

Энциклопедия циркониевых вольфрамовых электродов

中钨智造科技有限公司
CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

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

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

Tel: 0086 592 512 9696
CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2025V
sales@chinatungsten.com

ЗНАКОМСТВО С CTIA GROUP

CTIA GROUP LTD, дочерняя компания с независимой правосубъектностью, учрежденная CHINATUNGSTEN ONLINE, занимается продвижением интеллектуального, интегрированного и гибкого проектирования и производства вольфрамовых и молибденовых материалов в эпоху промышленного интернета. CHINATUNGSTEN ONLINE, основанная в 1997 году с www.chinatungsten.com в качестве отправной точки — первый в Китае веб-сайт высшего уровня по вольфрамовым продуктам — является новаторской компанией электронной коммерции в стране, специализирующейся на вольфрамовой, молибденовой и редкоземельной промышленности. Опираясь на почти тридцатилетний опыт работы в области вольфрама и молибдена, CTIA GROUP наследует исключительные возможности своей материнской компании в области проектирования и производства, превосходные услуги и глобальную деловую репутацию, став поставщиком комплексных прикладных решений в области химических веществ вольфрама, металлов вольфрама, твердых сплавов, сплавов высокой плотности, молибдена и молибденовых сплавов.

За последние 30 лет CHINATUNGSTEN ONLINE создала более 200 многоязычных профессиональных веб-сайтов по вольфраму и молибдену, охватывающих более 20 языков, с более чем миллионом страниц новостей, цен и анализа рынка, связанных с вольфрамом, молибденом и редкоземельными элементами. С 2013 года официальный аккаунт WeChat «CHINATUNGSTEN ONLINE» опубликовал более 40 000 единиц информации, обслуживая почти 100 000 подписчиков и ежедневно предоставляя бесплатную информацию сотням тысяч профессионалов отрасли по всему миру. Благодаря совокупному количеству посещений веб-сайта и официального аккаунта, достигшему миллиардов раз, компания стала признанным глобальным и авторитетным информационным центром для вольфрамовой, молибденовой и редкоземельной отраслей, предоставляющим 24/7 многоязычные новости, характеристики продукции, рыночные цены и услуги по рыночным тенденциям.

Опираясь на технологии и опыт CHINATUNGSTEN ONLINE, CTIA GROUP фокусируется на удовлетворении индивидуальных потребностей клиентов. Используя технологию искусственного интеллекта, она совместно с клиентами разрабатывает и производит вольфрамовые и молибденовые изделия с определенным химическим составом и физическими свойствами (такими как размер частиц, плотность, твердость, прочность, размеры и допуски). Она предлагает комплексные интегрированные услуги, начиная от вскрытия пресс-форм, пробного производства и заканчивая отделкой, упаковкой и логистикой. За последние 30 лет компания CHINATUNGSTEN ONLINE предоставила услуги по исследованиям и разработкам, проектированию и производству более 500 000 видов вольфрамовых и молибденовых изделий для более чем 130 000 клиентов по всему миру, заложив основу для индивидуального, гибкого и интеллектуального производства. Опираясь на эту основу, CTIA GROUP еще больше углубляет интеллектуальное производство и интегрированные инновации в области вольфрама и молибдена в эпоху промышленного интернета.

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



Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

Tel: 0086 592 512 9696
CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2025V
sales@chinatungsten.com

CTIA GROUP LTD

Zirconium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Zirconium Tungsten Electrode

Zirconium tungsten electrode is a non-radioactive welding electrode made by doping a small amount of zirconium oxide (ZrO₂) into a high-purity tungsten base. It is specifically optimized for AC TIG (Tungsten Inert Gas) welding. Its excellent arc stability and outstanding resistance to contamination make it the preferred choice for welding aluminum, magnesium, and their alloys.

2. Types of Zirconium Tungsten Electrode

Grade	Tip Color	ZrO ₂ Content (wt.%)	Characteristics & Applications
WZ3	Brown	0.2–0.4	Ideal for low to medium intensity AC welding; cost-effective
WZ38	White	0.7–0.9	Industry-standard grade with excellent overall performance

3. Standard Sizes & Packaging of Zirconium Tungsten Electrode

Diameter (mm)	Length (mm)	Regular Coloring	Packing:
1.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10 pcs/box
1.6	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.4	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
3.2	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
4.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
Remark	The sizes can be customized		

4. Applications of Zirconium Tungsten Electrode

- Welding of aluminum and aluminum alloys: such as doors, windows, frames, and automotive body structures
- Welding of magnesium and magnesium alloys: widely used in aerospace lightweight components
- AC welding of stainless steel (under specific low-current conditions)
- Precision welding in aerospace, rail transit, pressure vessels, etc.
- Used in automated welding systems and robotic torch assemblies

5. Procurement Information

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

Каталог

Глава 1: Введение

- 1.1 Обзор циркониевых вольфрамовых электродов
- 1.2 История и развитие циркониевых вольфрамовых электродов
- 1.3 Важность циркониевых вольфрамовых электродов в современной промышленности

Глава 2: Основные понятия циркониевых вольфрамовых электродов

- 2.1 Определение циркониевого вольфрамового электрода
- 2.2 Химический состав циркониевого вольфрамового электрода
- 2.3 Сравнение циркониевого вольфрамового электрода с другими вольфрамовыми электродами
- 2.4 Физико-химические свойства циркониевых вольфрамовых электродов
 - 2.4.1 Температура плавления и термическая стабильность
 - 2.4.2 Электро- и теплопроводность
 - 2.4.3 Стойкость к окислению и коррозии
 - 2.4.4 Механические свойства (твёрдость, пластичность и т.д.)

Глава 3: Марки циркониевых вольфрамовых электродов

- 3.1 Классификация марок циркониевых вольфрамовых электродов
 - 3.1.1 Международные широко используемые марки (например, WZ3, WZ8)
 - 3.1.2 Правила именования отечественных брендов
- 3.2 Различия в содержании циркония и эксплуатационных характеристиках каждой марки
- 3.3 Выбор и сценарии применения марок циркониевых вольфрамовых электродов
- 3.4 Стандартизация марок циркониевых вольфрамовых электродов и международное сравнение

Глава 4: Характеристики циркониевых вольфрамовых электродов

- 4.1 Стабильность дуги циркониевых вольфрамовых электродов
- 4.2 Эффективность воспламенения и срок службы электродов циркониевого вольфрама
- 4.3 Огнестойкость и антизагрязняющая способность циркониевого вольфрамового электрода
- 4.4 Характеристики циркониевого вольфрамового электрода в различных сварочных средах
 - 4.4.1 Пайка постоянным током (DC)
 - 4.4.2 Сварка переменным током (AC)
- 4.5 Термодинамические свойства циркониевых вольфрамовых электродов
- 4.6 Анализ микроструктуры циркониевых вольфрамовых электродов
- 4.7 Циркониевый вольфрамовый электрод MSDS от CTIA GROUP LTD

Глава 5: Подготовка и процесс производства циркониевых вольфрамовых электродов

- 5.1 Подготовка сырья для циркониевых вольфрамовых электродов
 - 5.1.1 Выбор вольфрамового порошка и соединений циркония
 - 5.1.2 Чистота и предварительная обработка сырья
- 5.2 Процесс получения циркониевого вольфрамового электрода в порошковой металлургии

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

- 5.2.1 Смешивание и измельчение
- 5.2.2 Прессование формовки
- 5.2.3 Процесс спекания
- 5.3 Технология формования циркониевого вольфрамового электрода
- 5.3.1 Черчение и выдавливание
- 5.3.2 Термическая обработка и отжиг
- 5.4 Обработка поверхности и полировка циркониевых вольфрамовых электродов
- 5.5 Контроль качества и оптимизация технологического процесса циркониевых вольфрамовых электродов

Глава 6: Технология производства циркониевых вольфрамовых электродов

- 6.1 Технология легирования циркониевых вольфрамовых электродов
 - 6.1.1 Метод легирования оксидом циркония
 - 6.1.2 Контроль однородности легирования
- 6.2 Технология высокотемпературного спекания циркониевого вольфрамового электрода
- 6.3 Технология прецизионной обработки циркониевого вольфрамового электрода
- 6.4 Автоматизация и интеллектуальная технология производства циркониевых вольфрамовых электродов
- 6.5 Экологически чистое производство и охрана окружающей среды циркониевых вольфрамовых электродов
- 6.6 Распространенные проблемы и решения в производстве

Глава 7: Использование циркониевых вольфрамовых электродов

- 7.1 Применение циркониевого вольфрамового электрода при сварке TIG
 - 7.1.1 Сварка алюминия и алюминиевых сплавов
 - 7.1.2 Сварка нержавеющей стали и магниевых сплавов
- 7.2 Применение циркониевого вольфрамового электрода при плазменной резке и напылении
- 7.3 Другие промышленные применения циркониевых вольфрамовых электродов
 - 7.3.1 Аэрокосмическая промышленность
 - 7.3.2 Атомная промышленность
 - 7.3.3 Производство медицинского оборудования
- 7.4 Применение циркониевого вольфрамового электрода в специальных условиях
- 7.5 Альтернативы и конкурентный анализ циркониевых вольфрамовых электродов

Глава 8: Производственное оборудование для циркониевых вольфрамовых электродов

- 8.1 Оборудование для обработки сырья для циркониевых вольфрамовых электродов
 - 8.1.1 Оборудование для измельчения и смешивания
 - 8.1.2 Оборудование для просеивания и сортировки
- 8.2 Прессовое и формовочное оборудование для циркониевых вольфрамовых электродов
 - 8.2.1 Гидравлический пресс и изостатический пресс
 - 8.2.2 Проектирование и производство пресс-форм
- 8.3 Оборудование для спекания и термообработки циркониевых вольфрамовых электродов
 - 8.3.1 Высокотемпературная печь для спекания

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

- 8.3.2 Вакуумная печь для термообработки
- 8.4 Прецизионное обрабатывающее оборудование для циркониевых вольфрамовых электродов
 - 8.4.1 Волоочильная машина и режущая машина
 - 8.4.2 Оборудование для полировки поверхностей
- 8.5 Оборудование для контроля качества циркониевых вольфрамовых электродов
- 8.6 Техническое обслуживание оборудования и оптимизация циркониевых вольфрамовых электродов

Глава 9: Отечественные и зарубежные стандарты на циркониевые вольфрамовые электроды

- 9.1 Международные стандарты для циркониевых вольфрамовых электродов
 - 9.1.1 Стандарты ИСО (e.g. ISO 6848)
 - 9.1.2 Стандарты AWS (например, AWS A5.12)
- 9.2 Отечественные стандарты на циркониевые вольфрамовые электроды
 - 9.2.1 Стандарт ГБ/Т
 - 9.2.2 Отраслевые стандарты и стандарты предприятий
- 9.3 Содержание и требования стандартов циркониевых вольфрамовых электродов
 - 9.3.1 Требования к химическому составу
 - 9.3.2 Требования к физическим характеристикам
 - 9.3.3 Требования к размерам и допускам
- 9.4 Сравнение и согласование отечественных и зарубежных стандартов на циркониевые вольфрамовые электроды
- 9.5 Обновления и тенденции развития стандартов циркониевых вольфрамовых электродов

Глава 10: Методы детектирования циркониевых вольфрамовых электродов

- 10.1 Определение химического состава циркониевых вольфрамовых электродов
 - 10.1.1 Спектральный анализ
 - 10.1.2 Метод химического титрования
- 10.2 Испытание физических свойств циркониевых вольфрамовых электродов
 - 10.2.1 Испытание на твердость
 - 10.2.2 Испытание на плотность и пористость
- 10.3 Анализ микроструктуры циркониевых вольфрамовых электродов
 - 10.3.1 Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ)
 - 10.3.2 Рентгеновская дифракция (XRD)
- 10.4 Испытание работоспособности электрода циркониевого вольфрама
 - 10.4.1 Испытание на устойчивость дуги
 - 10.4.2 Эффективность зажигания и испытание на долговечность
- 10.5 Испытание циркониевого вольфрамового электрода на адаптацию к окружающей среде
- 10.6 Калибровка и стандартизация оборудования для испытаний циркониевых вольфрамовых электродов
- 10.7 Распространенные проблемы и решения при обнаружении циркониевых вольфрамовых электродов

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Глава 11: Будущие тенденции развития циркониевых вольфрамовых электродов

- 11.1 Разработка новых материалов и технологий
- 11.2 Направление оптимизации производительности циркониевого вольфрамового электрода
- 11.3 Тенденции в интеллектуальном и автоматизированном производстве
- 11.4 Зеленое производство и устойчивое развитие
- 11.5 Потенциал циркониевых вольфрамовых электродов в новых областях

Глава 12: Переработка и повторное использование циркониевых вольфрамовых электродов

- 12.1 Процесс переработки лома электродов
- 12.2 Переработка и экономическая ценность циркониевых вольфрамовых материалов
- 12.3 Требования к контролю загрязнения и охране окружающей среды в процессе переработки
- 12.4 Современное состояние и тенденции развития переработки циркониевого вольфрама в стране и за рубежом

Приложение

- A. Глоссарий
- B. Ссылки

Глава 1 Введение

1.1 Обзор циркониевых вольфрамовых электродов

Циркониевые вольфрамовые электроды - это тип вольфрамовых электродов, легированных небольшим количеством диоксида циркония (ZrO_2) в качестве вольфрамовой матрицы) широко используются в вольфрамовой сварке в среде защиты в инертном газе (сварка TIG), плазменной резке, плазменном напылении и других промышленных сценариях с высокой температурой и большим током. Циркониевые вольфрамовые электроды стали незаменимыми материалами в области сварки и резки благодаря своей превосходной стабильности дуги, характеристикам воспламенения и стойкости к выгоранию, особенно при сварке переменным током (АС), подходящим для обработки легких металлов, таких как алюминий, магний и их сплавы.

Химический состав циркониевых вольфрамовых электродов в основном состоит из вольфрама высокой чистоты (обычно более 99,5% чистоты) и небольшого количества диоксида циркония (обычно от 0,15% до 0,8%). Легирование диоксидом циркония значительно улучшает эксплуатационные характеристики вольфрамовых электродов, позволяя им сохранять стабильную электронную эмиссионную способность и длительный срок службы в высокотемпературных дуговых средах. По сравнению с чистыми вольфрамовыми электродами, циркониевые вольфрамовые электроды имеют более низкую скорость выгорания электродов и более высокие противообрастающие свойства, что дает им значительные преимущества в сценариях с чрезвычайно высокими требованиями к качеству сварки. По сравнению с другими легированными электродами, такими как торий-вольфрамовые, церий-вольфрамовые или лантановые вольфрамовые электроды, циркониевые вольфрамовые электроды демонстрируют лучшую концентрацию дуги и меньший риск расплавления кончика электрода при сварке переменным током, что делает их особенно подходящими для сварки чувствительных к свойствам электродов материалов, таких как алюминиевые сплавы.

Циркониевые вольфрамовые электроды обычно начинаются с буквы «WZ», за которой следуют цифры, указывающие на содержание диоксида циркония, например, WZ3 (с 0,3% диоксида циркония) и WZ8 (с 0,8% диоксида циркония). Различия в производительности между этими марками в основном отражаются на стабильности дуги, производительности воспламенения и сроке службы в зависимости от сварочного тока, типа материала и технологических требований. К физическим свойствам циркониевых вольфрамовых электродов относятся высокая температура плавления (около $3422^{\circ}C$, близкая к чистому вольфраму), хорошая электро- и теплопроводность, а также отличная стойкость к окислению и коррозии. Эти особенности позволяют ему поддерживать стабильную производительность в экстремальных условиях, что делает его идеальным для высокоточной сварки и резки.

Процесс производства циркониевых вольфрамовых электродов включает в себя несколько этапов, таких как порошковая металлургия, легирование, спекание, волочение и обработка поверхности. Сложность производственного процесса требует высокоточного оборудования

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

и строгого контроля качества для обеспечения химического состава, однородности электродов и стабильности микроструктуры. В последние годы, с развитием экологически чистого производства и интеллектуальных производственных технологий, процесс производства циркониевых вольфрамовых электродов постоянно оптимизируется, а качество и стабильность продукции значительно улучшаются.

1.2 История и развитие циркониевых вольфрамовых электродов

Историю разработки и применения циркониевых вольфрамовых электродов можно проследить до середины 20-го века, когда технология сварки быстро развивалась с развитием индустриализации. Вольфрамовая сварка в среде инертного газа (сварка TIG) постепенно развивалась в 40-х годах 20-го века, и первоначально в основном использовались чистые вольфрамовые электроды. Тем не менее, чистые вольфрамовые электроды имеют такие проблемы, как нестабильность дуги, трудности с воспламенением и сильное прогорание электродов при сварке переменным током, что ограничивает их применение в сценариях с высоким спросом. Чтобы решить эти проблемы, исследователи начали изучать легирование оксидов в вольфрамовых подложках для улучшения их свойств.

В 50-х годах 20 века диоксид циркония был введен в производство вольфрамовых электродов в качестве фальсифицированного материала. Диоксид циркония обладает такими характеристиками, как высокая температура плавления, высокая термостойкость и химическая стабильность, что может эффективно улучшить способность к электронному излучению и стойкость к выгоранию вольфрамовых электродов. Ранние циркониевые вольфрамовые электроды в основном использовались для экспериментальных применений, и процесс их производства был относительно грубым, а однородность легирования и стабильность качества электродов были плохими. С развитием технологии порошковой металлургии и технологии высокотемпературного спекания характеристики циркониевых вольфрамовых электродов были значительно улучшены в 60-х годах 20-го века, и постепенно были приняты промышленностью и широко используются при сварке алюминиевых сплавов и магниевых сплавов.

В 70-х годах 20 века Международная организация по стандартизации (ISO) и Американское общество сварки (AWS) начали формулировать соответствующие стандарты для вольфрамовых электродов, включая химический состав, требования к эксплуатационным характеристикам и классификацию циркониевых вольфрамовых электродов. Внедрение этих стандартов способствовало стандартизированному производству и глобальному применению циркониевых вольфрамовых электродов. В течение того же периода система марок циркониевых вольфрамовых электродов постепенно совершенствовалась, и такие марки, как WZ3 и WZ8, стали основными, а их различия в производительности систематически изучались и применялись к различным сценариям сварки.

В 21 веке, с быстрым развитием высокотехнологичных областей, таких как аэрокосмическая промышленность, атомная промышленность и производство медицинского оборудования, сфера применения циркониевых вольфрамовых электродов еще больше расширилась.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Производство современных циркониевых вольфрамовых электродов в высшей степени автоматизировано с использованием передовых технологий легирования и прецизионного обрабатывающего оборудования для обеспечения высокой консистенции и надежности электродов. В то же время внедрение концепций «зеленого» производства способствовало экологической оптимизации производственного процесса, такой как сокращение выбросов отходов и улучшение использования сырья.

В последние годы исследования и разработки циркониевых вольфрамовых электродов сместились в сторону оптимизации производительности и многофункциональности. Например, в ответ на спрос на высокоточную сварку переменным током исследователи разработали новые рецептуры циркониевых вольфрамовых электродов для дальнейшего улучшения концентрации дуги и срока службы электродов. Кроме того, применение нанотехнологий в производстве циркониевых вольфрамовых электродов также стало горячей точкой исследований, а легирование наноразмерных частиц диоксида циркония может значительно улучшить микроструктуру и производительность электродов.

1.3 Значение циркониевых вольфрамовых электродов в современной промышленности

Циркониевые вольфрамовые электроды играют важнейшую роль в современной промышленности, особенно в области высокоточной сварки и резки. Его важность в основном отражается в следующих аспектах:

Во-первых, применение циркониевого вольфрамового электрода при сварке TIG значительно повышает качество и эффективность сварки. Сварка TIG широко используется в аэрокосмической, автомобильной и судостроительной отраслях благодаря своей высокой точности, отсутствию брызг и широкой применимости. Циркониевые вольфрамовые электроды демонстрируют превосходную стабильность дуги при сварке переменным током, эффективно уменьшая дрейф дуги и сварочные дефекты, и особенно подходят для сварки легких металлов, таких как алюминий и магний, и их сплавов. Эти материалы широко используются в аэрокосмической сфере (например, фюзеляж самолетов, компоненты двигателей) и автомобильной промышленности (например, корпус из алюминиевого сплава), а стабильная работа циркониевых вольфрамовых электродов обеспечивает надежную гарантию для этих отраслей.

Во-вторых, применение циркониевых вольфрамовых электродов при плазменной резке и напылении еще больше расширяет их промышленное значение. Плазменная резка требует, чтобы электрод оставался стабильным в условиях высоких температур и сильных токов, а устойчивость к выгоранию и длительный срок службы циркониевых вольфрамовых электродов делают их идеальным выбором. При плазменном напылении циркониевые вольфрамовые электроды обеспечивают стабильную плазменную дугу для обеспечения качества и однородности покрытия, что особенно важно при нанесении покрытий на лопасти авиационных двигателей и подготовке износостойких материалов.

Кроме того, циркониевые вольфрамовые электроды также находят важное применение в

высокотехнологичных областях, таких как атомная промышленность и производство медицинского оборудования. В атомной промышленности циркониевые вольфрамовые электроды используются для сварки ключевых компонентов ядерных реакторов, а их высокая надежность и коррозионная стойкость позволяют удовлетворить требования экстремальных условий. В производстве медицинского оборудования циркониевые вольфрамовые электроды используются для производства высокоточных компонентов, таких как рентгеновское оборудование и хирургические инструменты, а их превосходные характеристики обеспечивают долгосрочную стабильность и безопасность оборудования.

Широкое применение циркониевых вольфрамовых электродов также способствовало развитию соответствующих промышленных цепочек. Например, производство циркониевых вольфрамовых электродов способствовало развитию добычи вольфрамовой руды, производству оборудования для порошковой металлургии и технологии контроля качества. В то же время стандартизированное производство и международная торговля способствуют сотрудничеству и техническому обмену в мировой сварочной отрасли.

Ожидается, что в будущем, с дальнейшим развитием интеллектуального производства и экологически чистых производственных технологий, производительность и области применения циркониевых вольфрамовых электродов продолжат расширяться. Например, в области новых источников энергии (таких как производство ветрового и солнечного оборудования) и технологии 3D-печати исследуются потенциальные области применения циркониевых вольфрамовых электродов. Требования к свойствам материалов и точности процессов в этих новых областях еще больше подчеркнут важность циркониевых вольфрамовых электродов.

Таким образом, циркониевые вольфрамовые электроды, как высокоэффективный материал для сварки и резки, занимают важное место в современной промышленности благодаря своей превосходной стабильности дуги, устойчивости к выгоранию и широкой применимости. Его непрерывный технологический прогресс и расширение сферы применения будут продолжать стимулировать инновации и развитие в промышленном производстве.



Глава 2 Основные понятия циркониевых вольфрамовых электродов

2.1 Определение циркониевого вольфрамового электрода

Циркониевый вольфрамовый электрод представляет собой неплавящийся электродный материал, легированный небольшим количеством диоксида циркония (ZrO_2) на основе вольфрама высокой чистоты, который в основном используется в высокотемпературных и высокоточных промышленных приложениях, таких как сварка вольфрама в среде инертного газа (сварка TIG), плазменная резка и плазменное напыление. Добавляя диоксид циркония в вольфрамовую матрицу, циркониевые вольфрамовые электроды значительно улучшают стабильность дуги, характеристики воспламенения и стойкость к выгоранию электродов, что делает их превосходными при сварке переменным током (AC), особенно для сварки легких металлов, таких как алюминий, магний и их сплавы.

Согласно международным стандартам, таким как ISO 6848 и AWS A5.12, циркониевые вольфрамовые электроды определяются как электроды из вольфрамового сплава, содержащие определенную долю диоксида циркония (обычно от 0,15% до 0,8%), с марками, начинающимися с «WZ», такими как WZ3 (0,3% диоксида циркония) и WZ8 (0,8% диоксида циркония). Эти электроды изготовлены с использованием методов порошковой металлургии для равномерного легирования диоксида циркония в вольфрамовую матрицу для оптимизации их высокотемпературных характеристик и электрических свойств. Основная

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

функция циркониевых вольфрамовых электродов заключается в том, чтобы служить в качестве неплавящихся электродов при дуговой сварке или резке, обеспечивая стабильную дугу и сохраняя длительный срок службы, избегая при этом загрязнения сварного шва.

Циркониевые вольфрамовые электроды предназначены для компенсации недостатков чистых вольфрамовых электродов при сварке переменным током, таких как нестабильность дуги и преждевременное выгорание наконечника электрода. По сравнению с другими легированными электродами, такими как ториевые вольфрамовые или цериевые вольфрамовые электроды, циркониевые вольфрамовые электроды обладают уникальными преимуществами при сварке переменным током благодаря высокой концентрации дуги, что делает их пригодными для высокоточных сварочных процессов. Кроме того, циркониевые вольфрамовые электроды не содержат радиоактивных элементов, что делает их более экологичными, чем ториевые вольфрамовые электроды, отвечающими требованиям безопасности и экологичности современной промышленности.

2.2 Химический состав циркониевого вольфрамового электрода

Химический состав циркониевых вольфрамовых электродов в основном состоит из вольфрама высокой чистоты (W) и легирован небольшим количеством диоксида циркония (ZrO_2) в качестве усилителя производительности. Чистота вольфрама обычно должна быть выше 99,5% для обеспечения стабильности электрода в условиях высоких температур и сильных токов. Коэффициент легирования диоксидом циркония варьируется в зависимости от марки электрода, обычно в диапазоне от 0,15% до 0,8%, например, WZ3 (0,3% ZrO_2) и WZ8 (0,8% ZrO_2). Помимо вольфрама и диоксида циркония, циркониевые вольфрамовые электроды могут содержать следовые примеси (такие как железо, кремний, углерод и т. д.), но содержание этих примесей необходимо строго контролировать в диапазоне, указанном международными стандартами (обычно менее 0,05%), чтобы не влиять на работу электродов.

Добавление диоксида циркония является ключом к улучшению характеристик циркониевых вольфрамовых электродов. Диоксид циркония представляет собой оксид с высокой температурой плавления (около 2715°C) и высокой химической стабильностью, который может образовывать равномерно распределенные мельчайшие частицы в вольфрамовой матрице. Эти частицы значительно улучшают стабильность дуги и стойкость электрода к выгоранию, изменяя кристаллическую структуру и электронно-эмиссионные характеристики вольфрама. Коэффициент легирования диоксидом циркония напрямую влияет на производительность электрода: более низкие уровни легирования (например, WZ3) подходят для сварки переменным током со средними токами, в то время как более высокие уровни легирования (например, WZ8) больше подходят для высоких токов и сценариев с высокими требованиями к концентрации дуги.

Химический состав циркониевых вольфрамовых электродов контролируется во время производства с помощью точных соотношений сырья и процессов легирования. Обычно используемым вольфрамовым сырьем в производстве является вольфрамовый порошок высокой чистоты, а диоксид циркония обычно добавляют в виде порошка или раствора

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

высокой чистоты. Процесс легирования должен обеспечивать равномерное распределение частиц диоксида циркония в вольфрамовой матрице и избегать локальной агрегации или сегрегации для обеспечения постоянства характеристик электродов. Современные методы производства также могут вводить следовые количества других добавок, таких как оксиды редкоземельных элементов, для дальнейшей оптимизации производительности, но использование этих добавок должно соответствовать соответствующим стандартам и отраслевым требованиям.

2.3 Сравнение циркониевого вольфрамового электрода с другими вольфрамовыми электродами

Циркониевые вольфрамовые электроды значительно отличаются от других типов вольфрамовых электродов, таких как чистые вольфрамовые электроды, торированные вольфрамовые электроды, цериевые вольфрамовые электроды и лантанированные вольфрамовые электроды, с точки зрения производительности, использования и применимых сценариев.

Ниже приведено сравнение характеристик циркониевого вольфрамового электрода и других вольфрамовых электродов в различных измерениях:

Электрод из чистого вольфрама (WP)

Чистый вольфрамовый электрод более чем на 99,95% состоит из вольфрама высокой чистоты без легирования оксидами. Его преимуществами являются высокая химическая стабильность, отсутствие радиоактивности и подходит для сварки постоянным током (DC) с низким током. Однако чистые вольфрамовые электроды имеют плохую стабильность дуги и слабые характеристики воспламенения при сварке переменным током, а наконечник электрода подвержен перегреву и выгоранию, что приводит к короткому сроку службы. В отличие от них, циркониевые вольфрамовые электроды значительно улучшают стабильность дуги и эффективность воспламенения при сварке переменным током за счет легирования диоксидом циркония, что делает их особенно подходящими для сварки алюминиевых и магниевых сплавов.

Ториевый вольфрамовый электрод (WT20)

Ториевый вольфрамовый электрод легирован оксидом тория (ThO_2) от 1,5% до 2,0%, который обладает отличными характеристиками воспламенения и стабильностью дуги и широко используется в сварке постоянным током. Тем не менее, оксид тория слабо радиоактивен, представляет потенциальную опасность для здоровья и окружающей среды, а также менее концентрирован дугой, чем циркониевые вольфрамовые электроды при сварке переменным током. Циркониевые вольфрамовые электроды нерадиоактивны, более экологичны и лучше контролируют дугу при сварке переменным током, что делает их пригодными для высокоточной сварки.

Цериевый вольфрамовый электрод (WC20)

Цериевый вольфрамовый электрод легирован примерно 2,0% оксида церия (CeO_2), который

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

обладает отличными характеристиками воспламенения и подходит для сварки слабым током постоянного и переменного тока. По сравнению с циркониевыми вольфрамовыми электродами, цериево-вольфрамовые электроды имеют немного меньшую стабильность дуги при высокоточной сварке переменным током и имеют немного меньший срок службы электродов. Циркониевые вольфрамовые электроды обладают более высокой стойкостью к выгоранию и концентрацией дуги при сварке переменным током, что делает их пригодными для сценариев с высокими требованиями.

Лантановый вольфрамовый электрод (WL15, WL20)

Вольфрамовый электрод лантана легирован от 1,0% до 2,0% оксида лантана (La_2O_3), который обладает хорошими характеристиками воспламенения и длительным сроком службы, а также подходит для сварки постоянным и переменным током. По сравнению с циркониевыми вольфрамовыми электродами, лантановые вольфрамовые электроды имеют лучшие характеристики при сварке постоянным током, но концентрация дуги немного уступает концентрации циркониевых вольфрамовых электродов при сварке переменным током, особенно при сварке алюминиевых сплавов, способность циркониевых вольфрамовых электродов контролировать дугу сильнее.

Таким образом, циркониевые вольфрамовые электроды обладают уникальными преимуществами при сварке переменным током, особенно при сварке легких металлов, таких как алюминий и магний. Его нерадиоактивные и экологически чистые характеристики заставляют его постепенно вытеснить ториевые вольфрамовые электроды в современной промышленности и стать предпочтительным электродом для высокоточной сварки. Однако при сварке постоянным током или слаботочных электродах более предпочтительными могут быть цериевые вольфрамовые или лантановые вольфрамовые электроды. Выбор электродов должен быть всесторонне рассмотрен в зависимости от конкретного процесса, типа тока и требований к материалам.

2.4 Физико-химические свойства циркониевых вольфрамовых электродов

Физические и химические свойства циркониевых вольфрамовых электродов являются основой их превосходной работы в условиях высоких температур и сильных токов. Ниже приведен подробный анализ по четырем аспектам: температура плавления и термическая стабильность, электро- и теплопроводность, стойкость к окислению и коррозионная стойкость, а также механические свойства.

2.4.1 Температура плавления и термическая стабильность

Циркониевые вольфрамовые электроды наследуют характеристики высокой температуры плавления вольфрама, с температурой плавления около 3422°C (температура плавления чистого вольфрама), что является одним из самых высоких среди известных металлических материалов. Несмотря на то, что легирование диоксидом циркония (температура плавления около 2715°C) немного снижает теоретическую температуру плавления вольфрамовой матрицы, циркониевый вольфрамовый электрод все еще может сохранять структурную стабильность в дуговой среде до 6000°C в практическом применении. Частицы диоксида

циркония образуют в вольфрамовой матрице стабильную дисперсную фазу, которая может эффективно подавлять рост зерна и высокотемпературную деформацию, тем самым улучшая термическую стабильность электрода.

При сварке TIG или плазменной резке циркониевые вольфрамовые электроды подвергаются воздействию высоких температур (примерно от 6000 °C до 7000 °C), создаваемых дугой. Его превосходная термическая стабильность позволяет ему сохранять форму наконечника при длительной работе под сильным током, уменьшая выгорание и плавление. По сравнению с чистыми вольфрамовыми электродами, циркониевые вольфрамовые электроды обладают лучшей термической стабильностью при сварке переменным током, особенно в высокочастотных коммутируемых дугах переменного тока, которые могут поддерживать стабильное излучение электронов.

2.4.2 Электро- и теплопроводность

Циркониевые вольфрамовые электроды обладают хорошей электро- и теплопроводностью, которая тесно связана со свойствами их вольфрамовой матрицы. Проводимость вольфрама составляет $1,82 \times 10^7$ См/м, а теплопроводность — около 173 Вт/(м·К) (при комнатной температуре). Легирование диоксидом циркония мало влияет на электро- и теплопроводность, но при высокоточной сварке переменным током проводимость циркониевых вольфрамовых электродов обеспечивает стабильное образование дуги и передачу энергии.

