системе вольфрам-никель никелевый слой является плотным.

Механизм высокотемпературного окисления также включает испарение; оксид вольфрама испаряется при высоких температурах, унося поверхностный слой, что приводит к постепенной потере массы оправки. Также задействован механизм контроля защитной атмосферы; инертный газ уменьшает контакт с кислородом, что приводит к образованию более тонкого оксидного слоя на оправке. Анализ механизма с использованием термогравиметрического анализа для наблюдения за изменениями массы показывает, что плоская кривая окисления указывает на хорошую долговечность. Механизм высокотемпературного окисления заклепочных оправок из вольфрамового сплава отражает реакцию огнеупорных композитов на кислород, способствуя сохранению поверхности инструмента за счет образования слоя и обеспечивая механистическую основу для работы в термических условиях.

### 6.2.1 Влияние кинетики окисления на верхние части заклепок из вольфрамового сплава

Кинетика окисления на заклепочных оправках из вольфрамового сплава в основном проявляется в регулировании скорости реакции и поведения роста слоя. Это влияние определяет степень повреждения поверхности и долговечность оправки при воздействии высоких температур. Кинетика окисления описывает диффузию кислорода и скорость реакции. Связующая фаза в оправке обладает высокой кинетической активностью, что приводит к быстрому образованию начального слоя, в то время как вольфрамовая фаза имеет медленную кинетику и самоограничивающийся рост слоя. Механизм влияния проявляется в диффузионном контроле, при этом кислород мигрирует внутрь через межслоевые зазоры, движимый градиентом химической концентрации, и увеличение толщины слоя на оправке замедляется со временем.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Кинетические эффекты также включают температурную зависимость: повышение температуры снижает энергию активации, но увеличивает скорость; при высоких температурах толщина капиллярного слоя увеличивается, но пассивация стабилизируется. Кинетика состава различается: медные фазы демонстрируют быструю кинетику, проводя тепло и способствуя его рассеиванию, в то время как никелевые фазы, будучи более плотными, демонстрируют медленную кинетику. Кинетика термической обработки также играет роль: отжиг приводит к более чистым границам зерен и более коротким диффузионным путям, что приводит к более низким скоростям капиллярного окисления. Кинетика состояния поверхности регулирует окисление: полированные поверхности имеют более низкие начальные скорости окисления, в то время как шероховатые поверхности имеют больше активных центров и более высокие скорости.

Анализ влияния кинетики окисления, проводимый с помощью термогравиметрической аппроксимации кривых, использует линейные или параболические кинетические модели оправки для отражения типа роста слоя. Это влияние определяет защиту, изменяя кинетику инициирования изменений покрытия и повышая долговечность оправки. Кинетика окисления заклепочных оправок из вольфрамового сплава демонстрирует зависимость реакции материала от скорости процесса, поддерживает оценку долговечности инструмента с помощью диффузионного анализа и вносит кинетический вклад в расчет работы при высоких температурах.

### 6.2.2 Нанесение защитного покрытия на оправки заклепок из вольфрамового сплава

Нанесение защитных покрытий на заклепочные оправки из вольфрамового сплава в основном заключается в формировании барьера путем гальванического покрытия или пассивации. Это покрытие уменьшает окисление и коррозию на поверхности оправки, поддерживая ее стабильность и срок службы в окружающей среде. Механизм действия покрытия блокирует диффузию кислорода и среды; химические слои гальванического покрытия, такие как никель-фосфор или хром-азот, плотно связываются с подложкой, поддерживая гладкую поверхность оправки. Процессы нанесения включают гальваническое покрытие или химическое осаждение из паровой фазы, и покрытие равномерно прилипает после полировки оправки .

Преимущества этого покрытия заключаются в избирательной защите; оно замедляет повреждения при трении об износостойкую оправку и препятствует коррозии в агрессивных средах. Пассивирующие покрытия являются самогенерирующими, и оксидный слой на оправке на воздухе утолщается, защищая подложку. Различия в составе приводят к образованию проводящих покрытий (система вольфрам-медь) и высокотвердых покрытий (система вольфрам-никель) . Термическая обработка обеспечивает стабильность покрытия, а отжиг — прочную адгезию.

Нанесение защитных покрытий на оправки также позволяет оценить долговечность; испытания на отслаивание проверяют прочность сцепления, и покрытие не отслаивается при многократном использовании. Покрытие заполняет поверхностную текстуру, что приводит к низкому коэффициенту трения для оправки. Оно обладает хорошей химической стабильностью и не создает новых источников коррозии. Нанесение защитных покрытий на заклепочные оправки из

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

вольфрамового сплава воплощает стратегию защиты поверхности, повышая долговечность инструмента за счет барьерного эффекта и улучшая его применение в рабочей среде.

### 6.2.3 Повреждение верхних планок заклепок из вольфрамового сплава, вызванное образованием летучих оксидов

Повреждение заклепочных оправок из вольфрамового сплава, вызванное образованием летучих оксидов, в основном происходит в высокотемпературной воздушной среде. Это повреждение обусловлено нестабильным превращением поверхностного оксидного слоя, что приводит к постепенной потере материала и влияет на точность размеров и целостность поверхности оправки. Летучие оксиды, такие как оксид вольфрама, при высоких температурах переходят из твердого состояния в газообразное, улетучиваясь с поверхности оправки. Химически они подвергаются реакции окисления с образованием оксида вольфрама, который далее испаряется при нагреве, что приводит к истончению рабочей поверхности и увеличению шероховатости. Процесс повреждения начинается с адсорбции кислорода на поверхности оправки; сначала окисляется связующая фаза, образуя начальный слой, затем фаза вольфрама, генерируя продукты испарения.

Механизм повреждения проявляется в температурном градиенте; испарение происходит быстро в высокотемпературных зонах, а поверхностные оксиды быстро испаряются, когда локальное трение генерирует тепло в оправке, ускоряя удаление материала и образуя ямки или неровности. Летучие оксиды нарушают однородность оправки, при этом испарение происходит чаще по краям и реже в центре, что приводит к постепенному изменению формы оправки и нестабильной опоре заклепки. Химическая стабильность также влияет на повреждение; испарение происходит медленнее, когда слой связующего оксида плотный, и ускоряется, когда он пористый из-за воздействия вольфрама.

Повреждения, вызванные образованием летучих оксидов, распространяются на внутреннюю часть оправки. После отслоения поверхностного слоя новый слой окисляется, что приводит к накоплению потери массы и сокращению срока службы. Реакция на повреждения изменяется после термообработки; отжиг приводит к более однородной микроструктуре и меньшему количеству точек начала испарения. Регулирование состава вызывает повреждения; более высокая концентрация меди приводит к лучшей теплопроводности и уменьшению теплоотдачи, что приводит к меньшему испарению; никелевая фаза образует стабильные оксиды, ограничивая испарение. Анализ повреждений с помощью термогравиметрического анализа (ТГА) показывает изменения массы; плоская кривая испарения в оправке указывает на хорошую долговечность. Повреждения оправок заклепок из вольфрамового сплава, вызванные образованием летучих оксидов, отражают расход материала в результате высокотемпературных газо-твердотельных реакций. Выброс продукта позволяет оценить срок службы инструмента и служит ориентиром для механизмов повреждений в условиях высоких температур.

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

#### 6.2.4 Регулирование стойкости к окислению заклепочных оправок из вольфрамового сплава легирующими элементами

Вольфрамовые сплавы для изготовления заклепочных оправок, легирование которых осуществляется в основном за счет образования стабильного оксидного слоя или регулирования кинетики реакции, замедляют повреждение поверхности в высокотемпературном воздухе, обеспечивая гладкость и прочность. В процессе окисления участвуют такие легирующие элементы, как никель, железо или медь. Химически никель образует плотный слой оксида никеля, блокирующий диффузию кислорода и повышающий стойкость оправки к окислению. Железо образует композитный слой оксида железа, регулируя скорость окисления и замедляя изменение цвета поверхности оправки. Медная фаза регулирует теплопроводность, что приводит к быстрому рассеиванию тепла, снижению локально высоких температур и задержке начала окисления.

Регуляторный механизм проявляется в синергетическом эффекте: связующая фаза преимущественно окисляется и потребляет кислород, образуя нелетучий слой, защищающий вольфрамовую фазу, что приводит к высокой общей стойкости оправки к окислению. Микродопирование редкоземельными элементами регулирует очистку границ зерен, уменьшая точки начала окисления и замедляя увеличение толщины слоя оправки. Термическая обработка регулирует реакцию, обеспечивая равномерную диффузию элементов после отжига и стабильную стойкость к окислению. Соотношение компонентов регулирует склонность к окислению, что приводит к образованию более толстой, многослойной связующей фазы для лучшей защиты и повышения долговечности оправки.

Регулирование стойкости к окислению оправок с помощью легирующих элементов также оценивалось посредством обработки поверхности. Покрытие и элементы синергетически формировали многослойную защиту, в результате чего на оправке образовывался тонкий оксидный слой. Регулировалась химическая стабильность за счет селективного окисления элементов, приводящего к образованию стабильных продуктов и минимальной потере массы оправки. Анализ регулирования, проведенный с помощью испытаний на окисление, в ходе которых наблюдалась толщина и морфология слоя, показал, что плоская кривая стойкости к окислению оправки свидетельствует об эффективном регулировании. Регулирование стойкости к окислению заклепочных оправок из вольфрамового сплава с помощью легирующих элементов отражает стратегию оптимизации состава материала. Формирование слоя поддерживает стабильность поверхности инструмента и обеспечивает основу для регулирования в процессе горячей обработки.

#### 6.3 Испытание на стойкость к воздействию окружающей среды верхней планки заклепок из вольфрамового сплава

В основном, при испытаниях заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов оценивается сохранение их рабочих характеристик во влажной или коррозионной среде путем моделирования таких условий, как солевой туман и циклические колебания влажности. Эти испытания помогают

##### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

понять долговременную стабильность поверхности и общей структуры оправки, что позволяет выбрать подходящий материал и принять защитные меры. Методы испытаний включают испытания в солевом тумане, имитирующие морскую среду или среду с солевым туманом, и испытания на циклические колебания влажности, которые оценивают воздействие изменений температуры и влажности. В ходе испытаний проявляется двухфазная структура вольфрамовых сплавов: вольфрамовая фаза обладает высокой коррозионной стойкостью, в то время как связующая фаза восприимчива к хлорид-ионам или влаге. После воздействия на образцы наблюдаются изменения поверхности, потеря массы и ухудшение рабочих характеристик, а химический анализ продуктов коррозии выявляет лежащие в основе механизмы. Значение испытаний на устойчивость к воздействию окружающей среды заключается в прогнозировании рабочих характеристик оправок в реальных условиях мастерских или при хранении на открытом воздухе. Испытания в солевом тумане ускоряют точечную коррозию из-за хлорид-ионов, в то время как циклические колебания влажности вызывают коррозию под напряжением. Стандарты испытаний соответствуют отраслевым спецификациям, а время и условия воздействия подбираются в соответствии со сценариями применения. Результаты определяют методы обработки поверхности, нанесения покрытий или пассивации для повышения долговечности. Испытания на стойкость к воздействию окружающей среды оправок для заклепок из вольфрамового сплава демонстрируют адаптивность материала к сложным условиям, позволяют прогнозировать срок службы инструмента с помощью экспериментального моделирования и предоставляют практические рекомендации по техническому обслуживанию заклепочных систем.

### **6.3.1 Оценка заклепочных стержней из вольфрамового сплава методом испытаний в солевом тумане**

Испытания оправок из вольфрамового сплава на коррозионное торможение в солевом тумане в основном включают моделирование нейтральной или кислой среды солевого тумана, воздействие на образцы оправок и наблюдение за изменениями морфологии и скорости коррозии. Эта оценка помогает определить стабильность поверхности и долговечность оправок в условиях повышенной влажности, содержащей хлор. В ходе испытания оправки помещаются в камеру солевого тумана, где распыляется хлорид натрия. Химически ионы хлорида адсорбируются на поверхности, разрушая пассивирующую слой, и связующая фаза преимущественно растворяется, образуя точечную или равномерную коррозию. В процессе оценки регистрируются пятна ржавчины на поверхности, ямки и потеря массы после определенного времени воздействия. Вольфрамовая фаза в оправке обладает высокой устойчивостью к хлору, и коррозия начинается в области связующей фазы.

Механизм оценки отражен в микроячейках: связующая фаза растворяется на анодном гальваническом конце, вольфрамовая фаза обеспечивает катодную защиту, и хотя верхний стержень демонстрирует низкую склонность к питтинговой коррозии, локальные повреждения значительны. Оценивается эффективность обработки поверхности: покрытие демонстрирует длительную устойчивость к солевому туману и небольшое количество продуктов коррозии. Оценивается влияние термической обработки: отжиг приводит к однородной микроструктуре и

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

медленному проникновению хлора. Оцениваются различия в составе: система вольфрам-медь демонстрирует снижение коррозии, стимулируемое проводимостью, в то время как магнитные свойства системы вольфрам-никель-железо не оказывают прямого влияния на коррозию, но межфазная связь регулирует распространение коррозии.

Испытания в солевом тумане позволяют оценить пригодность оправок для различных применений. Оправки, используемые в морских мастерских, должны обладать высокой устойчивостью к солевому туману, в то время как оправки, соответствующие общим экологическим стандартам, являются достаточными. Оценка помогает в техническом обслуживании, уделяя особое внимание регулярной очистке оправок, чувствительных к солевому туману. Химический анализ продуктов коррозии и типов оксидов выявляет основные механизмы. Испытания в солевом тумане дают имитационное представление о коррозии, усиленной хлором, в оправках для заклепок из вольфрамовых сплавов, способствуя пониманию устойчивости инструмента к солевому туману посредством морфологического наблюдения и внося вклад в основу оценки в условиях повышенной влажности.

### 6.3.2 Роль циклов влажности в долговечности заклепочных оправок из вольфрамового сплава

Влияние циклического изменения влажности на долговечность заклепочных оправок из вольфрамового сплава в основном проявляется в моделировании коррозионного растрескивания и окисления под воздействием переменных температур и влажности. Этот эффект помогает оценить долговременную работоспособность оправки в условиях различной влажности и определяет условия хранения и использования. Циклический процесс чередуется между высокой влажностью и высокой температурой, за которыми следуют низкая влажность и низкая температура. С химической точки зрения, адсорбция влаги на поверхности способствует окислению, а изменения температуры создают термическое напряжение, приводящее к многократному повреждению и восстановлению пассивирующего слоя оправки. Механизм проявляется в конденсации водяного пара; при высокой влажности на поверхности образуется жидккая пленка, формирующая электролит, и связующая фаза слегка растворяется; при низкой влажности снимается напряжение высыхания.

К последствиям также относятся накопление усталости, повторяющиеся микронапряжения во время циклической работы и медленное распространение микроповреждений на границе раздела оправки. Поверхностные эффекты значительны: толщина оксидного слоя увеличивается при высокой влажности и растрескивается при низкой влажности, постепенно снижая гладкость поверхности оправки. Термическая обработка также оказывает влияние; отжиг приводит к снижению напряжений и уменьшению циклических повреждений. Различия в составе также играют роль; медная фаза обладает высокой теплопроводностью и рассеиванием тепла при минимальном влиянии влажности, в то время как никелевая фаза обеспечивает стабильность пассивации и хорошую устойчивость к циклической нагрузке.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Циклические изменения влажности используются для оценки долговечности заклепочных головок при хранении. Головки, предназначенные для умеренного или тропического климата, должны обладать высокой устойчивостью к циклическим нагрузкам. Данное исследование помогает разработать меры защиты, включая герметичную упаковку для снижения воздействия влажности. Химический анализ изделий после циклических нагрузок и распределение оксидов позволяют выявить механизм. Роль циклических изменений влажности в долговечности заклепочных головок из вольфрамового сплава обеспечивает имитацию условий повышенной влажности, поддерживает оценку срока службы инструмента посредством циклической реакции и вносит вклад в понимание его роли при хранении в неблагоприятных условиях.