Теплопроводность имеет решающее значение для работы электрода. В процессе сварки наконечник электрода подвергается воздействию высоких температур, и хорошая теплопроводность позволяет быстро отводить тепло от наконечника к другим частям электрода, предотвращая локальный перегрев и выгорание. Теплопроводность циркониевых вольфрамовых электродов позволяет им поддерживать низкую температуру наконечника и продлевать срок службы при высокоточной сварке переменным током.

2.4.3 Стойкость к окислению и коррозии

Стойкость к окислению и коррозионная стойкость циркониевых вольфрамовых электродов в высокотемпературных средах являются важными преимуществами. Вольфрам сам по себе имеет тенденцию вступать в реакцию с кислородом при высоких температурах с образованием летучих оксидов (таких как WO_3), что приводит к выгоранию электродов. Легирование диоксидом циркония значительно повышает стойкость электрода к окислению за счет образования стабильного оксидного слоя. Частицы циркония образуют защитный слой на поверхности электрода, который замедляет скорость реакции между вольфрамом и кислородом, благодаря чему циркониевый вольфрамовый электрод может сохранять длительный срок службы в окислительной атмосфере.

С точки зрения коррозионной стойкости, циркониевые вольфрамовые электроды демонстрируют хорошую устойчивость к химическим веществам, присутствующим в обычных сварочных средах, таких как инертные газы, пары металлов. Особенно при сварке алюминиевых сплавов, циркониевые вольфрамовые электроды могут противостоять

воздействию оксидов алюминия и других загрязнений, снижая загрязнение и ухудшение характеристик на кончике электрода.

2.4.4 Механические свойства (твердость, пластичность и т.д.)

К механическим свойствам циркониевых вольфрамовых электродов относятся высокая твердость, умеренная пластичность и хорошая устойчивость к поломке. Твердость вольфрама (твердость по Виккерсу около 350-400 HV) придает циркониевым вольфрамовым электродам отличную износостойкость и стойкость к деформации, позволяя им сохранять структурную целостность при высокочастотной вибрации и механических нагрузках. Легирование диоксидом циркония незначительно повышает твердость электрода, улучшая его устойчивость к хрупкому разрушению.

В процессе производства циркониевые вольфрамовые электроды тянут и подвергаются термической обработке для достижения умеренной пластичности, что позволяет перерабатывать их в электродные стержни различного диаметра (например, от 1,0 мм до 6,4 мм) и длины. Оптимизация пластичности гарантирует, что электрод не будет подвержен трещинам или поломкам во время обработки и использования. Кроме того, усталостная стойкость циркониевых вольфрамовых электродов позволяет им выдерживать многократные термические и механические нагрузки в высокочастотных дугах переменного тока, продлевая срок их службы.



Заявление об авторских правах и юридической ответственности

CTIA GROUP LTD

Zirconium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Zirconium Tungsten Electrode

Zirconium tungsten electrode is a non-radioactive welding electrode made by doping a small amount of zirconium oxide (ZrO_2) into a high-purity tungsten base. It is specifically optimized for AC TIG (Tungsten Inert Gas) welding. Its excellent arc stability and outstanding resistance to contamination make it the preferred choice for welding aluminum, magnesium, and their alloys.

2. Types of Zirconium Tungsten Electrode

Grade	Tip Color	ZrO ₂ Content (wt.%)	Characteristics & Applications
WZ3	Brown	0.2–0.4	Ideal for low to medium intensity AC welding; cost-effective
WZ38	White	0.7–0.9	Industry-standard grade with excellent overall performance

3. Standard Sizes & Packaging of Zirconium Tungsten Electrode

Diameter (mm)	Length (mm)	Regular Coloring	Packing:
1.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10 pcs/box
1.6	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.4	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
3.2	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
4.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
Remark	The sizes can be customized		

4. Applications of Zirconium Tungsten Electrode

- Welding of aluminum and aluminum alloys: such as doors, windows, frames, and automotive body structures
- Welding of magnesium and magnesium alloys: widely used in aerospace lightweight components
- AC welding of stainless steel (under specific low-current conditions)
- Precision welding in aerospace, rail transit, pressure vessels, etc.
- Used in automated welding systems and robotic torch assemblies

5. Procurement Information

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

Глава 3 Марки циркониевых вольфрамовых электродов

3.1 Классификация марок циркониевых вольфрамовых электродов

Классификация циркониевых вольфрамовых электродов основана на содержании в них диоксида циркония (ZrO_2) и эксплуатационных характеристиках с целью обеспечения стандартизированного выбора электродов для различных процессов сварки и резки. Классификация марок не только облегчает идентификацию в производстве и применении, но и предоставляет пользователям четкие рекомендации по производительности. Как на международном, так и на внутреннем рынках используются стандартизированные соглашения об именах для обеспечения совместимости и стабильности циркониевых вольфрамовых электродов во всем мире.

3.1.1 Международные широко используемые марки (например, WZ3, WZ8)

На международном уровне циркониевые вольфрамовые электроды обычно соответствуют стандартам Международной организации по стандартизации (ISO 6848) и Американского общества сварки (AWS A5.12), начиная с буквы «WZ», за которой следует число, обозначающее приблизительный весовой процент диоксида циркония (в 0,1%). К наиболее распространенным международным сортам относятся WZ3 и WZ8, которые указывают на содержание диоксида циркония 0,3% и 0,8% соответственно. Эти марки широко используются в мировой сварочной промышленности, особенно на европейском и американском рынках.

WZ3 (0,15–0,4% ZrO_2): WZ3 — это марка с более низким содержанием диоксида циркония в циркониевых вольфрамовых электродах и обычно используется для сварки переменным током (AC) при средних тонах. Он характеризуется хорошей стабильностью дуги и отличными характеристиками воспламенения, что делает его пригодным для сварки легких металлов, таких как алюминий, магний и их сплавы. Электрод WZ3 обладает умеренной устойчивостью к выгоранию, что делает его подходящим для сценариев с не слишком высоким сроком службы электрода, таких как небольшие сварочные операции или низкочастотная сварка переменным током.

WZ8 (0,7–0,9% ZrO_2): WZ8 содержит более высокую долю диоксида циркония и предназначен для сварки переменным током переменного тока. Его концентрация дуги выше, а устойчивость к выгоранию выше, чем у WZ3, что делает его пригодным для сценариев, требующих высокоточных и высококачественных сварных швов, таких как аэрокосмические компоненты и производство оборудования для атомной промышленности. Электроды WZ8 отлично подходят для высокочастотного дугового разряда переменного тока, сохраняя стабильную форму дуги и длительный срок службы.

В дополнение к WZ3 и WZ8 в некоторых странах и регионах могут разрабатываться другие нестандартные марки в соответствии с конкретными потребностями, но сфера использования этих марок узка и обычно ограничена конкретными отраслями промышленности или индивидуальными применениями. Международные стандарты также определяют цветовую

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

идентификацию циркониевых вольфрамовых электродов, WZ3 и WZ8 обычно маркируются коричневым и белым цветом (покрытие наконечника или целого электрода) для легкой идентификации в полевых условиях.

3.1.2 Правила именования отечественных брендов

В Китае марки циркониевых вольфрамовых электродов в основном соответствуют национальным стандартам (стандартам GB/T), таким как GB/T 4187-2017 «Вольфрамовые электроды». Отечественное наименование сортов аналогично международным стандартам, обычно начинается с «WZ», за которым следует число, обозначающее содержание диоксида циркония, но также может быть расширено в соответствии с потребностями бизнеса или отрасли. К распространенным отечественным маркам относятся WZ3 и WZ8, которые соответствуют международным стандартам, но некоторые компании могут использовать пользовательские названия, такие как «WZr-3» или «WZr-8», которые имеют то же значение, что и международные марки.

Отечественные правила наименования марок также могут быть дополнены в сочетании с назначением или производительностью электродов. Например, некоторые компании добавляют буквы или цифры после марки, чтобы указать на конкретный процесс обработки или сценарий применения электрода, например, «WZ8-H» для высокоточной обработки электрода WZ8. В отечественных стандартах четко оговариваются химический состав, допуски по размерам и эксплуатационные характеристики циркониевых вольфрамовых электродов, что обеспечивает их соответствие международным стандартам.

По сравнению с международным рынком, отечественный брендинг уделяет больше внимания локализованным применениям, особенно на малых и средних сварочных предприятиях и производстве нестандартного оборудования, могут быть некоторые нестандартизированные методы нейминга. Эти методы именования обычно настраиваются производителями в соответствии с потребностями клиентов, но в целом все же используется стандарт GB/T для обеспечения качества и согласованности продукции.

3.2 Различия в содержании циркония и эксплуатационных характеристиках каждой марки

Разница в производительности циркониевого вольфрамового электрода в основном связана с разницей в содержании диоксида циркония. В качестве легирующей примеси диоксид циркония существенно влияет на стабильность дуги, производительность воспламенения, стойкость к выгоранию и срок службы электрода за счет изменения микроструктуры и электронно-эмиссионных характеристик вольфрамовой матрицы. Ниже приведен подробный анализ различий в содержании циркония и производительности между марками WZ3 и WZ8:

Электроды WZ3 (0,15–0,4% ZrO₂) WZ3 имеют низкое содержание диоксида циркония и подходят для сварки переменным током при средних токах (50–150 А). К его основным эксплуатационным характеристикам можно отнести:

Стабильность дуги: WZ3 обеспечивает стабильную дугу при сварке переменным током с меньшим смещением дуги, что делает его пригодным для сварки тонких листовых алюминиевых или магниевых сплавов.

Эффективность зажигания: Низкое содержание диоксида циркония приводит к тому, что WZ3 имеет низкую работу по убеганию электронов при воспламенении, и ему легче зажечь дугу.

Устойчивость к горению: По сравнению с чистыми вольфрамовыми электродами, WZ3 обладает улучшенной стойкостью к горению, но может испытывать небольшое прогорание на кончике электрода при высоких токах или длительной сварке.

Срок службы: WZ3 имеет умеренный срок службы, что делает его пригодным для небольших и средних сварочных работ, но он имеет немного меньший срок службы, чем WZ8, при сварке большими токами или высокой частотой.

Микроструктура: WZ3 имеет разреженное распределение частиц диоксида циркония и большой размер зерна, что делает его пригодным для сварочных сред средней интенсивности.

Электроды WZ8 (0,7–0,9% ZrO_2) имеют высокое содержание диоксида циркония и предназначены для сварки переменным током (150–400 А) с такими эксплуатационными характеристиками, как:

Стабильность дуги: Концентрация дуги WZ8 чрезвычайно высока, а форма дуги стабильна, что делает его пригодным для высокоточной сварки, такой как сварка TIG для аэрокосмических компонентов.

Эффективность зажигания: Высокое содержание диоксида циркония еще больше снижает работу по улету электронов, благодаря чему WZ8 обладает отличными характеристиками зажигания в высокочастотных дугах переменного тока.

Устойчивость к горению: Устойчивость к горению WZ8 значительно выше, чем у WZ3, сохраняя форму наконечника в условиях сильного тока и высоких температур, уменьшая плавление или растрескивание.

Срок службы: WZ8 имеет более длительный срок службы, что делает его пригодным для длительных высокоинтенсивных сварочных работ.

Микроструктура: WZ8 имеет более плотные частицы диоксида циркония, меньший размер зерна и более однородную микроструктуру, что повышает устойчивость электрода к высоким температурам.

Другие марки В некоторых специальных областях применения могут быть доступны нестандартные марки, такие как циркониевые вольфрамовые электроды, содержащие 0,5% или 1,0% диоксида циркония. Эти марки обычно представляют собой специализированные продукты с производительностью от WZ3 до WZ8, подходящие для конкретных промышленных потребностей, таких как высокоточная плазменная резка или сварка специальными сплавами.

Повышенное содержание диоксида циркония обычно улучшает стабильность дуги и стойкость электрода к выгоранию, но слишком высокое легирование может привести к повышенной хрупкости электрода или увеличению сложности обработки. Таким образом,

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

содержание диоксида циркония в WZ3 и WZ8 считается лучшим балансом между производительностью и стоимостью, удовлетворяющим большинство промышленных потребностей.

3.3 Выбор и сценарии применения марок циркониевых вольфрамовых электродов

Выбор марки циркониевых вольфрамовых электродов напрямую влияет на качество, эффективность и стоимость сварки. Ниже анализируется применимость WZ3 и WZ8 с точки зрения сценариев применения, сварочных процессов и типов материалов:

Сценарии применения WZ3

Сварочные материалы: WZ3 подходит для сварки алюминия, магния и их сплавов, особенно при сварке тонких пластин (например, пластин из алюминиевых сплавов толщиной менее 3 мм). Его стабильность дуги снижает количество дефектов сварного шва, что делает его пригодным для сценариев с высокими требованиями к качеству поверхности.

Диапазон тока: подходит для сварки переменным током от 50 до 150 А, подходит для малого и среднего сварочного оборудования, такого как ручные сварочные аппараты TIG.

Типичные области применения: производство бытовой техники, сварка рамы из алюминиевого сплава велосипедов, сварка алюминиевых конструкций судов.

Преимущества: Более низкая стоимость, легкое воспламенение, подходит для мелкосерийного производства или задач низкочастотной сварки.

Ограничения: При высоких тонах или длительной сварке устойчивость WZ3 к выгоранию и долговечность могут быть недостаточными.

Сценарии применения WZ8

Сварочные материалы: WZ8 подходит для сварки алюминиевых, магниевых сплавов и нержавеющей стали с высокими требованиями, особенно при сварке толстыми пластинами (например, толщиной более 5 мм) или высокоточной сварке.

Диапазон тока: подходит для сильноточной сварки переменным током 150–400 А, подходит для автоматизированного сварочного оборудования или высокочастотного дугового разряда.

Типичные области применения: аэрокосмическая промышленность (например, фюзеляж самолетов, компоненты двигателей), атомная промышленность (например, компоненты реакторов), производство медицинского оборудования (например, корпуса рентгеновского оборудования).

Преимущества: Сильная концентрация дуги, высокая стойкость к горению и длительный срок службы, подходит для высокопрочных и длительных сварочных работ.

Ограничения: Более высокая стоимость, немного более сложная в обработке, может не подходить для сценариев с низким током или низкой точностью.

Принципы выбора При выборе марок циркониевых вольфрамовых электродов следует всесторонне учитывать следующие факторы:

Сварочный ток: WZ3 для слабого тока, WZ8 для сильного.

Тип материала: Алюминиевые и магниевые сплавы предпочитают циркониевые

вольфрамовые электроды, а WZ8 больше подходит для высокоточных требований.

Условия сварки: WZ8 предпочтительнее для сценариев с высокой частотой переменного тока или высоким тепловложением, а WZ3 можно выбрать для обычной сварки переменным током.

Доступность: WZ3 имеет меньшую стоимость и подходит для малого и среднего бизнеса; WZ8 обладает отличными эксплуатационными характеристиками и подходит для высокотехнологичных приложений.

Совместимость оборудования: Убедитесь, что диаметр и длина электрода соответствуют сварочному оборудованию, с распространенными диаметрами 1,6 мм, 2,4 мм, 3,2 мм и т. Д.

3.4 Стандартизация марок циркониевых вольфрамовых электродов и международные сравнения

Стандартизация марок циркониевых вольфрамовых электродов является ключом к обеспечению их стабильности и взаимозаменяемости во всем мире. Международные и отечественные стандарты содержат единые спецификации по маркам, химическому составу и эксплуатационным характеристикам циркониевых вольфрамовых электродов, способствуя глобальному развитию сварочной отрасли.

Международные стандарты

ISO 6848:2015: Настоящий стандарт определяет классификацию и требования к неплавящимся вольфрамовым электродам, при этом циркониевые вольфрамовые электроды относятся к серии «WZ», указывая химический состав, обозначение цвета (коричневый или белый) и требования к эксплуатационным характеристикам для WZ3 (0,15–0,4% ZrO₂) и WZ8 (0,7–0,9% ZrO₂). Стандарты ISO также определяют допуски по размерам, качество поверхности и методы контроля электродов.

AWS A5.12/A5.12M:2009: Стандарт Американского общества сварки в значительной степени соответствует стандартам ISO и подробно определяет марки, химические составы и сценарии применения циркониевых вольфрамовых электродов. В стандарте AWS цветовая идентификация WZ3 и WZ8 — коричневый и белый соответственно, что соответствует международной практике.

Другие международные стандарты: Европа (стандарт EN) и Япония (стандарт JIS) также относятся к стандартам ISO и AWS, обеспечивая глобальную совместимость циркониевых вольфрамовых электродов.

Отечественный стандарт

GB/T 4187-2017: Китайский национальный стандарт «Вольфрамовый электрод» подробно определяет марку, химический состав, производительность и методы испытаний циркониевых вольфрамовых электродов. Отечественные WZ3 и WZ8 соответствуют международным стандартам, но в корпоративных стандартах могут быть расширенные имена, такие как «WZr-3» или «WZr-8».

Отраслевые стандарты: Китайская ассоциация сварки и Ассоциация промышленности цветных металлов разработали дополнительные стандарты, которые устанавливают дополнительные требования к циркониевым вольфрамовым электродам в конкретных отраслях промышленности (например, в аэрокосмической, атомной промышленности).

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Сопоставление между международными и отечественными сортами относительно простое, и WZ3 и WZ8 последовательно определены в стандартах ISO, AWS и GB/T. Цветовая идентификация (коричневый или белый) является единой во всем мире, что облегчает идентификацию на месте. В некоторых странах в стандарте могут быть небольшие различия в требованиях к содержанию примесей, обработке поверхности или упаковке электродов, но основные эксплуатационные показатели остаются неизменными.

Тенденция стандартизации С развитием сварочных технологий стандартизация циркониевых вольфрамовых электродов также постоянно обновляется. Будущие тенденции включают в себя:

Оптимизация производительности: Разрабатывайте новые сплавы для удовлетворения потребностей сварки высоких токов, высоких частот или специальных материалов.

Требования по защите окружающей среды: дальнейшее снижение содержания примесей в электроде и содействие экологичному производству.

Международная координация: Усиление координации стандартов ISO, AWS и GB/T для упрощения глобальной торговли и их применения.

Интеллектуальное тестирование: внедрение технологии автоматизированного тестирования для повышения точности и эффективности сертификации сортов.



Заявление об авторских правах и юридической ответственности

CTIA GROUP LTD

Zirconium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Zirconium Tungsten Electrode

Zirconium tungsten electrode is a non-radioactive welding electrode made by doping a small amount of zirconium oxide (ZrO₂) into a high-purity tungsten base. It is specifically optimized for AC TIG (Tungsten Inert Gas) welding. Its excellent arc stability and outstanding resistance to contamination make it the preferred choice for welding aluminum, magnesium, and their alloys.

2. Types of Zirconium Tungsten Electrode

Grade	Tip Color	ZrO ₂ Content (wt.%)	Characteristics & Applications
WZ3	Brown	0.2–0.4	Ideal for low to medium intensity AC welding; cost-effective
WZ38	White	0.7–0.9	Industry-standard grade with excellent overall performance

3. Standard Sizes & Packaging of Zirconium Tungsten Electrode

Diameter (mm)	Length (mm)	Regular Coloring	Packing:
1.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10 pcs/box
1.6	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.4	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
3.2	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
4.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
Remark	The sizes can be customized		

4. Applications of Zirconium Tungsten Electrode

- Welding of aluminum and aluminum alloys: such as doors, windows, frames, and automotive body structures
- Welding of magnesium and magnesium alloys: widely used in aerospace lightweight components
- AC welding of stainless steel (under specific low-current conditions)
- Precision welding in aerospace, rail transit, pressure vessels, etc.
- Used in automated welding systems and robotic torch assemblies

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Глава 4 Характеристики циркониевых вольфрамовых электродов

4.1 Дуговая стабильность циркониевых вольфрамовых электродов

Стабильность дуги является одним из основных свойств циркониевого вольфрамового электрода при сварке вольфрамовым электродом в среде инертного газа (сварка TIG) и плазменной резке, что связано со способностью электрода сохранять стабильную форму дуги и предотвращать дрейф дуги в условиях сильноточной и высокотемпературной дуги. Циркониевые вольфрамовые электроды превосходно характеризуются стабильностью дуги благодаря легированию диоксидом циркония (ZrO_2), особенно при сварке переменным током (AC).

Легирование диоксидом циркония снижает работу вольфрамовой матрицы по убеганию электронов, что облегчает излучение электронов с поверхности электрода, что приводит к образованию стабильной дуги. По сравнению с чистыми вольфрамовыми электродами, дуга циркониевых вольфрамовых электродов более концентрирована, а явление дрейфа дуги значительно снижено. Это свойство особенно важно при сварке легких металлов, таких как алюминий и магний, так как эти материалы подвержены дефектам сварных швов, таким как пористость или несплавление из-за нестабильности дуги при сварке переменным током. Дуговая стабильность циркониевых вольфрамовых электродов в основном обусловлена равномерным распределением частиц диоксида циркония в вольфрамовой матрице, что повышает долговечность и управляемость дуги за счет оптимизации кристаллической структуры и поверхностных характеристик электронной эмиссии.

В практическом применении дуговая стабильность циркониевых вольфрамовых электродов тесно связана с содержанием диоксида циркония. Например, WZ8 (0,7–0,9% ZrO_2) по сравнению с WZ3 (0,15–0,4% ZrO_2) имеет более высокую концентрацию дуги и подходит для сварки переменным током (150–400 А), способен сохранять стабильную форму дуги в высокочастотных дугах. WZ3 больше подходит для сценариев со средним током (50–150 А), а его стабильность дуги достаточна для удовлетворения потребностей в сварке тонкими пластинами или низкочастотной сварке переменным током. Превосходные характеристики дуговой стабильности делают циркониевые вольфрамовые электроды широко используемыми в аэрокосмической, автомобильной и судостроительной промышленности, где качество сварных швов чрезвычайно высокое.

Кроме того, на стабильность дуги циркониевых вольфрамовых электродов также влияет форма наконечника электрода. Шлифовка конуса до конической формы (обычно 30–60°) может еще больше повысить концентрацию дуги и уменьшить ее распространение. Современное сварочное оборудование дополнительно оптимизирует стабильность дуги циркониевых вольфрамовых электродов за счет точного управления формами токовых сигналов, таких как прямоугольный переменный ток, что позволяет им демонстрировать более высокую надежность в сложных условиях сварки.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

4.2 Производительность воспламенения и срок службы циркониевого вольфрамового электрода

Эффективность зажигания относится к легкости, с которой электрод инициирует дугу, обычно оцениваемой по напряжению зажигания и коэффициенту успешности зажигания. Циркониевый вольфрамовый электрод значительно снижает работу убегания электронов (около 2,7–3,0 эВ, по сравнению с 4,5 эВ для чистого вольфрама) из-за легирования диоксидом циркония, что облегчает завязывание дуги, особенно при высокочастотной сварке переменным током. Благодаря превосходным характеристикам воспламенения циркониевые вольфрамовые электроды являются предпочтительным материалом для сварки алюминиевых и магниевых сплавов.

Производительность воспламенения электрода WZ8 лучше, чем у WZ3, благодаря более высокому содержанию диоксида циркония. При высокочастотной сварке переменным током WZ8 может быстро формировать дугу при более низком напряжении воспламенения, снижая риск сбоя зажигания или прерывания дуги. Несмотря на то, что производительность зажигания WZ3 немного уступает производительности WZ8, она по-прежнему обеспечивает надежные результаты зажигания в диапазоне средних токов, что делает ее подходящей для небольших и средних сварочных работ. Улучшенные характеристики зажигания не только повышают эффективность сварки, но и снижают потери оборудования и потерянное время работы из-за трудностей с зажиганием.

Срок службы электродов является еще одной ключевой характеристикой циркониевых вольфрамовых электродов, которая относится к времени, в течение которого электрод может сохранять свою производительность при нормальных условиях использования. Срок службы циркониевых вольфрамовых электродов в основном ограничен их способностью противостоять выгоранию и загрязнению. Легирование диоксидом циркония значительно снижает скорость выгорания электрода в высокотемпературной дуге за счет образования стабильного оксидного слоя. Срок службы электродов WZ8 обычно на 30–50% больше, чем у WZ3, из-за более высокого содержания диоксида циркония, особенно при высокоточной сварке с длительным сроком действия. Например, при сварке TIG компонентов аэрокосмической промышленности электрод WZ8 способен работать при длительных высоких токах (200–300 А) в течение нескольких часов без частой замены.

Срок службы электродов также зависит от сварочной среды и условий эксплуатации. Например, надлежащая защита от инертных газов, таких как аргон или гелий, может уменьшить окисление на поверхности электрода и продлить срок службы. Оптимизация угла заточки наконечника и формы волны тока также эффективно продлевает срок службы электродов. По сравнению с чистыми вольфрамовыми электродами, срок службы циркониевых вольфрамовых электродов обычно продлевается в 2–3 раза при сварке переменным током, что делает их более экономичными в промышленном производстве.

4.3 Устойчивость к горению и антизагрязняющая способность циркониевого

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

вольфрамового электрода

Сопrotивление выгоранию — это способность циркониевых вольфрамовых электродов противостоять плавлению или потере наконечника в условиях высокотемпературной дуговой дуги. Циркониевый вольфрамовый электрод значительно повышает стойкость к выгоранию за счет легирования диоксидом циркония. Частицы диоксида циркония образуют в вольфрамовой матрице стабильную дисперсную фазу, которая может эффективно ингибировать реакции испарения и окисления вольфрама при высоких температурах (образуя летучие оксиды, такие как WO_3). Этот защитный механизм позволяет циркониевому вольфрамовому электроду сохранять форму наконечника в условиях дуговой дуги при температуре выше 6000 °C, снижая выгорание и плавление.

Электроды WZ8 более устойчивы к выгоранию, чем WZ3, поскольку более высокое содержание диоксида циркония образует более плотный защитный слой. При сварке переменным током скорость выгорания наконечника электрода WZ8 может быть уменьшена до 1/3 от скорости выгорания электрода из чистого вольфрама, что значительно продлевает срок службы электрода. Электрод WZ3 также обеспечивает хорошую стойкость к выгоранию при умеренных токах, но длительная работа с высоким током может привести к небольшому износу наконечника.

Устойчивость к загрязнениям относится к способности электрода противостоять адгезии паров металлов, оксидов или других загрязнений в процессе сварки. При сварке алюминиевых сплавов оксиды алюминия (Al_2O_3) и другие примеси имеют тенденцию прилипать к наконечнику электрода, что приводит к нестабильности дуги или трудностям с воспламенением. Противообрастающая способность циркониевых вольфрамовых электродов обусловлена химической стабильностью диоксида циркония, а его поверхность не подвержена химическим реакциям с оксидами алюминия или другими загрязнениями. Кроме того, циркониевые вольфрамовые электроды имеют более высокую чистоту поверхности, часто достигаемую за счет прецизионной полировки, что еще больше снижает вероятность адгезии загрязнений.

В практическом применении устойчивость циркониевого вольфрамового электрода к загрязнениям позволяет ему превосходно работать в сложных сварочных условиях. Например, в условиях высокой влажности или насыщения кислородом циркониевые вольфрамовые электроды могут поддерживать стабильную работу дуги и уменьшать количество сварочных дефектов, вызванных загрязнением. По сравнению с ториевыми вольфрамовыми электродами, циркониевые вольфрамовые электроды нерадиоактивны, более экологичны, а их способность к защите от загрязнения лучше, чем у цериевых вольфрамовых и лантановых вольфрамовых электродов при сварке переменным током.

4.4 Характеристики циркониевого вольфрамового электрода в различных сварочных средах

Производительность циркониевых вольфрамовых электродов в различных условиях сварки зависит от типа тока (постоянного или переменного тока), материала пайки и условий

процесса. Ниже анализируются их характеристики при сварке постоянным током (DC) и переменным током (AC).

4.4.1 Пайка постоянным током (DC)

При сварке постоянным током (DC) циркониевый вольфрамовый электрод обычно используется в качестве отрицательного электрода (DCEN, анод электрода постоянного тока) с дугой, испускающей электроны на заготовку. Циркониевые вольфрамовые электроды относительно редко используются в сварке постоянным током, поскольку их основное преимущество заключается в сварке переменным током. Тем не менее, циркониевые вольфрамовые электроды все еще могут играть роль в определенных сценариях сварки постоянным током, таких как слаботочная сварка или сварка специальными сплавами.

Стабильность дуги: При сварке постоянным током стабильность дуги циркониевых вольфрамовых электродов немного уступает ториевым вольфрамовым или лантановым вольфрамовым электродам, но лучше, чем у чистых вольфрамовых электродов. Его легирование диоксидом циркония поддерживает относительно концентрированную дугу и подходит для сварки тонких листов нержавеющей стали или магниевых сплавов.

Эффективность воспламенения: циркониевые вольфрамовые электроды обладают хорошими характеристиками воспламенения при сварке постоянным током, но они не так выдающиеся, как цериевые вольфрамовые или лантановые вольфрамовые электроды при низких токах.

Устойчивость к выгоранию: при сварке постоянным током температура наконечника электрода низкая, а сопротивление выгоранию циркониевого вольфрамового электрода достаточно для удовлетворения потребностей и имеет длительный срок службы.

Сценарии применения: Применение циркониевых вольфрамовых электродов при сварке постоянным током в основном сосредоточено на сценариях, чувствительных к загрязнению электродов, таких как производство медицинского оборудования или сварка пищевой нержавеющей стали.

В целом, циркониевые вольфрамовые электроды работают не так хорошо, как ториевые вольфрамовые или лантановые вольфрамовые электроды при сварке постоянным током, но их нерадиоактивность и устойчивость к загрязнению делают их конкурентоспособными в определенных сценариях.

4.4.2 Сварка переменным током (AC)

Сварка переменным током является основной областью применения циркониевых вольфрамовых электродов, особенно при сварке легких металлов, таких как алюминий и магний. При сварке переменным током электрод чередуется между положительными и отрицательными полукругами в качестве катодов и анодов, что приводит к большим колебаниям температуры на кончике электрода, что требует высокой термической стабильности и стойкости электродов к выгоранию.

Стабильность дуги: циркониевые вольфрамовые электроды демонстрируют превосходную стабильность дуги при сварке переменным током, с концентрированной дугой и низким

дрейфом. электрод WZ8 может образовывать стабильную коническую дугу при высоком токе (150–400 A), что подходит для сварки толстым слоем алюминиевого сплава; Электрод WZ3 подходит для средних токов (50–150 A) и используется для листовой сварки.

Эффективность воспламенения: циркониевые вольфрамовые электроды обладают отличными характеристиками воспламенения при сварке переменным током, особенно в высокочастотных дугах переменного тока, что позволяет быстро зажечь дугу и снизить количество отказов в зажигании.

Устойчивость к горению: При сварке переменным током сопротивление горению циркониевого вольфрамового электрода значительно выше, чем у чистого вольфрамового электрода. Электроды WZ8 сохраняют форму наконечника и продлевают срок службы в условиях высокой частоты и высокого тока.

Сценарии применения: циркониевые вольфрамовые электроды широко используются в аэрокосмической промышленности (например, при сварке фюзеляжей самолетов), автомобилестроении (например, корпусах из алюминиевого сплава) и морской промышленности (например, в корпусах из алюминиевого сплава). Его превосходные свойства при сварке переменным током делают его предпочтительным электродом для сварки алюминиевых сплавов.

Преимущества циркониевого вольфрамового электрода при сварке переменным током также обусловлены актуальной технологией управления формой волны современного сварочного оборудования. Например, переменный ток прямоугольной формы может оптимизировать положительное и отрицательное переключение полуокружности дуги в сочетании с высокой производительностью циркониевых вольфрамовых электродов для дальнейшего улучшения качества сварки.

4.5 Термодинамические свойства циркониевых вольфрамовых электродов

Термодинамические свойства циркониевых вольфрамовых электродов являются основой для поддержания стабильной работы в условиях высокотемпературной дуговой дуги, в основном включая теплоемкость, коэффициент теплового расширения, теплопроводность и другие показатели. Его термодинамические свойства подробно проанализированы ниже:

Теплоемкость: Удельная теплоемкость циркониевого вольфрамового электрода составляет около 0,13 Дж/(г·К) (близок к чистому вольфраму), способен поглощать и накапливать тепло при высоких температурах, снижая перегрев наконечника. Легирование диоксидом циркония немного повышает теплоемкость электрода, позволяя ему лучше справляться с колебаниями температуры дуг переменного тока высокой частоты.

Коэффициент теплового расширения: Коэффициент теплового расширения циркониевых вольфрамовых электродов составляет около $4,5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (близко к чистому вольфраму), а меньший коэффициент теплового расширения делает его менее деформированным при

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

высоких температурах, сохраняя стабильность геометрии зонда. Добавление диоксида циркония еще больше снижает коэффициент теплового расширения и повышает стойкость электрода к тепловому удару.

Теплопроводность: Теплопроводность циркониевых вольфрамовых электродов составляет около 173 Вт/(м·К) (при комнатной температуре), что позволяет быстро отводить тепло от наконечника электрода к другим частям для предотвращения локального перегрева. Электрод WZ8 имеет немного лучшую теплопроводность, чем WZ3, благодаря более плотной микроструктуре, которая помогает поддерживать более низкую температуру жала при высокоточной пайке.

Термическая стабильность: высокая температура плавления циркониевых вольфрамовых электродов (около 3422°C) позволяет им сохранять свою структурную целостность в условиях дугового разряда выше 6000°C. Частицы диоксида циркония повышают термическую стабильность электрода, препятствуя росту зерна и высокотемпературной деформации.

Эти термодинамические свойства позволяют циркониевым вольфрамовым электродам сохранять стабильную работу в экстремальных условиях, таких как высокие токи и длительная сварка, снижая выгорание и деформацию, а также продлевая срок их службы.

4.6 Анализ микроструктуры циркониевых вольфрамовых электродов

Микроструктура циркониевых вольфрамовых электродов оказывает значительное влияние на их характеристики и обычно анализируется с помощью таких методов, как сканирующая электронная микроскопия (СЭМ), рентгеновская дифракция (XRD) и просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ). Микроструктура циркониевого вольфрамового электрода в основном включает в себя характеристики распределения частиц вольфрамовой матрицы и диоксида циркония.

Вольфрамовая матрица: вольфрамовая матрица циркониевых вольфрамовых электродов представляет собой объемно-центрированную кубическую кристаллическую структуру (БКК) с размерами зерен от 10 до 50 мкм. Высокая чистота вольфрама (более 99,5%) обеспечивает компактность и механическую прочность матрицы.

Частицы диоксида циркония: диоксид циркония равномерно распределен в вольфрамовой матрице в виде мельчайших частиц (0,1–1 мкм в диаметре), а WZ8 имеет более высокую плотность частиц, чем WZ3. Частицы диоксида циркония подавляют рост зерен вольфрама при высоких температурах за счет эффекта штифтинга, повышая термическую стабильность и механические свойства электрода.

Межфазные характеристики: Граница раздела между диоксидом циркония и вольфрамовой матрицей плотно прилегает, без явных пор или трещин. Такое хорошее связывание на границе раздела повышает устойчивость электрода к тепловому удару и выгоранию.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Микроскопические дефекты: Пористость высококачественных циркониевых вольфрамовых электродов составляет менее 0,5% в микроструктуре, а содержание примесных фаз (таких как оксиды или карбиды) очень низкое. Процессы спекания и термообработки во время производства имеют важное значение для уменьшения микроскопических дефектов.

Микроструктурный анализ показал, что электрод WZ8 имеет более равномерное распределение частиц диоксида циркония и меньший размер зерна (около 10–20 мкм), что придает ему более высокую стабильность при сварке большим током. Электрод WZ3 имеет немного больший размер зерна (около 20–50 мкм) и подходит для сценариев со средним током. Оптимизация микроструктуры является ключом к улучшению характеристик циркониевых вольфрамовых электродов, а современные технологии производства еще больше улучшают однородность и плотность структуры за счет управления процессами легирования и спекания.

4.7 Чжунгтунфрамовый интеллектуальный производственный циркониевый вольфрамовый электрод MSDS

Паспорт безопасности материалов (MSDS) содержит рекомендации по технике безопасности при использовании, хранении и обращении с циркониевыми вольфрамовыми электродами. Ниже приведена краткая информация о MSDS циркониевых вольфрамовых электродов компании China Tungsten Intelligent Manufacturing, основанная на отраслевых стандартах и общих спецификациях:

Название продукта: циркониевый вольфрамовый электрод (WZ3, WZ8)

Химический состав: вольфрам (W, более 99,5%), диоксид циркония (ZrO_2 , 0,15–0,9%), следовые примеси (Fe, Si, C и др., <0,05%).

Физическое состояние: цельный металлический стержень, диаметр 1,0–6,4 мм, длина 150–300 мм.

Идентификация опасности:

Циркониевые вольфрамовые электроды не представляют существенной опасности для здоровья и не радиоактивны при нормальном использовании.

В процессе сварки могут образовываться пары металлов, озон и ультрафиолетовые лучи, а также следует носить защитные средства (например, сварочные маски, перчатки).

При шлифовании электродов может образовываться вольфрамовая пыль, а также требуется вентиляционное оборудование и устройства защиты органов дыхания.

Меры первой помощи:

Вдыхайте пыль: Перейдите в проветриваемое помещение и при необходимости обратитесь за медицинской помощью.

Контакт с кожей: никаких особых опасностей, просто умыться.

Попадание в глаза: При попадании пыли в глаза промойте их водой и обратитесь за медицинской помощью.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Меры противопожарной защиты: циркониевый вольфрамовый электрод негорюч, для борьбы с окружающими пожарами используйте порошковые или углекислотные огнетушители.

Обращение и хранение:

Хранить в сухом, проветриваемом месте, вдали от влажности и тепла.

После использования отработанный электрод следует утилизировать и утилизировать как металлические отходы, чтобы избежать случайного выброса.

Средства индивидуальной защиты: при сварке использовать защитные маски, перчатки и вентиляционное оборудование; Во время шлифовки надевайте пылезащитную маску и защитные очки.

Воздействие на окружающую среду: циркониевые вольфрамовые электроды не представляют существенной опасности для окружающей среды, а их производство и утилизация должны соответствовать экологическим нормам.

Информация о доставке: Неопасные грузы, избегайте механических повреждений и попадания влаги при транспортировке.

Циркониевый вольфрамовый электрод MSDS компании China Tungsten Intelligent Manufacturing соответствует международным стандартам (таким как OSHA, REACH), чтобы обеспечить безопасность пользователей и соответствие требованиям во время работы. Фактические паспорта безопасности могут незначительно отличаться в зависимости от производителя и региональных норм, поэтому пользователям рекомендуется обращаться к конкретной версии, предоставленной поставщиком.



Заявление об авторских правах и юридической ответственности

CTIA GROUP LTD

Zirconium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Zirconium Tungsten Electrode

Zirconium tungsten electrode is a non-radioactive welding electrode made by doping a small amount of zirconium oxide (ZrO₂) into a high-purity tungsten base. It is specifically optimized for AC TIG (Tungsten Inert Gas) welding. Its excellent arc stability and outstanding resistance to contamination make it the preferred choice for welding aluminum, magnesium, and their alloys.

2. Types of Zirconium Tungsten Electrode

Grade	Tip Color	ZrO ₂ Content (wt.%)	Characteristics & Applications
WZ3	Brown	0.2–0.4	Ideal for low to medium intensity AC welding; cost-effective
WZ38	White	0.7–0.9	Industry-standard grade with excellent overall performance

3. Standard Sizes & Packaging of Zirconium Tungsten Electrode

Diameter (mm)	Length (mm)	Regular Coloring	Packing:
1.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10 pcs/box
1.6	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.4	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
3.2	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
4.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
Remark	The sizes can be customized		

4. Applications of Zirconium Tungsten Electrode

- Welding of aluminum and aluminum alloys: such as doors, windows, frames, and automotive body structures
- Welding of magnesium and magnesium alloys: widely used in aerospace lightweight components
- AC welding of stainless steel (under specific low-current conditions)
- Precision welding in aerospace, rail transit, pressure vessels, etc.
- Used in automated welding systems and robotic torch assemblies

5. Procurement Information

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

Глава 5 Подготовка и процесс производства циркониевых вольфрамовых электродов

Препаративный процесс производства циркониевых вольфрамовых электродов представляет собой сложный и высокоточный процесс, который включает в себя несколько этапов от выбора сырья до обработки готовой продукции. Высокая производительность циркониевых вольфрамовых электродов зависит от качества сырья, однородности легирования, контроля микроструктуры и оптимизации процессов обработки. В этой главе подробно описывается процесс подготовки и производства циркониевых вольфрамовых электродов, включая подготовку сырья, процесс порошковой металлургии, технологию формования, обработку и полировку поверхности, а также контроль качества и оптимизацию процессов.

5.1 Подготовка сырья для циркониевых вольфрамовых электродов

Подготовка сырья имеет основополагающее значение для производства циркониевых вольфрамовых электродов, напрямую влияя на его химический состав, микроструктуру и конечные свойства. Основным сырьем для циркониевых вольфрамовых электродов является порошок вольфрама высокой чистоты и соединения диоксида циркония (ZrO_2), которые необходимо тщательно отбирать и обрабатывать для обеспечения их соответствия производственным требованиям.

5.1.1 Подбор вольфрамового порошка и соединений циркония

Выбор вольфрамового порошка

Вольфрамовый порошок является основным сырьем для циркониевых вольфрамовых электродов, обычно получаемых из вольфрама (например, паравольфрамата аммония, АРТ) с помощью восстановительного процесса. Чистота вольфрамового порошка чрезвычайно высока, обычно достигая более 99,95% (марка 3N5 или выше), что снижает влияние примесей (таких как железо, кремний, углерод, кислород) на работу электродов. Распределение частиц вольфрамового порошка по размерам имеет решающее значение для последующих процессов, при этом общие размеры частиц варьируются от 1 до 10 мкм, а средний размер частиц составляет около 3–5 мкм. Размер мелких частиц способствует улучшению производительности спекания порошка и плотности электродов, но слишком мелкие частицы могут увеличить сложность измельчения и производственные затраты.

Морфология вольфрамового порошка также должна строго контролироваться, и предпочтение отдается сферическим или почти сферическим частицам, поскольку они обладают лучшей текучестью и насыпной плотностью, что способствует процессу смешивания и прессования. В современном производстве вольфрамовый порошок обычно получают методом восстановления водорода или плазменной сфероидизации для обеспечения однородной морфологии и низкого содержания примесей.

Подбор соединений диоксида циркония

Диоксид циркония (ZrO_2) используется в качестве легирующей примеси для диоксида циркония вольфрамовых электродов, обычно добавляется в виде порошка или раствора высокой чистоты. Чистота диоксида циркония должна достигать более 99,9%, чтобы примеси

не мешали электронно-эмиссионным характеристикам электрода. Размер частиц диоксида циркония обычно находится в диапазоне 0,1–1 мкм, а наноразмерный диоксид циркония (<100 нм) постепенно становится популярным в производстве высококачественных электродов, поскольку он может более равномерно распределяться в вольфрамовой матрице и улучшать микроструктурную стабильность электрода.

При выборе диоксида циркония также нужно учитывать его кристаллическую структуру, как правило, моноклинный ZrO_2 или частично стабилизированный диоксид циркония (PSZ, легированный небольшим количеством оксида магния или оксида иттрия). Моноклинный диоксид циркония обладает хорошей стабильностью в процессе высокотемпературного спекания, что подходит для изготовления циркониевых вольфрамовых электродов. Коэффициент добавления диоксида циркония точно контролируется в зависимости от марки электрода (например, WZ3, WZ8), обычно 0,15–0,9% (массовый процент).

5.1.2 Чистота и предварительная обработка сырья

Чистота сырья: Чистота сырья напрямую влияет на производительность циркониевого вольфрамового электрода. Примеси в вольфрамовом порошке (например, железо < 0,005%, кремний < 0,003%, углерод < 0,005%) тщательно выявляются с помощью химического анализа (например, ICP-MS, масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой). Примеси в диоксиде циркония (такие как оксид алюминия, оксид кремния) также следует контролировать ниже 0,01% для обеспечения химической стабильности и дуговых характеристик электрода.

Выбор высокочистого сырья должен сочетаться с квалификацией поставщика и производственными процессами. Например, производители вольфрамового порошка должны иметь современное оборудование для восстановления и очистки, в то время как диоксид циркония должен быть получен химическим осаждением или золь-гель методами для обеспечения высокой чистоты и однородной морфологии частиц.

Предварительная обработка Предварительная обработка сырья включает в себя такие этапы, как очистка, сушка и просеивание, направленные на удаление поверхностных примесей, регулировку распределения частиц по размерам и улучшение однородности сырья. Вольфрамовый порошок обычно травят (например, разбавленной соляной кислотой или раствором азотной кислоты) для удаления поверхностных оксидов и органических остатков, а затем сушат в вакууме или инертном газе (например, аргоне) для предотвращения окисления. Порошок диоксида циркония необходимо очищать с помощью ультразвуковой очистки или высокотемпературного прокалывания для удаления адсорбированной влаги и летучих примесей.

Просеивание является важным этапом предварительной обработки для контроля распределения частиц вольфрамового порошка и диоксида циркония по размерам. Вибрационные сита или классификаторы воздушного потока обычно используются для контроля размера частиц в пределах заданного диапазона (3–5 мкм для вольфрамового порошка, 0,1–1 мкм для диоксида циркония). Кроме того, в некоторых высокотехнологичных

производственных процессах может использоваться технология шарового фрезерования или распылительной сушки для дальнейшей оптимизации морфологии и потока сырья.

5.2 Процесс порошковой металлургии циркониевого вольфрамового электрода

Порошковая металлургия является основным процессом производства циркониевых вольфрамовых электродов, в ходе которого вольфрамовый порошок и диоксид циркония превращаются в плотные электродные заготовки с помощью таких этапов, как смешивание, прессование и спекание. Точное управление процессами порошковой металлургии имеет решающее значение для микроструктуры и производительности электродов.

5.2.1 Смешивание и измельчение

смешивать

Смешивание — это процесс равномерного соединения порошка вольфрама с порошком диоксида циркония с целью обеспечения равномерного распределения частиц диоксида циркония в вольфрамовой матрице. Смешивание обычно производится с использованием сухой или влажной смеси:

Сухое смешивание: С помощью высокоскоростного миксера или V-образного миксера смешивание осуществляется под защитой инертных газов, таких как аргон. Время смешивания обычно составляет 2–4 часа, чтобы избежать агломерации порошка и внесения примесей.

Влажное смешивание: Вольфрамовый порошок и диоксид циркония диспергируются в жидкой среде (например, этаноле или деионизированной воде) для достижения равномерного перемешивания путем перемешивания или ультразвукового диспергирования. После влажного смешивания жидкую среду необходимо удалить с помощью распылительной сушки или вакуумной сушки.

Процесс смешивания требует точного контроля соотношения диоксида циркония (например, 0,3% для WZ3 и 0,8% для WZ8) и обычно взвешивается с помощью высокоточных электронных весов. В современном производстве автоматизированное смесительное оборудование, такое как планетарные смесители, может улучшить однородность смешивания и уменьшить количество человеческих ошибок.

молоть

Измельчение используется для дальнейшего измельчения частиц порошка, оптимизации распределения частиц по размерам и морфологии. Обычно используемое оборудование включает шаровые мельницы или мельницы с воздушным потоком, а для мелющих тел (таких как шарики из диоксида циркония или вольфрамовые шарики) требуется выбор материалов с высокой твердостью и низким уровнем загрязнения. Время помола обычно составляет 4–8 часов, а температуру (<50°C) необходимо контролировать, чтобы предотвратить окисление порошка. Измельченный порошок снова просеивают для обеспечения равномерного размера частиц (2–5 мкм для вольфрамового порошка, 0,1–0,5 мкм для диоксида циркония).

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Измельчение наноразмерного диоксида циркония требует высокоэнергетического шарового измельчения или ультратонкого измельчения для достижения более равномерного эффекта легирования. Во время процесса измельчения следует контролировать содержание кислорода и уровень примесей в порошке, чтобы избежать ухудшения производительности.

5.2.2 Прессование

Прессование — это процесс прессования смешанного порошка в электродные заготовки, как правило, с использованием холодного изостатического прессования (CIP) или процессов формования. Целью прессования является формирование заготовки с определенной прочностью и плотностью, облегчающими последующее спекание.

Холодное изостатическое прессование (CIP): смешанный порошок загружается в гибкую форму и равномерно прессуется через жидкую среду (например, воду или масло) под высоким давлением (100–200 МПа) для формирования плотной заготовки. Процесс безразборной мойки позволяет снизить пористость и концентрацию напряжений в заготовке и улучшить однородность электрода после спекания.

Формование: Порошок прессуется в цилиндрические заготовки с помощью жестких форм и гидравлических прессов, подходящих для мелкосерийного производства. Процесс формования требует точного контроля давления (50–100 МПа) и времени выдержки (10–30 секунд), чтобы избежать растрескивания заготовки.

В процессе прессования необходимо контролировать насыпную плотность порошка (обычно 50–60% теоретической плотности) и избегать загрязнения плесенью. Диаметр прессованной заготовки обычно составляет 10–20 мм, а длина – 100–300 мм, а конкретный размер определяется в соответствии с потребностями последующей обработки.

5.2.3 Процесс спекания

Спекание – это процесс нагрева прессованных заготовок до высоких температур для связывания частиц порошка в плотный материал. При спекании циркониевых вольфрамовых электродов обычно используется высокотемпературное вакуумное спекание или водородное защитное спекание, что обеспечивает высокую плотность и низкое содержание примесей в электродах.

Агломерационное оборудование: обычно используемые высокотемпературные вакуумные печи для спекания или печи для водородного спекания с диапазоном температур 1800–2200°C. Вакуумное спекание эффективно удаляет кислород и летучие примеси из заготовки, в то время как водородное спекание предотвращает окисление вольфрама за счет восстановления атмосферы.

Параметры процесса спекания:

Температура: Температура спекания должна точно контролироваться, обычно поэтапно: предварительное спекание 1000°C для удаления летучих веществ, основное спекание 1800–2000°C для улучшения связывания частиц, сохранение при высокой температуре 2200°C для оптимизации кристаллической структуры.

Время: общее время спекания 4–8 часов, время выдержки 1–2 часа.

Атмосфера: вакуум $< 10^{-3}$ Па или водород высокой чистоты (чистота $> 99,999\%$).

Эффект спекания: плотность спекания высококачественного циркониевого вольфрамового электрода может достигать теоретической плотности 95–98%, а пористость составляет менее 0,5%. Частицы диоксида циркония равномерно распределяются в процессе спекания, подавляя рост зерен вольфрама и улучшая термическую стабильность и механические свойства электрода.

Спеченная заготовка должна быть проверена на наличие внутренних дефектов с помощью рентгеновского или ультразвукового контроля, чтобы убедиться в отсутствии трещин или пор. Оптимизация процесса спекания является ключом к улучшению характеристик циркониевых вольфрамовых электродов, а в современном производстве часто используются компьютерные системы управления для точной регулировки температуры и атмосферы.

5.3 Технология формования циркониевого вольфрамового электрода

Спеченная заготовка должна быть переработана в электродные стержни, соответствующие спецификациям, с помощью технологии формования, включая такие этапы, как волочение, экструзия, термообработка и отжиг, для достижения желаемого размера, формы и производительности.

5.3.1 Волочение и выдавливание

рисование

Волочение — это процесс постепенного растягивания спеченной заготовки через ряд форм для изготовления тонкого электродного стержня. Волочильное оборудование включает в себя многопроходную волочильную машину, а материалом формы обычно является карбид или алмаз, чтобы выдерживать высокую твердость вольфрама. В процессе рисования необходимо контролировать следующие параметры:

Скорость выдергивания: 0,1–1 м/мин, слишком высокая скорость может привести к появлению поверхностных дефектов.

Смазка: Используйте графитовую или молибденовую дисульфидную смазку для уменьшения износа пресс-формы и царапин на поверхности электрода.

Проходы: Как правило, требуется 10–20 вытяжек, чтобы уменьшить диаметр заготовки с 10–20 мм до 1,0–6,4 мм.

Допуск по диаметру тянутого электродного стержня должен контролироваться в пределах $\pm 0,05$ мм, а шероховатость поверхности $Ra < 0,8$ мкм. Процесс волочения может улучшить механическую прочность и качество поверхности электрода, но необходимо избегать внутренних микротрещин, вызванных чрезмерным растяжением.

экструзия

Экструзия является альтернативой волочению и подходит для производства электродов

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

большого диаметра, таких как >6 мм. Экструзионное оборудование представляет собой гидравлическую экструзионную машину, а заготовка экструдируется и формируется матрицей при высокой температуре (1200–1500°C). Преимущество процесса экструзии в том, что его можно формовать за один раз, сокращая количество проходов обработки, но при этом требуется высокая термостойкость оборудования и пресс-форм.

5.3.2 Термическая обработка и отжиг

Термообработки

Термическая обработка применяется для устранения внутренних напряжений при волочении или выдавливании, оптимизации кристаллической структуры электродов. Термическая обработка обычно проводится в вакуумной или водородной печи при температуре 1200–1600°C и времени выдержки 1–2 часа. Термическая обработка может улучшить пластичность и сопротивление разрушению электрода, снижая риск хрупкого разрушения при использовании.

отжигать

Отжиг является следующим этапом термической обработки для дальнейшего снижения внутренних напряжений за счет медленного охлаждения (скорость охлаждения $<50^{\circ}\text{C}/\text{ч}$). Процесс отжига может улучшить микроструктуру электрода, обеспечивая более равномерное распределение частиц диоксида циркония, а также улучшая термическую стабильность и характеристики дуги электрода. Поверхность отожженного электрода необходимо осмотреть, чтобы убедиться в отсутствии окисления или растрескивания.

5.4 Обработка поверхности и полировка циркониевых вольфрамовых электродов

Обработка поверхности и полировка являются заключительными этапами производства циркониевых вольфрамовых электродов, направленными на улучшение качества поверхности и стабильности характеристик электродов. Качество поверхности напрямую влияет на производительность воспламенения и способность электрода защищать от загрязнения.

Поверхностная обработка

Подготовка поверхности включает в себя очистку и удаление заусенцев для удаления смазочных материалов, оксидов или микроцарапин, оставшихся после процесса рисования или экструзии. К распространенным методам относятся:

Химическая очистка: Используйте раствор разбавленной кислоты, такой как 5% азотная кислота или соляная кислота, для очистки поверхности электрода для удаления оксидов и загрязнений.

Ультразвуковая очистка: удаление мельчайших частиц и масляных пятен с помощью ультразвуковой вибрации в деионизированной воде или этаноле.

Плазменная очистка: Используйте низкотемпературную плазму для обработки поверхности электродов для повышения чистоты поверхности.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

полированный

Полировка применяется для улучшения отделки поверхности электрода и снижения шероховатости поверхности ($Ra < 0,4$ мкм). Обычно используемое полировальное оборудование включает в себя ротационные полировальные машины или электрохимическое полировальное оборудование, а полировальным материалом является оксид алюминия или алмазная суспензия. Процесс полировки требует контролируемой скорости и давления, чтобы избежать перегрева или деформации поверхности из-за чрезмерной полировки. Полированная поверхность электрода имеет зеркальный блеск, что помогает уменьшить адгезию загрязнений и дрейф дуги во время сварки.

Некоторые высококачественные электроды могут использовать методы лазерной полировки или ионнолучевой полировки для достижения наноразмерной поверхности с дальнейшим улучшением характеристик воспламенения и защиты от загрязнения.

5.5 Контроль качества и оптимизация технологического процесса циркониевых вольфрамовых электродов

Контроль качества и оптимизация процесса пронизывают все аспекты производства циркониевых вольфрамовых электродов с целью обеспечения соответствия химического состава, микроструктуры и эксплуатационных характеристик электрода международным стандартам (например, ISO 6848, AWS A5.12, GB/T 4187).

контроль качества

Тестирование сырья: определение химического состава вольфрамового порошка и диоксида циркония с помощью ICP-MS, XRF (рентгенофлуоресцентной спектроскопии) и других методов, чтобы убедиться, что содержание примесей ниже стандартных требований.

Мониторинг процесса: Используйте оборудование для онлайн-мониторинга (например, лазерный анализатор размера частиц, инфракрасный термометр) для контроля параметров процесса во время процессов смешивания, прессования, спекания и формования, а также для определения размера частиц порошка, плотности заготовок и температуры спекания в режиме реального времени.

Проверка готовой продукции: Электрод после спекания и формования должен быть протестирован в нескольких измерениях, в том числе:

Химический состав: Проверьте содержание диоксида циркония с помощью спектроскопического анализа (например, 0,3% для WZ3 и 0,8% для WZ8).

Микроструктура: Размер зерен и распределение диоксида циркония были проанализированы с помощью SEM и XRD.

Допуски на размеры: диаметр электрода ($\pm 0,05$ мм) и длина (± 1 мм) проверяются лазерным дальномером.

Качество поверхности: значение Ra ($< 0,4$ мкм) определяли с помощью измерителя шероховатости поверхности.

Оптимизация процессов

Автоматизированное производство: используйте ПЛК (программируемый логический контроллер) или SCADA (систему сбора и мониторинга данных) для управления процессами

смешивания, прессования и спекания, повышая стабильность и эффективность производства. «Зеленое» производство: оптимизация процесса спекания для снижения энергопотребления и выбросов выхлопных газов; Переработка отходов (таких как вольфрамовый порошок и диоксид циркония) для повышения эффективности использования сырья.

Интеллектуальные технологии: искусственный интеллект и машинное обучение внедряются для оптимизации параметров процесса, таких как прогнозирование оптимальной температуры спекания и скорости волочения с помощью анализа данных, повышение производительности электродов и выхода продукции.

Нанотехнологии: Наноразмерные частицы диоксида циркония и передовые методы легирования (такие как золь-гель метод) используются для улучшения микроструктурной однородности и стабильности работы электродов.

Сочетание контроля качества и оптимизации процесса обеспечивает высокую производительность и стабильность циркониевых вольфрамовых электродов, удовлетворяя потребности приложений в таких требовательных областях, как аэрокосмическая и атомная промышленность. Современные производственные предприятия также прошли сертификацию системы менеджмента качества ISO 9001 для дальнейшей стандартизации производственного процесса.



Заявление об авторских правах и юридической ответственности

CTIA GROUP LTD

Zirconium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Zirconium Tungsten Electrode

Zirconium tungsten electrode is a non-radioactive welding electrode made by doping a small amount of zirconium oxide (ZrO₂) into a high-purity tungsten base. It is specifically optimized for AC TIG (Tungsten Inert Gas) welding. Its excellent arc stability and outstanding resistance to contamination make it the preferred choice for welding aluminum, magnesium, and their alloys.

2. Types of Zirconium Tungsten Electrode

Grade	Tip Color	ZrO ₂ Content (wt.%)	Characteristics & Applications
WZ3	Brown	0.2–0.4	Ideal for low to medium intensity AC welding; cost-effective
WZ38	White	0.7–0.9	Industry-standard grade with excellent overall performance

3. Standard Sizes & Packaging of Zirconium Tungsten Electrode

Diameter (mm)	Length (mm)	Regular Coloring	Packing:
1.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10 pcs/box
1.6	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.4	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
3.2	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
4.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
Remark	The sizes can be customized		

4. Applications of Zirconium Tungsten Electrode

- Welding of aluminum and aluminum alloys: such as doors, windows, frames, and automotive body structures
- Welding of magnesium and magnesium alloys: widely used in aerospace lightweight components
- AC welding of stainless steel (under specific low-current conditions)
- Precision welding in aerospace, rail transit, pressure vessels, etc.
- Used in automated welding systems and robotic torch assemblies

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Глава 6 Технология производства циркониевых вольфрамовых электродов

Технология производства циркониевого вольфрамового электрода является ключом к достижению его высокой производительности и высокой стабильности, включая технологию легирования, высокотемпературное спекание, прецизионную обработку, автоматизацию и интеллектуальное производство, экологичное производство и решение производственных проблем. В качестве основного материала при сварке вольфрамовым электродом в среде инертного газа (сварка TIG) и плазменной резке циркониевые вольфрамовые электроды должны учитывать оптимизацию производительности, контроль затрат и требования по защите окружающей среды. В этой главе будут подробно рассмотрены различные аспекты технологии производства циркониевых вольфрамовых электродов, проанализированы принципы ее процесса, ключевые технологии и новейшие разработки.

6.1 Технология легирования циркониевого вольфрамового электрода

Технология легирования является основной частью производства циркониевых вольфрамовых электродов, значительно улучшая стабильность дуги, характеристики воспламенения и стойкость к выгоранию электрода за счет добавления диоксида циркония (ZrO_2) в вольфрамовую матрицу высокой чистоты. Целью легирующей технологии является достижение равномерного распределения диоксида циркония в вольфрамовой матрице при одновременном обеспечении соответствия химического состава электрода международным стандартам (например, ISO 6848 и AWS A5.12).

6.1.1 Метод легирования оксидом циркония

Метод легирования диоксидом циркония напрямую влияет на микроструктуру и свойства циркониевых вольфрамовых электродов. Обычно используемые методы легирования включают сухое легирование, мокрое легирование и химическое соосаждение, каждый из которых имеет свои преимущества и подходит для различных производственных нужд и марок электродов (например, WZ3, WZ8).

Сухой способ легирования

Сухое легирование – это процесс легирования вольфрамового порошка высокой чистоты порошком диоксида циркония путем механического смешивания. Смесительное оборудование обычно представляет собой высокоскоростной смеситель, V-образный смеситель или планетарную шаровую мельницу, а рабочая среда требует использования инертного газа (например, аргона или азота) для предотвращения окисления порошка. Процесс сухого легирования включает в себя:

Подготовка сырья: Выбран вольфрамовый порошок с > чистоты 99,95% (размер частиц 3–5 мкм) и чистотой > 99,9% порошок диоксида циркония (размер частиц 0,1–1 мкм).

Смешивание: Взвесьте ингредиенты в целевом соотношении (например, 0,3% ZrO_2 для WZ3 и 0,8% ZrO_2 для WZ8) и перемешайте с помощью высокоскоростного миксера в течение 2–4 часов со скоростью смешивания 100–300 об/мин.

Просеивание: Смешанный порошок удаляется с помощью вибрационного сита (отверстие

сита < 10 мкм) для удаления агломерированных частиц, обеспечивая равномерный размер частиц.

Преимущества сухого легирования заключаются в простоте процесса и низкой стоимости, что делает его пригодным для крупносерийного производства. Однако его однородность ограничена эффективностью механического перемешивания, и он подвержен локальной агрегации частиц диоксида циркония, что влияет на производительность электрода.

Мокрый способ легирования

Мокрое легирование включает в себя смешивание вольфрамового порошка и диоксида циркония в жидкой среде, такой как деионизированная вода или этанол, которая затем удаляется путем сушки. Процессы влажного легирования включают:

Дисперсия: Вольфрамовый порошок и порошок диоксида циркония добавляют в жидкую среду с образованием однородной суспензии с помощью ультразвукового диспергирования или высокоскоростного перемешивания (500–1000 об/мин).

Смешивание: Обеспечить равномерное распределение частиц диоксида циркония путем перемешивания или шарового измельчения (время измельчения 4–8 часов).

Сушка: Распылительная сушка или вакуумная сушка (температура < 100°C) используется для удаления жидкой среды с получением однородного смешанного порошка.

Преимущество мокрого легирования заключается в том, что оно позволяет достичь более высокой однородности легирования, особенно при наноразмерном легировании диоксидом циркония. Однако влажное легирование требует контроля чистоты жидкой среды, чтобы избежать внесения примесей, а процесс сушки может увеличить потребление энергии.

Метод химического соосаждения Метод химического соосаждения представляет собой усовершенствованный метод легирования, при котором частицы диоксида циркония непосредственно образуются в вольфрамовой матрице в результате химической реакции. Процесс включает в себя:

Приготовление раствора: Растворите вольфрамат (например, паравольфрамат аммония) в воде и добавьте раствор соли циркония (например, хлорида циркония или нитрата циркония).

Совместное осаждение: При добавлении осадителя (например, аммиака) ионы вольфрама и циркония выпадают в осадок одновременно, образуя предшественник вольфрама, содержащий диоксид циркония.

Кальцинирование: осадок прокаливают при температуре 800–1000°C с получением вольфрамового порошка, содержащего диоксид циркония.

Преимущество химического осаждения заключается в том, что однородность легирования чрезвычайно высока, а частицы диоксида циркония могут достигать наноразмера (<100 нм), что значительно улучшает характеристики электрода. Тем не менее, его процесс сложен и дорогостоящ, и он в основном используется в производстве высококачественных

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

циркониевых вольфрамовых электродов.

В последние годы золь-гель и плазменное напыление также используются в исследованиях легирования циркониевых вольфрамовых электродов. Золь-гель метод обеспечивает наноразмерное легирование за счет получения цирконийсодержащих гелевых прекурсоров, в то время как метод плазменного напыления наносит диоксид циркония на вольфрамовую матрицу с помощью высокотемпературной плазмы. Эти методы подходят для электродов специального назначения, таких как высокоточная плазменная резка, но пока не получили широкого распространения в промышленном производстве.

6.1.2 Контроль однородности легирования

Равномерность легирования является ключом к постоянству характеристик циркониевого вольфрамового электрода, что напрямую влияет на стабильность дуги и срок службы электрода. Неравномерное легирование может привести к локальным колебаниям характеристик, что приведет к дрейфу дуги или перегоранию электродов. Контроль однородности допинга должен начинаться со следующих аспектов:

Контроль размера частиц сырья: Размер частиц вольфрамового порошка и диоксида циркония должен быть согласован, обычно 3–5 мкм для вольфрамового порошка и 0,1–1 мкм для диоксида циркония. Чрезмерная разница в размерах частиц может привести к неравномерному перемешиванию, что повлияет на эффект спекания.