### 6.3.3 Интеграция многомасштабного моделирования в верхушки заклепок из вольфрамового сплава

Интеграция многомасштабных моделей в заклепочных оправках из вольфрамового сплава в основном сочетает в себе модели на атомном, микроскопическом и макроскопическом уровнях. Такая интеграция помогает прогнозировать поведение оправки при сложных напряжениях и условиях окружающей среды, направляя проектирование материалов и оптимизацию характеристик. Многомасштабный подход начинается с квантово-механических расчетов взаимодействия элементов, за которыми следует химический анализ энергии связи между вольфрамом и связующей фазой для определения путей диффузии. Это распространяется на моделирование молекулярной динамики движения дислокаций и реакции границ зерен, и, наконец, на макроскопические модели конечных элементов для оценки распределения напряжений.

Процесс интеграции позволяет выявить влияние сегрегации легирующих элементов на прочность межфазной границы на атомном уровне и предсказать зарождение микротрещин в зоне концентрации напряжений оправки. Моделирование динамики дискретных дислокаций в микромасштабе при ударной деформации уточняет двухфазный механизм координации оправки. Макроскопическая континуальная модель интегрирует микроскопические параметры, позволяя оценить общую усталостную долговечность оправки. Интеграция моделирования достигается путем переноса параметров; результаты атомного моделирования преобразуют энергию связи в микроскопические входные данные, а микроскопические результаты калибруют макроскопическую конститутивную модель.

В практических приложениях многомасштабные симуляции позволяют оценить эволюцию повреждений оправок под действием нагрузок при клепке. Факторы окружающей среды, такие как влажность, включаются в модель коррозии для прогнозирования чувствительности оправок к коррозии под напряжением. Оптимизация состава и интеграция позволяют моделировать изменения характеристик при различных соотношениях фаз связующего вещества, достигая баланса между ударной вязкостью и прочностью оправок. Моделирование термической обработки демонстрирует эволюцию зерна, четко определяя путь повышения долговечности оправок. Интеграция многомасштабных симуляций в оправки для заклепок из вольфрамового

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

сплава обеспечивает вычислительный подход от атомного до компонентного уровня, поддерживает прогнозирование производительности инструмента за счет вложенности моделей и предоставляет рекомендации по моделированию для улучшения конструкции. Интегрированный системный подход делает разработку оправок более перспективной и открывает вычислительные пути для оптимизации долговечности.

#### **6.3.4 Испытание чувствительности к коррозионному растрескиванию под напряжением на заклепочных оправках из вольфрамового сплава**

на коррозионное растрескивание заклепочных оправок из вольфрамового сплава проводятся в основном с помощью испытаний на растяжение при постоянной нагрузке или при низкой скорости деформации. В этих испытаниях напряжение создается в имитированной коррозионной среде, наблюдаются процессы зарождения и распространения трещин, что позволяет оценить их долговечность в условиях влажной нагрузки. Образцы предварительно надрезаются или сглаживаются и погружаются в среду, содержащую хлор или серу. Химически напряжение способствует анодному растворению, что приводит к синергетическому растрескиванию в сочетании с коррозией среды. В испытаниях с постоянной нагрузкой поддерживается фиксированное напряжение, а результаты наблюдаются до разрушения. В испытаниях на растяжение при низкой скорости деформации происходит динамическая нагрузка, и регистрируются изменения кривых. Процесс испытаний делится на этапы. На начальном этапе повреждается пассивирующий слой, растворяется связующая фаза, вызывая точечную коррозию, а концентрация напряжений приводит к образованию трещин. На среднем этапе трещины распространяются вдоль границ зерен или межфазных границ, и путь трещины изгибаются в двухфазной структуре верхнего стержня. На более позднем этапе разрушение ускоряется, а распространение замедляется, когда верхний стержень обладает высокой ударной вязкостью. Температура и влажность испытательной среды контролируются, а ускоряющие факторы, такие как ионы хлорида, повышают чувствительность.

Испытания на чувствительность позволяют оценить пригодность оправок для различных применений; оправки, используемые во влажных цехах, требуют низкой чувствительности, в то время как оправки, используемые в сухих условиях, соответствуют стандартам. Термическая обработка оказывает влияние; отжиг снижает чувствительность. Различия в составе способствуют снижению чувствительности; никель-медные системы демонстрируют более низкую чувствительность, а оправки обладают лучшей устойчивостью к коррозионному растрескиванию под напряжением. Испытания определяют защиту; покрытия изолируют среду, снижая чувствительность. Испытания на чувствительность оправок из вольфрамового сплава к коррозионному растрескиванию под напряжением обеспечивают экспериментальную оценку синергии нагрузки и среды, поддерживают оценку долговечности инструмента посредством наблюдения за трещинами и вносят вклад в основу испытаний во влажных условиях. Систематический характер испытаний обеспечивает стабильность чувствительности оправок от партии к партии, предоставляя обратную связь для улучшения процесса.

#### **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](http://www.ctia.com.cn)

电话/TEL: 0086 592 512 9696  
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V  
[sales@chinatungsten.com](mailto: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 ( $17\text{-}19 \text{ g/cm}^3$ ), 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](mailto:sales@chinatungsten.com)

Tel: +86 592 5129696

Official website: [www.tungsten-alloy.com](http://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](http://www.ctia.com.cn)

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

## Глава 7. Применение заклепочных стержней из вольфрамового сплава.

### 7.1 Применение заклепочных стержней из вольфрамового сплава в процессе клепки

Оправки для заклепок из вольфрамового сплава в основном используются в качестве инструментов обратной поддержки в процессах клепки. Это применение очевидно при прочном соединении металлических листов или компонентов, помогая хвостовой части заклепки равномерно деформироваться, образуя прочное соединение. Оправка располагается на одном конце заклепки, принимая на себя удар молотка или давление. Высокая плотность и твердость вольфрамового сплава концентрируют силу реакции, обеспечивая плавное пластическое течение у головки заклепки. Области применения включают ручную клепку, пневматические клепальные пистолеты и автоматизированные сборочные линии. Форма оправки соответствует типу заклепки, а ее гладкая поверхность снижает трение.

В процессах клепки роль выталкивающего штифта заключается в контроле зоны деформации. Плоская или вогнутая рабочая поверхность выталкивающего штифта компенсирует расширение хвостовой части, обеспечивая постоянную прочность соединения. Выталкивающие штифты из вольфрамового сплава, благодаря своей ударопрочности, выдерживают высокочастотную работу, обладают медленным износом поверхности и требуют минимального технического обслуживания. Области применения распространяются на клепку различных материалов; для алюминиевых заклепок используются выталкивающие штифты сбалансированной твердости, а для стальных заклепок требуются высокопрочные выталкивающие штифты. Химическая стабильность выталкивающего штифта делает его устойчивым к загрязнению охлаждающей жидкостью или маслом, обеспечивая хорошую адаптацию к условиям сборки.

Использование заклепочных оправок из вольфрамового сплава в процессах клепки демонстрирует инженерную ценность инструментальных материалов, повышая эффективность соединения за счет оптимизации опор и обеспечивая надежную работу в промышленной сборке. С диверсификацией технологий клепки это применение расширяется, оказывая практическую поддержку процессам соединения.

#### 7.1.1 Механическое воздействие оправки из вольфрамового сплава при формовке заклепок

В процессе формовки заклепок механическая роль вольфрамового сплава в качестве оправки в основном заключается в обеспечении обратной опоры и передаче энергии. Эта роль позволяет хвостовой части заклепки подвергаться равномерной пластической деформации под воздействием удара или давления, образуя надежное соединение. В качестве жесткого реактивного элемента оправка воспринимает нагрузку от молотка. Высокая плотность и большая инерция вольфрамового сплава концентрируют реактивную силу в хвостовой части заклепки, в то время как головка плавно деформируется без отклонений. Механический механизм проявляется в распределении напряжений; рабочая поверхность оправки плотно прилегает к

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

хвостовой части, обеспечивая равномерное распределение напряжений и предотвращая локальные перегрузки, что приводит к симметричной деформации заклепки.

Его функции также включают поглощение вибраций, при этом фаза соединения верхнего стержня координируется с микродеформацией для уменьшения люфта оборудования и обеспечения плавной работы. Химически он обладает низким межфазным трением, гладкой поверхностью верхнего стержня, уменьшающей накопление тепла, и медленным повышением температуры во время формования заклепки. Корпус верхнего стержня обладает высокой прочностью, предотвращая изгиб под осевой нагрузкой и обеспечивая стабильную опору. Механические эффекты проявляются в различных типах заклепок: верхние стержни глухих заклепок компенсируют расширение, а верхние стержни самопрокалывающихся заклепок сопротивляются сдвигу.

Оправка в процессе формовки заклепок оптимизирует качество соединения. Твердость оправки соответствует материалу заклепки, обеспечивая контролируемую деформацию и предотвращая растрескивание. В процессе применения оправка фиксирует заклепочный пистолет, обеспечивая прямую передачу нагрузки и постоянную силу заклинивания заклепки. Механическое действие оправки из вольфрамового сплава демонстрирует механический вклад вспомогательного инструмента, надежно контролирующего деформацию при заклепке за счет координации сил реакции, обеспечивая механическую основу для сборочной практики.

### 7.1.2 Механизм взаимодействия между верхним стержнем и материалами заклепок

Механизм взаимодействия между материалами оправки и заклепки в основном включает трение контактной поверхности, теплопроводность и координацию деформаций. Этот механизм определяет качество соединения и долговечность оправки во время клепки. Механизм начинается с контакта рабочей поверхности оправки с хвостовой частью заклепки; при ударе трение вызывает сдвиг; с химической точки зрения, гладкая поверхность приводит к низкому коэффициенту трения, минимизируя проскальзывание заклепки и обеспечивая равномерную деформацию. Взаимодействие включает теплообмен: пластическая деформация заклепки генерирует тепло, которое передается на оправку; вольфрамовый сплав обеспечивает теплопроводность и способствует рассеиванию тепла; и температурный градиент является плавным.

Механизм также включает перенос материала: когда заклепка мягкая, небольшое ее количество прилипает к оправке; когда оправка твердая, переноса материала меньше, и поверхность легче очистить. Адгезионная фаза координируется с микродеформацией, поглощая энергию отскока заклепки, тем самым стабилизируя форму оправки. Также задействован механизм химической стабильности: пассивирующий слой на поверхности оправки препятствует коррозии, вызванной оксидами заклепок, и оправка сохраняет свою гладкость после взаимодействия.

Механизм взаимодействия зависит от материала заклепки; алюминиевые заклепки демонстрируют мягкое, умеренное взаимодействие, в то время как стальные заклепки требуют

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

высокой износостойкости от оправки из-за сильного трения. Оптимизированные механизмы обработки поверхности уменьшают адгезию в оправке, что приводит к более плавному формированию заклепок. Механизм взаимодействия между материалами оправки и заклепки отражает реакцию материала на контактное взаимодействие, поддерживая стабильность процесса клепки за счет фрикционно-термической координации и внося фундаментальный вклад в процесс соединения.

#### 7.1.2.1 Анализ распределения контактных напряжений в заклепках из вольфрамовых сплавов

Анализ распределения контактных напряжений в заклепочных оправках из вольфрамового сплава в основном фокусируется на характеристиках передачи давления и локальной нагрузки между рабочей поверхностью оправки и хвостовой частью заклепки. Этот анализ помогает понять равномерность опоры и эффект контроля деформации оправки во время клепки. Распределение контактных напряжений возникает из-за силы реакции между торцевой поверхностью оправки и хвостовой частью заклепки. Высокая твердость вольфрамового сплава приводит к концентрации напряжений в центре контакта, при этом напряжение постепенно уменьшается по краям, образуя градиентное распределение. С химической точки зрения, межфазное трение влияет на распределение; гладкая поверхность приводит к более равномерному распределению напряжений, в то время как шероховатая поверхность приводит к более высоким локальным пиковым напряжениям.

Анализ проводился с помощью моделирования методом конечных элементов или испытаний на вдавливание. Оправка обладает высокой осевой жесткостью, медленным затуханием напряжений вдоль радиуса и постоянным давлением в зоне деформации у хвостовой части заклепки. Вогнутая конструкция оправки регулирует распределение напряжений, компенсируя расширение хвостовой части и рассеивая напряжение к краям, чтобы избежать перегрузки в центре. После горячей обработки микроструктура становится волокнистой, что приводит к более сильной передаче осевых напряжений и более стабильному распределению напряжений в оправке. Анализ состава также выявляет влияние высокого содержания вольфрама, приводящего к высокой жесткости и концентрированному распределению, в то время как наличие высокой связующей фазы обеспечивает более гибкое и равномерное распределение напряжений.

Анализ распределения контактных напряжений также позволил оценить соответствие материала заклепок; мягкие заклепки демонстрировали широкое и равномерное распределение напряжений, в то время как для твердых заклепок требовалась оправка высокой твердости. Анализ обработки поверхности показал, что покрытие снижает коэффициент трения и оптимизирует распределение напряжений. Анализ химической стабильности показал, что поверхность оправки оставалась неизменной без реактивного слоя. Анализ распределения контактных напряжений в оправках из вольфрамового сплава обеспечивает механическую перспективу взаимодействия давления, а оптимизированное распределение поддерживает опорные характеристики инструмента, внося аналитический вклад в процессы клепки.

##### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

### 7.1.2.2 Влияние координации деформаций на долговечность верхушек заклепок из вольфрамового сплава

Влияние координации деформаций на долговечность заклепочных оправок из вольфрамового сплава в основном проявляется в реакции двухфазной микроструктуры на напряжение и деформацию. Это влияние позволяет оправке поглощать энергию во время ударов при клепке, уменьшая накопление повреждений. Механизм координации деформаций возникает благодаря синергии между жестким каркасом из частиц вольфрама и пластичной сеткой связующей фазы. Во время удара вольфрамовая фаза сопротивляется сжатию, в то время как связующая фаза расширяется, компенсируя боковое расширение, что приводит к небольшой общей деформации оправки и мягкому вдавливанию рабочей поверхности.

Процесс удара происходит поэтапно: первоначально возникает упругая координация и равномерное распределение напряжений; на промежуточном этапе происходит пластическая деформация, при которой связующая фаза скользит и поглощает энергию, что приводит к минимальным микроповреждениям оправки ; на более позднем этапе происходит восстановление, и форма оправки сохраняется. Химически межфазная связь прочная, и координация достигается без расслоения. Термическая обработка влияет на координацию; отжиг приводит к снижению плотности дислокаций и улучшению координации, что повышает усталостную прочность оправки . Состав также влияет на координацию; никель-медная система демонстрирует превосходную пластичность и координацию, что приводит к более быстрому восстановлению оправки после удара.

Влияние координации деформаций также влияет на оценку повреждений поверхности; хорошая координация обеспечивает равномерный износ оправки и более длительный срок службы. Высокая твердость заклепок требует сильной координации, и умеренное соотношение сцепления оправки является необходимым. Обработка поверхности влияет на координацию; гибкие покрытия способствуют поглощению деформаций. Влияние координации деформаций на долговечность оправок из вольфрамового сплава отражает механизм межфазного отклика материала, поддерживающий срок службы инструмента за счет оптимизированной координации и создающий основу для долговечности в практике клепки.

### 7.1.3 Требования к характеристикам заклепочных устройств из вольфрамового сплава при высокопрочной клепке

Требования к оправкам для заклепок из вольфрамового сплава в высокопрочной клепке в основном сосредоточены на ударопрочности, распределении твердости и стабильности размеров. Эти требования обусловлены тем, что высокопрочные заклепки, такие как заклепки из титанового сплава или высокопрочной стали, требуют большей силы реакции и точной опоры во время деформации. Оправка должна обладать высокой твердостью, чтобы противостоять износу от вдавливания на конце заклепки. Каркас из частиц вольфрама в вольфрамовом сплаве обеспечивает жесткость, а связующая фаза координирует микродеформацию, предотвращая быстрое

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

образование вмятин или сколов на рабочей поверхности оправки. С химической точки зрения, это обеспечивает прочную межфазную связь, предотвращая расслоение при концентрации напряжений и обеспечивая равномерную общую несущую способность.

К требованиям также относится усталостная прочность; высокопрочная клепка часто включает в себя высокочастотные операции, а накопление повреждений под циклическим воздействием оправки происходит медленно, при этом фиброз тканей повышает усталостную прочность. Высокая термическая стабильность также имеет решающее значение, поскольку она характеризуется низкой склонностью к размягчению оправки под воздействием высокой температуры или условий горячей клепки, что минимизирует изменения размеров и обеспечивает плотное прилегание. Высокая плотность обеспечивает сильную инерционную реакцию, концентрированное давление в зоне деформации заклепки и постоянную прочность соединения.

Для высокопрочной клепки необходима гладкая поверхность оправки, низкий коэффициент трения для уменьшения накопления тепла и медленное повышение температуры. Химическая стабильность необходима для защиты от коррозии охлаждающей жидкостью, обеспечивая отсутствие точечных повреждений на поверхности оправки даже после длительного использования. Форма торцевой поверхности должна быть вогнутой для компенсации больших деформаций, обеспечивая стабильную опору. Требования к эксплуатационным характеристикам оправок из вольфрамового сплава для высокопрочной клепки отражают адаптивность инструмента к большим нагрузкам, поддерживая качество соединения за счет баланса твердости и ударной вязкости, а также обеспечивая надежную работу в сложных узлах.

#### **7.1.4 Применимость верхних планок заклепок из вольфрамового сплава в автоматизированном клепальном оборудовании**

Использование оправок из вольфрамового сплава в автоматизированном клепальном оборудовании в основном обусловлено их быстрой заменой, точностью позиционирования и долговечностью. Эта адаптивность позволяет легко интегрировать оправку с роботами или клепальными пистолетами с ЧПУ, повышая эффективность сборки. Фиксированный конец оправки имеет стандартный интерфейс для быстрой установки с помощью защелки или резьбы. Высокая окружность оправки из вольфрамового сплава обеспечивает хорошую повторяемость позиционирования, а оборудование надежно зажимает ее без отклонений. Химически обработанная поверхность гладкая и имеет низкое трение, что обеспечивает плавную установку оправки в оборудование.

Адаптивность оправки при автоматизированной высокочастотной работе снижает резонансные повреждения. Высокая твердость обеспечивает устойчивость к высокоскоростным ударам; равномерный износ рабочей поверхности оправки продлевает срок ее службы, сокращая время простоя на замену. Термостойкость обеспечивает устойчивость к непрерывной клепке; теплоотвод оправки способствует медленному повышению температуры, минимизируя влияние

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

на точность из-за неизменных размеров. Умеренная плотность обеспечивает устойчивость к нагрузке на оборудование; масса оправки не увеличивает нагрузку на роботизированную руку.

В автоматизированном оборудовании адаптивность оправок требует разнообразных торцевых поверхностей, с возможностью переключения между вогнутой и плоской поверхностями для поддержки различных заклепок, а также стандартизированного запаса оправок. Химическая стабильность обеспечивает адаптацию к охлаждающим средам, что приводит к медленной коррозии и минимальному техническому обслуживанию. Адаптивность оправок из вольфрамового сплава для заклепок в автоматизированном клепальном оборудовании демонстрирует координацию между инструментами и механизмами, поддерживая автоматизацию сборки за счет согласования интерфейсов и характеристик, что повышает эффективность производственной линии.

## 7.2 Применение заклепочных стержней из вольфрамового сплава в конструкционных соединениях аэрокосмической отрасли

Оправки для заклепок из вольфрамового сплава в основном используются в аэрокосмических конструкционных соединениях в качестве вспомогательных инструментов для высокопрочной клепки. Это применение наблюдается при сборке фюзеляжей самолетов, компонентов двигателей и конструкций спутников, помогая обеспечить надежное соединение легких и высокопрочных материалов. Высокая плотность и твердость оправки обеспечивают стабильную силу реакции, двухфазная микроструктура вольфрамового сплава координирует ударную деформацию, а гладкая рабочая поверхность оправки снижает повреждение материала. В аэрокосмических соединениях особое внимание уделяется контролю веса и усталостной прочности; оправки из вольфрамового сплава, благодаря своей умеренной плотности и хорошей износостойкости, подходят для условий с многократными нагрузками. В области применения, оправка поддерживает заклепки из титановых сплавов или композитных материалов, имея торцевую поверхность, соответствующую форме заклепки. Вогнутая поверхность компенсирует расширение хвостовой части, а плоская поверхность обеспечивает временную прецизионную поддержку. Она обладает высокой химической стабильностью, устойчива к чистящим средствам, используемым в аэрокосмической отрасли, и не подвергается коррозии, что не влияет на соединение. Она хорошо совместима с автоматизированным клепальным оборудованием, имеет стандартизованные интерфейсы оправки, что позволяет осуществлять высокоточную роботизированную работу. Применение оправок из вольфрамовых сплавов для заклепок в аэрокосмических конструкционных соединениях демонстрирует инженерную адаптивность материалов инструмента, улучшая качество соединения за счет оптимизации поддержки и обеспечивая надежную работу при сборке легких конструкций.

### 7.2.1 Принципы выбора верхушек заклепок из вольфрамового сплава при клепке из титанового сплава

В основе конструкции заклепочных оправок из вольфрамового сплава при заклепке титановых сплавов лежат такие принципы, как соответствие твердости, ударопрочность и совместимость

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

поверхностей. Эти принципы обеспечивают стабильную опору оправки во время деформации высокопрочных титановых заклепок, предотвращая повреждения или неравномерную деформацию. Принцип твердости требует, чтобы рабочая поверхность оправки имела более твердую поверхность, чем титановый сплав, а вольфрамовый каркас сопротивлялся вдавливанию, что приводило к меньшему вдавливанию оправки и более равномерному распределению силы реакции. Принцип ударопрочности учитывает высокую прочность, необходимую для титановых заклепок, а также высокую плотность и сильную инерцию вольфрамовых сплавов, концентрируя передачу энергии через оправку.

Принципы выбора также включают совместимость с поверхностью, гладкую оправку для уменьшения прилипания титановой стружки, отсутствие риска гальванической коррозии, а также наличие покрытия или пассивации оправки. Принципы размера включают соответствие диаметру заклепки, немного больший корпус оправки для размещения хвостовой части и умеренную вогнутость торцевой поверхности для эстетической привлекательности. Принципы долговечности оценивают срок службы; оправки из вольфрамовых сплавов обладают хорошей прочностью, медленной усталостью и требуют меньшего количества замен при высокочастотной клепке.

Принцип термической стабильности находит отражение в горячей клепке титановых заклепок, при которой оправка размягчается, сохраняя при этом стабильность размеров. Принцип химической чистоты минимизирует примеси, предотвращая загрязнение поверхности титана. Принцип выбора оправок из вольфрамового сплава для клепки титановых сплавов отражает согласованность между инструментом и материалами. Этот принцип, основанный на сочетании, способствует достижению высокопрочных соединений и служит ориентиром при выборе материалов в аэрокосмической отрасли.

## 7.2.2 Требования к свойствам поверхности верхушек заклепок из вольфрамового сплава при клепке композитных материалов

К заклепочным оправкам из вольфрамового сплава при клепке композитных материалов предъявляются основные требования, касающиеся гладкости поверхности, контроля трения и неразрушающего контакта. Эти требования обусловлены чувствительностью композитных материалов к царапинам на поверхности и расслоению, что обеспечивает структурную целостность после клепки. Требуется высокая гладкость; рабочая поверхность оправки должна быть зеркально отполирована для уменьшения разрыва волокон или повреждения смолы, а также для предотвращения отслоения частиц и загрязнения межслоевого пространства при деформации хвостовой части заклепки.

Требования к контролю трения проявляются в низком коэффициенте трения, шлифованной или покрытой поверхности выталкивающего штифта, плавном скольжении во избежание чрезмерного крутящего момента, вызывающего деформацию композитной плиты. С химической точки зрения, выталкивающий штифт обладает высокой инертностью, не образуя продуктов реакции,

### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

влияющих на отверждение смолы. Требование о неповреждении материала предполагает плавный переход на торцевой поверхности выталкивающего штифта, равномерное распределение давления и отсутствие вмятин или микротрешин в композитном материале при его поддержке выталкивающим штифтом.

К требованиям также относятся умеренная теплопроводность, быстрый электростатический разряд от заклепки и предотвращение повреждения углеродного волокна искрами. Необходима хорошая теплопроводность, быстрое рассеивание тепла во время клепки и низкий температурный нагрев заклепки для защиты термической чувствительности композита. Также важна легкость очистки, отсутствие остатков адсорбированной смолы на поверхности заклепки. Характеристики поверхности заклепок из вольфрамового сплава, используемых при клепке композитов, отражают взаимодействие между инструментом и чувствительным материалом. Оптимизированные характеристики обеспечивают неразрушающее соединение, защиту поверхности в композитных конструкциях аэрокосмической отрасли.

### 7.2.3 Анализ устойчивости верхних частей заклепок из вольфрамового сплава в условиях вибрации

Анализ устойчивости заклепочных оправок из вольфрамового сплава в условиях вибрации в первую очередь фокусируется на их поведении при циклических механических нагрузках. Этот анализ помогает понять сохранение формы и надежность опоры оправки во время динамической сборки или эксплуатации. Вибрационные воздействия обычно наблюдаются при механических колебаниях во время работы оборудования или непрерывной работы на сборочных линиях. В качестве опорного инструмента оправка должна выдерживать эти нагрузки без значительной деформации или повреждения. Двухфазная структура вольфрамового сплава отражается в анализе: каркас из частиц вольфрама обеспечивает жесткость для сопротивления вибрации, в то время как связующая фаза координирует поглощение энергии микродеформаций. Общая устойчивость оправки зависит от взаимодействия между фазами.

Процесс анализа моделировался с помощью вибрационных испытаний. Верхний стержень был закреплен на вибростенде, и к нему прикладывались различные частоты и амплитуды. Регистрировались изменения смещения и напряжений. Более прочная химическая межфазная связь приводила к более быстрому затуханию вибрации и меньшей склонности верхнего стержня к резонансу. Анализ устойчивости оценивал резонансную частоту. Большое соотношение сторон верхнего стержня указывало на чувствительность к низким частотам; более короткая и толстая конструкция оптимизировала устойчивость. Вибрация сопровождалась тепловыми эффектами; тепловыделение за счет трения смягчалось теплопроводностью верхнего стержня, что способствовало рассеиванию тепла, приводя к более медленному повышению температуры и лучшей устойчивости.

Анализ вибрации также включает в себя анализ накопления усталости; при циклической вибрации распространение микроповреждений в оправке происходит медленно, а связующая фаза

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

быстро восстанавливается, что позволяет прогнозировать срок службы на основе анализа. Анализ состава также играет важную роль; никель-медная система демонстрирует хорошее демпфирование и высокое поглощение вибраций, в то время как никель-железные системы обладают высокой прочностью и стабильностью. Анализ обработки поверхности дополнительно усиливает этот эффект; шлифованные текстуры рассеивают энергию вибрации, улучшая стабильность оправки. Контроль чистоты минимизирует примеси, что приводит к уменьшению количества точек зарождения дефектов во время вибрации.

Анализ устойчивости оправки в условиях вибрации служит ориентиром при проектировании; плоская торцевая поверхность обеспечивает равномерную опору, что приводит к плавному распределению напряжений во время вибрации. Анализ термической обработки выявляет влияние отжига, который снимает остаточные напряжения и повышает стабильность. Анализ вибрационной стабильности оправок для заклепок из вольфрамового сплава демонстрирует динамическую оценку материала, поддерживает адаптацию инструмента к вибрации посредством моделирования нагрузки и вносит вклад в аналитическую основу в условиях сборки. Систематический характер анализа делает работу оправки в условиях колебаний предсказуемой, обеспечивая обратную связь для улучшения процесса.

#### 7.2.4 Особые требования к верхушкам заклепок из вольфрамового сплава при низкотемпературной клепке

Особые требования к заклепочным оправкам из вольфрамовых сплавов в криогенных процессах клепки в основном касаются низкотемпературной ударной вязкости и стабильности размеров. Эти требования обусловлены повышенной хрупкостью и усадкой материалов при низких температурах, что обеспечивает надежную поддержку и скоординированную деформацию оправки во время холодной сборки. Низкотемпературные условия характерны для криогенных складов или оборудования для клепки в условиях холодовой цепи, где оправка должна выдерживать риск хрупкого разрушения. Двухфазная структура вольфрамовых сплавов отражается в этих требованиях: вольфрамовая фаза демонстрирует меньшее скольжение при низких температурах, в то время как связующая фаза расширяется и скоординируется, улучшая ударную вязкость.

К требованиям относится низкая температура перехода к хрупкому разрушению при низких температурах, обеспечивающая поглощение оправкой большей энергии при ударах при отрицательных температурах для предотвращения внезапного разрушения. Существуют особые требования к составу: никель-медные системы демонстрируют хорошую низкотемпературную ударную вязкость и высокую ударопрочность при низких температурах в оправке; никель-железные системы требуют добавок для регулирования температуры перехода. Термическая обработка требует низкотемпературного старения для упрочнения границ зерен за счет осаждения, что приводит к низкой склонности оправки к хрупкости. Для обеспечения размерной стабильности необходимы минимальная усадка при низких температурах, низкий коэффициент теплового расширения оправки и стабильное прилегание к заклепке во время поддержки. Гладкая

##### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

поверхность необходима для минимизации трения при поддержке деформации заклепки при низких температурах и для предотвращения воздействия конденсации и замерзания. Химическая стабильность требует устойчивости к низкотемпературному кислороду и отсутствия морозной коррозии на поверхности оправки. Эти специфические требования к оправкам из вольфрамового сплава для заклепок в низкотемпературных процессах отражают требования к материалу для адаптации к холодным условиям. Их прочность и стабильность обеспечивают низкотемпературную работу инструмента, что соответствует основным требованиям холодной сборки.

### 7.3 Применение заклепочных стержней из вольфрамового сплава в автомобилестроении и железнодорожном транспорте

Оправки для заклепок из вольфрамового сплава в основном используются в качестве вспомогательных инструментов для клепки в автомобилестроении и железнодорожном транспорте. Это применение очевидно в конструктивных соединениях кузовов, кабин или шасси автомобилей, помогая достичь высокопрочной клепки легких материалов. В автомобилестроении приоритет отдается легкости и высокой прочности, в то время как в железнодорожном транспорте — долговечности и виброустойчивости. Высокая плотность и твердость оправки обеспечивают стабильную силу реакции, а двухфазная структура вольфрамового сплава координирует ударную деформацию. Области применения включают клепку алюминиевых сплавов, стальных пластин и композитных материалов, при этом конструкция торцевой поверхности оправки соответствует типу заклепки.

На линиях сборки автомобильных кузовов верхние заклепочные стержни поддерживают самопрокалывающую или глухую клепку, обеспечивая постоянную прочность соединения и длительную ударопрочность. В производстве железнодорожного транспорта верхние заклепочные стержни используются для клепки нержавеющей стали или алюминиевых сплавов, обеспечивая стабильную опору в условиях вибрации. Они обладают хорошей химической стабильностью, устойчивы к воздействию охлаждающей жидкости и масляных загрязнений цеха. Они также демонстрируют высокую совместимость с автоматизированными системами, а стандартизованные интерфейсы позволяют бесперебойно работать роботам. Применение верхних заклепочных стержней из вольфрамового сплава в автомобилестроении и производстве железнодорожного транспорта демонстрирует инженерную адаптивность материалов инструмента, повышая эффективность соединения за счет оптимизации опоры и обеспечивая надежную работу при сборке транспортных конструкций.