Оптимизация смесительного оборудования: Используйте высокоточное смесительное оборудование, такое как планетарные шаровые мельницы или ультразвуковые диспергаторы, чтобы обеспечить равномерное распределение частиц диоксида циркония. Время и скорость смешивания должны быть оптимизированы в соответствии с характеристиками порошка, например, влажное легирование требует контролируемой скорости смешивания 500–1000 об/мин и времени смешивания 4–6 часов.

Онлайн-мониторинг: Лазерные анализаторы размера частиц и сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) используются для контроля распределения частиц по размерам и однородности смешивания порошков в режиме реального времени. В современном производстве алгоритмы искусственного интеллекта могут использоваться для анализа изображений SEM и прогнозирования однородности допинга.

Регулировка параметров процесса: оптимизируйте распределение диоксида циркония путем регулировки времени смешивания, соотношения сред и интенсивности измельчения. Например, диспергаторы (такие как поливиниловый спирт) могут быть добавлены в мокрое легирование для улучшения стабильности суспензии.

Контроль качества: Смешанный порошок должен быть обнаружен с помощью рентгенофлуоресцентной спектроскопии (XRF) или масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS), чтобы убедиться, что он соответствует целевым маркам (например, WZ3, WZ8).

Последние достижения в области контроля однородности легирования включают применение нанотехнологий и интеллектуальное оборудование для смешивания. Внедрение

наноразмерного диоксида циркония значительно улучшает однородность легирования, в то время как интеллектуальное смесительное оборудование еще больше повышает стабильность производства за счет регулировки параметров процесса с помощью обратной связи в режиме реального времени.

6.2 Технология высокотемпературного спекания циркониевого вольфрамового электрода

Высокотемпературное спекание является ключевым процессом, в котором смешанный порошок прессуется в заготовки, а затем объединяется в плотные электродные заготовки с помощью высокотемпературной обработки. Технология спекания напрямую влияет на плотность, микроструктуру и стабильность работы циркониевых вольфрамовых электродов. Спекание циркониевых вольфрамовых электродов обычно выполняется с помощью вакуумного спекания или водородного защитного спекания для предотвращения окисления вольфрама и обеспечения высокой плотности.

Агломерационное оборудование

Высокотемпературная печь для спекания является основным оборудованием процесса спекания, которое должно обладать функциями высокоточного контроля температуры и атмосферы. Обычно используемое оборудование включает в себя:

Вакуумная печь для спекания: вакуумная $< 10^{-3}$ Па, диапазон температур 1800–2200°C, подходит для производства электродов высокой чистоты.

Печь для спекания водорода: использует водород высокой чистоты ($>99,999\%$) в качестве защитной атмосферы для предотвращения окисления вольфрама, подходит для массового производства.

Микроволновая печь для спекания: технология спекания, появившаяся в последние годы, обеспечивает быстрое и равномерное спекание за счет микроволнового нагрева, сокращая время спекания (2–4 часа).

Процесс спекания

Процесс спекания принято делить на три этапа: предварительное спекание, основное спекание и сохранение тепла:

Предварительное спекание (800–1000 °C): удалите летучие примеси (например, влагу, смазочные материалы) и адсорбированные газы из заготовки в течение 1–2 часов.

Основное спекание (1800–2000°C): способствует связыванию частиц вольфрама и образованию дисперсных фаз диоксида циркония в течение 2–4 часов. Температура спекания должна точно контролироваться ($\pm 10^\circ\text{C}$), чтобы избежать чрезмерного размера зерна или пористого остатка.

Теплоизоляция (2000–2200 °C): Держите в тепле в течение 1–2 часов для оптимизации кристаллической структуры и повышения компактности и термической стабильности электрода.

Параметры спекания

Температура: Температура спекания должна быть оптимизирована в соответствии с маркой электрода, а WZ8 (высокое содержание диоксида циркония) должна иметь более высокую температуру (2000–2200 °C) для обеспечения равномерного распределения частиц диоксида циркония.

Атмосфера: При вакуумном спекании необходимо поддерживать степень вакуума на уровне $<10^{-3}$ Па, а при спекании водорода необходимо контролировать расход газообразного водорода (10–50 л/мин) для поддержания восстановительной атмосферы.

Скорость нагрева: обычно 5–10°C/мин, чтобы избежать растрескивания заготовки из-за быстрого нагрева.

Скорость охлаждения: контролируется на уровне 20–50 °C/ч для предотвращения накопления внутреннего напряжения.

Эффект спекания

Плотность спекания высококачественного циркониевого вольфрамового электрода может достигать 95–98% теоретической плотности, а пористость $< 0,5\%$. Частицы диоксида циркония при спекании образуют стабильную дисперсную фазу, препятствуя росту вольфрамовых зерен (размер зерна 10–20 мкм). Спеченная заготовка должна быть проверена на наличие внутренних дефектов с помощью рентгеновского или ультразвукового контроля, чтобы убедиться в отсутствии трещин или пор.

Технологические достижения В последние годы достижения в области технологии высокотемпературного спекания включают:

Плазменное спекание (SPS): быстрый нагрев высоковольтным импульсным током (скорость нагрева $> 100^\circ\text{C}/\text{мин}$) для сокращения времени спекания и увеличения плотности.

Микроволновое спекание: использует микроволновую энергию для равномерного нагрева, снижения энергопотребления и улучшения микроструктуры.

Интеллектуальное управление: компьютерные системы управления и датчики используются для мониторинга температуры, атмосферы и состояния заготовки в режиме реального времени с целью оптимизации параметров спекания.

Оптимизация технологии высокотемпературного спекания значительно повышает стабильность производительности и эффективность производства циркониевых вольфрамовых электродов, обеспечивая надежную опору материала для высокоточной сварки.

6.3 Технология прецизионной обработки циркониевого вольфрамового электрода

Технология прецизионной обработки является критически важным этапом обработки спеченных заготовок в электродные стержни, соответствующие спецификациям, включая такие процессы, как волочение, экструзия, резка и шлифование. Целью прецизионной обработки является достижение высокой точности размеров, чистоты поверхности и эксплуатационной стабильности электродов.

Техника волочения Черчение — это процесс постепенного растягивания спеченной заготовки через ряд форм для изготовления тонкого электродного стержня. Волочильное оборудование представляет собой многопроходную волочильную машину, а материалом формы обычно является карбид или алмаз, чтобы выдерживать высокую твердость вольфрама. Параметры процесса черчения включают в себя:

Скорость выдергивания: 0,1–1 м/мин, слишком высокая скорость может привести к появлению царапин на поверхности или внутренних микротрещин.

Конструкция пресс-формы: Размер отверстия в форме постепенно уменьшается (каждый раз на 5–10%), а диаметр заготовки уменьшается с 10–20 мм до 1,0–6,4 мм за общее количество проходов в 10–20 раз.

Смазочные материалы: Используйте графитовые или дисульфидные смазки молибдена для уменьшения износа пресс-формы и дефектов поверхности электродов.

Допуск по диаметру тянутого электрода должен контролироваться на уровне $\pm 0,05$ мм, а шероховатость поверхности должна составлять $Ra < 0,8$ мкм. Современная технология волочения использует сервосистемы управления для точной регулировки скорости и натяжения тяги, повышая стабильность обработки.

Экструзионная технология Экструзия является альтернативой волочению и подходит для производства электродов большого диаметра (> 6 мм). Экструзионное оборудование представляет собой высокотемпературную гидравлическую экструзионную машину, а заготовка экструдруется и формуется матрицей при температуре 1200–1500 °C. Преимущество процесса экструзии заключается в том, что происходит меньше проходов обработки, но высокая термостойкость формы выше. Экструдированный электрод нуждается в термообработке для устранения внутреннего напряжения.

Технология резки Резка используется для резки длинных электродных стержней после волочения или экструдированных на стандартные длины (например, 150 мм, 175 мм). Обычно используемое оборудование включает в себя станки для резки проволокой или станки для лазерной резки, а точность резки должна контролироваться на уровне ± 1 мм. Используйте охлаждающую жидкость (например, воду или масло) во время процесса резки, чтобы предотвратить перегрев электрода.

Шлифовальная технология шлифовки применяется для улучшения отделки и геометрии наконечника поверхности электрода. К общему оборудованию относятся шлифовальные станки с ЧПУ с мелющим материалом из оксида алюминия или алмазной суспензии. Угол заточки наконечника (30 – 60°) оптимизируется в соответствии с потребностями сварки, а сварка переменным током обычно туповатая (45 – 60°) для повышения стабильности дуги. Шероховатость поверхности полированного электрода составила $Ra < 0,4$ мкм.

Технологические достижения Последние разработки в области технологий прецизионной обработки включают:

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Лазерная обработка: Технология лазерной резки и полировки используется для достижения наноразмерной обработки поверхности и высокоточного контроля размеров.

Обработка с ЧПУ: использует пятиосевой станок с ЧПУ для обработки электродов сложной формы для специальных сварочных нужд.

Модификация поверхности: Повышение поверхностного сопротивления с помощью ионно-лучевой полировки или плазменной обработки.

Достижения в области технологий прецизионной обработки значительно повысили точность размеров и стабильность характеристик циркониевых вольфрамовых электродов, удовлетворяя потребности в области с высоким спросом, такие как аэрокосмическая и атомная промышленность.

6.4 Автоматизация и интеллектуальная технология производства циркониевых вольфрамовых электродов

Автоматизация и интеллектуальные производственные технологии – это будущее направление производства циркониевых вольфрамовых электродов, повышающее эффективность производства, стабильность качества и управляемость процессов за счет внедрения оборудования автоматизации, промышленного интернета вещей и технологий искусственного интеллекта.

Технология автоматизации автоматизированного производства охватывает все аспекты производства циркониевых вольфрамовых электродов, в том числе:

Обработка сырья: Автоматизированное оборудование для взвешивания и смешивания, такое как роботизированные системы дозирования, обеспечивает точное соотношение сырья, снижая вероятность человеческой ошибки.

Прессование и формование: Автоматический холодный изостатический пресс контролирует давление и время выдержки с помощью ПЛК (программируемого логического контроллера) для улучшения однородности заготовки.

Спекание: Автоматизированные печи для спекания оснащены датчиками температуры и атмосферы для регулировки параметров процесса в режиме реального времени.

Обработка и проверка: Автоматизированные волочильные станки и станки с ЧПУ обеспечивают высокую точность обработки, а оборудование для онлайн-контроля (например, лазерные дальномеры, рентгеновские детекторы) контролирует качество электродов в режиме реального времени.

Типичные конфигурации автоматизированных производственных линий включают SCADA (систему сбора и мониторинга данных) и MES (систему управления производством) для обеспечения полного мониторинга и оптимизации процессов за счет интеграции данных.

Интеллектуальное производство

Интеллектуальное производство еще больше повышает эффективность и качество производства благодаря искусственному интеллекту и анализу больших данных:

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Оптимизация процессов: алгоритмы машинного обучения используются для анализа исторических производственных данных с целью прогнозирования оптимальных параметров смешивания, спекания и обработки. Например, температура спекания оптимизируется с помощью нейросетевой модели, что снижает энергопотребление на 10–15%.

Прогнозирование качества: технология распознавания изображений на основе искусственного интеллекта анализирует изображения SEM для прогнозирования однородности и частоты дефектов микроструктуры электрода.

Диагностика неисправностей: мониторинг состояния устройства с помощью датчиков Интернета вещей, прогнозирование потенциальных сбоев и проведение профилактического обслуживания для сокращения времени простоя.

Управление цепочками поставок: Интеллектуальные системы интегрируют закупку сырья, планирование производства и управление запасами через ERP (планирование ресурсов предприятия) для повышения эффективности производства.

Применение автоматизации и интеллектуальных производственных технологий позволило значительно снизить производственные затраты и повысить стабильность производительности и конкурентоспособность на рынке циркониевых вольфрамовых электродов.

6.5 Экологически чистое производство и охрана окружающей среды циркониевых вольфрамовых электродов

Экологически чистое производство и технологии защиты окружающей среды являются важными направлениями развития производства циркониевых вольфрамовых электродов, направленных на снижение энергопотребления, выбросов отходов и загрязнения окружающей среды, а также на выполнение требований устойчивого развития.

Оптимизация энергопотребления

Эффективное спекание: технология микроволнового спекания или плазменного спекания используется для сокращения времени спекания (2–4 часа) и снижения энергопотребления на 20–30%.

Рекуперация отходящего тепла: Используйте отходящее тепло от печей для спекания и печей для термообработки для получения энергии для других процессов, таких как сушка или предварительный нагрев, улучшая использование энергии.

Возобновляемые источники энергии: Некоторые производственные компании используют солнечную или ветровую энергию для обеспечения энергией и сокращения выбросов углерода.

Переработка лома

Переработка вольфрамового порошка: Вольфрамовые отходы в производстве утилизируются с помощью процессов химической очистки и восстановления, при этом коэффициент восстановления составляет более 90%.

Повторное использование диоксида циркония: пыль из диоксида циркония, образующаяся в

процессе шлифования и резки, собирается и повторно очищается для следующей партии продукции.

Очистка сточных вод: Сточные воды, образующиеся во время влажного легирования и очистки, фильтруются и химически обрабатываются для удаления тяжелых металлов в соответствии со стандартами сброса.

Экологически чистый процесс

Легирование с низким уровнем загрязнения: используйте мокрое легирование без растворителей или метод химического совместного осаждения для сокращения использования органических растворителей.

Беспыльное производство: выбросы пыли ($< 10 \text{ мг/м}^3$) контролируются с помощью закрытого оборудования и эффективных систем удаления пыли в процессе смешивания и измельчения.

Экологичная упаковка: используйте перерабатываемые материалы (например, бумагу или разлагаемый пластик) для упаковки электродов, чтобы уменьшить загрязнение пластиком.

Соответствие нормативным требованиям Производство циркониевых вольфрамовых электродов должно соответствовать международным и внутренним экологическим нормам, таким как регламент ЕС REACH и Закон Китая об охране окружающей среды. Производителям необходимо проводить регулярную оценку воздействия на окружающую среду, чтобы убедиться, что очистка выхлопных газов, сточных вод и твердых отходов соответствует стандартам.

Применение технологий «зеленого» производства не только снижает воздействие на окружающую среду, но и повышает корпоративную социальную ответственность и конкурентоспособность на рынке. Например, циркониевые вольфрамовые электроды, изготовленные методом «зеленого» производства, более популярны на европейском и американском рынках, удовлетворяя потребности клиентов в экологически чистой продукции.

6.6 Распространенные проблемы и решения в производстве

В процессе производства циркониевых вольфрамовых электродов можно столкнуться с различными проблемами, включая неравномерное легирование, дефекты спекания, трещины при обработке и нестабильную производительность. Ниже приведен анализ распространенных проблем и их решений:

Проблема 1: Неравномерный допинг

Явление: Частицы диоксида циркония неравномерно распределены в вольфрамовой матрице, что приводит к нестабильной работе электродов, дрейфу дуги или трудностям с зажиганием.

Причины: недостаточное время смешивания, большая разница в размерах частиц или недостаточная производительность оборудования.

Решение:

Увеличенное время смешивания (4–6 часов) и увеличенная скорость смешивания (500–1000 об/мин).

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Улучшите однородность с помощью наноразмерного диоксида циркония (<100 нм) или влажного легирования.

Легирующий эффект был обнаружен с помощью онлайн-анализатора размера частиц и СЭМ, а параметры процесса были скорректированы.

Проблема 2: Дефекты спекания (такие как поры или трещины)

Явление: Внутри спеченной заготовки появляются поры или трещины, снижающие плотность электродов и механическую прочность.

Причины: Слишком высокая/слишком низкая температура спекания, слишком высокая скорость нагрева или неправильный контроль атмосферы.

Решение:

Оптимизируйте кривую спекания для контроля скорости нагрева (5–10 °C/мин) и времени выдержки (1–2 часа).

Повышенная чистота вакуума (<10⁻³ Па) или водорода (>99,999%).

Используйте рентген или ультразвук для обнаружения дефектов заготовки и устранения несоответствующей продукции.

Проблема 3: Обработка трещин

Явление: Микротрещины появляются на поверхности или внутри электрода во время волочения или резки, что влияет на производительность и долговечность.

Причина: Слишком высокая скорость волочения, не устраняется износ пресс-формы или внутреннее напряжение.

Решение:

Уменьшите скорость вытягивания (0,1–0,5 м/мин) и регулярно меняйте форму.

Для устранения внутренних напряжений добавляются этапы термической обработки и отжига (температура отжига 1200–1400°C).

Лазерная резка используется вместо механической, что снижает концентрацию напряжений.

Проблема 4: Нестабильная производительность

Явление: Дуга электрода нестабильна или срок службы сокращается во время сварки.

Причины: Чрезмерное количество примесей сырья, неравномерная микроструктура или плохое качество поверхности.

Решение:

Усиьте обнаружение сырья и используйте ICP-MS для контроля содержания примесей (<0,005%).

Оптимизация процесса легирования и спекания для обеспечения равномерного распределения диоксида циркония и контроля размера зерен (10–20 мкм).

Повышенная точность полировки поверхности (Ra<0,4 мкм) и снижение адгезии загрязнений.

Вопрос 5: Вопросы охраны окружающей среды

Явление: чрезмерные выбросы выхлопных газов, сточных вод или пыли в процессе производства, влияющие на соблюдение нормативных требований.

Причины: неэффективное оборудование для удаления пыли, неправильная очистка сточных

вод или высокое энергопотребление.

Решение:

Установите высокоэффективную систему сбора пыли (например, фильтр HEPA) для контроля выбросов пыли $< 10 \text{ мг/м}^3$.

Система очистки сточных вод замкнутого цикла используется для восстановления тяжелых металлов и химических веществ.

Сократите потребление энергии с помощью микроволнового спекания или возобновляемых источников энергии.

Благодаря систематической оптимизации процессов и контролю качества вышеуказанные проблемы могут быть эффективно решены, обеспечивая высокую производительность и эффективность производства циркониевых вольфрамовых электродов.



Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

Tel: 0086 592 512 9696
CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2025V
sales@chinatungsten.com

CTIA GROUP LTD

Zirconium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Zirconium Tungsten Electrode

Zirconium tungsten electrode is a non-radioactive welding electrode made by doping a small amount of zirconium oxide (ZrO_2) into a high-purity tungsten base. It is specifically optimized for AC TIG (Tungsten Inert Gas) welding. Its excellent arc stability and outstanding resistance to contamination make it the preferred choice for welding aluminum, magnesium, and their alloys.

2. Types of Zirconium Tungsten Electrode

Grade	Tip Color	ZrO ₂ Content (wt.%)	Characteristics & Applications
WZ3	Brown	0.2–0.4	Ideal for low to medium intensity AC welding; cost-effective
WZ38	White	0.7–0.9	Industry-standard grade with excellent overall performance

3. Standard Sizes & Packaging of Zirconium Tungsten Electrode

Diameter (mm)	Length (mm)	Regular Coloring	Packing:
1.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10 pcs/box
1.6	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.4	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
3.2	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
4.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
Remark	The sizes can be customized		

4. Applications of Zirconium Tungsten Electrode

- Welding of aluminum and aluminum alloys: such as doors, windows, frames, and automotive body structures
- Welding of magnesium and magnesium alloys: widely used in aerospace lightweight components
- AC welding of stainless steel (under specific low-current conditions)
- Precision welding in aerospace, rail transit, pressure vessels, etc.
- Used in automated welding systems and robotic torch assemblies

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Глава 7 Использование циркониевых вольфрамовых электродов

Циркониевые вольфрамовые электроды имеют широкий спектр применения в современной промышленности благодаря их превосходной стабильности дуги, характеристикам воспламенения, стойкости к выгоранию и устойчивости к загрязнениям. Циркониевый вольфрамовый электрод в основном используется при сварке вольфрама в среде инертного газа (сварка TIG), плазменной резке, плазменном напылении и других процессах, особенно при сварке переменным током (АС), подходящей для обработки легких металлов, таких как алюминий и магний и их сплавы. Кроме того, его применение в высокоточных областях, таких как аэрокосмическая промышленность, атомная промышленность, производство медицинского оборудования и специальные условия, также растет. В этой главе будут подробно рассмотрены различные варианты использования циркониевых вольфрамовых электродов, проанализированы их специфические характеристики в различных процессах и отраслях, а также представлен глубокий анализ альтернатив и конкурентной среды, чтобы всесторонне продемонстрировать их важность в современной промышленности.

7.1 Применение циркониевого вольфрамового электрода при сварке TIG

Сварка вольфрамом в инертном газе (сварка TIG) является наиболее важной областью применения циркониевых вольфрамовых электродов. Сварка TIG широко используется в промышленных сценариях, требующих высококачественных сварных швов, таких как аэрокосмическая, автомобильная, судостроительная промышленность и производство прецизионных приборов, благодаря своей высокой точности, отсутствию разбрызгивания и отличному качеству сварки. Циркониевые вольфрамовые электроды особенно подходят для сварки таких материалов, как алюминий, магниевые сплавы и нержавеющая сталь, благодаря своим превосходным характеристикам при сварке переменным током, что делает их одними из предпочтительных электродов при сварке TIG.

7.1.1 Сварка алюминия и алюминиевых сплавов

Алюминий и алюминиевые сплавы широко используются в аэрокосмической, автомобильной, судостроительной и строительной отраслях благодаря своему легкому весу, высокому соотношению прочности к весу, хорошей теплопроводности и коррозионной стойкости. Однако сварка алюминия сопряжена со значительными техническими трудностями, в первую очередь из-за образования на его поверхности пленки оксида алюминия (Al_2O_3). Температура плавления глинозема достигает 2050 °C, что намного выше, чем у алюминия (около 660 °C), и обладает высокой химической стабильностью, что может легко привести к таким дефектам, как нестабильность дуги, пористость сварного шва или неплавление. Циркониевые вольфрамовые электроды демонстрируют отличные эксплуатационные характеристики при сварке алюминия и алюминиевых сплавов переменным током и TIG, а их преимущества отражаются в следующих аспектах:

Стабильность дуги: циркониевый вольфрамовый электрод снижает работу убегания электронов (около 2,7–3,0 эВ, значительно ниже, чем 4,5 эВ чистого вольфрама), легированного диоксидом циркония (ZrO_2), так что дуга остается стабильной во время

положительного и отрицательного переключения переменного тока. Положительная полуокружность сварки переменным током (электрод является анодом) обладает «очищающим эффектом», который эффективно удаляет оксидную пленку с поверхности алюминия, в то время как концентрация дуги циркониевого вольфрамового электрода обеспечивает качество сварного шва. электрод WZ8 (содержащий 0,7–0,9% ZrO_2) может образовывать коническую дугу при большом токе (150–400 А), которая подходит для сварки толстых алюминиевых сплавов (таких серий 5xxx, 6xxx, толщина > 5 мм); Электрод WZ3 с 0,15–0,4% ZrO_2 лучше подходит для низких и средних токов (50–150 А) для листовой сварки (толщиной < 3 мм).

Производительность зажигания: Низкая способность убежать электронов циркониевых вольфрамовых электродов позволяет им быстро воспламеняться в высокочастотных дугах переменного тока, а напряжение воспламенения обычно составляет менее 50 В, что значительно снижает вероятность сбоя зажигания. Это особенно важно для автоматизированной сварки TIG, которая повышает производительность и снижает потери оборудования. Например, при сварке листов из алюминиевого сплава быстрое воспламенение электрода WZ3 позволяет избежать локального перегрева, вызванного многократным возгоранием.

Огнестойкость: высокая температура плавления циркониевого вольфрамового электрода (около 3422°C, близка к чистому вольфраму) и защита диоксида циркония от дисперсной фазы позволяют ему сохранять форму наконечника при высокотемпературных дугах (выше 6000°C) и уменьшать выгорание. Срок службы электродов WZ8 может достигать в 2–3 раза больше, чем у чистых вольфрамовых электродов при длительной сварке при высоких токах, что значительно снижает частоту замены электродов и производственные затраты.

Способность к загрязнению: При сварке из алюминиевого сплава оксиды алюминия и другие летучие примеси легко прилипают к наконечнику электрода, что приводит к нестабильности дуги. Химическая стабильность циркониевых вольфрамовых электродов делает их поверхности менее подверженными реакции с оксидами, сохраняя дугу в чистоте и уменьшая дефекты сварных швов. Электроды WZ8 могут поддерживать стабильную работу при высокой влажности или сложных условиях.

Примеры применения:

Автомобильная промышленность: Алюминиевые сплавы (такие как 5083, 6061) широко используются в производстве автомобилей на новых источниках энергии и легких транспортных средств, включая рамы кузовов и корпуса аккумуляторов. Циркониевый вольфрамовый электрод (WZ8) обеспечивает высокопрочные сварные швы без дефектов при сварке TIG. Например, при сварке корпуса из алюминиевого сплава Tesla Model Y используются электроды WZ8, что значительно повышает эффективность производства и качество сварных швов.

Морская промышленность: корпуса из алюминиевых сплавов (например, 5083-H116) должны быть устойчивыми к коррозии в морской воде, а сварка TIG требует высококачественных

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

сварных швов для обеспечения прочности конструкции. Способность циркониевых вольфрамовых электродов защищать от загрязнения окружающей среды делает их превосходными в условиях высокой влажности, соленой среды, а также широко используется в производстве роскошных яхт и военных кораблей.

Аэрокосмическая промышленность: Алюминиевые сплавы (например, 7075, 2024) используются в конструкциях фюзеляжей и крыльев самолетов, требуя чрезвычайно высокой прочности сварных швов и качества поверхности. Циркониевые вольфрамовые электроды (WZ8) широко используются при сварке компонентов из алюминиевых сплавов в Boeing 787 и Airbus A350, а их устойчивость к дуге и стойкость к выгоранию соответствуют строгим требованиям аэрокосмического сектора.

Архитектура и отделка: Навесные стены и структурные компоненты из алюминиевого сплава (такие как сплав 6063) широко используются в современном строительстве, а циркониевый вольфрамовый электрод (WZ3) используется для сварки тонких пластин, обеспечивая эстетически привлекательные сварные швы без брызг.

Параметры процесса:

Тип тока: переменный ток (AC), прямоугольный переменный ток может дополнительно оптимизировать стабильность дуги.

Диапазон тока: 50–150 А (WZ3, лист) или 150–400 А (WZ8, лист).

Диаметр электрода: 1,6–2,4 мм (тонкая пластина) или 2,4–3,2 мм (толстая пластина).

Угол наклона наконечника: 45°–60° для оптимизации концентрации дуги.

Защитный газ: аргон высокой чистоты (>99,99%) или аргоно-гелиевая смесь (70% аргона + 30% гелия), расход 10–20 л/мин.

Скорость сварки: 0,1–0,5 м/мин, в зависимости от толщины материала и регулировки оборудования.

Сварка алюминия и алюминиевых сплавов является основной областью применения циркониевых вольфрамовых электродов, а ее превосходные характеристики значительно улучшают качество сварки и эффективность производства.

7.1.2 Сварка нержавеющей стали и магниевых сплавов

Нержавеющая сталь и магниевые сплавы являются распространенными материалами для сварки TIG и широко используются в медицинской промышленности, химической, аэрокосмической и автомобильной промышленности. Циркониевые вольфрамовые электроды демонстрируют хорошую адаптивность при сварке этими материалами переменным током и постоянным током (DC), особенно при сварке переменным током.

Сварная нержавеющая сталь (например, 304, 316L, 430) широко используется в оборудовании для пищевой промышленности, медицинских приборах, химических трубопроводах и строительных конструкциях благодаря своей превосходной коррозионной стойкости и механическим свойствам. Циркониевые вольфрамовые электроды обладают следующими преимуществами при сварке нержавеющей стали методом TIG, особенно при сварке переменным током:

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Стабильность дуги: Циркониевые вольфрамовые электроды обеспечивают стабильную дугу при сварке переменным током, уменьшая пористость, трещины и оксидные включения в сварном шве. Очищающее действие положительной полуокружности переменного тока может эффективно удалять оксид хрома (Cr_2O_3) и другие загрязнения с поверхности нержавеющей стали, обеспечивая чистоту сварного шва. Электрод WZ3 подходит для низких и средних токов (50–150 А) для прецизионной сварки тонких листов нержавеющей стали (например, толщиной < 2 мм); Электрод WZ8 подходит для высоких токов (150–300 А) для сварки толстых листов.

Эффективность зажигания: Низкое напряжение зажигания и характеристики быстрого воспламенения циркониевых вольфрамовых электродов снижают разрывы дуги во время сварки, особенно при высокочастотной сварке переменным током. Это имеет решающее значение для автоматизированных сварочных линий, таких как производство труб из нержавеющей стали.

Способность к загрязнению: оксиды хрома или другие летучие примеси могут образовываться при сварке нержавеющей стали, а химическая стабильность циркониевого вольфрамового электрода делает его поверхность менее восприимчивой к загрязнению и поддерживает стабильность дуги. Электроды WZ8 сохраняют свою производительность в сложных условиях, таких как высокая влажность или маслянистая среда.

Устойчивость к горению: циркониевые вольфрамовые электроды могут выдерживать высокотемпературные удары положительной половины окружности при сварке переменным током, снижая выгорание наконечника и продлевая срок службы. Например, электроды WZ8 могут прослужить более чем в два раза дольше, чем чистые вольфрамовые электроды при непрерывной сварке.

Примеры применения:

Медицинские устройства: нержавеющая сталь 316L используется в производстве хирургических инструментов и имплантатов, требующих гладких сварных швов и отсутствия разбрызгивания. Циркониевый вольфрамовый электрод (WZ3) обеспечивает высокую точность и качество сварных швов при сварке TIG, отвечая строгим гигиеническим стандартам медицинской промышленности.

Химическая промышленность: трубы из нержавеющей стали 304 используются для транспортировки коррозионных жидкостей, а циркониевый вольфрамовый электрод (WZ8) обеспечивает стабильные дугогасительные и противообрастающие свойства при сварке толстостенных труб, обеспечивая коррозионную стойкость сварного шва.

Пищевая промышленность: Контейнеры из нержавеющей стали (например, резервуары для хранения и мешалки) должны соответствовать стандартам безопасности пищевых продуктов, а способность циркониевых вольфрамовых электродов защищать от загрязнения предотвращает загрязнение сварными швами и повышает эффективность производства.

Магниеые сплавы Сварка Магниеые сплавы (например, AZ31, AZ91, WE43) все чаще

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

используются в аэрокосмической, автомобильной и электронной промышленности благодаря своей чрезвычайно низкой плотности (примерно 1,74 г/см³) и высокому соотношению прочности/веса. Однако низкая температура плавления магниевых сплавов (около 650 °C), высокая химическая активность и легкое образование пленок оксида магния (MgO, температура плавления около 2852 °C) затрудняют их сварку. Циркониевые вольфрамовые электроды отлично подходят для сварки магниевых сплавов TIG переменным током:

Управление дугой: Концентрированная дуга циркониевых вольфрамовых электродов позволяет точно контролировать подачу тепла, предотвращая перегрев или прогорание магниевых сплавов. Электрод WZ3 подходит для тонких листов магниевого сплава (толщиной <3 мм), а электрод WZ8 подходит для сварки толстых листов (толщиной >5 мм) или сварки большим током (150–250 А).

Стойкость к окислению: циркониевые вольфрамовые электроды устойчивы к загрязнению оксидом магния и сохраняют стабильность дуги при сварке магниевого сплава. Его шероховатость поверхности (Ra<0,4 мкм) еще больше снижает прилипание загрязнений.

Характеристики воспламенения: циркониевые вольфрамовые электроды быстро воспламеняются в высокочастотных дугах переменного тока, уменьшая дефекты сварных швов, вызванные трудностями зажигания, особенно подходят для автоматизированной сварки.

Устойчивость к выгоранию: высокая стойкость к выгоранию циркониевых вольфрамовых электродов позволяет им выдерживать высокотемпературную среду сварки магниевого сплава при сварке переменным током, продлевая срок службы электродов.

Примеры применения:

Аэрокосмическая промышленность: магниевые сплавы используются для создания конструкционных деталей спутников, каркасов беспилотных летательных аппаратов и компонентов вертолетов. Циркониевый вольфрамовый электрод (WZ8) обеспечивает высокопрочные сварные швы без дефектов при сварке TIG. Например, некоторые конструкционные детали ракеты Starship компании SpaceX сварены из магниевого сплава, а циркониевые вольфрамовые электроды являются распространенным выбором.

Автомобильная промышленность: Магниевые колеса и компоненты подвески используются в легких автомобильных конструкциях, а циркониевые вольфрамовые электроды (WZ3) обеспечивают высококачественные сварные швы при листовой сварке.

Электронная промышленность: корпуса из магниевого сплава используются в ноутбуках и мобильных телефонах, а циркониевые вольфрамовые электроды обеспечивают эстетику и структурную прочность при прецизионной сварке.

Параметры процесса:

Тип тока: переменный ток (AC) или постоянный ток (DCEN, в зависимости от требований к материалу и оборудованию).