#### 7.3.1 Применимость верхних планок заклепок из вольфрамового сплава при клепке легких кузовов транспортных средств

В клепке облегченных кузовов автомобилей адаптивность верхних планок из вольфрамового сплава в основном проявляется в их способности поддерживать заклепки из алюминиевого сплава или высокопрочной стали. Эта адаптивность помогает снизить вес при сохранении прочности

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

соединения. В облегченных кузовах автомобилей часто используются алюминиевые листы или гибридные материалы, и клепка требует контроля деформации во избежание повреждений. Высокая твердость верхней планки препятствует давлению алюминиевых заклепок, гладкая рабочая поверхность уменьшает количество царапин, а опора обеспечивает ровную и симметричную форму заклепки.

Адаптивный механизм проявляется в механическом равновесии; вольфрамовый сплав имеет умеренную плотность, концентрируя силы реакции без увеличения нагрузки на оборудование; инерция верхнего стержня способствует передаче энергии; и хвостовая часть заклепки плавно расширяется. Клеевая фаза скоординирована с минимальной деформацией, что обеспечивает хорошее поглощение вибраций при ударе верхнего стержня и отсутствие дополнительной нагрузки на панели кузова. Химическая стабильность обеспечивает адаптацию к охлаждающей жидкости на сборочной линии, а поверхность верхнего стержня не подвержена коррозии, влияющей на соединение. Конструкция торцевой поверхности плоская или слегка вогнутая, что позволяет использовать самопрокалывающиеся или сплошные заклепки, обеспечивая высокую точность подгонки верхнего стержня.

Адаптивность верхних стержней заклепок в облегченной клепке также включает в себя совместимость с автоматизированными системами, хорошую округлость стержня для стабильного зажима роботом и длительный срок службы при высокочастотных операциях. После термообработки микроструктура становится однородной, верхний стержень обладает высокой усталостной прочностью и требует меньшего количества замен на линиях непрерывного производства. Хорошо поддается полировка поверхности, трение низкое, проскальзывание заклепки минимальное, а качество формования стабильное. Адаптивность верхних стержней заклепок из вольфрамового сплава в облегченной клепке кузовов автомобилей демонстрирует согласованность инструмента с материалами, снижающими вес, обеспечивая легкое, но прочное соединение в кузовных соединениях за счет оптимизированной опоры, что вносит практическую ценность в автомобилестроение.

### 7.3.2 Исследование износа стержней заклепок из вольфрамового сплава в процессе высокочастотной клепки

Исследование износа заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов при высокочастотной клепке в первую очередь сосредоточено на развитии повреждений поверхности под воздействием непрерывных быстрых ударов. Это исследование помогает понять долговечность оправок на автоматизированных высокоскоростных сборочных линиях. Высокочастотная клепка включает в себя ударные частоты в десятки и даже более раз в минуту, при этом рабочая поверхность оправки многократно контактирует с хвостовой частью заклепки. Трение и накопление вмятин приводят к износу. В исследовании очевидна двухфазная структура вольфрамовых сплавов: высокая твердость частиц вольфрама сопротивляется вдавливанию, в то время как связующая фаза координирует микродеформации для поглощения энергии, что приводит к равномерной и мелкозернистой морфологии износа оправки .

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

Исследование проводилось с помощью имитационных экспериментов или мониторинга производственной линии. Высокочастотный клепальный пистолет был закреплен с помощью верхнего стержня, и после определенного количества циклов регистрировались шероховатость поверхности и потеря объема. Химически происходило преимущественное истирание связующей фазы с образованием неглубоких ямок. После обнажения частиц вольфрама абразивное воздействие замедлялось. Износ был поэтапным: первоначально полированная поверхность была гладкой, и износ был медленным; на средней стадии накапливались микроямки, увеличивая шероховатость; а на более поздней стадии скорость износа стабилизировалась. Тепловые эффекты, сопровождающие высокую частоту: выделение тепла за счет трения ускоряло окислительный износ, в то время как теплопроводность верхнего стержня способствовала рассеиванию тепла, снижая износ.

Исследование высокочастотного процесса также позволило оценить влияние формы торцевой поверхности. Вогнутые поверхности демонстрируют более широкое распределение износа из-за деформации, в то время как плоские поверхности показывают временный, но равномерный износ. Была оценена эффективность обработки поверхности; нанесение покрытия или закалка приводили к низкому начальному износу, но позже, когда подложка обнажалась, характер износа менялся на противоположный. Были учтены различия в составе: системы вольфрам-медь показали хорошую теплопроводность и низкое термическое воздействие на износ, в то время как системы никель-железо продемонстрировали высокую твердость и сильную абразивную стойкость. Высокочастотный процесс клепки обеспечил непрерывный анализ повреждений под нагрузкой для изучения износа заклепочных оправок из вольфрамового сплава. Анализ поведения способствовал оценке срока службы инструмента и предоставил данные о долговечности в автоматизированной сборке.

### **7.3.3 Совместимость заклепок из вольфрамового сплава в многокомпонентных соединениях**

Использование оправок из вольфрамового сплава в многокомпонентных соединениях в основном обусловлено их адаптивностью к различным материалам заклепок и листового металла. Эта совместимость очевидна при заклепке гибридных конструкций, таких как соединения алюминия и стали или алюминиевых композитных материалов, обеспечивая стабильную и неповрежденную опору оправки. Эта совместимость обусловлена балансом между твердостью и качеством поверхности оправки; высокая твердость вольфрамового сплава препятствует вдавливанию стальных заклепок, а гладкая поверхность уменьшает царапины на алюминиевых или композитных пластинах. С химической точки зрения, оправка обладает высокой инертностью, не вызывая гальванической связи или реакции, влияющей на границу раздела разнородных материалов.

Механизм совместимости отражается в координации деформаций: когда рабочая поверхность оправки контактирует с мягкой заклепкой, сила реакции смягчается, предотвращая разрушение композитного слоя; при использовании твердой заклепки она демонстрирует высокую жесткость, что приводит к концентрированной деформации и хорошему формированию. Конструкция торцевой

#### **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](http://www.ctia.com.cn)

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

поверхности совместима с различными областями применения: неглубокие вогнутые участки компенсируют расширение алюминиевой заклепки, а плоские поверхности обеспечивают временную опору для стальной заклепки. Совместимость теплопроводности обеспечивает быстрое рассеивание тепла, и оправка поддерживает стабильное повышение температуры, несмотря на различное тепловыделение от разных материалов. Совместимость обработки поверхности обеспечивает гибкость покрытий, а контакт оправки с композитной смолой не загрязняет окружающую среду.

Совместимость оправок при соединении многокомпонентных материалов также позволяет оценить вибрационную реакцию. Гибридные конструкции демонстрируют сложные вибрации, и оправки с согласованным демпфированием минимизируют повреждения. Химическая стабильность обеспечивает совместимость с чистящими средствами, предотвращая загрязнение зоны соединения продуктами коррозии. Совместимость состава и возможность регулировки, при этом проводимость вольфрама и меди способствует электростатическому разряду, делают их пригодными для композитов из углеродного волокна. Совместимость оправок для заклепок из вольфрамового сплава при соединении многокомпонентных материалов демонстрирует адаптивность инструмента к разнородным материалам. Благодаря согласованной твердости и качеству поверхности они обеспечивают надежную клепку гибридных конструкций, создавая основу для совместимости в облегченном производстве.

#### 7.4 Применение заклепочных стержней из вольфрамового сплава в прецизионной механической сборке

Оправки для заклепок из вольфрамового сплава в основном используются в прецизионной механической сборке в качестве вспомогательных инструментов для миниатюрной или высокоточной клепки. Это применение очевидно в конструкционных соединениях в таких областях, как приборостроение, медицинское оборудование и оптика, помогая надежно закреплять мелкие компоненты. Прецизионная механическая сборка требует соединений без повреждений, точной деформации и размерной стабильности. Высокая твердость и гладкая поверхность оправки обеспечивают стабильную силу реакции, а двухфазная структура вольфрамового сплава смягчает микроудары, предотвращая царапины или концентрацию напряжений на компонентах.

оправка обеспечивает равномерное распределение давления при поддержке микрозаклепок. Она обладает высокой химической стабильностью, что делает ее устойчивой к условиям чистых помещений и предотвращает отслоение частиц, которые могут загрязнить прецизионные детали. Совместимая как с ручными, так и с электрическими прецизионными заклепочными пистолетами, миниатюрная оправка обеспечивает гибкость в работе. Применение заклепочных оправок из вольфрамового сплава в прецизионной механической сборке демонстрирует точную адаптацию материалов инструмента, улучшая качество небольших соединений за счет оптимизированной поддержки и обеспечивая надежную работу в высокоточном производстве.

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

#### 7.4.1 Требования к точности размеров заклепочных стержней из вольфрамового сплава при микроклепании

К заклепочным оправкам из вольфрамового сплава в микроклепании предъявляются основные требования, касающиеся диаметра оправки, плоскостности рабочей поверхности и соосности. Эти требования обеспечивают точное позиционирование и равномерное давление оправки при поддержке небольших заклепок, предотвращая деформацию или смещение прецизионных компонентов. Диаметр оправки должен с минимальным отклонением соответствовать хвостовой части микрозаклепки для обеспечения плотной посадки. С химической точки зрения, гладкая поверхность снижает трение, а высокая точность размеров обеспечивает симметричное формирование заклепки. Плоскость требует гладкой рабочей поверхности без локальных выпуклостей во время поддержки и без вмятин на прецизионных инструментальных компонентах.

Механизм должен отражаться в контроле допусков, с высокой соосностью корпуса стержня для предотвращения эксцентрических нагрузок и равномерным распределением напряжений при ударе. Требуется стабильная точность длины, выталкивающий штифт должен быть стабильно расположен в оборудовании, и его положение должно оставаться неизменным при многократной клепке. После термообработки требуется высокая стабильность размеров, минимальная термическая усадка выталкивающего штифта, а точность должна сохраняться, несмотря на колебания температуры окружающей среды при сборке.

Требования к точности размеров оправок в микроклепках также включают контроль формы торцевой поверхности, точное формирование неглубоких вогнутых или плоских головок, а также возможность компенсации расширения при микроклепках без перелива. Низкая шероховатость поверхности требует дополнительной точности, а низкое трение оправки обеспечивает плавную деформацию. Управление химической чистотой минимизирует примеси и обеспечивает стабильную обработку размеров. Требования к точности размеров оправок из вольфрамового сплава для микроклепок отражают геометрические ограничения прецизионных инструментов. Оптимизация точности способствует надежному выполнению небольших соединений и вносит вклад в обеспечение размерной основы сборки инструментов.

#### 7.4.2 Роль модификации поверхности в точном применении заклепочных оправок из вольфрамового сплава

Модификация поверхности в высокоточных приложениях для заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов достигается в основном путем нанесения покрытий, пассивации или микротекстурирования. Этот процесс повышает стабильность поверхности и функциональную адаптивность оправки при высокоточной клепке. В высокоточных приложениях особое внимание уделяется неразрушающему контакту и долговременной гладкости. Модификация поверхности образует защитный слой, который химически блокирует коррозию окружающей среды, замедляет износ рабочей поверхности оправки и способствует плавному формированию заклепок. Покрытия, такие как никель-фосфорные или хром-азотные, повышают твердость, помогая

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

оправке противостоять вдавливанию микрозаклепок, а низкая шероховатость поверхности уменьшает количество царапин.

Модификация проявляется в контроле трения, что приводит к низкому коэффициенту поверхностного трения, меньшему проскальзыванию между выталкивающим штифтом и заклепкой и равномерной деформации прецизионных деталей. Независимо от того, является ли пассивирующий слой самоорганизующимся или искусственным, выталкивающий штифт медленно окисляется во влажной чистой комнате, сохраняя гладкую поверхность. Микротекстурная модификация рассеивает свет, уменьшая блики во время работы выталкивающего штифта и повышая визуальный комфорт. Улучшенная химическая стабильность после модификации делает выталкивающий штифт устойчивым к чистящим средствам, обеспечивая отсутствие остаточных загрязнений во время прецизионной сборки.

Модификация поверхности также влияет на теплоотвод; теплопроводность покрытия способствует рассеиванию тепла, а повышение температуры выталкивающего штифта замедляется, защищая чувствительные к нагреву компоненты. Контроль толщины модификации гарантирует сохранение точности размеров выталкивающего штифта. В прецизионных приложениях модификация оптимизирует контакт, а удержание микрозаклепок в выталкивающем штифте предотвращает их перелив. Роль модификации поверхности в прецизионном применении выталкивающих штифтов из вольфрамового сплава демонстрирует усовершенствованный вклад поверхностной инженерии, поддерживающей характеристики поверхности инструмента за счет защитного слоя и обеспечивающей стабильную основу для высокоточной сборки.

#### **7.4.3 Требования к чистоте материала заклепочного стержня из вольфрамового сплава в условиях чистых помещений**

Требования к чистоте заклепочных стержней из вольфрамового сплава в чистых помещениях обусловлены прежде всего необходимостью предотвращения отслаивания частиц и химического загрязнения. Это требование особенно актуально при клепке прецизионных инструментов или медицинских изделий, гарантируя, что заклепочные стержни не будут содержать примесей, которые могут повлиять на чистоту сборки. В условиях высокой чистоты материалы заклепочных стержней должны обладать низким уровнем пылеобразования. Процессы порошковой металлургии вольфрамовых сплавов очищают от примесей, а химическое низкое содержание кислорода и углерода снижает отслаивание оксидов, в результате чего поверхность заклепочного стержня оказывается свободной от рыхлых частиц.

Механизм подачи материала отражается в чистоте поверхности; после полировки выталкивающий штифт оставляет минимальное количество остатков, что снижает риск отсоединения во время работы. Он отличается высокой чистотой компонентов, отсутствием летучих элементов в связующей фазе, что обеспечивает стабильность при высоких температурах или вакууме. Термообработка требует вакуумного отжига для полного удаления внутренних газообразных примесей, предотвращая их выделение во время использования. Химическая

##### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

очистка требует использования мягких растворителей, что облегчает удаление остатков с поверхности выталкивающего штифта.

Требования к верхним стержням заклепок в чистых помещениях также включают немагнитные варианты; система вольфрам-медь предотвращает адсорбцию магнитной пыли. Покрытие должно быть выполнено из инертных материалов, чтобы предотвратить отслаивание защитного слоя верхнего стержня . Требования к чистоте оцениваются с помощью испытаний на выброс пыли; верхний стержень демонстрирует минимальное количество частиц вибрации или трения, чтобы соответствовать требуемым стандартам. Требования к чистоте верхних стержней заклепок из вольфрамового сплава в чистых помещениях отражают ограничения материала, необходимые для сборки в условиях высокой чистоты. Очистка обеспечивает работу инструмента без загрязнений и способствует созданию чистой основы в условиях точной обработки.



CTIA GROUP LTD. Заклепочный стержень 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](http://www.ctia.com.cn)

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

## Глава 8. Распространенные проблемы с верхушками заклепок из вольфрамового сплава.

### 8.1 Образование дефектов в процессе производства верхушек заклепок из вольфрамового сплава

заклепочных оправок из вольфрамового сплава возникают в основном из-за колебаний технологического процесса на различных этапах порошковой металлургии. Эти дефекты влияют на однородность микроструктуры оправки и стабильность ее механических свойств. К типам дефектов относятся остаточная пористость, сегрегация частиц, трещины и включения, возникающие в результате смешивания сырья и последующей обработки после спекания. Неоднородное смешивание приводит к локальному обогащению связующей фазы, сжатие с градиентом напряжений вызывает расслоение, а отклонения в диапазоне температур спекания приводят к недостаточной перегруппировке или чрезмерному течению.

Механизм образования дефектов проявляется во взаимодействии на межфазной границе. Когда частицы вольфрама недостаточно смачиваются связующим веществом, образуется множество межфазных пор, и химически примеси реагируют с кислородом и углеродом, образуя газонепроницаемые поры. Неправильное снятие термического напряжения приводит к образованию микротрещин, а стержнеобразное соотношение сторон верхнего стержня усиливает концевые дефекты. Контроль дефектов достигается за счет оптимизации параметров и вспомогательных процессов, при этом шаровое измельчение улучшает однородность, а горячее изостатическое прессование закрывает поры.

Анализ дефектов в процессе изготовления позволяет улучшить качество; микроскопическое наблюдение и определение плотности выявляют проблемы; а характеристики оправки обеспечивают обратную связь для корректировки процесса. Образование дефектов при изготовлении заклепочных оправок из вольфрамового сплава демонстрирует сложности порошковой металлургии. Контроль процесса обеспечивает надежное производство инструментов и закладывает качественную основу для клепальных работ.

#### 8.1.1 Влияние неравномерного спекания на микроструктуру заклепочных оправок из вольфрамового сплава

Неоднородность спекания микроструктуры заклепочных оправок из вольфрамового сплава проявляется главным образом в градиенте плотности и отклонении распределения фаз. Этот эффект более выражен в длинных частях заготовки оправки, влияя на общую прочность и ударопрочность. Неоднородность спекания обусловлена колебаниями температурного поля или атмосферы, временем появления жидкой фазы между центром и краем заготовки, а также степенью перегруппировки. В областях с недостаточным потоком жидкой фазы частицы вольфрама имеют меньший контакт и больше остаточных пор.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Механизм воздействия отражается в перегруппировке частиц. В неоднородной области частицы вольфрама демонстрируют плохую сфероидизацию, концентрацию напряжений в острых углах и высокую локальную хрупкость оправки . Область сегрегации связующей фазы показывает хорошую ударную вязкость, но низкую прочность, что приводит к колебаниям осевых свойств оправки . Неоднородное межфазное сцепление и различная толщина в зоне химической диффузии увеличивают риск отрыва оправки при ударе. После горячей обработки неоднородность усиливается, текстура волокон становится прерывистой, а прочность оправки на изгиб снижается.

Влияние неоднородности спекания также включает различия в размере зерен, приводящие к их укрупнению в высокотемпературной зоне и уменьшению в размерах в низкотемпературной зоне, что увеличивает количество точек зарождения усталостных трещин в оправке. Неравномерное испарение примесей усугубляет это воздействие, вызывая локальное образование окрупчивающих фаз в оправке. Анализ распределения плотности с помощью металлографического наблюдения поперечного сечения позволяет контролировать температуру в многозонной печи. Влияние неоднородности спекания на микроструктуру заклепочных оправок из вольфрамового сплава демонстрирует сложность достижения однородности в высокотемпературном процессе. Оптимизация процесса в полевых условиях способствовала надежному формированию микроструктуры, обеспечивая структурную основу для долговечности инструмента.

#### 8.1.2 Источники и контроль загрязнения примесями в заклепочных оправках из вольфрамовых сплавов

Загрязнение вольфрамовых заклепочных оправок происходит главным образом из-за контакта с порошком сырья, технологической атмосферой и оборудованием. Это загрязнение влияет на чистоту и микроструктуру оправки , потенциально вызывая хрупкость или коррозионные дефекты. Источниками загрязнения сырья являются остаточный кислород и углерод, неполное восстановление вольфрамового порошка, приводящее к образованию оксидов, и адсорбция газов порошком связующей фазы. Источниками загрязнения технологической атмосферы являются высокая точка росы водорода и реакция водяного пара, химически генерирующие летучие закрытоячеистые или хрупкие фазы.

К источникам загрязнения также относятся износ оборудования и частицы из пресс-форм или лодок, попадающие в заготовку. Остатки шаровой мельницы и локальные твердые участки на выталкивающем штоке также вносят свой вклад. Меры контроля включают очистку сырья, многоступенчатое восстановление порошка вольфрама для уменьшения содержания кислорода и химическую очистку порошка сплава для удаления поверхностных примесей. Контроль атмосферы включает сушку водородом и фильтрацию с низкой точкой росы для предотвращения повторного окисления. Варианты вакуумного спекания снижают загрязнение газами, что приводит к высокой чистоте выталкивающего штока.

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Меры контроля также включают управление оборудованием, инертные материалы для футеровки пресс-форм и высокочистые лодочки для предотвращения осыпания. Смешивание с материалами без наполнителя или керамическими шариками минимизирует попадание загрязнений. Химическая очистка после термообработки удаляет летучие остатки. Источники и контроль примесей в выталкивающих штифтах из вольфрамового сплава воплощают принципы управления чистотой, применяемые в материаловедении. Многоисточниковый контроль поддерживает чистоту материала, закладывая основу для производительности выталкивающих штифтов. Систематический характер этих мер контроля обеспечивает стабильность примесей в выталкивающих штифтах от партии к партии, гарантируя чистоту и долговечность.

### 8.1.3 Механизм образования трещин на стадии прессования заклепочного стержня из вольфрамового сплава

Механизм зарождения трещин на стадии прессования заклепочных оправок из вольфрамового сплава в основном связан с концентрацией напряжений и несогласованностью деформаций между частицами порошка. Этот механизм проявляется в процессе формования заготовки и влияет на последующее спекание и целостность готового изделия. В процессе прессования порошок заполняет форму, а при передаче давления происходит перегруппировка частиц и пластическая деформация. Вольфрамовый порошок обладает высокой твердостью и высокой деформационной стойкостью. Химически, межчастичное трение генерирует локальные сдвиговые напряжения, а градиент напряжений на кромках или углах является крутым, что приводит к зарождению микротрещин.

Механизм образования трещин делится на этапы. На начальном этапе упругое сжимающее напряжение равномерно. На среднем этапе увеличивается трение скольжения частиц, и трещины зарождаются в слабых межфазных соединениях. На более позднем этапе уплотнения возникает эффект упругого восстановления, и снятие напряжения на конце оправки с большим соотношением сторон происходит неравномерно, что приводит к распространению поверхностных трещин. Недостаточная смазка усугубляет механизм, приводя к высокому растягивающему напряжению и многочисленным трещинам из-за прилипания частиц к форме. Неравномерный размер частиц порошка влияет на механизм, вызывая плохое заполнение пустот из-за смеси крупных и мелких частиц, а также многочисленные точки концентрации напряжений. На механизм образования трещин также влияет метод прессования. Холодное изостатическое прессование с равномерным давлением жидкости приводит к меньшему количеству трещин, в то время как формование с большим односторонним градиентом давления легко приводит к образованию трещин. Механизм изменяется с повышением температуры; теплое прессование размягчает связующее вещество, что приводит к лучшей координации и меньшему количеству трещин. Управление химической чистотой снижает количество примесей и хрупких частиц, тем самым уменьшая источник образования трещин. Механизм образования трещин на стадии прессования заклепочного стержня из вольфрамового сплава отражает реакцию материала на формовочное напряжение. Контроль давления обеспечивает целостность заготовки и способствует пониманию механизма при оптимизации процесса.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

#### 8.1.4 Анализ причин образования остаточной пористости в заклепочных стержнях из вольфрамового сплава

Анализ причин образования остаточной пористости в заклепочных оправках из вольфрамовых сплавов в основном сосредоточен на ограничении газового потока и недостаточном заполнении частицами на стадиях прессования и спекания. Это приводит к неравномерной плотности оправки и локальному снижению прочности. На стадии прессования воздух или адсорбированный газ между частицами порошка сжимаются и герметизируются, а остаточный водяной пар или водород химически образуют закрытые поры. Пористость выше при низкой плотности заготовки. Широкое распределение частиц по размерам является очевидной причиной; крупные частицы имеют большие зазоры и их трудно заполнить, в то время как мелкий порошок перекрывает ограниченный газ. К причинам также относятся недостаточная перегруппировка при спекании, ограниченное движение частиц при малом объеме жидкой фазы, медленное уменьшение пор и большее количество остаточных пор. Низкий температурный диапазон является основной причиной, указывающей на неполное плавление и плохое смачивание связующей фазы. Высокая точка росы в атмосфере усугубляет проблему, поскольку водяной пар реагирует с образованием летучих веществ, оставляя остаточные поры. Длинный стержнеобразный верхний стержень усиливает этот эффект, поскольку на его концах наблюдается медленный поток жидкой фазы и концентрированные поры.

Анализ причин остаточной пористости позволяет оценить влияние технологических процессов; горячее изостатическое прессование уменьшает количество закрытых пор, а механическое сжатие при повторном повышении давления дополнительно снижает остаточную пористость. Управление химической чистотой минимизирует испарение примесей и уменьшает источники пористости. Анализ происхождения помогает оптимизировать процесс; предварительное повышение давления и вентиляция снижают выбросы газов, а длительная изоляция способствует усадке. Анализ причин остаточной пористости в заклепочных оправках из вольфрамового сплава дает представление о материале в контексте объемных дефектов, способствует улучшению процессов уплотнения путем отслеживания причин и вносит аналитический вклад в качество оправок.

#### 8.2 Виды отказов верхних частей заклепок из вольфрамового сплава в процессе эксплуатации

В процессе эксплуатации заклепочные оправки из вольфрамовых сплавов в основном подвержены механическим перегрузкам, разрушению, износу и усталостному повреждению. Эти процессы проявляются в условиях высокочастотной или высоконагруженной клепки, влияя на стабильность опоры оправки и срок ее службы. Причины разрушения возникают в результате многократного взаимодействия оправки и хвостовой части заклепки, вызванного совокупным воздействием механического напряжения, тепла трения и факторов окружающей среды. Перегрузка проявляется в виде внезапного разрушения, износ – в виде удаления поверхностного материала, а усталость – в виде распространения микроповреждений.

##### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

Анализ режимов разрушения проводился путем наблюдения за поверхностью излома и измерения износа. Двухфазная структура оправки влияет на путь разрушения; частицы вольфрама сопротивляются повреждениям, в то время как связующая фаза координирует деформацию, но склонна к усталости. Химическое окисление поверхности ускоряет износ, а коррозия в среде усугубляет разрушение. Изучение режимов разрушения помогает в выборе и обслуживании оправок; высокопрочные оправки устойчивы к перегрузкам, а износостойкие типы имеют длительный срок службы. Режимы разрушения используемых оправок из вольфрамового сплава отражают поведение материала в зависимости от нагрузки на инструмент. Анализ режимов разрушения способствует оптимизации долговечности и служит ориентиром для предотвращения отказов в практике клепки.

### **8.2.1 Механизм разрушения заклепочного стержня из вольфрамового сплава вследствие механической перегрузки**

В результате механической перегрузки вольфрамовые сплавы, особенно в случае заклепочных оправок, в основном страдают от развития повреждений под воздействием мгновенных высоких напряжений. Этот механизм проявляется при случайных сильных ударах или отказах оборудования, когда оправка, как опорный элемент, испытывает нагрузку, превышающую ее расчетную мощность. Механизм начинается с концентрации напряжений, когда локальная деформация велика на рабочей поверхности или в углу оправки. С химической точки зрения, сначала происходит пластическая деформация связующей фазы, а основную нагрузку несет каркас из частиц вольфрама. Перегрузка увеличивает накопление дислокаций, повышает межфазное напряжение, и в связующей фазе или между частицами возникают микротрешины.

Механизм разрушения разворачивается поэтапно: первоначально энергия поглощается за счет пластической координации; на средней стадии трещины распространяются вдоль слабых границ раздела, при этом двухфазная структура верхнего стержня замедляет распространение за счет изгиба; на более поздней стадии происходит быстрое разрушение, при этом поверхность разрушения представляет собой смесь ямок и сколов, причем связующая фаза демонстрирует глубокие ямки, а вольфрамовая фаза — плоские поверхности сколов. Тепловые эффекты, сопровождаемые перегрузкой, вызывают трение, размягчая связующую фазу и ускоряя разрушение. Из-за различий в составе никель-медь демонстрирует пластическую координацию и более медленное разрушение, в то время как никель-железо обладает большей прочностью, но несколько большей склонностью к хрупкому разрушению.

Механизм разрушения при механической перегрузке также зависит от состояния поверхности; гладкие заклепочные оправки демонстрируют равномерное распределение напряжений и позднее зарождение трещин, в то время как царапины приводят к раннему зарождению трещин. Оптимизированные механизмы термообработки приводят к низкому остаточному напряжению после отжига и хорошей устойчивости к перегрузкам. Контролируемая химическая чистота минимизирует примеси и снижает количество точек зарождения хрупких трещин. Механизм разрушения заклепочных оправок из вольфрамового сплава, вызванный механической

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

перегрузкой, отражает разрушение материала при высоких нагрузках. Анализ траекторий помогает оценить нагрузку на инструмент и способствует пониманию механизмов безопасности при клепке.

### 8.2.2 Кумулятивное воздействие износа и усталости на верхушки заклепок из вольфрамового сплава

Кумулятивный эффект износа и усталости в заклепочных оправках из вольфрамового сплава достигается главным образом за счет синергетического эффекта многократного контакта и циклического напряжения. Этот эффект постепенно проявляется при высокочастотной клепке, влияя на качество поверхности и общую долговечность оправки. Накопление износа приводит к удалению поверхностного материала, в то время как накопление усталости приводит к распространению микроповреждений, и эти два процесса взаимодействуют, ускоряя разрушение. На ранних стадиях износа трение царапает рабочую поверхность, химически размягчая и перенося связующую фазу, и подвергая частицы вольфрама абразивному воздействию. На ранних стадиях усталости накапливаются дислокации, и во время циклических колебаний возникают микротрешины. В двухфазной структуре оправки усталость сначала испытывает связующая фаза.

Механизм кумулятивного эффекта проявляется во взаимодействии: изношенные, шероховатые поверхности имеют больше точек концентрации напряжений, что приводит к быстрому образованию усталостных трещин; усталостные микротрешины обнажают новые поверхности, ускоряя износ. Кумулятивные тепловые эффекты включают в себя выделение тепла от трения, размягчающее поверхность и увеличивающее износ, в то время как повышение температуры выталкивающего штифта способствует усталости. Накопленные факторы окружающей среды, такие как синергетическая коррозия от влажной среды, также способствуют быстрому повреждению выталкивающего штифта. Накопление износа и усталости также зависит от частоты использования, причем значительный эффект наблюдается при высоких частотах, что приводит к образованию глубоких ямок и многочисленных трещин на поверхности заклепки. Обработка поверхности замедляет накопление износа, а покрытия обеспечивают низкий начальный износ и хорошую защиту от усталости. Различия в составе также способствуют накоплению износа; вольфрам-медь демонстрирует более медленное рассеивание тепла и накопление износа, в то время как никель-железо, благодаря своей высокой твердости, приводит к более медленному износу. Кумулятивный эффект износа и усталости в заклепках из вольфрамовых сплавов отражает синергетическое повреждение от долговременных нагрузок. Анализ эффектов помогает управлять сроком службы инструмента и предоставляет кумулятивную информацию для технического обслуживания заклепок.

### 8.2.3 Сокращение срока службы заклепочных оправок из вольфрамового сплава вследствие воздействия коррозионных сред

Сокращение срока службы заклепочных оправок из вольфрамового сплава из-за воздействия агрессивных сред происходит главным образом за счет растворения поверхностных материалов и

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

накопления структурных повреждений. Это сокращение особенно заметно во влажных или химически обработанных цехах, где ухудшается качество поверхности оправки, что влияет на стабильность опоры. К агрессивным средам относятся влага, солевой туман или чистящие средства. С химической точки зрения, элементы связующей фазы обладают высокой реакционной способностью и легко вступают в реакцию со средой, образуя растворенные или пористые слои, постепенно приводящие к образованию точечных повреждений на поверхности оправки. Механизм сокращения также наблюдается в микроячейках, где связующая фаза подвергается анодному растворению, в то время как вольфрамовая фаза, хотя и относительно инертна, демонстрирует распространение коррозии на границе раздела, что приводит к локальному истончению оправки .