Диапазон тока: 50–150 А (WZ3, нержавеющая сталь/листовой магниевый сплав) или 150–300 А (WZ8, толстый лист).

Диаметр электрода: 1,6–2,4 мм (тонкая пластина) или 2,4–3,2 мм (толстая пластина).

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Угол наклона: 30°–60°, сварка тонких пластин смещена в сторону острого угла (30°–45°), толстая пластина смещена в сторону тупого угла (45°–60°).

Защитный газ: аргон или аргоно-гелиевая смесь (70% аргона + 30% гелия), расход 12–20 л/мин.

Скорость сварки: 0,1–0,4 м/мин, в зависимости от толщины материала и оптимизации процесса.

Превосходные свойства циркониевых вольфрамовых электродов при сварке нержавеющей стали и магниевых сплавов делают их важной позицией в сварке высокоточных и сложных материалов, отвечающих строгим требованиям различных промышленных областей.

7.2 Применение циркониевого вольфрамового электрода при плазменной резке и напылении

Плазменная резка и плазменное напыление являются важными областями применения циркониевых вольфрамовых электродов, включая генерацию и управление высокотемпературными плазменными дугами. Циркониевые вольфрамовые электроды идеально подходят для этих высокопрочных процессов благодаря их высокой устойчивости к выгоранию, стабильности дуги и устойчивости к загрязнению.

Плазменная резка

Плазменная резка использует высокотемпературную плазменную дугу (температура может достигать более 20 000 °C) для плавления и сдувания металлических материалов, широко используется при резке стали, алюминиевых сплавов, нержавеющей стали и медных сплавов, подходит для судостроения, строительства, автомобилестроения и тяжелого машиностроения. Циркониевый вольфрамовый электрод действует как катод при плазменной резке, обеспечивая стабильную плазменную дугу с такими эксплуатационными преимуществами, как:

Стабильность дуги: циркониевый вольфрамовый электрод (WZ8) способен формировать стабильную плазменную дугу при высоких токах (100–500 А), уменьшая дрейф дугового столба и обеспечивая плоскую режущую кромку (шероховатость Ra<25 мкм). Его концентрация дуги подходит для резки толстых листов (толщиной 20–50 мм) или сложных форм.

Огнестойкость: высокая температура плавления циркониевых вольфрамовых электродов и защитный эффект диоксида циркония позволяют им сохранять форму наконечника в высокотемпературной плазменной среде, снижая повреждение от выгорания. Электрод WZ8 может прослужить в 2–3 раза дольше, чем чистый вольфрамовый электрод, что снижает производственные затраты.

Устойчивость к загрязнениям: Во время плазменной резки пары и оксиды металлов могут загрязнить наконечник электрода. Химическая стабильность циркониевых вольфрамовых электродов делает их поверхность менее подверженной загрязнениям и поддерживает

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

стабильность плазменной дуги.

Примеры применения:

Судостроение: циркониевые вольфрамовые электроды используются для резки стальных листов корпуса (например, АН36, ДН36, толщина 30–50 мм), обеспечивая высокую точность и эффективность производства. Например, верфь Hyundai Heavy Industries использует электроды WZ8 для плазменной резки, что повышает скорость и качество резки.

Автомобилестроение: плазменная резка алюминиевых компонентов корпуса, таких как сплав 6061, требует высокой точности, а циркониевый вольфрамовый электрод (WZ3) обеспечивает стабильную дугу при низких и умеренных токах (100–200 А).

Строительная промышленность: Циркониевые вольфрамовые электроды используются для резки балок и колонн стальных конструкций, обеспечивая гладкие поверхности резки и сокращая последующую обработку.

Параметры процесса:

Тип тока: постоянный ток (DCEN).

Диапазон тока: 100–500 А, в зависимости от толщины материала и регулировки оборудования.

Диаметр электрода: 2,4–4,0 мм.

Защитный газ: аргон, азот или аргоно-водородная смесь (95% аргона + 5% водорода), расход 20–30 л/мин.

Конструкция сопла: Циркониевые вольфрамовые электроды должны быть соединены с высокотемперостойкими соплами (например, из циркониевой керамики) для обеспечения концентрации плазменной дуги.

Плазменное напыление

Плазменное напыление расплавляет и распыляет порошкообразные материалы (такие как диоксид циркония, оксид алюминия) на поверхность подложки с помощью высокотемпературной плазменной дуги (температура 10 000–20 000 °С) с образованием износостойкого, высокотемпературного или коррозионностойкого покрытия, широко используемого в авиационных двигателях, газовых турбинах и производстве медицинских имплантатов. Циркониевые вольфрамовые электроды действуют как катоды при плазменном напылении, обеспечивая стабильную плазменную дугу с преимуществами в таких характеристиках, как:

Стабильность дуги: электроды WZ8 способны образовывать однородные плазменные дуги при высоких токах (300–600 А), обеспечивая постоянную толщину покрытия (обычно 0,1–1 мм) и однородную структуру.

Устойчивость к выгоранию: циркониевые вольфрамовые электроды могут выдерживать длительные часы работы в высокотемпературной плазменной среде, снижая выгорание наконечника и частоту замены электродов. Например, электрод WZ8 может прослужить более 100 часов при непрерывном распылении.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Устойчивость к загрязнениям: При плазменном напылении порошкообразные материалы, такие как частицы диоксида циркония, могут прилипать к наконечнику электрода. Шероховатость поверхности и химическая стабильность циркониевых вольфрамовых электродов снижают воздействие загрязнения и сохраняют качество распыления.

Примеры применения:

Аэрокосмическая промышленность: циркониевые вольфрамовые электроды используются для распыления керамических покрытий (таких как диоксид циркония) на поверхности лопаток турбин для повышения устойчивости к высоким температурам. Например, при напылении турболопастей в авиационных двигателях GE используются электроды WZ8 для обеспечения однородности и долговечности покрытия.

Энергетическая промышленность: циркониевые вольфрамовые электроды используются для распыления износостойких покрытий на котельные трубы или компоненты газовых турбин, продлевая срок службы оборудования.

Медицинская промышленность: циркониевые вольфрамовые электроды используются для распыления биосовместимых покрытий (таких как гидроксиапатит) на ортопедические поверхности имплантатов, улучшая их коррозионную стойкость и биосовместимость.

Параметры процесса:

Тип тока: постоянный ток (DCEN).

Диапазон тока: 300–600 А.

Диаметр электрода: 3,2–4,8 мм.

Защитный газ: аргон или аргоно-гелиевая смесь (70% аргона + 30% гелия), расход 30–50 л/мин.

Материал порошка: диоксид циркония, оксид алюминия или порошок металлического сплава с размером частиц 20–100 мкм.

Превосходные характеристики циркониевых вольфрамовых электродов при плазменной резке и напылении делают их незаменимыми материалами для высокопрочных и высокоточных процессов, способствуя технологическому прогрессу и повышению эффективности в смежных отраслях.

7.3 Другие промышленные применения циркониевых вольфрамовых электродов

Применение циркониевых вольфрамовых электродов не ограничивается сваркой TIG и плазменными процессами, но также играет важную роль в высокотехнологичных областях, таких как аэрокосмическая промышленность, атомная промышленность и производство медицинского оборудования. Эти области имеют чрезвычайно высокие требования к производительности, и циркониевые вольфрамовые электроды широко используются благодаря своей высокой надежности, устойчивости к выгоранию и защите от загрязнения.

7.3.1 Аэрокосмическая промышленность

Аэрокосмическая отрасль предъявляет чрезвычайно строгие требования к материалам и сварочным процессам, в которых используются высокопрочные, легкие материалы

(например, алюминиевые сплавы, магниевые сплавы, титановые сплавы) и сложные конструкции (например, фюзеляж самолета, компоненты двигателей). Циркониевые вольфрамовые электроды имеют важное применение в сварке TIG и плазменном напылении в аэрокосмической отрасли, обладая следующими преимуществами:

Высокоточная сварка: Аэрокосмические компоненты (такие как фюзеляж из алюминиевого сплава Boeing 787 и конструкционные детали из магниевого сплава Airbus A350) требуют бездефектных сварных швов и высокой прочности. Циркониевый вольфрамовый электрод (WZ8) обеспечивает стабильное зажигание дуги и защиту от загрязнения при сварке переменным током TIG, гарантируя качество сварных швов. Например, при сварке обшивки из алюминиевого сплава крыла Boeing 737 электрод WZ8 может выдерживать высокие токи (200–300 A) и сохранять стабильность дуги.

Плазменное напыление: Лопатки турбин авиационных двигателей должны быть покрыты термостойкими керамическими покрытиями (такими как оксид циркония или оксида иттрия), а циркониевые вольфрамовые электроды обеспечивают стабильную плазменную дугу при плазменном напылении, обеспечивая однородность и адгезию покрытия. Например, при напылении лопастей двигателей Rolls-Royce Trent XWB широко используются электроды WZ8.

Легкие материалы: Магниевые и алюминиевые сплавы все чаще используются в аэрокосмической промышленности, а возможности защиты от загрязнения и свойства контроля дуги циркониевых вольфрамовых электродов делают их превосходными при сварке этих материалов. Например, в ракете Starship компании SpaceX используются конструкционные детали из магниевого сплава, а циркониевые вольфрамовые электроды обеспечивают высокое качество сварных швов при сварке TIG.

Примеры применения:

Авиастроение: Циркониевые вольфрамовые электроды используются при сварке фюзеляжей и крыльев из алюминиевого сплава в самолетах Boeing и Airbus, обеспечивая прочность конструкции и коррозионную стойкость.

Ракетостроение: циркониевые вольфрамовые электроды широко используются при сварке компонентов ракет для SpaceX и Blue Origin, отвечая требованиям высокой надежности и легкости.

Производство спутников: Циркониевые вольфрамовые электроды используются для сварки каркаса из магниевого сплава спутников и керамического покрытия отражателей антенн с плазменным напылением.

7.3.2 Атомная промышленность

Атомная промышленность предъявляет чрезвычайно высокие требования к материалам и сварочным процессам, связанным с высокими температурами, высоким уровнем радиации и высококоррозионными средами. Циркониевые вольфрамовые электроды имеют важное применение в сварке и плазменном напылении компонентов ядерных реакторов, и их преимущества включают в себя:

Коррозионная стойкость: В корпусах и трубопроводах ядерных реакторов часто используются сплавы нержавеющей стали или циркония, а циркониевые вольфрамовые электроды могут противостоять загрязнению оксидами в коррозионных средах и сохранять стабильность дуги при сварке TIG. Например, электрод WZ8 обеспечивает высокое качество сварных швов при сварке сосудов высокого давления из нержавеющей стали 316L.

Высокая надежность: Атомная промышленность не требует дефектов и трещин в сварных швах, а устойчивость к дуге и стойкость к выгоранию циркониевых вольфрамовых электродов соответствуют этим требованиям.

Плазменное напыление: Защитные материалы и высокотемпературные компоненты ядерных реакторов должны быть покрыты керамическими покрытиями, а циркониевые вольфрамовые электроды обеспечивают однородность и долговечность покрытия при плазменном напылении.

Примеры применения:

Компоненты реактора: Циркониевые вольфрамовые электроды используются для сварки корпуса топливного стержня из циркониевого сплава и охлаждающих труб из нержавеющей стали ядерных реакторов, обеспечивая долгосрочную надежность.

Защитные материалы: Циркониевые вольфрамовые электроды используются при плазменном напылении для создания керамических защитных покрытий для ядерных реакторов, повышая устойчивость к высоким температурам и радиационной стойкости.

Обращение с ядерными отходами: циркониевые вольфрамовые электроды используются для сварки корпуса из нержавеющей стали контейнеров для хранения ядерных отходов, обеспечивая герметичность и коррозионную стойкость.

7.3.3 Производство медицинского оборудования

Производство медицинского оборудования предъявляет высокие требования к сварочным процессам, обеспечивая высокую точность, отсутствие загрязнений и биосовместимость. Циркониевые вольфрамовые электроды превосходно подходят для сварки TIG и плазменного напыления в производстве медицинского оборудования, обладая такими преимуществами, как:

Высокоточная сварка: В медицинских устройствах (таких как хирургические инструменты, имплантаты) часто используется нержавеющая сталь 316L или титановый сплав, а циркониевый вольфрамовый электрод (WZ3) обеспечивает стабильное образование дуги и сварные швы без разбрызгивания при листовой сварке, обеспечивая гладкую поверхность и гигиенические стандарты. Например, титановый корпус кардиостимулятора сварен электродами WZ3.

Защита от загрязнения: Сварка медицинского оборудования требует, чтобы сварной шов не содержал примесей и оксидов, а способность циркониевого вольфрамового электрода защищать от загрязнения предотвращает загрязнение сварного шва загрязняющими веществами и соответствует строгим медицинским стандартам.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Плазменное напыление: циркониевые вольфрамовые электроды используются для напыления биосовместимых покрытий (таких как гидроксиапатит) на ортопедические имплантаты, обеспечивая однородность и биосовместимость покрытия. Например, в процессе напыления имплантатов тазобедренного сустава используются электроды WZ8.

Примеры применения:

Хирургические инструменты: Циркониевые вольфрамовые электроды используются для сварки скальпелей и щипцов из нержавеющей стали, обеспечивая гладкие и нетоксичные сварные швы.

Имплантаты: циркониевые вольфрамовые электроды обеспечивают высокую точность и надежность при сварке и плазменном напылении титановых костных имплантатов.

Диагностическое оборудование: Циркониевые вольфрамовые электроды используются для сварки корпусов из нержавеющей стали рентгеновских аппаратов и компьютерных томографов, обеспечивая прочность конструкции и коррозионную стойкость.

7.4 Применение циркониевого вольфрамового электрода в специальных условиях

Применение циркониевых вольфрамовых электродов в особых условиях, таких как высокая влажность, высокие температуры, высокая радиация или среды, содержащие коррозионные газы, демонстрирует их исключительную технологичность и надежность. Эти среды предъявляют более высокие требования к устойчивости электрода к загрязнению, выгоранию и химической стабильности.

Среда с высокой влажностью: В морской технике и судостроении сварочные среды могут иметь высокую влажность (>80%) и солевые туманы. Устойчивость к загрязнениям и химическая стабильность циркониевых вольфрамовых электродов позволяют им сохранять стабильность дуги в этих средах. Например, электроды WZ8 отлично подходят для сварки TIG конструкций из алюминиевых сплавов на морских платформах, защищая от коррозии от соленого тумана морской воды.

Высокотемпературная среда: Высокотемпературная среда (>10 000 °C) при плазменной резке и напылении предъявляет чрезвычайно высокие требования к устойчивости электрода к выгоранию. Защитный слой из диоксида циркония циркониевого вольфрамового электрода (WZ8) позволяет эффективно снизить выгорание наконечника и продлить срок службы. Например, при напылении лопаток газовой турбины электрод WZ8 работает в высокотемпературной плазменной дуге более 100 часов.

Среда с высоким уровнем радиации: Процессы сварки и напыления в атомной промышленности могут включать в себя среды с высоким уровнем радиации, а отсутствие радиоактивности и высокая надежность циркониевых вольфрамовых электродов делают их идеальным выбором. Например, электроды WZ8 способны выдерживать воздействие радиационных сред при напылении защитных материалов ядерного реактора.

Коррозионно-активные газовые среды: При сварке в химической промышленности могут использоваться хлорсодержащие или сульфидсодержащие среды, а химическая стабильность циркониевых вольфрамовых электродов делает их устойчивыми к агрессивным газам. Например, электрод WZ3 поддерживает стабильную работу дуги при сварке

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

хлорсодержащих труб из нержавеющей стали.

Оптимизация процессов:

Защитный газ: В особых условиях используйте высокочистый аргон или аргоно-гелиевые смеси (расход 15–25 л/мин) для усиленной защиты электродов.

Выбор электрода: WZ8 предпочтительнее для высококачественных и интенсивных сред, а WZ3 — для слаботочной сварки или сварки тонкими пластинами.

Конструкция наконечника: В особых условиях для повышения стабильности дуги можно использовать наконечники с тупым углом наклона (45°–60°).

Превосходные эксплуатационные характеристики циркониевых вольфрамовых электродов в особых условиях делают их незаменимыми в промышленных приложениях в экстремальных условиях.

7.5 Альтернативы и конкурентный анализ циркониевых вольфрамовых электродов

Несмотря на то, что циркониевые вольфрамовые электроды обладают значительными преимуществами при сварке TIG и плазменных процессах, другие типы вольфрамовых электродов и альтернативные материалы также конкурируют в определенных сценариях. Ниже приведен анализ альтернатив циркониевым вольфрамовым электродам, их преимуществ и недостатков, а также ситуации с конкуренцией на рынке:

Альтернативный анализ

Электрод из чистого вольфрама (WP)

Преимущества: Чистые вольфрамовые электроды не легируют, не радиоактивны и обладают высокой химической стабильностью, что делает их пригодными для сварки постоянным током (DC) с низким током.

Недостатки: плохая стабильность дуги, слабые характеристики зажигания, серьезное прогорание наконечника и короткий срок службы при сварке переменным током. Чистые вольфрамовые электроды работают гораздо хуже, чем циркониевые вольфрамовые электроды при сварке из алюминиевого сплава.

Применимые сценарии: слаботочная сварка постоянным током (например, небольшие компоненты из нержавеющей стали), не подходит для высокоточной сварки или сварки переменным током.

Ториевый вольфрамовый электрод (WT20, содержащий 1,5–2,0% ThO₂).

Преимущества: Отличные характеристики воспламенения, хорошая стабильность дуги, подходит для сварки постоянным током, широко используется при сварке углеродистой и нержавеющей стали.

Недостатки: оксид тория слабо радиоактивен и представляет потенциальную опасность для здоровья и окружающей среды; При сварке переменным током концентрация дуги не такая высокая, как у циркониевых вольфрамовых электродов.

Применимые сценарии: сварка постоянным током высокопрочной стали, но ее постепенно

заменяют в районах с жесткими требованиями по защите окружающей среды.

Цериевый вольфрамовый электрод (WC20, содержащий 2,0% CeO₂)

Преимущества: Хорошие характеристики зажигания, отсутствие радиоактивности, подходит для сварки слабым током постоянного и переменного тока, низкая стоимость.

Недостатки: При сильноточной сварке переменным током устойчивость дуги немного уступает таковой у циркониевых вольфрамовых электродов, а срок службы короче.

Применение: Малые и средние сварочные работы, подходящие для недорогих применений.

Лантановые вольфрамовые электроды (WL15, WL20, содержащие 1,0–2,0% La₂O₃)

Преимущества: отличные характеристики воспламенения, длительный срок службы, подходит для сварки постоянным и переменным током, высокая комплексная производительность.

Недостатки: При сильноточной сварке переменным током концентрация дуги немного уступает циркониевым вольфрамовым электродам, а стоимость выше.

Применимые сценарии: Общие сварочные задачи, особенно отличная производительность при сварке постоянным током.

Новый композитный электрод

Описание: В последние годы научно-исследовательские институты разработали композитные вольфрамовые электроды, легированные множественными оксидами (такими как La₂O₃+CeO₂+ZrO₂), стремясь объединить преимущества различных электродов.

Преимущества: Отличная общая производительность, может превзойти циркониевые вольфрамовые электроды в определенных сценариях.

Недостатки: Процесс производства сложный, стоимость высокая, а масштабная индустриализация еще не достигнута.

Применимые сценарии: экспериментальные приложения или высококачественная индивидуальная сварка.

Конкурентный анализ

Позиционирование на рынке: Циркониевые вольфрамовые электроды обладают уникальными преимуществами при сварке TIG переменным током (особенно при сварке алюминиевыми и магниевыми сплавами) и плазменных процессах, а также занимают высокую долю рынка в области высокоточной сварки. Электроды WZ8 практически незаменимы в аэрокосмической и атомной промышленности, в то время как электроды WZ3 широко используются в малом и среднем бизнесе благодаря своей экономичности.

Тенденции в области охраны окружающей среды: С ужесточением экологических норм (таких как регламент ЕС REACH) ториевые вольфрамовые электроды постепенно заменяются циркониевыми вольфрамовыми электродами и цериевыми вольфрамовыми электродами из-за проблем с радиоактивностью. Нерadioактивность и антикоррозийная способность циркониевых вольфрамовых электродов делают их более конкурентоспособными на европейском и американском рынках.

Стоимость и производительность: Стоимость циркониевых вольфрамовых электродов выше,

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

чем у чистых вольфрамовых электродов и цериевых вольфрамовых электродов, но ниже, чем у лантановых вольфрамовых электродов и новых композитных электродов. Его соотношение производительности и стоимости является выгодным при высокоточной сварке переменным током, но может быть заменено цериевыми вольфрамовыми или лантановыми вольфрамовыми электродами при слаботочной сварке постоянным током.

Технологические достижения: Конкурентное давление циркониевых вольфрамовых электродов отчасти связано с разработкой новых композитных электродов и нанотехнологий. Например, в настоящее время разрабатываются наноразмерные циркониевые вольфрамовые электроды, которые могут еще больше повысить производительность, но стоимость все еще нуждается в оптимизации.

Региональные вариации: В Северной Америке и Европе доминируют циркониевые вольфрамовые электроды благодаря своей экологичности и высокой производительности; В Китае и других частях Азии церий-вольфрамовые электроды имеют определенную долю рынка из-за их низкой стоимости, но циркониевые вольфрамовые электроды по-прежнему доминируют в высокотехнологичных приложениях.

Будущие тренды

Оптимизация производительности: Технологии нанолегирования и сложного легирования используются для улучшения стабильности дуги и срока службы циркониевых вольфрамовых электродов, повышая их конкурентоспособность при высоких токах и специальных условиях.

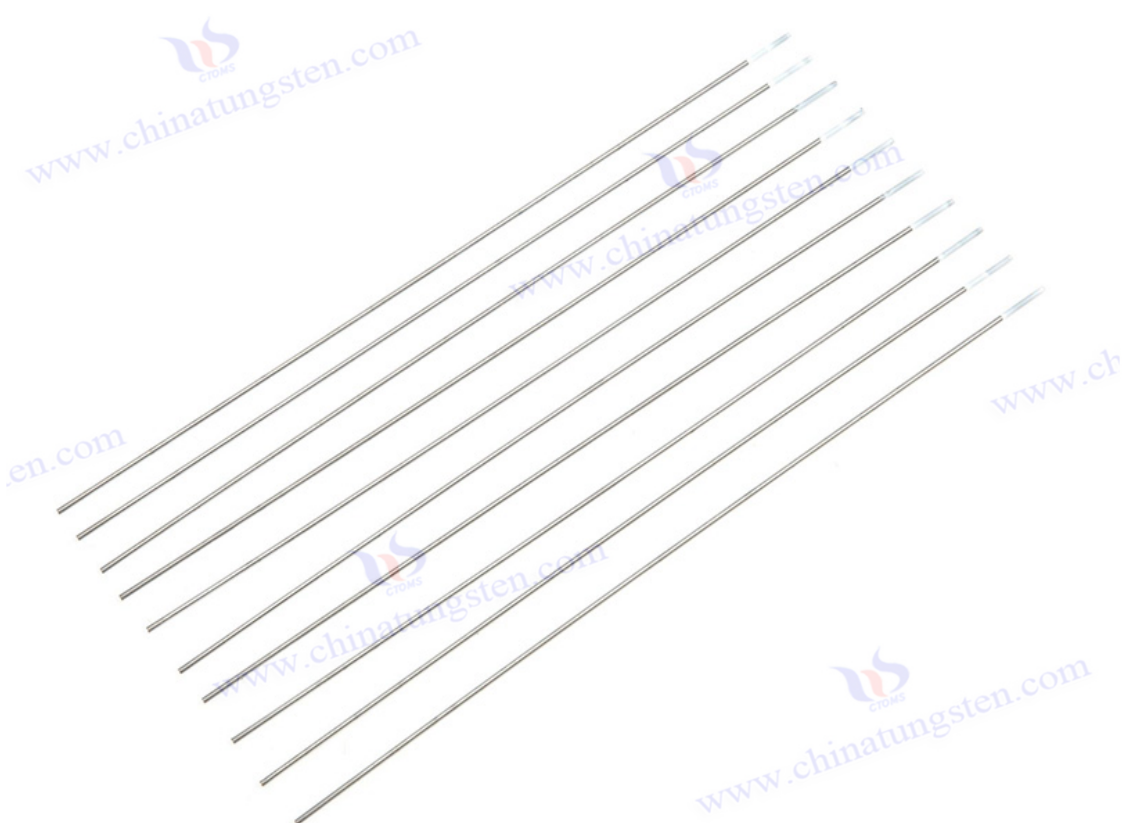
Зеленое производство: Зеленые технологии и переработка лома при производстве циркониевых вольфрамовых электродов еще больше повысят его рыночную привлекательность.

Новые области применения: С развитием новых источников энергии (энергия ветра, солнечное оборудование) и технологии 3D-печати, потенциальное применение циркониевых вольфрамовых электродов в этих областях повысит их конкурентоспособность на рынке.

Альтернативные вызовы: Разработка новых композитных электродов и электродов без вольфрама (например, электродов на основе углерода) может сформировать долгосрочную конкуренцию циркониевым вольфрамовым электродам, но циркониевые вольфрамовые электроды останутся первым выбором для высокоточной сварки переменным током в краткосрочной перспективе.

Циркониевые вольфрамовые электроды занимают важное место в секторе высокоточной промышленности благодаря своим уникальным преимуществам в сварке переменным током и плазменных процессах. Несмотря на то, что он сталкивается с конкуренцией со стороны альтернатив, его баланс производительности, экологичности и стоимости позволит сохранить его конкурентоспособным в будущем.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности



Глава 8 Производственное оборудование для циркониевых вольфрамовых электродов

Производство циркониевых вольфрамовых электродов — это высокоточный, высокотехнологичный процесс, который включает в себя множество аспектов от обработки сырья до обработки готовой продукции. Производительность производственного оборудования напрямую влияет на качество, стабильность производительности и эффективность производства циркониевых вольфрамовых электродов. В этой главе будут подробно рассмотрены различные типы оборудования, используемого в производстве циркониевых вольфрамовых электродов, включая оборудование для обработки сырья, оборудование для прессования и формовки, оборудование для спекания и термообработки, оборудование для прецизионной обработки, оборудование для проверки качества, а также технические точки для обслуживания и оптимизации оборудования. Конструкция, функции и эксплуатационные требования каждого типа оборудования будут проанализированы в сочетании с производственными требованиями к циркониевым вольфрамовым электродам для получения исчерпывающего технического справочника.

8.1 Оборудование для обработки сырья для циркониевых вольфрамовых электродов

Обработка сырья является первым этапом производства циркониевых вольфрамовых электродов, включающим измельчение, смешивание, просеивание и сортировку вольфрамового порошка высокой чистоты и порошка диоксида циркония (ZrO_2).

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Оборудование для обработки сырья должно обеспечивать однородный размер частиц, высокую однородность легирования и избегать загрязнения примесями, чтобы соответствовать строгим требованиям к химическому составу циркониевых вольфрамовых электродов (таких как WZ3 и WZ8).

8.1.1 Оборудование для измельчения и смешивания

Шлифовальное оборудование

Измельчительное оборудование используется для уточнения размера частиц вольфрамового порошка и порошка диоксида циркония, оптимизации его морфологии и распределения частиц по размерам для улучшения последующих результатов смешивания и спекания. Распространенное шлифовальное оборудование включает в себя:

Планетарные шаровые мельницы: Планетарные шаровые мельницы позволяют измельчать порошок с помощью высокоскоростных вращающихся размольных резервуаров и мелющих шаров, таких как шары из диоксида циркония или вольфрамовые шары. К особенностям оборудования можно отнести:

Емкость: 10–100 л, подходит для мелко- и среднесерийного производства.

Скорость вращения: 200–600 об/мин, регулируется для контроля интенсивности шлифования.

Абразивные материалы: шарики из диоксида циркония (диаметр 2–10 мм) или вольфрамовые шарики для уменьшения загрязнения.

Система охлаждения: оснащена системой водяного или воздушного охлаждения для предотвращения перегрева порошка во время помола (контроль температуры < 50°C).

Применение: размер частиц вольфрамового порошка от 10–20 мкм до 3–5 мкм, диоксида циркония от 1–2 мкм до 0,1–0,5 мкм.

Мельница с воздушным потоком: использует высокоскоростной поток воздуха (обычно сжатый воздух или азот) для столкновения частиц порошка друг с другом для достижения сверхтонкого помола. К особенностям оборудования можно отнести:

Контроль размера частиц: порошок может быть очищен до субмикронного уровня (<1 мкм), подходящего для приготовления наноразмерного диоксида циркония.

Без загрязнения: Без абразивных сред, что снижает внесение примесей.

Эффективность: Однократная пропускная способность до 1–10 кг, подходит для крупносерийного производства.

Вибрационная шаровая мельница: Измельчение порошка достигается за счет высокочастотной вибрации, подходит для мелкосерийного экспериментального производства. К особенностям оборудования можно отнести низкое энергопотребление и простоту в эксплуатации, но эффективность измельчения ниже, чем у планетарных шаровых мельниц.

Выбор измельчительного оборудования должен определяться в соответствии с масштабами производства и требованиями к размеру частиц порошка. Например, при производстве высококачественных циркониевых вольфрамовых электродов (таких как WZ8), как правило, используются пневматические мельницы для наноразмерного измельчения диоксида

циркония, в то время как в малых и средних производствах могут использоваться планетарные шаровые мельницы.

Смесительное оборудование

Смесительное оборудование используется для смешивания порошка вольфрама и порошка диоксида циркония в пропорции (например, 0,3% ZrO_2 для WZ3 и 0,8% ZrO_2 для WZ8) для обеспечения однородности легирования. К обычному смесительному оборудованию относятся:

V-образный смеситель: Смешивание порошка достигается за счет вращения V-образного сосуда, подходящего для сухого легирования. К особенностям оборудования можно отнести: Емкость: 50–500 л, подходит для среднего и крупного производства.

Время смешивания: 2–4 часа, равномерность смешивания > 99%.

Контроль атмосферы: Оснащен системой защиты от инертного газа (например, аргона) для предотвращения окисления порошка.

Высокоскоростные смесители: Смешивание порошка достигается с помощью высокоскоростных лопастей (500–1000 об/мин), подходящих для сухого и влажного легирования. К особенностям оборудования можно отнести:

Эффективное перемешивание: время смешивания 1–2 часа с высокой однородностью.

Жидкая среда: Для влажного смешивания можно добавлять деионизированную воду или этанол, а также требуется оборудование для распылительной сушки.

Ультразвуковой диспергатор: используется для мокрого легирования, диспергирования вольфрамового порошка и диоксида циркония в жидкой среде под действием ультразвуковой вибрации (частота 20–40 кГц). К особенностям оборудования можно отнести:

Высокая однородность: подходит для смешивания наноразмерных диоксидов циркония.

Мелкосерийное производство: обычно < производительностью 10 кг, подходит для производства высококачественных электродов.

Смесительное оборудование должно быть оснащено точной системой взвешивания (например, электронными весами с точностью $\pm 0,001$ г), чтобы гарантировать, что соотношение диоксида циркония соответствует целевому содержанию. Современное смесительное оборудование часто включает в себя системы ПЛК (программируемый логический контроллер) для мониторинга параметров смешивания в режиме реального времени.

8.1.2 Сортировочное и сортировочное оборудование

Оборудование для просеивания и сортировки используется для контроля распределения частиц порошков по размерам, удаления негабаритных или мелких частиц и обеспечения соответствия сырья производственным требованиям. Обычно используемое оборудование включает в себя:

Вибрационное сито: порошок классифицируется по размеру частиц с помощью высокочастотной вибрации (1000–3000 раз/мин). К особенностям оборудования можно отнести:

Размер сита: 10–50 мкм, подходит для сортировки вольфрамового порошка (3–5 мкм) и диоксида циркония (0,1–1 мкм).

Производительность: 0,5–5 кг/мин, подходит для крупносерийного производства.

Антиблокирующая конструкция: оснащен ультразвуковым устройством для очистки сетки для предотвращения засорения отверстия в сетке.

Классификатор воздушного потока: использует воздушный поток для разделения порошков по размеру частиц, подходит для классификации ультрадисперсных порошков, таких как наноразмерный диоксид циркония. К особенностям оборудования можно отнести:

Точность сортировки: частицы размером 0,1–10 мкм могут быть отделены с точностью $\pm 0,1$ мкм.

Отсутствие загрязнения: используйте инертный газ (например, азот) в качестве сортировочной среды, чтобы избежать окисления.

Автоматизация: Оснащен автоматической системой сбора для повышения эффективности производства.

Центробежный классификатор: сортировка порошка достигается за счет центробежной силы, подходит для мелкосерийного высокоточного производства. К особенностям оборудования можно отнести высокую точность сортировки, но небольшую пропускную способность (<1 кг/мин).

Оборудование для просеивания и сортировки необходимо регулярно калибровать, чтобы гарантировать соответствие гранул размерам стандартному (например, 3–5 мкм для вольфрамового порошка D50 и 0,1–0,5 мкм для диоксида циркония D50). Современное оборудование часто включает в себя лазерные анализаторы размера частиц для мониторинга эффекта сортировки в режиме реального времени.