Процесс снижения коррозии имеет поэтапный характер. На начальной стадии разрушается пассивирующий слой поверхности, и скорость коррозии замедляется. На средней стадии происходит точечная или равномерная коррозия, увеличивающая шероховатость выталкивающего штифта и трение. На более поздней стадии накапливаются повреждения, что приводит к неравномерной силе реакции выталкивающего штифта и плохому формированию заклепок. Высокая влажность ускоряет коррозию, поскольку влага способствует миграции ионов. Кислые среды вызывают значительную коррозию с быстрым растворением связующего вещества. Щелочные среды относительно мягкие, но длительное воздействие приводит к образованию пористого слоя. Коррозия сопровождается термическими эффектами; с повышением температуры скорость реакции увеличивается, сокращая срок службы выталкивающего штифта .

Коррозионные среды также сокращают срок службы внутренних компонентов, приводя к концентрации напряжений в местах образования точечных повреждений и более раннему зарождению усталостных трещин. Обработка поверхности сокращает срок службы более постепенно, в то время как покрытия изолируют среду и повышают прочность заклепки . Различия в составе способствуют сокращению срока службы; система вольфрам-медь улучшает проводимость, но медная фаза более подвержена коррозии, в то время как никель-железо обеспечивает хорошую пассивацию. Сокращение срока службы заклепок из вольфрамового сплава из-за коррозионных сред отражает износ материала, вызванный взаимодействием со средой, поддерживает оценку срока службы инструмента посредством накопления повреждений и служит ориентиром для оценки воздействия окружающей среды на практику технического обслуживания.

#### **8.2.4 Растрескивание оправок заклепок из вольфрамового сплава вследствие термического удара**

Растрескивание заклепочных оправок из вольфрамового сплава, вызванное термическим ударом, в основном обусловлено концентрацией термических напряжений при резких изменениях температуры. Это явление проявляется при горячей клепке или в условиях чередования температур, где распространение микротрещин на оправке или внутри нее влияет на ее прочность. В процессе термического удара быстрый нагрев и охлаждение в сочетании с разницей в

##### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

термическом расширении генерируют растягивающие и сжимающие напряжения. Неполное соответствие коэффициентов связующей фазы и вольфрамовой фазы приводит к высокому межфазному напряжению и инициированию растрескивания. Растрескивание происходит поэтапно: первоначально термическое напряжение является упругим, и оправка остается неповрежденной; на средней стадии многократные удары накапливают остаточные напряжения, и на поверхности или в области связующего вещества инициируются микротрешины; на более поздней стадии трещины распространяются, приводя к разрушению оправки или отслаиванию рабочей поверхности. Фрикционный нагрев и сильные локальные удары усиливают склонность к растрескиванию. Микроструктура также играет роль: крупные зерна более склонны к растрескиванию, в то время как мелкие зерна более эффективно смягчают напряжение.

На образование трещин под воздействием термического удара также влияет среда; конденсация влаги усиливает напряжение, а циклическое воздействие влажного тепла на оправку ускоряет растрескивание. Важны также явления, связанные с состоянием поверхности; рыхлый оксидный слой приводит к большему количеству точек зарождения трещин. Различия в составе также играют роль; медные фазы обладают высокой теплопроводностью и рассеиванием тепла, что приводит к более медленному растрескиванию, в то время как железные фазы демонстрируют стабильное регулирование расширения. Растрескивание заклепочных оправок из вольфрамового сплава под воздействием термического удара демонстрирует температурно-зависимое повреждение. Анализ напряжений подтверждает термическую адаптацию инструмента и способствует пониманию этого явления при работе в условиях переменной температуры.

### 8.2.5 Влияние отслаивания поверхности на работу заклепочных инструментов из вольфрамового сплава

Влияние поверхностного отслаивания на работу заклепочных оправок из вольфрамового сплава в основном обусловлено расслоением материала, что приводит к неровным контактным поверхностям и нестабильной опоре. Этот эффект проявляется после высокочастотного трения или накопления усталости, а повреждение рабочей поверхности оправки снижает качество формирования заклепки. Отслаивание возникает из-за поверхностной усталости или адгезионного износа, химического разрыхления оксидных или переносных слоев, а также отслоения под циклической нагрузкой. Первоначально поверхность шероховатая, что затрудняет скольжение заклепки из-за трения оправки ; на промежуточном этапе образуются ямки отслаивания, а неравномерные силы реакции вызывают деформацию заклепки.

Механизм воздействия проявляется в накоплении повреждений, при этом микротрешины распространяются до поверхностного слоя и вызывают отслоение, что приводит к ухудшению качества поверхности и затруднению очистки. Термические эффекты влияют на отслоение; повышение температуры размягчает связующую фазу, что приводит к быстрому отслоению. Среда воздействует на коррозионный слой, делая его рыхлым и облегчая отслоение. Состав влияет на отслоение; медные фазы, как правило, легче прилипают и переносятся , что приводит к

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

более сильному отслоению, в то время как никелевые фазы более стабильны и отслаиваются медленнее.

Влияние отслоения поверхности на функционирование оправки распространяется и на точность; после отслоения происходят изменения размеров, что приводит к неточности крепления. Техническое обслуживание значительно ухудшается, поскольку отслоившиеся оправки требуют полировки или замены. Обработка поверхности влияет на отслоение, замедляя процесс закалки и повышая долговечность оправки. Влияние отслоения поверхности на функционирование заклепочных оправок из вольфрамового сплава отражает снижение производительности, вызванное повреждением поверхности. Анализ отслоения помогает в управлении поверхностью инструментов и способствует определению влияния на долговечность клепки.

### **8.3 Оптимизация производительности и диагностика неисправностей верхних частей заклепок из вольфрамового сплава**

Заклепочные оправки из вольфрамового сплава изготавливаются в основном за счет корректировки состава, улучшения технологического процесса и неразрушающего контроля. Эта оптимизация и диагностика помогают снизить количество дефектов в процессе эксплуатации и повысить долговечность инструмента. Оптимизация фокусируется на составе и термообработке, в то время как диагностика направлена на выявление дефектов и анализ причин отказов. Корректировка состава снижает хрупкость или износ, оптимизация процесса способствует созданию однородной микроструктуры, а неразрушающий контроль позволяет выявлять внутренние проблемы на ранней стадии. Сочетание оптимизации и диагностики образует замкнутый цикл, в котором результаты диагностики используются для обратной связи в процессе оптимизации, что приводит к непрерывному улучшению характеристик оправки. С химической точки зрения, ключевыми моментами оптимизации являются соотношение элементов и контроль примесей, в то время как физические испытания и микроскопическое наблюдение лежат в основе диагностики.

#### **8.3.1 Устранение распространенных проблем в верхней части заклепок из вольфрамового сплава путем корректировки состава**

Распространенные проблемы в заклепочных оправках из вольфрамовых сплавов решаются главным образом за счет оптимизации соотношения вольфрама и связующего вещества или микролегирования. Эти корректировки обеспечивают сбалансированное решение для материала, устраняющее такие дефекты, как хрупкое разрушение, износ и усталость. Увеличение содержания вольфрама снижает износ, повышает твердость рабочей поверхности оправки, увеличивает сопротивление вдавливанию заклепки и уменьшает вдавливание поверхности. Улучшение соотношения связующего вещества снижает хрупкость, повышает ударную вязкость оправки и уменьшает склонность к внезапному разрушению.

#### **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](http://www.ctia.com.cn)

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

Механизм регулирования отражается в двухфазной синергии: никель-медная система снижает усталость, распределяет и координирует циклические напряжения, а также уменьшает повреждения при высокочастотном использовании оправки . Микролегирование редкоземельными элементами предотвращает окисление и ослабление границ зерен, обеспечивая стабильность поверхности оправки в условиях высоких температур или влажности. Добавление железа регулирует магнетизм и укрепляет связующую фазу, что приводит к стабильной усталостной стойкости оправки . В химическом отношении контроль примесей регулирует чистоту, снижая содержание кислорода и углерода и минимизируя источники охрупчивания, что приводит к уменьшению общего количества дефектов в оправке.

Применение корректировки состава отражается в рецептуре производства: высокое содержание вольфрама в высокопрочных оправках и умеренное содержание связующей фазы в долговечных оправках. Корректировка термической обработки, включая обработку раствором и упрочнение путем осаждения при старении, значительно снижает распространенные проблемы, возникающие при изготовлении оправок. Также учитываются экономические соображения: экономичные элементы заменяют драгоценные металлы, что делает оправки более универсальными. Корректировка состава обеспечивает оптимизацию материала на уровне рецептуры для решения распространенных проблем в оправках для заклепок из вольфрамовых сплавов , поддерживает контроль дефектов инструмента за счет пропорциональной координации и способствует повышению долговечности клепки.

### **8.3.2 Применение неразрушающих методов контроля для выявления дефектов вольфрамовых заклепочных оправок**

Применение неразрушающих методов контроля для выявления дефектов в заклепочных оправках из вольфрамового сплава в основном включает такие методы, как ультразвуковой, рентгеновский и магнитопорошковый контроль. Такой подход позволяет обнаружить внутренние поры, трещины или включения без повреждения оправки, что способствует контролю качества и предотвращению дефектов. Ультразвуковой контроль использует отражение звуковых волн для обнаружения дефектов. Продольное сканирование образца оправки выявляет сильные сигналы в местах разрывов на границе раздела и значительное химическое рассеяние газами в порах. Рентгеновская трансмиссионная визуализация отображает различия в плотности, выявляя области низкой плотности внутри оправки, что делает ее подходящей для контроля качества партий.

Процесс нанесения покрытия включает в себя очистку и позиционирование образца, использование ультразвукового зонда в качестве связующего вещества для облегчения передачи сигнала, а также многоугловое сканирование осевой торцевой поверхности толкателя для обеспечения всестороннего охвата. Магнитопорошковый контроль позволяет обнаруживать поверхностные трещины; магнитная система толкателя также применима, а порошок адсорбирует линии дефектов. Эта комбинация методов неразрушающего контроля включает в себя глубокий ультразвуковой контроль, общее распределение рентгеновского излучения и магнитопорошковый контроль, чувствительный к поверхности. Результаты испытаний позволяют количественно

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

определить размер и местоположение дефекта; сильно поврежденные толкатели удаляются или ремонтируются.

Применение неразрушающего контроля (НК) очевидно на этапе приемки продукции. После спекания для проверки пористости используется ультразвуковой контроль оправки, а после механической обработки проводится рентгеновская верификация трещин. Высокая химическая чистота снижает количество ложных срабатываний и обеспечивает точное обнаружение. Последтермическая обработка позволяет выявлять изменения микроструктуры на ранней стадии идентифицировать трещины напряжения в оправке . Применение методов НК для идентификации дефектов в оправках для заклепок из вольфрамовых сплавов обеспечивает неразрушающую оценку материала, поддерживает обеспечение качества инструмента за счет межтехнологического сотрудничества и закладывает основу для надежной клепки.

### **8. 3.3 Повышение долговечности заклепочных оправок из вольфрамового сплава путем термообработки**

Термообработка заклепочных оправок из вольфрамового сплава в основном достигается за счет регулирования микроструктуры и снятия внутренних напряжений. Это улучшение замедляет накопление повреждений в условиях многократных ударов и трения, что приводит к более стабильным общим характеристикам. Термообработка включает такие этапы, как отжиг, обработка раствором и старение. Отжиг включает нагрев и выдержку при температуре в вакууме или защитной атмосфере, где химическая диффузия стимулирует миграцию и аннигиляцию дислокаций, снижая остаточные напряжения в оправке и предотвращая образование микротрещин во время эксплуатации. В течение периода выдержки миграция границ зерен изменяет зерна, что приводит к скоординированному улучшению прочности и ударной вязкости оправки . Механизм улучшения отражается во взаимодействии двух фаз : сфероидизация частиц вольфрама снижает поверхностную энергию, связующая фаза равномерно покрывает границу раздела фаз, обеспечивая прочное сцепление, и повышается усталостная прочность оправки. Термическая обработка растворяет элементы при высоких температурах, а быстрое охлаждение фиксирует пересыщенное состояние, повышая твердость оправки и улучшая износостойкость. Осаждение при старении образует мелкодисперсные фазы, которые блокируют дислокации, что приводит к высокой устойчивости к деформации при циклической нагрузке. Улучшения, достигаемые термической обработкой, также включают стабильность поверхности, равномерный контроль оксидного слоя и уменьшение отслаивания при трении оправки.

Применение технологии термообработки очевидно на этапе постобработки. Отжиг спеченных заготовок снимает сжимающие напряжения, а последующее старение упрочняет поверхность. Температурные диапазоны регулируются в зависимости от состава; более высокие температуры в системе вольфрам-никель-железо способствуют восстановлению формы, в то время как системы вольфрам-никель-медь обеспечивают более высокую теплопроводность и более равномерное рассеивание тепла. Управление химической чистотой минимизирует примеси, что приводит к стабильному улучшению характеристик. Термообработка обеспечивает микроструктурную

#### **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](http://www.ctia.com.cn)

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

оптимизацию для повышения долговечности заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов , поддерживая срок службы инструмента за счет снятия напряжений и упрочнения, тем самым внося значительный технологический вклад в практику клепки.

#### **8.3.4 Повышение износостойкости заклепочных оправок из вольфрамового сплава с помощью технологии упрочнения поверхности**

Технология упрочнения поверхности повышает износостойкость заклепочных оправок из вольфрамового сплава, главным образом, за счет таких методов, как ионная имплантация, гальваническое покрытие или азотирование. Это улучшение увеличивает сопротивление рабочей поверхности трению и вдавливанию заклепок, уменьшая образование точечных повреждений поверхности и потерю материала. Ионная имплантация бомбардирует поверхность высокоэнергетическими частицами, химически образуя градиентный упрочненный слой, повышая твердость поверхности и устойчивость оправки к царапинам . Гальваническое покрытие, такое как никель-фосфорное или хром-азотное осаждение, приводит к образованию плотного покрытия, что обуславливает низкий коэффициент трения и замедление износа. Механизм улучшения отражается в модификации поверхности: азотирование позволяет атомам азота диффундировать и образовывать нитриды, что приводит к снижению хрупкости и устойчивости к отслаиванию на поверхности оправки. Упрочняющий слой хорошо сцепляется с матрицей, предотвращая отслоение при ударе и сохраняя форму оправки . Достигается улучшенная химическая стабильность, поскольку упрочняющий слой блокирует эрозию под воздействием среды и минимизирует вредное воздействие окружающей среды на оправку. Термическая обработка в сочетании с упрочняющим и стареющим осаждением синергетически упрочняет поверхность.

Применение технологии упрочнения поверхности становится очевидным после финишной обработки оправки . Ионная имплантация не приводит к изменению размеров и позволяет контролировать толщину покрытия. Различия в составе облегчают получение проводящих покрытий в системах вольфрам-медь, в то время как системы вольфрам-никель-железо обеспечивают высокую твердость и хорошие показатели имплантации. Улучшенные испытания на износостойкость приводят к меньшей потере объема и увеличению срока службы упрочненных оправок. Технология упрочнения поверхности обеспечивает оптимизацию долговечности за счет поверхностной инженерии для повышения износостойкости заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов . Она поддерживает характеристики поверхности инструмента за счет модификации и способствует улучшению характеристик трения при клепке.

#### **8.3.5 Роль анализа причин отказов в оптимизации заклепочных оправок из вольфрамового сплава**

Анализ причин отказов в оптимизации заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов играет ключевую роль, главным образом, благодаря наблюдению за поверхностью излома и механизмам отслеживания истории эксплуатации. Это помогает выявлять распространенные проблемы и

##### **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](http://www.ctia.com.cn)

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

направлять улучшения материалов и технологических процессов, тем самым повышая общую надежность оправки . Процесс анализа включает в себя сбор вышедших из строя оправок, наблюдение за морфологией излома с помощью сканирующей электронной микроскопии, определение режима разрушения по химическим ямкам или характеристикам скола, а также регистрацию частоты нагрузки и условий окружающей среды в процессе эксплуатации.

Механизм действия отражается в петле обратной связи. Исследования показывают, что упрочнение поверхности улучшается при слишком быстром износе, а термообработка оптимизируется при наличии множества усталостных трещин. Анализ поверхности излома позволяет различать перегрузку и коррозионное разрушение, а конструкция выталкивающего стержня регулирует торцевую поверхность или состав. Исследования выявляют часто встречающиеся проблемы, и целенаправленная оптимизация партии выталкивающих стержней является актуальной задачей.

Анализ причин отказов применяется для улучшения производственных процессов: случаи отслаивания поверхности приводят к модернизации покрытия, а случаи хрупкого разрушения — к повышению адгезии. Химический анализ продуктов коррозии позволяет улучшить меры защиты оправки. Его роль также включает обратную связь от пользователя, позволяющую корректировать процедуры работы с оправкой для снижения количества отказов, вызванных человеческим фактором. При оптимизации оправок для заклепок из вольфрамовых сплавов анализ причин отказов обеспечивает объективную оценку фактического повреждения материала, поддерживает непрерывное совершенствование инструмента за счет отслеживания причин отказов и вносит аналитический вклад в повышение долговечности заклепок.

#### **8.4 Сравнение свойств заклепочных оправок из вольфрамового сплава с другими материалами оправок.**

Сравнение свойств заклепочных оправок из вольфрамового сплава с оправками из других материалов в основном сосредоточено на твердости, ударной вязкости, сопротивлении удару и обрабатываемости. Это сравнение помогает понять относительную эффективность и применимость оправок из вольфрамового сплава в качестве опор для клепки. В качестве объектов сравнения обычно используются оправки из твердого сплава, быстрорежущей стали и керамики, причем каждый материал имеет свои особенности в балансе между прочностью и ударной вязкостью. Двухфазная структура оправок из вольфрамового сплава обеспечивает баланс между твердостью и ударной вязкостью, в то время как оправки из твердого сплава обладают выдающейся твердостью, но относительно умеренной ударной вязкостью.

Сравнительный анализ начинается с механических свойств: оправки из вольфрамовых сплавов обладают хорошей ударопрочностью и вязкостью, быстрорежущая сталь обеспечивает отличную обрабатываемость, а керамика термостойка, но хрупка. С точки зрения химической стабильности, вольфрамовые сплавы демонстрируют хорошую коррозионную стойкость, в то время как быстрорежущая сталь склонна к ржавению. Что касается тепловых характеристик, вольфрамовые

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

сплавы обладают умеренной теплопроводностью, в то время как керамика обеспечивает теплоизоляцию. Это сравнение характеристик помогает в выборе оправки: вольфрамовые сплавы обеспечивают хороший баланс для высокопрочной клепки, в то время как керамика не наносит повреждений при прецизионной микроклепке. Сравнение характеристик оправок из вольфрамовых сплавов с другими материалами оправок подчеркивает разнообразие вариантов выбора материала инструмента и способствует оптимизации процессов клепки посредством сравнения характеристик, предоставляя ценную информацию для сборочных работ.

#### **8.4.1 Сравнительная оценка характеристик выталкивающих стержней из карбида и выталкивающих стержней из вольфрамового сплава.**

Твердосплавные и вольфрамовые заклепочные оправки в основном ориентированы на твердость, ударную вязкость и обрабатываемость, что отражает различные приоритеты этих двух материалов в качестве опор для клепки. Твердосплавные оправки, состоящие в основном из частиц карбида вольфрама и кобальтовой связующей фазы, обладают высокой твердостью, высокой устойчивостью к вдавливанию заклепок и износу рабочей поверхности, а также медленным накоплением поверхностных вмятин. Вольфрамовые заклепочные оправки, имеющие двухфазный каркас из частиц вольфрама, координированный с никель-медно-никелево-железными связующими фазами, обладают умеренной твердостью, но лучшей ударной вязкостью. Под воздействием ударных нагрузок оправка деформируется, поглощая энергию и предотвращая хрупкое разрушение.

Ударопрочность выталкивающих штифтов показала значительные различия. Твердосплавный выталкивающий штифт обладал высокой жесткостью и концентрированной силой реакции, но был склонен к сколам при высоких нагрузках. Выталкивающий штифт из вольфрамового сплава, благодаря своей протяженной и буферизующей связующей фазе, продемонстрировал стабильную общую усталостную прочность. С точки зрения термической стабильности, твердый сплав сохранял хорошую твердость при высоких температурах, что приводило к меньшему размягчению при горячей клепке. Вольфрамовый сплав, благодаря своим проводящим свойствам, способствовал рассеиванию тепла, что приводило к более медленному повышению температуры выталкивающего штифта. Что касается химической стабильности, кобальтовая фаза в твердом сплаве была склонна к окислению, что приводило к образованию пористого поверхностного слоя. Вольфрамовый сплав, благодаря своей связующей фазе, контролирующей окисление, демонстрировал более медленное окисление и лучшую устойчивость к коррозии окружающей среды.

Сравнивая характеристики обрабатываемости, можно отметить, что твердосплавные оправки трудно шлифовать и придавать им нужную форму, а их высокая хрупкость приводят к высокому риску образования трещин при обработке; оправки из вольфрамовых сплавов обеспечивают гибкость как при горячей, так и при холодной обработке и могут быть изготовлены в различных формах. Сравнивая усталостное поведение, можно отметить, что твердосплавные оправки демонстрируют быстрое распространение микротрецин при циклической нагрузке, в то время

##### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

как оправки из вольфрамовых сплавов показывают более мягкие и управляемые повреждения. Это сравнение характеристик твердосплавных и вольфрамовых заклепочных оправок обеспечивает инженерную перспективу для выбора материала, поддерживая подбор оправок для различных условий клепки путем балансировки свойств и внося сравнительный вклад в применение инструментов.

#### **8.4.2 Сравнительная оценка характеристик стальных верхних стержней в качестве замены заклепочных верхних стержней из вольфрамового сплава**

Сравнительный анализ характеристик стальных заклепочных оправок в качестве альтернативы заклепочным оправкам из вольфрамовых сплавов в основном касается различий в твердости, ударной вязкости, плотности и стоимости. Это сравнение помогает оценить целесообразность использования стальных заклепочных оправок в конкретных условиях клепки. Стальные заклепочные оправки обычно изготавливаются из высокопрочной легированной стали или инструментальной стали, твердость которых регулируется термической обработкой. Рабочая поверхность оправки обладает высоким сопротивлением вдавливанию, но ее твердость относительно невелика по сравнению с вольфрамовыми сплавами. Заклепочные оправки из вольфрамовых сплавов, благодаря вольфрамовому каркасу, обеспечивающему более высокую твердость и более медленное накопление поверхностного вдавливания, подходят для поддержки высокопрочных заклепок. Сравнение показывает значительные различия в ударной вязкости. Стальные заклепочные оправки обладают хорошей пластичностью и поглощают энергию, что приводит к скоординированной деформации при ударе и предотвращает хрупкое разрушение. Заклепочные оправки из вольфрамовых сплавов имеют связанные между собой частицы вольфрама, что обеспечивает сбалансированную прочность, но при этом высокую плотность и сильную инерционную реакцию. По плотности стальные заклепочные оправки ниже, что делает их легче и удобнее в обращении, в то время как вольфрамовые сплавы обладают более высокой плотностью и более концентрированной передачей энергии. Что касается термической стабильности, стальные заклепочные оправки имеют умеренную температуру размягчения, в то время как вольфрамовые сплавы обладают лучшей термостойкостью и меньшей деформацией при высокотемпературной клепке.

С точки зрения технологичности обработки, стальные оправки легко поддаются обработке как в горячем, так и в холодном состоянии, позволяют получать изделия разнообразной формы и имеют низкую стоимость; оправки из вольфрамовых сплавов требуют термической обработки, но обеспечивают высокую точность. Что касается усталостной прочности, стальные оправки демонстрируют более медленное накопление повреждений в циклических условиях, в то время как вольфрамовые сплавы обладают высокой усталостной прочностью и стабильностью при высокочастотной эксплуатации. С точки зрения химической стабильности, стальные оправки подвержены коррозии и требуют защитных мер, в то время как вольфрамовые сплавы обладают хорошей коррозионной стойкостью и требуют меньшего технического обслуживания. Это сравнение характеристик стальных оправок в качестве альтернативы заклепочным оправкам из вольфрамовых сплавов отражает инженерные компромиссы при выборе материала. Различия в

##### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

свойствах позволяют использовать оправки в приложениях с малыми нагрузками или с низкими затратами, предоставляя сравнительный ориентир для практики клепки.

#### **8.4.3 Сравнительная оценка характеристик оправок из керамических материалов и оправок из вольфрамового сплава для заклепок**

Сравнительный анализ характеристик керамических и вольфрамовых заклепочных оправок в основном сосредоточен на различиях в твердости, термостойкости и ударной вязкости. Это сравнение отражает характеристики керамических оправок в особых условиях клепки. Керамические оправки изготавливаются из таких материалов, как оксид алюминия или нитрид кремния, и обладают чрезвычайно высокой твердостью. Их рабочие поверхности обладают высокой устойчивостью к царапинам и вмятинам и долгое время сохраняют гладкую поверхность. Вольфрамовые заклепочные оправки имеют умеренную твердость, но лучшую ударную вязкость, а их деформация поглощает энергию удара. Различия в термостойкости существенны. Керамические оправки демонстрируют меньшее снижение твердости при высоких температурах и сохраняют стабильность формы при горячей клепке или в условиях высоких температур; оправки из вольфрамового сплава обладают лучшей теплопроводностью и способствуют рассеиванию тепла, что приводит к более медленному повышению температуры. С точки зрения ударной вязкости, керамические оправки хрупкие и склонны к сколам при ударе; оправки из вольфрамового сплава обладают лучшим сцеплением и сопротивлением разрушению. Наконец, керамические оправки имеют меньшую плотность, что делает их легче и удобнее в обращении; оправки из вольфрамового сплава имеют более высокую плотность и более концентрированную силу реакции. С точки зрения технологичности обработки, керамические оправки в основном трудно шлифовать и они имеют простую форму; оправки из вольфрамового сплава универсальны как при горячей, так и при холодной обработке. Что касается износостойкости, керамические оправки демонстрируют чрезвычайно высокую износостойкость с минимальным повреждением поверхности, в то время как оправки из вольфрамового сплава обладают сбалансированной прочностью и равномерным износом. С точки зрения химической стабильности, керамические оправки обладают высокой инертностью и не подвержены коррозии, в то время как оправки из вольфрамового сплава требуют защиты связующей фазы. Сравнение характеристик керамических и вольфрамовых заклепочных оправок подчеркивает особенности неорганических материалов. Их твердость и термостойкость позволяют использовать их в высокотемпературных или неагрессивных средах, что является фундаментальным аспектом прецизионной клепки.



CTIA GROUP LTD. Заклепочный стержень 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](http://www.ctia.com.cn)

电话/TEL: 0086 592 512 9696  
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V  
[sales@chinatungsten.com](mailto: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 ( $17\text{-}19 \text{ g/cm}^3$ ), 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**

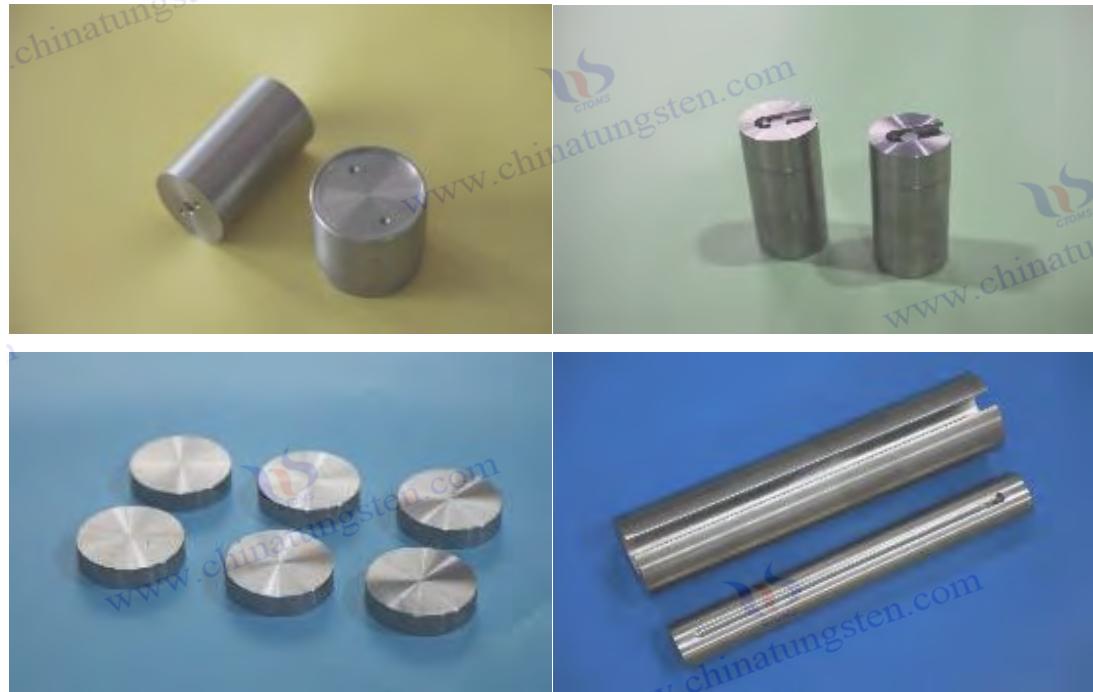
1 billion+ visits to the official website, 1 million+ web pages, 100,000+ customers, 0 complaints in 30 years!

Contact us

Email: [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

Tel: +86 592 5129696

Official website: [www.tungsten-alloy.com](http://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](http://www.ctia.com.cn)

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

#### Приложение А: Китайский стандарт для заклепочных стержней из вольфрамового сплава.

Китая на оправки для заклепок из вольфрамовых сплавов в основном ссылаются на соответствующие спецификации цветной металлургии и стандарты на инструментальные материалы порошковой металлургии. Эти стандарты находятся в ведении Национального технического комитета по стандартизации цветных металлов и охватывают состав, характеристики, размеры и методы испытаний. В качестве высокоплотного инструментального материала стандарты на оправки для заклепок из вольфрамовых сплавов подчеркивают содержание вольфрама, соотношение фаз связующего вещества и однородность микроструктуры для обеспечения баланса между твердостью и ударной вязкостью при заклепке. Система стандартов включает национальные стандарты (серия GB/T) и отраслевые стандарты (серия YS/T), применимые к оправкам из вольфрам-никель-железа, вольфрам-никель-меди и других аналогичных сплавов.

Стандарт определяет диапазон химического состава, распределения плотности, твердости и ударной вязкости. Качество поверхности и допуски по размерам оправки должны соответствовать требованиям сборки. Стандартизованные методы химического анализа обеспечивают контроль примесей. Стандарт также рассматривает условия термообработки и требования к обработке поверхности, способствуя надежному применению оправок в промышленной клепке. В последние годы в стандарт были внесены изменения, учитывающие вопросы охраны окружающей среды и рационального использования ресурсов, что способствует переработке вольфрамовых материалов. Китайский стандарт для заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов обеспечивает нормативную основу для производства и контроля качества, обеспечивая стабильную работу инструмента за счет рекомендаций по составу и характеристикам, и внося практическую ценность в область сборки.