8.2 Прессовое и формовочное оборудование для циркониевых вольфрамовых электродов

Прессовочно-формовочное оборудование используется для прессования смешанных порошков в заготовки, обеспечивая основу для последующего спекания и обработки. Производительность оборудования напрямую влияет на плотность, прочность и консистенцию заготовок.

8.2.1 Гидравлический пресс и изостатический пресс

Гидравлическая жидкость

Пресс прессует порошок в цилиндрические заготовки через жесткие штампы, подходящие для мелкосерийного производства или заготовок большого диаметра. К особенностям оборудования можно отнести:

Диапазон давления: 50–100 МПа, регулируется для контроля плотности заготовки (теоретическая плотность 50–60%).

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Материал формы: карбид или высокопрочная сталь, высокая износостойкость.

Производительность: 10–30 секунд за одно прессование, подходит для заготовок диаметром 10–20 мм.

Система управления: Оснащена системой ПЛК для точного контроля давления и времени выдержки.

Применение: Подходит для производства электродов нестандартных размеров или экспериментальных заготовок.

Ограничением гидравлических прессов является то, что распределение плотности заготовок может быть неравномерным, что делает их пригодными для прессования простых форм.

Холодный изостатический пресс (CIP) Холодный изостатический пресс равномерно применяется через жидкую среду, такую как вода или масло, для формирования однородной заготовки высокой плотности, которая широко используется в производстве циркониевых вольфрамовых электродов. К особенностям оборудования можно отнести:

Диапазон давлений: 100–200 МПа, плотность заготовок до 60–70% теоретической плотности. Конструкция пресс-формы: Гибкие формы (например, резиновые или полиуретановые) для обеспечения равномерного распределения давления.

Пропускная способность: Несколько заготовок (диаметр 10–20 мм, длина 100–300 мм) могут быть прессованы за один проход.

Автоматизация: Оснащен автоматическими системами загрузки и разгрузки для повышения эффективности производства.

Применение: Подходит для массового производства заготовок высокоточных циркониевых вольфрамовых электродов.

Преимущество холодных изостатических прессов заключается в равномерной плотности заготовок, уменьшении пористости и трещин в процессе спекания. Современные изостатические прессы часто оснащены датчиками давления и системами сбора данных для мониторинга эффекта прессования в режиме реального времени.

8.2.2 Проектирование и изготовление пресс-форм

Пресс-формы являются основными компонентами прессового и формовочного оборудования, и их проектирование и производство напрямую влияют на качество заготовок. При проектировании пресс-формы следует учитывать следующие факторы:

Выбор материала: Форма обычно изготавливается из карбида (например, WC-Co) или высокопрочной стали, с твердостью > 60 HRC, а также высокой износостойкостью и коррозионной стойкостью.

Точность размеров: допуск на внутренний диаметр формы $\pm 0,01$ мм, что обеспечивает постоянный диаметр заготовки (10–20 мм).

Отделка поверхности: Шероховатость внутренней поверхности формы составляет $Ra < 0,2$ мкм, что уменьшает поверхностные дефекты заготовки.

Структурный дизайн: Форма должна иметь функции разборки и очистки для облегчения обслуживания. В холодных изостатических формах используются гибкие материалы, такие как резина, для обеспечения равномерной передачи давления.

При производстве пресс-форм используется обработка с ЧПУ (например, 5-осевые станки с ЧПУ) и электроэрозионная обработка (электроэрозионная обработка) для обеспечения высокой точности и реализации сложных форм. В современном проектировании пресс-форм также используется анализ методом конечных элементов (FEA) для моделирования распределения напряжений во время прессования и оптимизации структуры пресс-формы.

8.3 Оборудование для спекания и термообработки циркониевых вольфрамовых электродов

Оборудование для спекания и термообработки используется для преобразования прессованных заготовок в плотные электродные заготовки, устранения внутренних напряжений и оптимизации микроструктуры. Производительность устройства напрямую влияет на плотность, размер зерна и стабильность работы электрода.

8.3.1 Высокотемпературная печь для спекания

Высокотемпературная печь для спекания является основным оборудованием для производства циркониевых вольфрамовых электродов, которые используются для спекания заготовок при температуре 1800–2200 °C, чтобы частицы вольфрама могли связываться и образовывать стабильную дисперсионную фазу диоксида циркония. К наиболее часто используемым печам для спекания относятся:

Вакуумная печь для спекания

Особенности: Степень вакуума $< 10^{-3}$ Па для предотвращения окисления вольфрама; Диапазон температур 1800–2200°C с точностью $\pm 5^\circ\text{C}$.

Нагревательный элемент: молибденовый или графитовый нагревательный корпус, отличная устойчивость к высоким температурам.

Производительность спекания: 10–100 кг в одной печи, подходит для среднего и крупного производства.

Система управления: Оснащена ПЛК и инфракрасным термометром для контроля температуры и вакуума в режиме реального времени.

Применение: Подходит для производства циркониевых вольфрамовых электродов высокой чистоты (например, WZ8) для обеспечения низкого содержания кислорода ($< 0,005\%$).

Печь для спекания водорода

Характеристики: Используйте водород высокой чистоты ($> 99,999\%$) в качестве защитной атмосферы, расход 10–50 л/мин; Температурный диапазон 1800–2100°C.

Восстановительные свойства: Водород эффективно удаляет кислород и летучие примеси из заготовки.

Безопасная конструкция: Оснащен системой обнаружения утечек водорода и автоматической системой выпуска для обеспечения безопасной работы.

Применение: Подходит для массового производства, стоимость ниже, чем при вакуумном спекании.

Микроволновая печь для спекания

Особенности: Быстрое и равномерное спекание методом микроволнового нагрева (частота 2,45 ГГц) с временем спекания 2–4 часа и экономией электроэнергии 30–40%.

Преимущества: Уменьшенный рост зерна, оптимизированная микроструктура (размер зерна 10–20 мкм).

Ограничения: Высокая стоимость оборудования, подходит для производства высококачественных электродов.

Печь для спекания должна быть оснащена точной системой контроля температуры (погрешность $< \pm 10^\circ\text{C}$) и системой контроля атмосферы, чтобы плотность спекания достигала 95–98% теоретической плотности и пористость $< 0,5\%$.

8.3.2 Вакуумная печь для термообработки

Вакуумные печи для термообработки используются для устранения внутренних напряжений при прессовании и спекании, оптимизации кристаллической структуры и механических свойств электродов.

К особенностям оборудования можно отнести:

Температурный диапазон: 1200–1600°C, точность $\pm 5^\circ\text{C}$.

Уровень вакуума: $< 10^{-2}$ Па для предотвращения окисления электродов.

Нагревательный элемент: молибденовая или вольфрамовая проволока, отличная устойчивость к высоким температурам.

Система охлаждения: Оснащена системой водяного или воздушного охлаждения для контроля скорости охлаждения (20–50 °C/ч) во избежание концентрации напряжений.

Применение: Используется для отжига спеченных заготовок для улучшения пластичности и сопротивления разрушению.

В современных печах для термообработки часто используются многоступенчатые программы контроля температуры для достижения точных профилей нагрева, удержания и охлаждения с помощью компьютерного управления. Некоторое высокотехнологичное оборудование также оснащено системой онлайн-мониторинга для обнаружения напряжений и изменений микроструктуры заготовки в режиме реального времени.

8.4 Оборудование для прецизионной обработки циркониевых вольфрамовых электродов

Прецизионное обрабатывающее оборудование используется для переработки спеченных заготовок в электродные стержни, соответствующие спецификациям, включая волочение, резку и полировку поверхности. Точность и стабильность работы оборудования напрямую влияют на допуск по размерам и качество поверхности электрода.

CTIA GROUP LTD

Zirconium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Zirconium Tungsten Electrode

Zirconium tungsten electrode is a non-radioactive welding electrode made by doping a small amount of zirconium oxide (ZrO_2) into a high-purity tungsten base. It is specifically optimized for AC TIG (Tungsten Inert Gas) welding. Its excellent arc stability and outstanding resistance to contamination make it the preferred choice for welding aluminum, magnesium, and their alloys.

2. Types of Zirconium Tungsten Electrode

Grade	Tip Color	ZrO ₂ Content (wt.%)	Characteristics & Applications
WZ3	Brown	0.2–0.4	Ideal for low to medium intensity AC welding; cost-effective
WZ38	White	0.7–0.9	Industry-standard grade with excellent overall performance

3. Standard Sizes & Packaging of Zirconium Tungsten Electrode

Diameter (mm)	Length (mm)	Regular Coloring	Packing:
1.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10 pcs/box
1.6	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.4	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
3.2	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
4.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
Remark	The sizes can be customized		

4. Applications of Zirconium Tungsten Electrode

- Welding of aluminum and aluminum alloys: such as doors, windows, frames, and automotive body structures
- Welding of magnesium and magnesium alloys: widely used in aerospace lightweight components
- AC welding of stainless steel (under specific low-current conditions)
- Precision welding in aerospace, rail transit, pressure vessels, etc.
- Used in automated welding systems and robotic torch assemblies

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

8.4.1 Волоочильный станок и отрезной станок

Тяговая машина

Волоочильная машина растягивает спеченную заготовку на удлинённые электродные стержни (диаметр 1,0–6,4 мм) через ряд штампов. К особенностям оборудования можно отнести:

Скорость вытягивания: 0,1–1 м/мин, управление серводвигателем, точность $\pm 0,01$ м/мин.

Материал формы: карбид или алмаз, твердость > 60 HRC, высокая износостойкость.

Конструкция прохода: 10–20 проходов, каждый раз уменьшая диаметр на 5–10%.

Система смазки: Оснащена устройством для распыления смазки из дисульфида графита или молибдена для уменьшения царапин на поверхности.

Применение: Уменьшить диаметр заготовки с 10–20 мм до 1,0–6,4 мм с допуском $\pm 0,05$ мм.

Современные волоочильные станки используют системы ЧПУ для автоматической регулировки скорости и натяжения тяги, уменьшая микротрещины и дефекты поверхности.

Фрезы

Отрезной станок используется для резки тянутых электродных стержней на стандартные длины (например, 150 мм, 175 мм). Обычно используемое оборудование включает в себя:

Электроэрозионная обработка: Резка электроэрозионной станцией с точностью $\pm 0,1$ мм, подходит для требований высокой точности.

Лазерный резак: Использует мощный лазер (мощность 1–5 кВт) для высокой скорости (0,5–2 м/мин) и высокой чистоты поверхности ($Ra < 0,8$ мкм).

Система охлаждения: оснащена водяным или масляным охлаждением для предотвращения перегрева электрода.

Применение: Резка электродных стержней стандартной длины для сварки TIG и плазменной резки.

8.4.2 Оборудование для полировки поверхностей

Оборудование для полировки поверхности используется для улучшения качества поверхности электрода ($Ra < 0,4$ мкм) и уменьшения прилипания загрязнений и дрейфа дуги. Обычно используемое оборудование включает в себя:

Ротационная полировальная машина: полировка поверхности достигается вращением полировального круга (1000–3000 об/мин) и полировального материала (например, оксида алюминия или алмазной суспензии). К особенностям оборудования можно отнести:

Точность полировки: шероховатость поверхности $Ra < 0,4$ мкм.

Автоматизация: Оснащен автоматической системой подачи с производительностью 100–500 потоков/час.

Применение: Подходит для полировки электродов в больших объемах.

Электрохимическая полировальная машина: удаляйте крошечные дефекты на поверхности электродов с помощью электрохимических реакций, подходит для высокоточных электродов.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

К особенностям оборудования можно отнести:

Жидкость для полировки: электролит на основе фосфорной кислоты или сульфата, экологически чистый состав для уменьшения загрязнения.

Время полировки: 10–30 секунд/шт., высокая эффективность.

Качество поверхности: $Ra < 0,2$ мкм, близко к зеркальному эффекту.

Лазерная полировальная машина: использует лазерный луч (мощность 500–2000 Вт) для выравнивания поверхности электрода, подходит для производства высококачественных электродов. К особенностям оборудования относятся высокая точность ($Ra < 0,1$ мкм) и бесконтактная обработка.

Полировальное оборудование должно быть оснащено системой сбора пыли, чтобы предотвратить загрязнение окружающей среды вольфрамовым порошком и пылью диоксида циркония в процессе полировки.

8.5 Оборудование для контроля качества циркониевых вольфрамовых электродов

Оборудование для контроля качества используется для того, чтобы убедиться, что химический состав, микроструктура, точность размеров и качество поверхности циркониевых вольфрамовых электродов соответствуют международным стандартам (например, ISO 6848, AWS A5.12, GB/T 4187). Обычно используемое оборудование включает в себя:

Оборудование для анализа химического состава

Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS): обнаружение примесей (например, Fe, Si, $C < 0,005\%$) в вольфрамовом порошке и диоксиде циркония с точностью $\pm 0,001\%$.

Рентгенофлуоресцентная спектроскопия (РФА): экспресс-анализ содержания диоксида циркония (например, 0,3% для WZ3 и 0,8% для WZ8), пригодный для обнаружения в режиме реального времени.

Оборудование для анализа микроструктуры

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ): Проанализируйте размер зерна (10–20 мкм) и равномерность распределения диоксида циркония электродов.

Рентгеновский дифрактометр (XRD): определяет кристаллическую структуру и фазовый состав, чтобы гарантировать отсутствие паразитных фаз.

Оборудование для контроля размеров

Лазерный дальномер: измеряет диаметр электрода (допуск $\pm 0,05$ мм) и длину (допуск ± 1 мм).

Измеритель шероховатости поверхности: определяет шероховатость поверхности электрода ($Ra < 0,4$ мкм).

Оборудование для обнаружения дефектов

Ультразвуковой детектор: обнаруживает внутренние трещины и поры в заготовках и готовых

электродах с точностью $\pm 0,1$ мм.

Прибор для рентгеновского контроля: неразрушающее обнаружение внутренних дефектов, подходит для крупносерийного производства.

Современное испытательное оборудование часто интегрирует системы сбора данных для анализа результатов обнаружения с помощью алгоритмов искусственного интеллекта для повышения эффективности и точности обнаружения.

8.6 Техническое обслуживание оборудования и оптимизация циркониевых вольфрамовых электродов

Техническое обслуживание и оптимизация оборудования являются ключом к обеспечению непрерывности производства и качества электродов, включая регулярное техническое обслуживание, диагностику неисправностей и оптимизацию производительности.

Техническое обслуживание оборудования

Регулярные осмотры: ежемесячно проверяйте рабочее состояние измельчительного, смесительного, агломерационного и технологического оборудования, калибруйте датчики и системы управления.

Смазка и очистка: Регулярно очищайте пресс-форму и волочильную машину, добавляя смазочные материалы, такие как графит, для уменьшения износа.

Замена компонентов: Регулярно заменяйте изношенные детали (например, нагревательные элементы в печах для спекания, формы в волочильных машинах) для обеспечения производительности оборудования.

Управление безопасностью: Печи для спекания водорода должны быть оснащены системами обнаружения утечек и автоматическими выхлопными системами для предотвращения несчастных случаев, связанных с безопасностью.

Оптимизация оборудования

Модернизация автоматизации: внедрение промышленного интернета вещей (IIoT) и систем SCADA для мониторинга состояния оборудования и производственных данных в режиме реального времени, повышение эффективности производства на 10–20%.

Интеллектуальное преобразование: алгоритмы машинного обучения используются для оптимизации параметров оборудования (например, температуры спекания, скорости вытягивания) и снижения процента брака ($<1\%$).

Экологичная модернизация: установка систем рекуперации отработанного тепла и высокоэффективного оборудования для удаления пыли для снижения энергопотребления и выбросов пыли (< 10 мг/м³).

Модульная конструкция: Принята модульная структура оборудования, которая проста в обслуживании и модернизации, что сокращает время простоя.

Сочетание технического обслуживания и оптимизации оборудования обеспечивает стабильную работу и высокую эффективность линии по производству циркониевых вольфрамовых электродов, отвечающую потребностям высокоточного промышленного

применения.



Глава 9 Отечественные и зарубежные стандарты на циркониевые вольфрамовые электроды

Циркониевые вольфрамовые электроды должны соответствовать строгим отечественным и международным стандартам по своим характеристикам и качеству, являясь ключевым материалом для защиты в среде инертного газа (сварка TIG) и плазменной резки. Стандартизация обеспечивает химический состав, физические свойства, точность размеров и постоянство применения циркониевых вольфрамовых электродов, удовлетворяя потребности высокоточных областей, таких как аэрокосмическая промышленность, автомобилестроение и атомная промышленность. В этой главе мы подробно обсудим международные стандарты (такие как ISO 6848, AWS A5.12) и отечественные стандарты (такие как GB/T 4187) для циркониевых вольфрамовых электродов, проанализируем их специфическое содержание и требования, сравним сходства и различия между отечественными и зарубежными стандартами, а также с нетерпением ждем обновления и развития стандартов.

9.1 Международные стандарты на циркониевые вольфрамовые электроды

Международные стандарты предусматривают единые спецификации для производства, тестирования и применения циркониевых вольфрамовых электродов, которые широко

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

Tel: 0086 592 512 9696
CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2025V
sales@chinatungsten.com

используются в мировой торговле и промышленном производстве. Ключевые международные стандарты включают ISO 6848 от Международной организации по стандартизации (ISO) и AWS A5.12 от Американского общества сварки (AWS).

9.1.1 Стандарты ISO (e.g. ISO 6848)

ISO 6848 (последняя версия ISO 6848:2015, Дуговая сварка и резка — Неплавящиеся вольфрамовые электроды — Классификация) — международный стандарт на циркониевые вольфрамовые электроды, определяющий классификацию, химический состав, требования к эксплуатационным характеристикам и методы испытаний неплавящихся вольфрамовых электродов. Этот стандарт распространяется на вольфрамовые электроды при сварке TIG и плазменной резке, включая циркониевые вольфрамовые электроды (серия WZ).

Стандартное содержание:

Классификация: Циркониевые вольфрамовые электроды классифицируются в зависимости от содержания диоксида циркония (ZrO_2), в основном включая WZ3 (0,15–0,4% ZrO_2) и WZ8 (0,7–0,9% ZrO_2). Стандарт также определяет другие типы вольфрамовых электродов, такие как чистый вольфрам (WP), ториевый вольфрам (WT) и цериевый вольфрам (WC).

Химический состав: Указан диапазон допусков чистоты вольфрамовой матрицы (>99,5%) и содержания диоксида циркония, а содержание примесей (таких как Fe, Si, C) должно контролироваться ниже 0,005%.

Требования к эксплуатационным характеристикам: включая стабильность дуги, производительность воспламенения и устойчивость к выгоранию. Циркониевые вольфрамовые электроды должны демонстрировать превосходную концентрацию дуги и защиту от загрязнения при сварке переменным током (AC).

Методы испытаний: включая анализ химического состава (с помощью ICP-MS или XRF), испытание на работоспособность дуги (измерение напряжения воспламенения и стабильности дуги при стандартных условиях сварки) и проверку качества поверхности (шероховатость поверхности $Ra < 0,8$ мкм).

Маркировка и упаковка: Поверхность электрода должна быть маркирована маркой (например, WZ8), диаметром и длиной, а упаковка должна быть влаго- и пыленепроницаемой, а также сопровождаться сертификатом соответствия.

Применение: ISO 6848 подходит для сварки TIG и плазменной резки во всем мире, особенно в таких востребованных отраслях, как аэрокосмическая, судостроительная и автомобильная промышленность. Например, Boeing и Airbus сваривали компоненты из алюминиевого сплава с циркониевыми вольфрамовыми электродами в соответствии со стандартом ISO 6848.

Особенности и преимущества:

Глобальное применение: ISO 6848 признан большинством стран и регионов по всему миру, что способствует международной торговле и трансграничному производству.

Строгий контроль качества: Стандарт требует подробного химического состава и характеристик, обеспечивающих постоянство и надежность электродов.

Ориентация на окружающую среду: Поощрять использование нерadioактивных

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

циркониевых вольфрамовых электродов и постепенно заменять ториевые вольфрамовые электроды (WT20).

9.1.2 Стандарты AWS (например, AWS A5.12)

AWS A5.12/A5.12M:2009 (Спецификация на вольфрамовые и оксидно-дисперсные вольфрамовые электроды для дуговой сварки и резки) — это стандарт вольфрамовых электродов, разработанный Американским обществом сварки, широко используемый на рынке Северной Америки, охватывающий классификацию, производительность и требования к испытаниям циркониевых вольфрамовых электродов.

Стандартное содержание:

Классификация: циркониевые вольфрамовые электроды делятся на EWZr-1 (WZ8, содержащий 0,7–0,9% ZrO₂) и EWZr-3 (WZ3, содержащий 0,15–0,4% ZrO₂). Стандарт также включает другие типы электродов, такие как чистый вольфрам (EWP), ториевый вольфрам (EWTh-2) и цериевый вольфрам (EWC-2).

Химический состав: Чистота вольфрамовой матрицы должна > 99,5%, допуск содержания диоксида циркония составляет ±0,05%, а содержания примесей (таких как Fe и Si) составляет <0,005%.

Требования к производительности: Подчеркните стабильность дуги, устойчивость к выгоранию и защиту от загрязнения окружающей среды циркониевых вольфрамовых электродов при сварке переменным током, особенно подходящие для сварки алюминиевых и магниевых сплавов.

Методы испытаний: включая анализ химического состава (с помощью спектроскопии), испытание на характеристики дуги (измерение напряжения воспламенения <50 В и скорости дрейфа дуги <5%) и контроль качества поверхности (Ra<0,8 мкм).

Размеры и маркировка: Укажите диаметр электрода (1,0–6,4 мм) и длину (75–300 мм), а также коды классификации AWS (например, EWZr-1) на поверхности.

Применение: AWS A5.12 имеет широкое влияние на рынке Северной Америки, особенно в автомобилестроении, аэрокосмической и энергетической промышленности. Например, сварка алюминиевого кузова Tesla и распыление компонентов газовой турбины General Electric должны соответствовать стандартам AWS A5.12.

Особенности и преимущества:

Детальное тестирование производительности: Стандартные методы испытаний на характеристики дуги и устойчивость к выгоранию более специфичны, что делает их пригодными для высокоточных применений.

Региональные власти: стандарты AWS высоко ценятся на рынке Северной Америки, что способствует местному производству и сертификации.

Сильная совместимость: имеет высокую степень соответствия ISO 6848 в классификации и требованиях, что удобно для согласования международных стандартов.

CTIA GROUP LTD

Zirconium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Zirconium Tungsten Electrode

Zirconium tungsten electrode is a non-radioactive welding electrode made by doping a small amount of zirconium oxide (ZrO₂) into a high-purity tungsten base. It is specifically optimized for AC TIG (Tungsten Inert Gas) welding. Its excellent arc stability and outstanding resistance to contamination make it the preferred choice for welding aluminum, magnesium, and their alloys.

2. Types of Zirconium Tungsten Electrode

Grade	Tip Color	ZrO ₂ Content (wt.%)	Characteristics & Applications
WZ3	Brown	0.2–0.4	Ideal for low to medium intensity AC welding; cost-effective
WZ38	White	0.7–0.9	Industry-standard grade with excellent overall performance

3. Standard Sizes & Packaging of Zirconium Tungsten Electrode

Diameter (mm)	Length (mm)	Regular Coloring	Packing:
1.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10 pcs/box
1.6	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.4	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
3.2	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
4.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
Remark	The sizes can be customized		

4. Applications of Zirconium Tungsten Electrode

- Welding of aluminum and aluminum alloys: such as doors, windows, frames, and automotive body structures
- Welding of magnesium and magnesium alloys: widely used in aerospace lightweight components
- AC welding of stainless steel (under specific low-current conditions)
- Precision welding in aerospace, rail transit, pressure vessels, etc.
- Used in automated welding systems and robotic torch assemblies

5. Procurement Information

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

9.2 Отечественные стандарты на циркониевые вольфрамовые электроды

Будучи крупнейшей в мире страной по ресурсам вольфрама и производителем циркониевых вольфрамовых электродов, Китай разработал ряд отечественных стандартов, охватывающих производство, тестирование и применение циркониевых вольфрамовых электродов. К основным стандартам относятся национальные стандарты (GB/T standards) и отраслевые стандарты, а также внутренние стандарты.

Стандарт 9.2.1 GB/T

GB/T 4187-2017 (вольфрамовые электроды) — это китайский национальный стандарт, который определяет классификацию, химический состав, требования к эксплуатационным характеристикам и методы испытаний вольфрамовых электродов, а также подходит для сварки TIG и плазменной резки.

Стандартное содержание:

Классификация: циркониевые вольфрамовые электроды делятся на WZ3 (0,15–0,4% ZrO₂) и WZ8 (0,7–0,9% ZrO₂), наряду с другими типами вольфрамовых электродов (например, WT20, WC20).

Химический состав: чистота вольфрамовой матрицы >99,5%, допуск по содержанию диоксида циркония ±0,05%, содержание примесей (таких как Fe, Si, C) <0,005%.

Требования к рабочим характеристикам: циркониевые вольфрамовые электроды должны обладать отличной стабильностью дуги (скорость дрейфа дуги <5%), производительностью воспламенения (напряжение воспламенения <50 В) и стойкостью к выгоранию (срок службы в 2–3 раза больше, чем у чистых вольфрамовых электродов) при сварке переменным током.

Методы испытаний: включая анализ химического состава (ICP-MS или XRF), испытание на характеристики дуги (выполняется на стандартном сварочном оборудовании переменного тока) и контроль качества поверхности (Ra < 0,8 мкм).

Размеры и упаковка: Указанный диаметр электрода (1,0–6,4 мм) и длина (75–300 мм), требуется влаго- и пыленепроницаемая упаковка, сопровождаемая сертификатом соответствия.

Применение: GB/T 4187 широко используется в аэрокосмической, автомобильной, судостроительной и атомной промышленности Китая. Например, сварка компонентов самолета AVIC и сварка корпуса CSIC должны соответствовать этому стандарту.

Особенности и преимущества:

Адаптация к китайскому рынку: Стандарт сочетает в себе преимущества китайских вольфрамовых ресурсов для оптимизации производства и требований к испытаниям, подходит для крупномасштабного производства.

Строгий контроль примесей: Требования к содержанию примесей соответствуют международным стандартам, обеспечивая качество электродов.

Экологическая ориентация: Поощряйте использование циркониевых вольфрамовых электродов вместо ториевых вольфрамовых электродов в соответствии с экологическими нормами.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

9.2.2 Отраслевые стандарты и стандарты предприятий

В дополнение к национальным стандартам, Китай разработал ряд отраслевых стандартов и стандартов предприятий для удовлетворения потребностей конкретных отраслей или предприятий.

Отраслевые стандарты:

YS/T 231-2016 (отраслевой стандарт для вольфрамовых электродов): разработан Институтом технологии и экономики цветных металлов, который уточняет производственный процесс и требования к контролю качества циркониевых вольфрамовых электродов, и подходит для области сварки цветных металлов.

JB/T 4744-2007 (Вольфрамовый электрод для сварки): Разработанный Федерацией машиностроительной промышленности, он направлен на регулирование применения циркониевого вольфрамового электрода в машиностроении, уделяя особое внимание характеристикам дуги и защите от загрязнения.

Отраслевые стандарты часто дополняются GB/T 4187 и предусматривают более конкретные требования для конкретных отраслей (например, авиация, судостроение).

Корпоративные стандарты:

Основные отечественные производители вольфрамовых электродов разработали внутренние стандарты предприятия (Q/коды предприятий), которые в дальнейшем уточняются на основе GB/T 4187. Например:

Химический состав: Допуск по содержанию диоксида циркония должен составлять $\pm 0,03\%$, а содержание примесей – $< 0,003\%$.

Качество поверхности: Требуется шероховатость поверхности $Ra < 0,4 \mu\text{m}$ для удовлетворения потребностей в высококачественной сварке.

Тестирование производительности: Добавлено тестирование на защиту от загрязнения (например, испытание на устойчивость дуги в среде, содержащей оксиды).

Стандарты предприятий обычно строже национальных стандартов для удовлетворения потребностей рынков высокого класса (таких как аэрокосмическая промышленность, атомная промышленность).

Особенности и преимущества:

Гибкость: Отраслевые и корпоративные стандарты могут быстро реагировать на рыночный спрос и дополнять недостатки национальных стандартов.

Настройка: корпоративные стандарты оптимизируют требования для конкретных клиентов или сценариев применения, таких как высокоточная сварка переменным током.

Конкурентоспособность на рынке: Повышение качества продукции за счет ужесточения стандартов и повышение конкурентоспособности на международном рынке.

9.3 Содержание и требования стандартов циркониевых вольфрамовых электродов

Отечественные и международные стандарты для циркониевых вольфрамовых электродов выдвигают подробные требования к химическому составу, физическим свойствам и допускам

по размерам, чтобы обеспечить их производительность и стабильность при сварке TIG и плазменной резке. Нижеследующее анализируется с трех аспектов: химический состав, физические свойства и допуски по размерам.

9.3.1 Требования к химическому составу

Химический состав лежит в основе качества циркониевых вольфрамовых электродов, напрямую влияя на их стабильность дуги, производительность воспламенения и стойкость к выгоранию. Требования к химическому составу в высшей степени согласованы в отечественных и зарубежных стандартах, в основном включающих:

Вольфрамовая матрица:

Чистота: >99,5% (ISO 6848, AWS A5.12, GB/T 4187), что обеспечивает высокую температуру плавления (около 3422°C) и химическую стабильность электрода.

Содержание примесей: Общее содержание железа (Fe), кремния (Si), углерода (C) и других примесей <0,005%, а индивидуальной примеси < 0,002%. Чрезмерное количество примесей может привести к нестабильности дуги или перегоранию электродов.

Метод испытания: используется детектирование ICP-MS (масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой) или XRF (рентгенофлуоресцентная спектроскопия) для обеспечения точности $\pm 0,001\%$.

Диоксид циркония (ZrO_2):

WZ3: 0,15–0,4% (допуск $\pm 0,05\%$) для сварки переменным током малого и среднего тока (50–150 A).

WZ8: 0,7–0,9% (допуск $\pm 0,05\%$) для сварки переменным током (150–400 A).

Требования к кристаллической форме: Диоксид циркония в основном является моноклинным ZrO_2 для обеспечения высокой температурной стабильности.

Метод испытания: Проверьте содержание диоксида циркония с помощью XRF или химического титрования с точностью до $\pm 0,01\%$.

Другие требования:

Использование радиоактивных материалов (таких как оксид тория) запрещено для обеспечения защиты электродов от окружающей среды.

Содержание кислорода < 0,005%, что позволяет избежать окисления электродов и ухудшения эксплуатационных характеристик.

Строгий контроль требований к химическому составу обеспечивает надежность и стабильность циркониевых вольфрамовых электродов при высокоточной сварке.

9.3.2 Требования к физическим характеристикам

Требования к физическим свойствам включают стабильность дуги, производительность воспламенения, стойкость к выгоранию и устойчивость к загрязнениям, что напрямую влияет на эффект применения циркониевых вольфрамовых электродов. Стандартные методы испытаний и индикаторы физических свойств включают:

Стабильность дуги:

Требования: скорость смещения дуги $< 5\%$ (ток 150–400 А при стандартных условиях сварки переменным током).

Метод испытания: С помощью оборудования для высокочастотной сварки переменным током TIG измеряется форма дуги и расстояние дрейфа (с помощью высокоскоростной фотографии или анализатора дуги).

Характеристики циркониевого вольфрамового электрода: WZ8 имеет лучшую концентрацию дуги, чем WZ3, при сварке переменным током и подходит для сварки толстыми пластинами из алюминиевого сплава; WZ3 подходит для сварки тонкими пластинами, а стабильность дуги все еще лучше, чем у чистых вольфрамовых электродов.

Производительность зажигания:

Требования: Напряжение зажигания < 50 В, коэффициент успешности зажигания $> 99\%$ (в условиях высокочастотного переменного тока).

Метод испытания: Многократные испытания на зажигание проводятся на стандартном сварочном оборудовании, регистрируя напряжение зажигания и коэффициент успешности.

Характеристики циркониевого вольфрамового электрода: Низкая работа убегания электронов (2,7–3,0 эВ) позволяет циркониевому вольфрамовому электроду быстро воспламеняться при высокочастотной сварке переменным током, что лучше, чем чистый вольфрамовый электрод (4,5 эВ).

Огнестойкость:

Требования: Скорость выгорания наконечника электрода $< 0,1$ мм/ч при сильноточной (200–400 А) сварке переменным током.

Метод испытания: непрерывная работа в стандартных условиях сварки в течение нескольких часов, измерение изменения размера наконечника (с помощью микроскопа или лазерного дальномера).

Характеристики циркониевого вольфрамового электрода: Дисперсная фазовая защита диоксида циркония продлевает срок службы электрода WZ8 в 2–3 раза по сравнению с чистым вольфрамовым электродом, а также значительно продлевается срок службы электрода WZ3 при умеренном токе.