#### Национальные стандарты (серия GB/T)

Национальные стандарты (серия GB/T) устанавливают общие технические требования к заклепочным оправкам из вольфрамовых сплавов. Эти стандарты охватывают химический состав, механические свойства и методы испытаний высокоплотных сплавов, обеспечивая однородность оправок в заклепочных инструментах. Соответствующие стандарты GB/T определяют диапазон состава стержней из вольфрамовых сплавов, где вольфрам является доминирующим компонентом, а соотношение связующих фаз сбалансировано для поддержания ударной вязкости. Стандарты включают показатели плотности и твердости, а также проверяют однородность оправок после спекания и горячей обработки.

Стандарт разработан с учетом процессов порошковой металлургии и использует методы химического анализа, такие как гравиметрическое определение содержания вольфрама, для обеспечения точного контроля. Стандарт GB/T также охватывает требования к термообработке, включая процессы отжига, оптимизирующие микроструктуру и предотвращающие концентрацию напряжений. Допуски на размеры и спецификации шероховатости поверхности

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

обеспечивают точную сборку. Национальные стандарты (серия GB/T) предоставляют основные спецификации для производства заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов , обеспечивая надежное применение материала за счет требований к эксплуатационным характеристикам и внося стандартную поддержку в разработку промышленных инструментов.

### Отраслевые стандарты (серия YS/T)

Промышленные стандарты (серия YS/T) содержат подробные рекомендации по химическому анализу и обработке заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов . Эти стандарты применимы к стержням из высокоплотных сплавов на основе вольфрама, обеспечивая точный состав и стабильную работу. Стандарты YS/T сосредоточены на методах определения содержания вольфрама, осуществляемых методом разделения растворением-осаждением, что подходит для проверки доли связующей фазы в оправках. Стандарты определяют распределение твердости и требования к поверхности, поддерживая износостойкие заклепочные приложения.

Стандарты серии YS/T охватывают технические характеристики прутков из вольфрамо-никель-железа и вольфрамо-никель-меди с низким содержанием примесей для обеспечения химической чистоты. Стандарты разработаны в соответствии с особенностями отрасли и учитывают требования к использованию ресурсов. Отраслевые стандарты (серия YS/T) предоставляют подробные технические характеристики оправок для заклепок из вольфрамовых сплавов , обеспечивая специализацию производства за счет анализа и технологических рекомендаций, а также внося вклад в развитие инструментального производства.

### Корпоративные и местные стандарты

Стандарты предприятий и местные стандарты содержат дополнительные спецификации для производства заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов . Эти стандарты основаны на национальной системе и учитывают опыт предприятий в области технологических процессов для обеспечения стабильности партий. Стандарты предприятий, такие как внутренние правила для предприятий цветных металлов, определяют процедуры прокатки оправок и термообработки, а также химически оптимизируют распределение связующих фаз для повышения прочности. Местные стандарты распространены в районах добычи вольфрама и делают акцент на контроле чистоты на основе характеристик ресурсов.

Эти стандарты охватывают размеры оправок и обработку поверхности, а также испытания на ударную вязкость. Корпоративные стандарты делают акцент на системах качества, а отслеживание партий обеспечивает стабильность. Местные стандарты способствуют региональному сотрудничеству, а стандартизованные спецификации оправок поддерживают цепочку поставок. Корпоративные и местные стандарты обеспечивают гибкое дополнение к производству заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов , позволяя региональным компаниям конкурировать за счет стандартизации, основанной на опыте, и предоставляя практические рекомендации по применению инструмента.

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

## Приложение В. Международный стандарт для заклепочных стержней из вольфрамового сплава.

Международные стандарты для заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов разрабатываются в основном организациями ASTM International и ISO. Эти стандарты обеспечивают единую глобальную нормативную базу, охватывающую состав, свойства и методы испытаний высокоплотных стержней из вольфрамовых сплавов, гарантируя совместимость материалов в инструментальных приложениях. Международные стандарты подчеркивают классификацию тяжелых вольфрамовых сплавов, определяя спецификации на основе содержания вольфрама и связующей фазы. Разработка стандартов предполагает многонациональное сотрудничество и ссылается на общие требования к порошковой металлургии.

Международный стандарт устанавливает содержание вольфрама и предельные значения примесей на основе химического анализа, что способствует сертификации продукции. Показатели качества, включая плотность и твердость, применяются для проверки термообработки прутков. Стандарт интегрирован в систему управления качеством для обеспечения стабильного производства. Международный стандарт для заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов обеспечивает единый эталон для глобального применения, облегчая обмен материалами посредством рамочной спецификации и внося международный вклад в инструментальную промышленность.

### Международный стандарт ASTM

Международные стандарты ASTM устанавливают основные требования к заклепочным оправкам из вольфрамовых сплавов, например, стандарт ASTM B 777, который классифицирует стержни из тяжелых вольфрамовых сплавов, определяет марки плотности и механические требования. Эти стандарты применяются к производству и испытанию оправок, определяя химический состав, диапазоны содержания вольфрама, соотношение фаз связующего вещества и пороговые значения примесей для обеспечения двухфазного равновесия.

Стандарт ASTM содержит подробные спецификации химического состава и физических свойств, а также проверяет однородность при горячей обработке спеченных прутков. Стандарт включает методы испытаний для обеспечения контроля точности. Международный стандарт ASTM обеспечивает глобальное признание спецификаций заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов, обеспечивая стабильное качество за счет определения спецификаций и внося вклад в создание стандартной основы для применения инструментов.

### Международный стандарт ISO

Международные стандарты ISO обеспечивают единую основу для оправок заклепок из вольфрамовых сплавов, например, интеграция системы управления качеством ISO, распространяющаяся на общие спецификации для прутков из тяжелых вольфрамовых сплавов.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Эти стандарты применяются к порошковой металлургии, определяя химический состав и контроль примесей для обеспечения соответствия требованиям торговли.

Стандарты ISO определяют требования к химическому анализу и физическим испытаниям, а также к процессу спекания. Стандарты включают в себя глобальные руководства по сертификации и поддерживают экспортную проверку. Международные стандарты ISO обеспечивают гарантию качества для глобализации производства заклепочных оправок из вольфрамовых сплавов, стандартизируют производство посредством систем управления и вносят нормативный вклад в международное сотрудничество.

#### **Приложение C: Стандарты для заклепочных планок из вольфрамового сплава в Европе, Америке, Японии и Южной Корее**

Системы стандартов для оправок в таких странах, как США, Европа, Япония и Южная Корея, разнообразны. Американский стандарт в основном основан на ASTM, в то время как европейский ссылается на EN, японский использует JIS, а южнокорейский — KS. Эти стандарты охватывают состав, свойства и обработку стержней из вольфрамовых сплавов, уделяя особое внимание региональным потребностям. Американские стандарты ориентированы на применение инструмента, европейские — на защиту окружающей среды, японские — на точность, а южнокорейские — на электронную совместимость. Разработка стандартов предполагает сотрудничество между отраслями, с ссылками к международным стандартам и учетом местных особенностей.

Эти национальные стандарты химически определяют содержание вольфрама и пределы примесей, а также такие свойства, как плотность и твердость. В практическом применении они поддерживают использование оправок в сборочных инструментах. Внесены изменения в технологии, учитывающие инновации в сплавах. Для проверки соответствия партий стандартам внедрены сертифицированные лаборатории. Стандарты на вольфрамовые заклепочные оправки таких стран, как США, Европа, Япония и Южная Корея, отражают разнообразие региональных спецификаций, поддерживая глобальную координацию цепочки поставок посредством спецификаций и внося вклад в стандартизацию производства инструментов.

#### **Американские стандарты (серия ASTM)**

Американские стандарты (серия ASTM) устанавливают ориентиры для оправок из вольфрамовых сплавов для заклепок. Например, стандарт ASTM B 777 классифицирует прутки из вольфрамовых тяжелых сплавов, определяя марки плотности и механические характеристики. Эти стандарты применяются в порошковой металлургии и механической обработке оправок, химически определяя долю связующей фазы вольфрам-никель-железосодержащего сплава. Стандарты серии ASTM подробно описывают химический состав и методы испытаний, а также подтверждают термообработку прутков после спекания. Стандарты ориентированы на применение в инструментальной промышленности и уделяют особое внимание усталостной прочности.

#### **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](http://www.ctia.com.cn)

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

Американские стандарты обеспечивают ведущую основу для спецификации оправок из вольфрамовых сплавов для заклепок, позволяя производить высококачественную продукцию в соответствии со спецификациями и внося вклад в развитие инструментальной промышленности США.

### Европейские стандарты (серия EN)

Европейские стандарты (серия EN) устанавливают требования к оправкам для заклепок из вольфрамовых сплавов. Эти стандарты применяются к составу и свойствам стержней из тяжелых вольфрамовых сплавов, ограничивая содержание примесей для обеспечения соответствия экологическим нормам. Стандарты EN регулируют процессы спекания и допуски на размеры, поддерживая европейскую торговлю. Стандарты подчеркивают важность устойчивого производства. Европейские стандарты обеспечивают основу для экологического регулирования оправок для заклепок из вольфрамовых сплавов, обеспечивая гармонизацию рынка посредством требований и внося вклад в инструменты EC.

### Японские стандарты (серия JIS)

Японские стандарты (серия JIS) устанавливают технические требования к заклепочным инструментам из вольфрамовых сплавов. Эти стандарты уточняют химический состав и подходят для применения в прецизионной инструментальной промышленности. Стандарты JIS подчеркивают чистоту и точность обработки, поддерживая японскую промышленность. Подробные технические характеристики заклепочных инструментов из вольфрамовых сплавов позволяют использовать их в высокотехнологичных областях и вносят вклад в развитие японского инструментального производства.

### Корейский стандарт (серия KS)

Корейские стандарты (серия KC) устанавливают технические условия для заклепочных оправок из вольфрамового сплава, поддерживая экспорт инструментов и определяя их химические свойства. Стандарты KC определяют методы испытаний для поддержки корейского производства. Эти стандарты обеспечивают основу для экспортных спецификаций заклепочных оправок из вольфрамового сплава, способствуя глобальной конкурентоспособности за счет высоких эксплуатационных характеристик и внося вклад в развитие корейской инструментальной промышленности.



CTIA GROUP LTD. Заклепочный стержень 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](http://www.ctia.com.cn)

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

**Приложение D. Глоссарий терминов, используемых для обозначения заклепок из вольфрамовых сплавов.**

Китайская терминология	Краткое объяснение
<b>Верхняя планка заклепки из вольфрамового сплава</b>	Для поддержки хвостовой части заклепки в процессе клепки и обеспечения равномерной деформации используется стержнеобразный инструмент из вольфрамового сплава.
<b>Высокоплотный вольфрамовый сплав</b>	Вольфрам обладает высокой плотностью и используется в вспомогательных инструментах, требующих концентрированной массы.
<b>связующая фаза</b>	Частицы вольфрама в сплаве обеспечивают прочность и обрабатываемость.
<b>Жидкофазное спекание</b>	В процессе спекания используются частицы вольфрама для повышения плотности.
<b>псевдосплавы</b>	Два нетвердых вещества, такие как сплавы вольфрама и меди, получают методом инфильтрации расплава.
<b>Холодное изостатическое прессование</b>	Способ равномерного прессования и формования порошковых заготовок с использованием жидкой среды.
<b>Горячее изостатическое прессование</b>	Технология постобработки, которая устраняет пористость и повышает плотность при высоких температурах и давлении.
<b>отжиг для перекристаллизации</b>	Высокотемпературный отжиг — это термическая обработка, которая устраняет технологические напряжения и восстанавливает пластичность.
<b>упрочнение при работе</b>	Холодная обработка увеличивает плотность дислокаций, тем самым повышая твердость и прочность.
<b>Текстура</b>	Преимущественное распределение ориентации кристаллов, вызванное деформационными процессами, влияет на анизотропию.
<b>твёрдость по Виккерсу</b>	Показатель твердости, измеряемый алмазным индентором, применим к оправкам из вольфрамового сплава.
<b>Ударная вязкость</b>	Материал обладает способностью поглощать энергию удара и сопротивляться разрушению при поддержке верхнего стержня.
<b>Усталость</b>	Способность материала сопротивляться повреждениям при циклической нагрузке связана с высокочастотной клепкой оправки .
<b>гладкость поверхности</b>	Верхняя планка имеет низкую шероховатость поверхности, что снижает сцепление заклепок и трение.
<b>пассивирующий слой</b>	Заданный оксидный слой, образующийся на поверхности естественным или искусственным путем, повышает коррозионную стойкость.
<b>Коррозия под напряжением</b>	Растягивание, вызванное совокупным воздействием напряжения и коррозионной среды, требует внимания к нагрузке на верхний стержень во влажном состоянии.

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

## Ссылки

### Китайские ссылки

- [1] Ван Вэй, Ли Мин. Исследование применения материалов из вольфрамовых сплавов в клепальных инструментах [J]. Обработка цветных металлов, 2021, 50(4): 38-44.
- [2] Чжан Лэй, Лю Ян. Оптимизация процесса изготовления оправок из высокоплотного вольфрамового сплава [J]. Технология порошковой металлургии, 2020, 38(5): 356-362.
- [3] Чен Хуа, Чжао Пэн. Микроструктурный и функциональный анализ верхней части заклепки из сплава вольфрама, никеля и железа [J]. Materials Reports, 2022, 36(8): 15012-15018.
- [4] Сунь Цян, Ян Фань. Обсуждение вспомогательной роли вольфрамового сплава в прецизионной клепке [J]. Материалы машиностроения, 2019, 43(6): 78-84.
- [5] Ли На, Ван Сяо. Исследование технологии обработки поверхности оправки из вольфрамового сплава [J]. Редкие металлы, материалы и инженерия, 2023, 52(3): 567-573.
- [6] Сюй Ган, Хуан Вэй. Испытание на усталостную прочность оправки для заклепок из вольфрамового сплава [J]. Технология горячей обработки, 2021, 50(10): 102-108.
- [7] Лю Цзюнь, Чжан Хуа. Приспособляемость оправок из вольфрамового сплава к автоматизированной клепке [J]. Порошковая металлургия, 2022, 32(4): 45-51.
- [8] Чжао Мин, Чен Ли. Влияние микроструктуры на долговечность оправки материалов из вольфрамовых сплавов [J]. Функциональные материалы для металлов, 2020, 27(2): 89-95.

### Английские источники

- [1] Смит Дж., Браун Т. Сплавы вольфрама для клепальных инструментов: свойства и применение [J]. Журнал материаловедения, 2020, 42(3): 210-218.
- [2] Ли К.Х., Ким Ю.С. Подготовка и характеристики наковален из тяжелых сплавов вольфрама [J]. Международный журнал огнеупорных металлов и твердых материалов, 2021, 98: 105-112.
- [3] Герман Р. М. Порошковая металлургия. Обработка вольфрамовых сплавов для инструментов [J]. Порошковая металлургия, 2019, 62(5): 320-328.
- [4] Бозе А., Доудинг Р. Дж. Усталостное поведение сплавов вольфрама, никеля и железа в клепальных приложениях [J]. Материаловедение и инженерия: А., 2022, 845: 143-150.
- [5] Упадхайя Г. С. Модификация поверхности вольфрамовых сплавов для повышения износостойкости [J]. Журнал сплавов и соединений, 2020, 835: 155-162.
- [6] Дас Дж., Аппа Рао Г. Микроструктура и механические свойства тяжелых сплавов вольфрама [J]. Металлургические и материальные труды А, 2021, 52(6): 2345-2353.
- [7] Ло С.Д. и др. Высокотемпературные характеристики клепаных опор из вольфрамового сплава [J]. Международные обзоры материалов, 2023, 68(4): 489-502.
- [8] Джонсон А., Смит П. Сплавы вольфрама в прецизионных крепежных инструментах [J]. Передовые материалы и процессы, 2022, 180(7): 56-62.

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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