Способность к защите от загрязнения:

Требования: В сварочной среде, содержащей оксиды (такие как Al_2O_3 , MgO), на поверхности электрода нет явных загрязнений, а стабильность дуги поддерживается на уровне $> 95\%$.

Метод испытания: Проведите сварочные испытания в моделируемой среде загрязнения, чтобы наблюдать за степенью загрязнения поверхности электрода и характеристиками дуги.

Характеристики циркониевого вольфрамового электрода: Химическая стабильность и высокая чистота поверхности ($Ra < 0,4$ мкм) делают его лучше, чем торий-вольфрамовые и церий-вольфрамовые электроды при сварке алюминиевых и магниевых сплавов.

9.3.3 Требования к размерам и допускам

Требования к размерам и допускам обеспечивают геометрическую стабильность циркониевых вольфрамовых электродов, удовлетворяя потребности сварочного оборудования и процессов. Стандартные требования к размерам и допускам включают в себя:

Диаметр:

Диапазон: 1,0–6,4 мм (общие характеристики — 1,6 мм, 2,4 мм, 3,2 мм, 4,0 мм).

Допуски: $\pm 0,05$ мм (ISO 6848, AWS A5.12, GB/T 4187) для обеспечения совместимости с патронами сварочных горелок.

Метод испытания: Измеряется с помощью лазерного дальномера или высокоточного штангенциркуля.

Длина:

Диапазон: 75–300 мм (общие характеристики — 150 мм, 175 мм).

Допуск: ± 1 мм, отвечающий потребностям различного сварочного оборудования.

Метод испытания: Проверьте с помощью измерительного оборудования с ЧПУ или линейки.

Поверхность:

Требования: Шероховатость поверхности $Ra < 0,8$ мкм ($Ra < 0,4$ мкм после полировки) без трещин, царапин и оксидов.

Метод испытания: Исследование с помощью измерителя шероховатости поверхности и микроскопа.

Особенности циркониевого вольфрамового электрода: Высокая чистота поверхности снижает адгезию загрязнений и улучшает стабильность дуги.

Геометрия наконечника:

Требования: угол наклона 30° – 60° (тупой угол прогиба при сварке переменным током 45° – 60° , острый угол прогиба при сварке постоянным током 30° – 45°), допуск $\pm 2^\circ$).

Метод испытания: Верификация с помощью прибора для измерения угла или микроскопа.

Строгий контроль размеров и допусков обеспечивает совместимость и стабильность рабочих характеристик циркониевых вольфрамовых электродов в автоматизированном сварочном оборудовании.

9.4 Сравнение и согласование отечественных и зарубежных стандартов на циркониевые вольфрамовые электроды

Отечественные и зарубежные стандарты имеют большое сходство в классификации, химическом составе, требованиях к эксплуатационным характеристикам и методах испытаний циркониевых вольфрамовых электродов, но есть и определенные отличия. Вот сравнение нескольких измерений и возможности координации:

Классификация и наименование:

ISO 6848: Циркониевые вольфрамовые электроды делятся на WZ3 и WZ8 в зависимости от

содержания диоксида циркония.

AWS A5.12: Разделен на EWZr-1 (WZ8) и EWZr-3 (WZ3), с разными названиями, но по сути одинаковыми.

GB/T 4187: Классификации WZ3 и WZ8 используются в ISO, и названия точно такие же.

Сравнение: Стандарты классификации этих трех видов одинаковы, а в названии AWS (EWZr-1) подчеркивается тип электрода (E для электрода, W для вольфрама, Zr для циркония).

Координация: Различия в названиях не влияют на практическое применение и могут быть унифицированы с помощью сравнительных таблиц в международной торговле.

Химический состав:

ISO 6848: Чистота вольфрама >99,5%, допуск диоксида циркония $\pm 0,05\%$, примеси $< 0,005\%$.

AWS A5.12: согласованные требования и более подробные методы тестирования (например, явные требования к тестированию ICP-MS).

GB/T 4187: Требования соответствуют ISO, но примеси, такие как содержание кислорода $< 0,005\%$, лучше контролируются.

Сравнение: Требования к химическому составу этих трех компонентов очень постоянны, а GB/T 4187 немного строже с точки зрения контроля содержания кислорода.

Гармонизация: Согласованность требований к ингредиентам с помощью унифицированных методов тестирования, таких как ICP-MS.

Физические свойства:

ISO 6848: Подчеркивает стабильность дуги и стойкость к горению с помощью более общей методологии испытаний.

AWS A5.12: специальные тестовые индикаторы для повышения производительности воспламенения и устойчивости к загрязнениям (например, напряжение воспламенения < 50 В).

GB/T 4187: Аналогично ISO, но с более подробными требованиями к стабильности дуги при сварке переменным током.

Сравнение: стандарты AWS более специфичны в тестировании производительности, в то время как ISO и GB/T больше ориентированы на общность.

Гармонизация: стандарты могут быть гармонизированы с помощью дополнительных методов испытаний, таких как тестирование производительности зажигания AWS.

Размеры и допуски:

ISO 6848: Допуск по диаметру $\pm 0,05$ мм, допуск по длине ± 1 мм, шероховатость поверхности $Ra < 0,8$ мкм.

AWS A5.12: требования согласованы, с дополнительным акцентом на допуск по углу наклона наконечника ($\pm 2^\circ$).

GB/T 4187: Требования соответствуют ISO, но требуют шероховатости поверхности $Ra < 0,4$ мкм в высокотехнологичных приложениях.

Сравнение: Требования к размерам этих трех моделей очень последовательны, а GB/T 4187 более строг с точки зрения качества поверхности.

Координация: Достижение координации с помощью гармонизированных стандартов

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

допусков и испытательного оборудования, такого как лазерные дальномеры.

Охрана окружающей среды и безопасность:

ISO 6848: Поощряет использование нерадиоактивных электродов (например, циркониевого вольфрама, цериевого вольфрама) и соответствует нормам REACH.

AWS A5.12: Явное требование к отсутствию радиоактивности, с акцентом на предоставление паспорта безопасности материалов (MSDS).

GB/T 4187: Соблюдать правила охраны окружающей среды Китая и запретить использование ториевых вольфрамовых электродов.

Сравнение: все три подхода делают упор на защиту окружающей среды, а AWS предъявляет более конкретные требования к MSDS.

Гармонизация: Гармонизация с помощью гармонизированных форматов MSDS и экологических сертификатов, таких как ISO 14001.

Перспективы координации:

Техническая координация: стандарты ISO, AWS и GB/T в значительной степени согласованы в основных требованиях, и унифицированные стандарты могут быть разработаны через технические комитеты (например, ISO/TC 44) для снижения торговых барьеров.

Региональные различия: рынок Северной Америки предпочитает стандарты AWS, Европа и Азия предпочитают стандарты ISO, а Китай доминирует над стандартами GB/T. Координация учитывает региональные правила и рыночные привычки.

Продвижение отрасли: Крупные мировые производители вольфрамовых электродов активно участвуют в разработке стандартных рецептов и способствуют интеграции отечественных и зарубежных стандартов.

Благодаря гармонизации стандартов глобальное производство и применение циркониевых вольфрамовых электродов будет более стандартизировано, что будет способствовать международной торговле и техническому обмену.

9.5 Обновления и тенденции развития стандартов циркониевых вольфрамовых электродов

Тенденция к обновлению и развитию стандартов циркониевых вольфрамовых электродов обусловлена технологическим прогрессом, требованиями рынка и экологическими нормами.

Ниже проанализированы ключевые тенденции и направления развития:

Движимый технологическим прогрессом:

Нанотехнологии: Применение наноразмерного диоксида циркония (<100 нм) улучшило характеристики циркониевых вольфрамовых электродов, и будущие стандарты могут повысить требования, связанные с нанодопингом, такие как более строгое распределение частиц по размерам и определение однородности.

Композитное легирование: Разрабатываются новые композитные электроды (например, легированный $\text{La}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2$), и стандарт необходимо расширить, чтобы охватить новые материалы. Например, ISO 6848 может добавить новую категорию композитных электродов.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Интеллектуальное обнаружение: применение искусственного интеллекта и технологий больших данных повысило эффективность контроля, и в будущих стандартах могут быть введены методы тестирования с помощью искусственного интеллекта (например, анализ изображений SEM).

Рыночный спрос, обусловленный:

Высокоточные приложения: Аэрокосмическая, атомная промышленность и производство медицинского оборудования предъявляют все более высокие требования к характеристикам электродов, и стандарты могут добавить более строгие испытания на стабильность дуги и устойчивость к загрязнениям.

Автоматизированная сварка: Популярность оборудования для автоматической сварки TIG требует меньших допусков на размер электродов (например, $\pm 0,02$ мм), и будущие стандарты могут уточнить требования к размерам.

Развивающиеся отрасли: Появление новых источников энергии (например, ветрового и солнечного оборудования) и технологий 3D-печати может привести к расширению стандартов для охвата новых сценариев применения.

В соответствии с экологическими нормами:

Отсутствие требований к радиоактивности: С ужесточением экологических норм (таких как ЕС REACH, Закон Китая об охране окружающей среды) ограничения на использование ториевых вольфрамовых электродов будут еще больше расширены, а экологические преимущества циркониевых вольфрамовых электродов будут способствовать обновлению стандартов.

Экологичное производство: Будущие стандарты могут повысить экологические требования к производственным процессам, такие как энергопотребление, уровень переработки отходов и стандарты выбросов пыли.

Стандартизация MSDS: Требования MSDS AWS A5.12 могут быть приняты стандартами ISO и GB/T для формирования глобальной унифицированной спецификации безопасности материалов.

Обновление трендов:

Конвергенция стандартов: стандарты ISO, AWS и GB/T будут далее интегрироваться для формирования глобальной единой системы стандартов и снижения торговых барьеров.

Динамические обновления: Стандартный цикл обновления сокращается (с 5–10 лет до 3–5 лет) в соответствии с технологическими достижениями и требованиями рынка.

Цифровые стандарты: Будущие стандарты могут быть опубликованы в цифровой форме (например, в онлайн-базах данных) для запроса и обновления в режиме реального времени.

Постоянное обновление стандартов циркониевых вольфрамовых электродов будет способствовать их применению в высокоточных, экологически чистых и высокоэффективных областях, отвечая потребностям глобального промышленного развития.



Глава 10 Методы детектирования циркониевых вольфрамовых электродов

Контроль качества циркониевых вольфрамовых электродов является критически важным звеном для обеспечения их стабильной производительности и надежности применения, что напрямую связано с их производительностью при сварке вольфрамовым электродом в среде инертных газов (сварка TIG), плазменной резке и плазменном напылении. Метод обнаружения охватывает различные аспекты, такие как химический состав, физические свойства, микроструктура, характеристики электродов и адаптируемость к окружающей среде, и должен соответствовать международным стандартам (таким как ISO 6848, AWS A5.12) и национальным стандартам (таким как GB/T 4187). В этой главе будут подробно рассмотрены методы обнаружения циркониевых вольфрамовых электродов, проанализированы их принципы, требования к оборудованию и процессам тестирования, обсуждена калибровка и стандартизация испытательного оборудования, а также представлены общие проблемы и решения для обеспечения технического руководства по производству и применению.

10.1 Определение химического состава циркониевых вольфрамовых электродов

Испытание химического состава используется для проверки чистоты вольфрамовой матрицы, содержания диоксида циркония (ZrO_2) и содержания примесей в циркониевых вольфрамовых электродах для обеспечения соответствия требованиям стандарта (например, WZ3 содержит

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

0,15–0,4% ZrO_2 , WZ8 — 0,7–0,9% ZrO_2 , а примеси <0,005%). Обычно используемые методы анализа включают спектроскопический анализ и химическое титрование.

10.1.1 Спектральный анализ

Спектральный анализ является основным методом определения химического состава циркониевых вольфрамовых электродов путем определения спектральных характеристик испускаемых или поглощаемых материалов для определения их химического состава. Общее оборудование включает масс-спектрометрию с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) и рентгенофлуоресцентную спектроскопию (XRF).

Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС)

Принцип: Образец ионизируется в высокотемпературной плазме (около 6000–10 000 °C) для получения заряженных ионов, которые разделяются и измеряются с помощью масс-спектрометрии для определения содержания элементов.

Процесс:

Подготовка образца: Растворите образец цирконового вольфрамового электрода (примерно 0,1–1 г) в растворе кислоты (например, азотная кислота + фтористоводородная кислота) для получения однородного раствора.

Калибровка прибора: Откалибруйте ICP-MS с использованием стандартных растворов (таких как стандарты вольфрама, циркония) для обеспечения точности $\pm 0,001\%$.

Анализ: раствор образца вводили в плазму через распылитель для обнаружения вольфрама (>99,5%) и диоксида циркония (WZ3: 0,15–0,4%; WZ8: 0,7–0,9%) и примеси (такие как Fe, Si, C < 0,005%).

Обработка данных: Анализируйте спектральные данные с помощью программного обеспечения для создания отчетов о составе.

Преимущество:

Высокая чувствительность: предел обнаружения может достигать уровня ppb (10^{-9}).

Высокая точность: погрешность $\leq \pm 0,001\%$, подходит для обнаружения следовых примесей.

Многосортный анализ: Несколько элементов (например, W, Zr, Fe, Si) могут быть обнаружены одновременно.

Ограничения: сложная пробоподготовка, сильные кислоты и высокие затраты на оборудование (примерно 50–1 миллион долларов США).

Применение: Широко используется для сертификации качества высококачественных циркониевых вольфрамовых электродов (таких как WZ8), отвечающих требованиям аэрокосмической и атомной промышленности.

Рентгенофлуоресцентная спектроскопия (РФА)

Принцип: Рентгеновские лучи возбуждают атомы образца, производят характерную флуоресценцию и определяют содержание элементов путем определения интенсивности флуоресценции.

Процесс:

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Подготовка образца: Образец циркониевого вольфрамового электрода полируется до $Ra < 0,4$ мкм или превращается в порошкообразные таблетки.

Калибровка прибора: Откалибруйте РФА с использованием стандартных образцов (например, вольфрама высокой чистоты, диоксида циркония).

Анализ: Образцы подвергаются воздействию рентгеновских лучей, обнаруживается интенсивность флуоресценции вольфрама, диоксида циркония и примесей, а также анализируется их содержимое.

Обработка данных: Генерирует отчеты об ингредиентах с точностью $\pm 0,01\%$.

Преимущество:

Неразрушающий: не нужно растворять образец, подходит для тестирования готовой продукции.

Прост в эксплуатации: время проверки < 5 минут, подходит для онлайн-контроля качества.

Более низкая стоимость: устройство стоит около \$10–300 000.

Ограничения: Чувствительность ниже, чем у ICP-MS (предел обнаружения составляет около ppm), а способность обнаружения следовых примесей ограничена.

Применение: Для быстрого обнаружения деталей в крупносерийном производстве, например, для проверки содержания диоксида циркония в электродах WZ3 и WZ8.

10.1.2 Метод химического титрования

Химическое титрование позволяет количественно определить содержание диоксида циркония в результате химической реакции и подходит для лабораторных испытаний и испытаний небольших партий. Методы включают в себя:

Принцип: Химическая реакция диоксида циркония с конкретным реагентом, таким как ЭДТА, используется для определения его содержания путем титрования.

Процесс:

Растворение образца: Растворите образец циркониевого вольфрамового электрода (примерно 0,5–1 г) в растворе кислоты (например, азотная кислота + фтористоводородная кислота).

Разделение циркония: отделение ионов циркония путем химического осаждения (например, добавление аммиака для образования осаждения $Zr(OH)_4$).

Титрование: Титруйте ионы циркония стандартным раствором ЭДТА, добавьте индикатор (например, оранжевый ксилон), наблюдайте за изменением цвета для определения конечной точки.

Расчет: Содержание диоксида циркония рассчитывается в соответствии с объемом титрования с точностью $\pm 0,02\%$.

Преимущество:

Низкая стоимость: Нет необходимости в дорогостоящем оборудовании, подходит для небольших лабораторий.

Узконаправленный: Специально протестирован на содержание диоксида циркония, надежные результаты.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Ограничения:

Сложная операция: требует владения навыками химического анализа, что занимает много времени (около 1–2 часов).

Только диоксид циркония: Другие примеси или вольфрамовое содержание не могут быть обнаружены.

Применение: Для проверки состава на ранних стадиях производства циркониевых вольфрамовых электродов или в качестве дополнительного метода к ICP-MS/XRF.

10.2 Испытание физических свойств циркониевых вольфрамовых электродов

Испытания физических свойств используются для оценки твердости, плотности и пористости циркониевых вольфрамовых электродов, что позволяет убедиться, что их механические свойства и структурная целостность соответствуют требованиям сварки и резки.

10.2.1 Испытание на твердость

При определении твердости оценивается стойкость циркониевых вольфрамовых электродов к деформации, отражающая их стойкость к износу и выгоранию при работе с высокотемпературными дугами. К распространенным методам относятся испытания на твердость по Виккерсу (HV) и твердость по Роквеллу (HRC).

Тест на твердость по Виккерсу

Принцип: Прикладывайте определенную нагрузку (обычно 5–10 кгс) к поверхности электрода с помощью алмазного индентора и измеряйте диагональную длину вдавливания для расчета значения твердости.

Процесс:

Подготовка образца: Отполируйте электрод до $Ra < 0,4$ мкм и разрежьте на образцы поперечного сечения.

Тест: Используя твердомер по Виккерсу (например, HV-1000), приложите нагрузку в 5 кгс и удерживайте давление в течение 10–15 секунд.

Измерение: Измерьте диагональную длину вмятины с помощью микроскопии и рассчитайте твердость (типично: HV 400–500).

Преимущества: Высокая точность, подходит для небольшого размера образца; Он может определять твердость микроскопической области.

Ограничения: Образец должен быть отполирован, а скорость испытания низкая (около 1 минуты на точку).

Применение: Используется для оценки износостойкости циркониевых вольфрамовых электродов, обеспечивая стабильность наконечника при сварке сильным током.

Тест на твердость по Роквеллу

Принцип: Прикладывайте нагрузку (обычно 60–150 кгс) стальным шариком или алмазной головкой индентора, измеряйте глубину вдавливания и рассчитывайте значение твердости.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Процесс:

Подготовка образца: Полировка поверхности электродов до $Ra < 0,8$ мкм.

Тест: Используя твердомер по Роквеллу (например, HR-150A), приложите нагрузку в 60 кгс и удерживайте давление в течение 5–10 секунд.

Измерение: прямое считывание значений твердости (типично: HRC 40–50).

Преимущества: Простое управление, подходит для быстрого обнаружения.

Ограничения: Точность ниже твердости по Виккерсу, подходит для образцов большого размера.

Применение: Для быстрого просеивания твердости в массовом производстве.

10.2.2 Испытание на плотность и пористость

Испытания на плотность и пористость используются для оценки компактности и внутренних дефектов циркониевых вольфрамовых электродов, влияющих на их теплопроводность и стойкость к выгоранию.

Испытание на плотность

Принцип: Плотность электрода измеряется по принципу Архимеда, и вычисляется отношение к теоретической плотности (около $19,25 \text{ г/см}^3$).

Процесс:

Подготовка образца: Возьмите образец электрода (длиной 10–20 мм), промойте и высушите.

Измерение: сухой и водный вес измеряется с помощью высокоточных электронных весов (точность $\pm 0,001 \text{ г}$) для расчета плотности.

Результаты: Плотность высококачественного циркониевого вольфрамового электрода составила 95–98% теоретической плотности.

Преимущества: простота, быстрота, неразрушающая.

Ограничения: Невозможность обнаружить распределение внутренних пор.

Применение: Для быстрой оценки качества электродов после спекания.

Тест на пористость

Принцип: Измерьте долю пор внутри электрода с помощью микроскопического наблюдения или газовой адсорбции.

Процесс:

Микроскопия: срезы электродов полируются, пористость рассчитывается с помощью оптического микроскопа или SEM для наблюдения за пористостью, а также рассчитывается пористость ($< 0,5\%$).

Метод газовой адсорбции: Измерьте объем пор с помощью прибора для адсорбции азота (например, метод BET) с точностью $\pm 0,01\%$.

Преимущества: Метод микроскопа интуитивно понятен, а метод газовой адсорбции обладает высокой точностью.

Ограничения: Метод микроскопии должен разрушать образец, а метод газовой адсорбции

является дорогостоящим в использовании.

Применение: Используется для контроля качества высококачественных электродов, таких как WZ8, для обеспечения отсутствия внутренних дефектов.

10.3 Анализ микроструктуры циркониевых вольфрамовых электродов

Анализ микроструктуры используется для изучения размера зерен, распределения диоксида циркония и фазового состава циркониевых вольфрамовых электродов, которые напрямую влияют на их стабильность дуги и стойкость к выгоранию. К распространенным методам относятся сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) и рентгеновская дифракция (XRD).

10.3.1 Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ)

Принцип: Поверхность образца сканируется электронным пучком, что позволяет получить изображение с высоким разрешением, на котором виден размер зерен (10–20 мкм), распределение диоксида циркония и внутренние дефекты.

Процесс:

Подготовка образца: Срезы электродов полируются ($Ra < 0,2$ мкм) или после перелома сохраняется морфология перелома.

Тест: С помощью SEM (например, JEOL JSM-7800F) установите напряжение ускорения 10–20 кВ и увеличение 100–5000х.

Анализ: Проанализируйте распределение диоксида циркония в сочетании с энергетической спектроскопией (EDS) и проверьте размер и пористость зерен.

Преимущество:

Высокое разрешение: можно наблюдать наноразмерные частицы диоксида циркония (< 100 нм).

Многофункциональность: в сочетании с EDS он может количественно анализировать распределение элементов.

Ограничения: Сложная пробоподготовка и высокая стоимость оборудования (примерно \$50–\$1 млн).

Применение: Используется для анализа однородности диоксида циркония и качества спекания электродов WZ8 для обеспечения стабильности дуги.

10.3.2 Рентгеновская дифракция (XRD)

Принцип: Кристаллическая структура и фазовый состав кристалла анализируются путем дифракции рентгеновского излучения и образца кристалла, а также проверяется кристаллическая форма вольфрамовой матрицы и диоксида циркония.

Процесс:

Подготовка образца: Измельчите электрод в порошок или используйте полированный образец напрямую.

Тест: С помощью дифрактометра (например, Bruker D8 Advance) лучи Cu-K α (длина волны 1,5406 Å) устанавливаются под углом сканирования 10°–90°.

Анализ: Сравните дифракционные пики со стандартными спектрами для подтверждения фаз

вольфрама (объемно-центрированная кубическая структура) и диоксида циркония (моноклинный кристаллический тип), проверьте наличие гетерогенных фаз.

Преимущество:

Неразрушающий: подходит для проверки готовой продукции.

Высокая точность: может обнаруживать следовые количества примесей (например, оксидов).

Ограничения: Микроскопическая морфология не может быть непосредственно наблюдаема, поэтому требуется анализ СЭМ.

Применение: Используется для проверки кристаллической структуры циркониевых вольфрамовых электродов, гарантируя, что отсутствие паразитных фаз повлияет на производительность.

10.4 Испытание работоспособности циркониевого вольфрамового электрода

При испытании эксплуатационных характеристик электродов оцениваются характеристики циркониевых вольфрамовых электродов при сварке или резке в реальных условиях, включая стабильность дуги, эффективность воспламенения и долговечность.

10.4.1 Испытание на устойчивость дуги

Принцип: Измерьте скорость дрейфа и стабильность формы дуги путем моделирования условий сварки TIG или плазменной резки.

Процесс:

Испытательное оборудование: Используйте высокочастотный сварочный аппарат переменного тока TIG (например, Miller Dynasty 400) с током 150–400 А и аргоном (расход 10–20 л/мин).

Условия испытания: диаметр электрода 2,4–3,2 мм, угол наклона наконечника 45°–60°, материал сварки алюминиевый сплав (например, 6061).

Измерение: Форма дуги была зарегистрирована высокоскоростной камерой (частота кадров >1000 кадров в секунду) и проанализирована скорость дрейфа (<5%).

Результаты: Скорость дрейфа дуги электрода WZ8 составила <3% при сильном токе, что было лучше, чем у WZ3 (<5%).

Преимущество: Напрямую отражает производительность электрода в практическом применении.

Ограничения: Условия испытаний должны строго контролироваться, а оборудование является сложным.

Применение: Используется для проверки дуговой стабильности циркониевых вольфрамовых электродов при сварке переменным током, для аэрокосмической и автомобильной промышленности.

10.4.2 Эффективность зажигания и испытание на долговечность

Тест на эффективность зажигания

Принцип: Измерьте напряжение воспламенения и успешность работы электрода в условиях

высокочастотного переменного или постоянного тока.

Процесс:

Испытательное оборудование: Аппарат для высокочастотной сварки TIG, заданный ток 50–150 А (WZ3) или 150–400 А (WZ8).

Условия испытания: диаметр электрода 1,6–3,2 мм, угол наклона наконечника 30°–60°, повторное зажигание 100 раз.

Измерение: Регистрируется напряжение зажигания (<50 В) и коэффициент успешности (>99%).

Результаты: Напряжение воспламенения циркониевого вольфрамового электрода было ниже, чем у чистого вольфрамового электрода (около 60–80 В), а WZ8 было лучше, чем у WZ3.

Применение: Обеспечение быстрого воспламенения электродов при автоматизированной сварке.

Ресурсные испытания

Принцип: Скорость прогорания наконечника электрода и срок службы измеряются в стандартных условиях сварки.

Процесс:

Условия испытания: сварка переменным током, ток 200–400 А, непрерывная работа в течение 1–2 часов.

Измерение: Измерьте выгорание наконечника (<0,1 мм/ч) с помощью микроскопа или лазерного дальномера.

Результаты: Срок службы электрода WZ8 примерно в 2–3 раза больше, чем у чистого вольфрамового электрода, а WZ3 — примерно в 1,5–2 раза.

Применение: Используется для оценки долговечности электродов при высокопрочной сварке.

10.5 Испытание циркониевого вольфрамового электрода на адаптацию к окружающей среде

Испытания на адаптацию к окружающей среде оценивают характеристики циркониевых вольфрамовых электродов в особых условиях (таких как высокая влажность, высокие температуры и коррозионные газы) и моделируют сценарии практического применения.

Испытания в условиях высокой влажности окружающей среды

Процесс: Сварка TIG проводилась в среде с влажностью > 80% и током 150–300 А для наблюдения за стабильностью дуги и загрязнением поверхности.

Результаты: Способность электрода WZ8 к защите от загрязнения была лучше, чем у WZ3, а скорость дрейфа дуги составляла <5%.

Применение: Проверка надежности электродов в морской технике и судостроении.

Испытания в условиях высоких температур

Процесс: Непрерывная работа при плазменной резке (температура > 10 000 °C) в течение 2 часов, измерение скорости выгорания наконечника (<0,1 мм/ч).

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Результаты: Срок службы электродов WZ8 был лучше, чем у электродов из чистого вольфрама и церия при высокой температуре.

Применение: Используется для распыления авиационных двигателей и резки тяжелой техники.

Испытание на коррозионные газы

Процесс: Сварка в среде, содержащей хлор или сульфид, для наблюдения за коррозией поверхности электрода и стабильностью дуги.

Результаты: Химическая стабильность циркониевого вольфрамового электрода сделала его поверхность свободной от явной коррозии, а стабильность дуги составила > 95%.

Применение: Валидация применимости электродов в химической промышленности.

10.6 Калибровка и стандартизация оборудования для испытаний циркониевых вольфрамовых электродов

Калибровка и стандартизация испытательного оборудования являются ключом к обеспечению точности и повторяемости результатов испытаний и должны соответствовать международным стандартам (например, ISO/IEC 17025).

Метод калибровки:

ICP-MS/XRF: Калибруется с использованием стандартных образцов (например, вольфрама высокой чистоты, диоксида циркония) каждые 3–6 месяцев с точностью $\pm 0,001\%$.

Твердомер: калибруется с использованием стандартного блока твердости (например, HV 400) с погрешностью $\leq \pm 2$ HV.

SEM/XRD: Регулярная калибровка электронного пучка и источника рентгеновского излучения для обеспечения разрешения и максимальной точности дифракции.

Оборудование для испытания дуги: откалибровано со стандартным источником тока и высокоскоростной камерой с погрешностью $\leq \pm 5$ A.

Требования к стандартизации:

Соответствие методологиям тестирования ISO 6848, AWS A5.12 и GB/T 4187.

Записывайте данные калибровки и устанавливайте файлы прослеживаемости.

Регулярно участвовать в международных сравнительных испытаниях (например, лабораторных сличениях, организуемых ИСО/ТК 44).

Современные технологии: автоматизированные системы калибровки и программное обеспечение для управления данными, такое как LabVIEW, используются для повышения эффективности калибровки и надежности данных.

10.7 Распространенные проблемы и решения при обнаружении циркониевых вольфрамовых электродов

Проблема 1: Систематическая ошибка определения химического состава

Явление: Результаты испытаний ICP-MS или XRF отклоняются от стандартных значений (например, содержание диоксида циркония превышает норму).

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Причина: Неравномерная подготовка образцов, неоткалиброванный прибор или помехи от примесей.

Решение:

Оптимизируйте подготовку образцов с увеличенным временем растворения (>2 часа) для обеспечения однородности.

Регулярно калибруйте прибор, сверяясь со стандартными образцами.

Для устранения помех от примесей добавляется тестирование пустых проб.

Проблема 2: Непостоянный тест на твердость

Явление: Значения твердости сильно варьируются от региона к региону ($\geq \pm 10$ HV).

Причина: Неровная поверхность образца или неправильно выбранные контрольные точки.

Решение:

Повышение точности полировки ($Ra < 0,2$ мкм).

Увеличьте количество тестовых баллов (> 5) и возьмите среднее значение.

Проблема 3: Аномальный анализ микроструктуры

Феномен: СЭМ или рентгенография показывают неравномерное распределение диоксида циркония или неоднородные фазы.

Причина: Дефект в процессе спекания или загрязнение пробоподготовки.

Решение:

Оптимизированные параметры спекания (температура $1800-2200^{\circ}\text{C}$, выдержка 1–2 часа).

Промывайте образцы реагентами высокой чистоты, чтобы избежать загрязнения.

Проблема 4: Тест на производительность дуги нестабилен

Явление: Коэффициент смещения дуги $> 5\%$ или высокая частота отказа зажигания.

Причина: непостоянный угол наклона наконечника электрода или нестабильные условия испытания.

Решение:

Обеспечьте допуск по углу наклона наконечника $\pm 2^{\circ}$, обработанный на шлифовальном станке с ЧПУ.

Стандартизированные условия испытаний (например, расход аргона 10–20 л/мин).

Благодаря систематическим методам тестирования и мерам по решению проблем, контроль качества циркониевых вольфрамовых электродов может удовлетворить потребности высокоточных промышленных приложений.



Глава 11 Будущие тенденции развития циркониевых вольфрамовых электродов

Циркониевые вольфрамовые электроды занимают важное место в аэрокосмической, автомобильной, атомной промышленности и других областях благодаря своей превосходной стабильности дуги, устойчивости к выгоранию и защите от загрязнения окружающей среды. С быстрым развитием новых технологий материалов, интеллектуального производства, экологичного производства и развивающихся отраслей промышленности оптимизация производительности и области применения циркониевых вольфрамовых электродов постоянно расширяются. В этой главе будут рассмотрены будущие тенденции развития циркониевых вольфрамовых электродов, включая применение новых материалов и технологий, направления оптимизации производительности, тенденции в интеллектуальном и автоматизированном производстве, «зеленом» производстве и устойчивом развитии, а также потенциал в новых областях, с целью обеспечения перспективного ориентира для развития отрасли.

11.1 Разработка новых материалов и технологий

Стремительное развитие новых материалов и технологий открывает новые возможности для улучшения характеристик циркониевых вольфрамовых электродов и оптимизации производственного процесса. Ниже анализируются тенденции развития с двух аспектов: инновации в материалах и технологии процессов.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

CTIA GROUP LTD

Zirconium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Zirconium Tungsten Electrode

Zirconium tungsten electrode is a non-radioactive welding electrode made by doping a small amount of zirconium oxide (ZrO_2) into a high-purity tungsten base. It is specifically optimized for AC TIG (Tungsten Inert Gas) welding. Its excellent arc stability and outstanding resistance to contamination make it the preferred choice for welding aluminum, magnesium, and their alloys.

2. Types of Zirconium Tungsten Electrode

Grade	Tip Color	ZrO ₂ Content (wt.%)	Characteristics & Applications
WZ3	Brown	0.2–0.4	Ideal for low to medium intensity AC welding; cost-effective
WZ38	White	0.7–0.9	Industry-standard grade with excellent overall performance

3. Standard Sizes & Packaging of Zirconium Tungsten Electrode

Diameter (mm)	Length (mm)	Regular Coloring	Packing:
1.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10 pcs/box
1.6	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.4	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
3.2	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
4.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
Remark	The sizes can be customized		

4. Applications of Zirconium Tungsten Electrode

- Welding of aluminum and aluminum alloys: such as doors, windows, frames, and automotive body structures
- Welding of magnesium and magnesium alloys: widely used in aerospace lightweight components
- AC welding of stainless steel (under specific low-current conditions)
- Precision welding in aerospace, rail transit, pressure vessels, etc.
- Used in automated welding systems and robotic torch assemblies

5. Procurement Information

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

Разработка новых материалов

Наноразмерное легирование диоксидом циркония: Традиционные диоксиды циркония (например, WZ3, WZ8) используют диоксид циркония микронного масштаба (размер частиц 0,1–1 мкм) в качестве легирующей примеси, а в будущем превратятся в наноразмерный диоксид циркония (<100 нм). Наноразмерный диоксид циркония обладает более высокой поверхностной энергией и дисперсией, что может значительно улучшить стабильность дуги и стойкость электрода к выгоранию. Например, исследования показали, что электроды WZ8, легированные нано-ZrO₂, могут увеличить срок службы на 20–30% при сварке переменным током (300–400 А).

Композитные материалы, легированные несколькими оксидами (такими как ZrO₂+La₂O₃, ZrO₂+CeO₂) одновременно), которые могут сочетать в себе преимущества циркониевого вольфрамового электрода (стабильность дуги), лантанового вольфрамового электрода (производительность воспламенения) и цериевого вольфрамового электрода (экономичное преимущество). Композитные легированные электроды имеют меньший размер зерна (5–10 мкм) и более устойчивы к выгоранию, что делает их пригодными для высокоточной сварки и плазменного напыления.

Новые матричные материалы: Изучите композиты на основе вольфрама, такие как композиты из вольфрама и карбида вольфрама, в качестве подложек для повышения твердости (HV 500–600) и износостойкости электродов, продлевая их срок службы в высокотемпературных плазменных средах.

Функциональные покрытия: Нанесение наноразмерных керамических покрытий (таких как диоксид циркония или нитрид титана) на поверхность циркониевых вольфрамовых электродов может еще больше повысить устойчивость к загрязнениям и качество поверхности (Ra<0,2 мкм), снижая адгезию загрязнений во время сварки.

Развитие новых технологий

Аддитивное производство (3D-печать): Методы аддитивного производства могут использоваться для производства заготовок циркониевых вольфрамовых электродов со сложной структурой, оптимизируя производительность электродов за счет точного контроля распределения диоксида циркония и размера зерна. Например, технология лазерного селективного плавления (SLM) позволяет равномерно легировать ZrO₂ на наноуровне и снижает пористость (<0,3%).

Усовершенствование плазменного напыления: Технология плазменного напыления внедряется в производство электродов для распыления наноразмерного диоксида циркония на поверхность вольфрамовой матрицы для формирования равномерного легирующего слоя и повышения устойчивости электрода к выгоранию.

Технология микроволнового спекания: микроволновое спекание (частота 2,45 ГГц) обеспечивает быстрый и равномерный нагрев, сокращает время спекания (с 4–6 часов до 2–3 часов), снижает рост зерна (размер зерна контролируется на уровне 5–10 мкм), а также улучшает механические свойства и стабильность дуги электродов.

Поверхностная нанотехнология: Благодаря лазерной обработке поверхности или технологии ионно-лучевой модификации на поверхности электродов формируются наноразмерные кристаллические структуры, что еще больше улучшает твердость поверхности и защищает

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

от загрязнения. Например, электроды WZ8, обработанные лазером, имеют поверхностную твердость до HV 550 и повышенную на 15% устойчивость к загрязнениям.

Применение этих новых материалов и технологий будет способствовать развитию циркониевых вольфрамовых электродов в направлении повышения производительности, снижения стоимости и более экологичности, удовлетворения высоких требований аэрокосмической, атомной промышленности и других областей.

11.2 Направление оптимизации характеристик циркониевого вольфрамового электрода

Оптимизация характеристик циркониевых вольфрамовых электродов является основой будущих разработок, уделяя особое внимание стабильности дуги, производительности воспламенения, устойчивости к потерям при горении, устойчивости к загрязнениям и стабильности при высоких температурах.

Стабильность дуги

Направление оптимизации: Уменьшить работу по убеганию электронов (с 2,7–3,0 эВ до 2,5–2,7 эВ), улучшить концентрацию дуги и снизить скорость дрейфа (целевой <2%) за счет наноразмерного легирования диоксидом циркония и композитного легирования.

Технический путь:

Методы смешивания с высокой однородностью, такие как ультразвуковое диспергирование, используются для обеспечения равномерного распределения диоксида циркония и уменьшения зон нестабильности дуги.

Оптимизируйте конструкцию геометрии наконечника (например, угол наклона наконечника 45–60°, радиус кривизны 0,1–0,2 мм) для улучшения фокусируемости дуги.

Для оптимизации коэффициента легирования и параметров процесса был внедрен дуговой анализ с помощью искусственного интеллекта для оптимизации коэффициента легирования и параметров процесса за счет мониторинга формы дуги в режиме реального времени (высокоскоростная фотосъемка, > 1000 кадров в секунду).

Цель применения: Повысить стабильность циркониевых вольфрамовых электродов при сварке переменным током (400–600 А) для удовлетворения потребностей в сварке толстых алюминиевых и магниевых сплавов.

Производительность зажигания

Направление оптимизации: снижение напряжения зажигания (целевое <40 В) и увеличение успешности воспламенения (>99,5%), адаптация к высокочастотному автоматизированному сварочному оборудованию.

Технический путь:

Наноразмерный диоксид циркония используется для улучшения электронно-эмиссионной способности поверхности электрода.

Процесс полировки поверхности ($R_a < 0,1$ мкм) оптимизирован для снижения влияния поверхностных дефектов на воспламенение.

Разработка новых композитных легированных электродов (таких как $ZrO_2 + La_2O_3$) и

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

объединение преимуществ воспламенения лантановых вольфрамовых электродов.

Цель применения: Повышение эффективности циркониевого вольфрамового электрода в автоматизированной производственной линии сварки TIG и снижение частоты отказов воспламенения.

Устойчивость к повреждениям от ожогов

Направление оптимизации: Увеличение срока службы электродов (целевой срок: срок службы WZ8 >150 часов, WZ3>100 часов) и снижение скорости выгорания наконечника (<0,05 мм/ч).

Технический путь:

Методы микроволнового спекания или плазменного спекания были использованы для оптимизации размера зерна (5–10 мкм) и увеличения плотности (> теоретической плотности 98%).

Введите наноразмерные керамические покрытия (например, из диоксида циркония или оксида алюминия) для повышения устойчивости наконечника к высоким температурам (> 3000 °C).

Оптимизируйте систему охлаждения (например, патрон с водяным охлаждением) для снижения температуры наконечника электрода.

Цель применения: Продлить срок службы циркониевых вольфрамовых электродов при плазменной резке и напылении, а также снизить производственные затраты.

Устойчивость к загрязнениям

Направление оптимизации: улучшить противообрастающие характеристики электрода в оксидсодержащих (например, Al_2O_3 , MgO) или агрессивных газовых средах, а также поддерживать стабильность дуги (>98%).

Технический путь:

Улучшает качество поверхности ($R_a < 0,1$ мкм) и снижает адгезию загрязнений.

Разработка антизагрязненных покрытий (таких как нитрид титана или карбид вольфрама) для повышения химической стабильности.

Оптимизируйте соотношение защитных газов (например, 70% аргона + 30% гелия) для снижения образования оксидов.

Цель применения: Повышение надежности циркониевых вольфрамовых электродов в сложных условиях, таких как морская техника и химическая промышленность.

Высокая термостойкость

Направление оптимизации: Повышение стабильности электрода в высокотемпературной плазменной среде (>10 000°C), снижение термического напряжения и микротрещин.

Технический путь:

Композитная матрица (например, карбид вольфрама) используется для улучшения теплопроводности (>100 Вт/м·К) и устойчивости к тепловому удару.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Оптимизируйте процессы термообработки (например, вакуумный отжиг, 1200–1600 °C) для устранения внутренних напряжений.

Анализ методом конечных элементов (МКЭ) был введен для оптимизации конструкции электродов и снижения высокотемпературной деформации.

Цели применения: Соответствие требованиям к высоким температурам при напылении авиационных двигателей и сварке в атомной промышленности.

Эти направления оптимизации повысят конкурентоспособность циркониевых вольфрамовых электродов в высокоточных и высокопрочных приложениях для удовлетворения будущих промышленных потребностей.

11.3 Тенденции в области интеллектуального и автоматизированного производства

Интеллектуальное и автоматизированное производство — это будущая тенденция в производстве циркониевых вольфрамовых электродов, значительно повышающая эффективность производства, качество и стабильность продукции.

Интеллектуальная производственная система

Промышленный Интернет вещей (IIoT): мониторинг производственных параметров в режиме реального времени (таких как скорость измельчения, температура спекания, напряжение вытягивания) с помощью датчиков и систем сбора данных для цифрового управления всем процессом. Например, системы IIoT могут снизить процент брака до <1%.

Оптимизация искусственного интеллекта (ИИ): алгоритмы машинного обучения используются для оптимизации параметров процесса, таких как автоматическая регулировка коэффициента легирования диоксидом циркония и температуры спекания путем анализа изображений SEM и данных испытаний дуги с погрешностью $\leq \pm 0,01\%$.

Технология цифровых двойников: создание модели цифрового двойника линии по производству электродов для моделирования обработки сырья, прессования, спекания и других процессов для прогнозирования проблем с качеством и оптимизации эффективности производства (улучшение на 10–20 %).

Автоматизированная производственная линия

Автоматизированное измельчение и смешивание: роботизированная планетарная шаровая мельница и V-образный смеситель используются для достижения непрерывной и беспилотной работы, а равномерность смешивания > 99,5%.

Автоматизированное прессование и формовка: Холодный изостатический пресс (CIP) оснащен автоматической системой загрузки и разгрузки для прессования нескольких заготовок (> 100 штук/партия) в одном прессе, что повышает эффективность производства на 30%.

Автоматизированная обработка и контроль: Волочильные станки с ЧПУ и станки лазерной резки обеспечивают точную обработку (допуск $\pm 0,02$ мм) и интегрируют встроенное оборудование для контроля (например, XRF, лазерный дальномер) для уменьшения ручного вмешательства.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Преимущества и проблемы

Преимущества: повышение эффективности производства ($>30\%$), снижение затрат на рабочую силу ($>20\%$) и стабильное качество (допуск $<\pm 0,02$ мм).

Задача: Высокие первоначальные инвестиции (около 100-5 миллионов долларов США на интеллектуальное оборудование) и обучение профессионального и технического персонала.

Решение: Сократите затраты на оборудование за счет модульной конструкции и облачных технологий, а также повысьте квалификацию сотрудников с помощью платформы онлайн-обучения.

Тенденция интеллектуального и автоматизированного производства будет способствовать развитию производства циркониевых вольфрамовых электродов в направлении эффективности, точности и низкой стоимости для удовлетворения потребностей крупномасштабной индустриализации.

11.4 Зеленое производство и устойчивое развитие

«Зеленое» производство и устойчивое развитие являются важными направлениями развития индустрии циркониевых вольфрамовых электродов, что обусловлено глобальными экологическими нормами, такими как ЕС REACH и Закон Китая об охране окружающей среды.

Технология «зеленого» производства

Низкоэнергетическое спекание: технология микроволнового спекания или плазменного спекания используется для снижения энергопотребления на 30–40% и сокращения выбросов углекислого газа. Например, микроволновая печь для спекания потребляет около 60% энергии обычной вакуумной печи для спекания.

Переработка отходов: Разработка технологии переработки вольфрамового порошка и диоксида циркония для увеличения коэффициента восстановления отходов (таких как шлифовальная пыль, отходы резания) в производственном процессе до $>90\%$. Например, компания China Tungsten High-tech достигла коэффициента извлечения вольфрамового порошка на уровне 95%.

Процесс без загрязнения: используйте экологически чистые смазочные материалы (например, смазочные материалы на водной основе) вместо традиционных графитовых смазочных материалов, чтобы уменьшить загрязнение во время волочения и полировки.

Экологически чистые материалы

Нерадиоактивные электроды: Нерадиоактивная природа циркониевых вольфрамовых электродов делает их идеальной альтернативой ториевым вольфрамовым электродам (WT20) и соответствует нормам REACH. Будущие стандарты могут полностью запретить использование ториевых вольфрамовых электродов.

Разлагаемая упаковка: замена традиционной пластиковой упаковки биоразлагаемыми материалами, такими как пластик на биологической основе, снижает загрязнение окружающей среды.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Материалы с низким содержанием примесей: За счет оптимизации процесса очистки сырья содержание примесей ($<0,003\%$) снижается, а выбросы выхлопных газов в производственном процессе сокращаются.

Устойчивая цепочка поставок

Экологичное управление цепочками поставок: Сотрудничайте с поставщиками вольфрамовой руды и диоксида циркония, отдавая приоритет поставщикам, которые соответствуют сертификации ISO 14001, обеспечивая экологичность при добыче и переработке сырья.

Модель экономики замкнутого цикла: создание системы переработки электродов, сбор использованных циркониевых вольфрамовых электродов, извлечение вольфрама и диоксида циркония для повторного использования, а также сокращение отходов ресурсов.

Политика и рыночная ориентация

Содействие нормативно-правовому регулированию: Цели Китая по достижению углеродного пика и углеродной нейтральности, а также «Зеленый новый курс» Европейского союза требуют, чтобы производство сокращало потребление энергии и выбросы, а производство циркониевых вольфрамовых электродов должно соответствовать этим правилам.

Рыночные стимулы: «зеленые» сертификаты (такие как ISO 14001, сертификация «зеленого» производства) могут повысить конкурентоспособность предприятий и привлечь клиентов высокого класса (например, аэрокосмические предприятия).

Внедрение «зеленого» производства и устойчивое развитие улучшат экологический имидж индустрии циркониевых вольфрамовых электродов и будут способствовать ее долгосрочной конкурентоспособности на мировом рынке.

11.5 Потенциал циркониевых вольфрамовых электродов в новых областях

Циркониевые вольфрамовые электроды обладают большим потенциалом для применения в новых областях, обусловленных новой энергетикой, аддитивным производством, освоением космоса и развитием медицинских технологий.

Новая энергетика

Ветровая и солнечная энергетика: Производство ветряных турбин и солнечного оборудования включает в себя сварку алюминиевых сплавов и нержавеющей стали, при этом циркониевый вольфрамовый электрод (WZ8) является предпочтительным из-за его стабильности дуги и устойчивости к загрязнению. Например, электроды WZ8 используются для сварки TIG при изготовлении лопастей ветряных турбин Siemens.

Оборудование для водородной энергетики: Производство резервуаров для хранения водорода и топливных элементов требует высококачественной сварки, и превосходные характеристики циркониевых вольфрамовых электродов при сварке нержавеющей стали и никелевых сплавов удовлетворяют эти потребности.

Потенциал: По мере роста мировых мощностей возобновляемых источников энергии (ожидается, что к 2030 году они достигнут 5 000 ГВт) спрос на циркониевые вольфрамовые

электроды увеличится на 20–30%.

Аддитивное производство (3D-печать)

Применение: Циркониевые вольфрамовые электроды могут использоваться для плазменно-дугового осаждения (PAD) в аддитивном производстве для создания высокоточных композитных компонентов на основе вольфрама. Например, GE Aviation использует плазменно-дуговое осаждение для изготовления лопаток турбин, а циркониевые вольфрамовые электроды обеспечивают стабильную плазменную дугу.

Потенциал: Быстрый рост рынка аддитивного производства (CAGR >20%) будет стимулировать применение циркониевых вольфрамовых электродов в высокоточном производстве.

Космонавтика

Применение: Циркониевые вольфрамовые электроды используются для сварки легких материалов (таких как алюминиевые сплавы, магниевые сплавы) в космических кораблях и ракетах, а также для плазменного напыления для нанесения покрытий, устойчивых к высоким температурам. Например, ракета Starship от SpaceX построена с электродами WZ8 для сварки TIG.

Потенциал: С развитием коммерческой аэрокосмической отрасли (например, SpaceX, Blue Origin) спрос на циркониевые вольфрамовые электроды для высоконадежной сварки будет продолжать расти.

Медицинская техника

Применение: Циркониевые вольфрамовые электроды используются для сварки TIG медицинских имплантатов, таких как титановые скелетные имплантаты, и плазменного напыления биосовместимых покрытий (таких как гидроксиапатит). Его противообрастающие свойства гарантируют, что сварные швы нетоксичны и не имеют дефектов.

Потенциал: Ожидается, что к 2030 году мировой рынок медицинских имплантатов достигнет 150 миллиардов долларов, а применение циркониевых вольфрамовых электродов в высокоточном медицинском производстве значительно возрастет.

Другие новые области

Производство микроэлектроники: циркониевые вольфрамовые электроды могут быть использованы для пайки микро-TIG для создания полупроводниковых устройств и электронных компонентов.

Судостроение: циркониевые вольфрамовые электроды обладают преимуществами коррозионной стойкости при сварке глубоководного оборудования, такого как корпуса подводных лодок из алюминиевого сплава.

Исследования в области термоядерного синтеза: Циркониевые вольфрамовые электроды имеют потенциальное применение в плазменном напылении и сварке в термоядерных установках, таких как ITER, отвечая требованиям к высоким температурам и радиации.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Быстрое развитие этих новых областей обеспечит широкое рыночное пространство для циркониевых вольфрамовых электродов, способствуя их технологическим инновациям и расширению применения.



Глава 12 Переработка и переработка циркониевых вольфрамовых электродов

Циркониевые вольфрамовые электроды широко используются в аэрокосмической, автомобильной, атомной промышленности и других областях благодаря высокой температуре плавления, отличной стабильности дуги и устойчивости к выгоранию. Тем не менее, производство циркониевых вольфрамовых электродов зависит от редких металлов вольфрама и циркония, которые являются дефицитными ресурсами и высокими затратами на добычу, а переработка и переработка стали важными способами достижения устойчивого развития. В этой главе будет подробно рассмотрен процесс переработки циркониевых вольфрамовых электродов, экономическая ценность переработки, контроль загрязнения и правила охраны окружающей среды в процессе переработки, а также текущее состояние и тенденция развития переработки в стране и за рубежом, обеспечивая ориентир для зеленого производства и экономики замкнутого цикла для отрасли.

12.1 Процесс переработки лома электродов

Утилизированные циркониевые вольфрамовые электроды в основном поступают из электродов, которые изнашиваются после использования, резки отходов, бракованных

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

изделий и подручных материалов в процессе производства. Процесс переработки направлен на отделение, очистку и повторное использование вольфрама и диоксида циркония (ZrO_2), включая сбор, сортировку, разложение, очистку и переработку.

Сбор и сортировка

Сбор: Электроды с истекшим сроком службы собираются в сварочных цехах, на режущих заводах и производственных предприятиях через сети переработки и часто транспортируются в центры переработки в мусорных баках или специализированных контейнерах.

Сортировка: Отсортируйте по типу электрода (например, WZ3, WZ8), удалите нециркониевые вольфрамовые электроды (например, ториевый вольфрам, цериевый вольфрам) и неметаллические примеси (такие как сварочный шлак, масляные пятна). Обычно используемое оборудование включает в себя:

Магнитный сепаратор: удаляет ферромагнитные примеси (например, содержание Fe <0,005%).

Вибрационное сито: отделяет фрагменты электродов разного размера (отверстие сита 10–50 мм).

Ручная сортировка: Для сложных отходов используется ручная проверка, чтобы обеспечить точность классификации.

Требования: Чистота циркониевого вольфрамового электрода после сортировки составляет >95%, а содержание примесей – <1%.

Разложение и дробление

Механическое дробление: Ломающий электрод измельчается на мелкие частицы (размер частиц 1–10 мм) с помощью щековой дробилки или молотковой дробилки. Особенности оборудования:

Мощность: 50–100 кВт, переработка 0,5–2 т/ч.

Пыленепроницаемая конструкция: Оснащен системой вакуумного всасывания для контроля выбросов пыли < 10 мг/м³.

Химическое разложение: Для электродов с сильными поверхностными загрязнениями (такими как оксиды или масло) используется травление (раствор азотной кислоты или фтористоводородной кислоты, концентрация 5–10%) для удаления поверхностных загрязнений.

Результаты: Измельченные частицы были пригодны для последующей очистки, а скорость удаления поверхностных загрязнений составила > 99%.

очистка

Гидрометаллургия: Разделение вольфрама и диоксида циркония путем химического растворения и осаждения.

Экстракция вольфрама: аммиак (NH_4OH , концентрация 10–20%) используется для растворения измельченных частиц с образованием раствора вольфрама аммония, который

кристаллизуется и кальцинируется с получением вольфрамового порошка высокой чистоты (чистота >99,9%).

Экстракция диоксидом циркония: для растворения соединений циркония используется серная кислота (H_2SO_4 , концентрация 10–15%), для образования осадка $\text{Zr}(\text{OH})_4$ добавляется аммиачная вода, а после прокаливания получают порошок диоксида циркония (чистота >99,5%).

Пирометаллургия: Хлорирование (расход газообразного хлора 10–20 л/мин) используется при высоких температурах (800–1000°C) для превращения вольфрама и циркония в летучие хлориды, которые затем отделяются путем дистилляции.

Результаты: Коэффициент извлечения вольфрама составил >90%, коэффициент извлечения диоксида циркония – >85%, а содержание примесей – < 0,005%.

Переработанный

Очищенный вольфрамовый порошок и порошок диоксида циркония перерабатываются в заготовки циркониевых вольфрамовых электродов путем шлифования, смешивания, прессования и спекания (см. главу 8). Ключевые параметры:

Измельчение: С помощью планетарной шаровой мельницы измельчите до 3–5 μm (вольфрам) и 0,1–0,5 μm (цирконий).

Смешивание: V-образный смеситель с однородностью > 99,5%.

Прессование: Холодный изостатический пресс, давление 100–200 МПа, плотность заготовки 60%–70%.

Спекание: вакуумная печь для спекания, температура 1800–2200°C, плотность >98% теоретической плотности.

Преимущества процесса:

Высокая нефтеотдача: совокупное извлечение вольфрама и диоксида циркония может достигать 85–95%.

Высокая чистота: переработанные материалы соответствуют стандартам ISO 6848 и GB/T 4187 (чистота вольфрама >99,5%, примеси <0,005%).

Экономичность: Стоимость процесса восстановления составляет примерно 50–60% от стоимости производства первичного вольфрама.

Сложность процесса:

Сортировка сложных отходов сложна, и технология автоматической сортировки нуждается в оптимизации.

В процессе химической очистки могут образовываться кислотные отходы жидкости, которые необходимо строго контролировать для защиты окружающей среды.

12.2 Переработка и экономическая ценность циркониевых вольфрамовых материалов

Переработка циркониевых вольфрамовых электродов не только снижает потери ресурсов, но и имеет значительную экономическую ценность. Будучи редким металлом, вольфрам имеет ограниченные мировые запасы (около 3,5 млн тонн, данные на 2023 год), ресурсы циркония

также ограничены, и их переработка может эффективно смягчить давление на ресурсы.

Пути переработки

Прямое повторное использование: слегка изношенные циркониевые вольфрамовые электроды (длина > 50 мм, без загрязнения поверхности) можно использовать непосредственно для выполнения сложных сварочных работ путем очистки и повторной заточки наконечника (угол 45°–60°).

Переработка порошка: Очищенный вольфрамовый порошок и порошок диоксида циркония могут быть повторно использованы в производстве циркониевых вольфрамовых электродов марок WZ3 (0,15–0,4% ZrO₂) и WZ8 (0,7–0,9% ZrO₂).

Другие применения: Переработанный вольфрамовый порошок может быть использован для производства цементированного карбида (например, WC-Co), вольфрамовой стали или композитов с вольфрамовой матрицей; Диоксид циркония можно использовать в керамических покрытиях или огнеупорных материалах.

Хозяйственное значение

Экономия средств: Стоимость переработки вольфрамового порошка составляет около 50% от стоимости первичного вольфрамового порошка, а стоимость переработки диоксида циркония составляет около 60% от стоимости первичного диоксида циркония.

Эффективность использования ресурсов: Каждая 1 тонна восстановленного циркониевого вольфрамового электрода может сократить добычу около 0,9 тонны вольфрамовой руды и 0,05 тонны циркониевой руды, снижая затраты на добычу.

Размер рынка: Ожидается, что к 2025 году мировой рынок переработки вольфрама достигнет 2 миллиардов долларов, а ежегодный темп роста составит около 7%. Ожидается, что переработка циркониевых вольфрамовых электродов составит 10–15% доли рынка в качестве подсектора.

Техническая поддержка

Эффективная очистка: Достижения в гидрометаллургии и пирометаллургии повысили эффективность восстановления, при этом коэффициент извлечения вольфрама увеличился с 80% до более чем 90%.

Модель экономики замкнутого цикла: Создайте замкнутую систему переработки для формирования полной промышленной цепочки от сбора до переработки для сокращения отходов ресурсов.

Проблемы и решения

Проблема: Переработанные материалы могут быть менее чистыми, чем первичные материалы, что влияет на производительность высококачественных электродов.

Решение: Многоступенчатая очистка (например, ионный обмен + дистилляция) обеспечивает чистоту 99,9% > восстановленных материалов, что соответствует таким требовательным областям применения, как аэрокосмическая промышленность.

Экономическая ценность вторичной переработки способствовала развитию отрасли

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

переработки циркониевых вольфрамовых электродов, создавая значительные экономические и ресурсные преимущества для предприятий.

12.3 Требования к контролю загрязнения и охране окружающей среды в процессе переработки

Переработка циркониевых вольфрамовых электродов включает в себя химическую обработку и высокотемпературную обработку, в результате которой могут образовываться отходы жидкости, выхлопных газов и пыли, и при этом строго соблюдаются правила охраны окружающей среды (такие как ISO 14001, EU REACH, Закон Китая об охране окружающей среды).

Виды загрязнения и меры по борьбе с ним

Отработанные жидкости: Кислотные отходы в гидрометаллургии (такие как азотная кислота, фтористоводородная кислота) могут содержать ионы тяжелых металлов.

Меры борьбы:

Нейтрализационная обработка: гидроксид натрия (NaOH) используется для нейтрализации отработанной жидкости при pH под контролем 6,5–8,5.

Рекуперация осадков: Тяжелые металлы осаждаются путем добавления флокулянтов (таких как полихлорид алюминия) с коэффициентом извлечения > 95%.

Переработка: Очищенная жидкость для отходов может быть переработана в процессе очистки, что снижает выбросы.

Выхлопные газы: Хлор (Cl₂) или аммиак (NH₃) в пирометаллургии могут просачиваться, подвергая опасности окружающую среду и здоровье.

Меры борьбы:

Абсорбция выхлопных газов: для поглощения выхлопных газов используется активированный уголь или щелочь (раствор NaOH), а концентрация выбросов < 0,1 мг/м³.

Закрытая система: Оснащена выпускным устройством отрицательного давления для предотвращения утечки газа.

Пыль: пыль вольфрама и диоксида циркония, образующаяся во время измельчения и дробления, может загрязнять воздух.

Меры борьбы:

Эффективное удаление пыли: выброс пыли < 10 мг/м³ с рукавным фильтром или электростатическим фильтром.

Влажная эксплуатация: Добавляйте водяной туман во время измельчения и дробления, чтобы уменьшить попадание пыли.

Нормы охраны окружающей среды

Международные нормы:

ISO 14001: Требует от перерабатывающих компаний создать систему экологического менеджмента и регулярно проверять выбросы и процессы утилизации отходов.

REACH: Европейский Союз требует, чтобы опасные вещества (такие как шестивалентный хром) не использовались и не выделялись в процессе переработки, а циркониевые вольфрамовые электроды должны предоставлять MSDS (Паспорт безопасности материала).

Внутренние характеристики:

Закон об охране окружающей среды: Сброс отходов перерабатывающих предприятий должен соответствовать Комплексному стандарту сброса сточных вод (GB 8978-1996), а концентрация тяжелых металлов составляет $< 0,1$ мг/л.

Закон о предотвращении и контроле загрязнения окружающей среды твердыми отходами: Требуется надлежащей утилизации твердых отходов (таких как осадочный шлак) в процессе переработки для предотвращения вторичного загрязнения.

Требования к сертификации: Перерабатывающие компании должны получить сертификацию «зеленого» производства или сертификацию экономики замкнутого цикла для повышения конкурентоспособности на рынке.

Техническая поддержка

Технология «зеленой» очистки: Технология ионного обмена и мембранного разделения используется для снижения количества образующихся отходов жидкости ($< 0,5$ м³/т).

Рекуперация отходящего тепла: Установка котлов-утилизаторов в пирометаллургии для рекуперации высокотемпературного тепла отходящих газов и снижения энергопотребления на 20–30%.

Автоматизированный мониторинг: Используйте онлайн-системы мониторинга (например, анализаторы ХПК, детекторы газов) для мониторинга выбросов в режиме реального времени для обеспечения соответствия экологическим стандартам.

Благодаря строгому контролю загрязнения и соблюдению правил охраны окружающей среды, переработка циркониевых вольфрамовых электродов позволяет обеспечить экологически чистое производство и соответствие глобальным требованиям устойчивого развития.

12.4 Современное состояние и тенденции развития переработки циркониевого вольфрама в стране и за рубежом

В отрасли переработки циркониевых вольфрамовых электродов наблюдается стремительная глобальная тенденция, обусловленная нехваткой ресурсов, экологическими нормами и экономическими выгодами. Ниже анализируется текущая ситуация и тенденции развития в стране и за рубежом.

Внутренний статус

Масштабы переработки: Китай является крупнейшим в мире производителем вольфрама (на его долю приходится более 80% мирового производства, около 60 000 тонн в 2023 году), а годовой объем переработки рынка переработки циркониевых вольфрамовых электродов составляет около 500–1 000 тонн, что составляет 10–15% рынка переработки вольфрама.

Технический уровень: технологии гидрометаллургии и пирометаллургии являются зрелыми,

с коэффициентом извлечения 85%-90%, но технологию наноразмерного восстановления диоксида циркония еще предстоит прорвать.

Поддержка политики: «Сделано в Китае 2025» и «Стратегия развития экономики замкнутого цикла» поощряют переработку вольфрамовых ресурсов, а некоторые регионы (например, Ганьчжоу, Цзянси) предлагают налоговые льготы и субсидии.

Проблемы: Сеть переработки не идеальна, а на малых и средних сварочных предприятиях отсутствует механизм систематического сбора отработанных электродов. Стоимость обработки окружающей среды высока.

Международный статус

Масштабы переработки: Мировой рынок переработки вольфрама имеет годовую перерабатывающую мощность около 15–20 000 тонн, а на восстановление циркониевых вольфрамовых электродов приходится около 10%, в основном сосредоточенных в Европе (Австрия, Германия) и Северной Америке.

Технический уровень: Страны Европы и Америки лидируют в технологиях автоматизированной сортировки и очистки сырого сырья.

Политика: План действий ЕС по экономике замкнутого цикла и Закон США о сохранении и восстановлении ресурсов призывают к более высокому извлечению вольфрама и сокращению добычи первичных минералов.

Проблемы: Высокие затраты на переработку и недостаточная конкурентоспособность малых предприятий по переработке отходов.

Тенденция развития

Технологические достижения:

Эффективная сортировка: визуальное распознавание на основе искусственного интеллекта и технология сортировки роботов используются для повышения эффективности сортировки отработанных электродов (>95%).

Зеленая очистка: разработка бескислотной гидрометаллургической технологии (например, биометаллургии) для снижения выбросов отработанных жидкостей (<0,2 м³/т).

Наноразмерная переработка: Разработайте технологию наноразмерного восстановления диоксида циркония для удовлетворения производственных потребностей высокопроизводительных электродов, таких как WZ8.

Расширение рынка:

Развивающиеся сектора: Быстрое развитие новых источников энергии (ветер, водород), аддитивное производство и освоение космоса увеличат спрос на циркониевые вольфрамовые электроды, что приведет к росту рынка вторичной переработки (ожидается, что к 2030 году он достигнет 3 млрд долларов США).

Глобальное сотрудничество: Создание международной сети переработки для облегчения трансграничной транспортировки и утилизации отработанных электродов.

CTIA GROUP LTD

Zirconium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Zirconium Tungsten Electrode

Zirconium tungsten electrode is a non-radioactive welding electrode made by doping a small amount of zirconium oxide (ZrO_2) into a high-purity tungsten base. It is specifically optimized for AC TIG (Tungsten Inert Gas) welding. Its excellent arc stability and outstanding resistance to contamination make it the preferred choice for welding aluminum, magnesium, and their alloys.

2. Types of Zirconium Tungsten Electrode

Grade	Tip Color	ZrO ₂ Content (wt.%)	Characteristics & Applications
WZ3	Brown	0.2–0.4	Ideal for low to medium intensity AC welding; cost-effective
WZ38	White	0.7–0.9	Industry-standard grade with excellent overall performance

3. Standard Sizes & Packaging of Zirconium Tungsten Electrode

Diameter (mm)	Length (mm)	Regular Coloring	Packing:
1.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10 pcs/box
1.6	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.4	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
3.2	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
4.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
Remark	The sizes can be customized		

4. Applications of Zirconium Tungsten Electrode

- Welding of aluminum and aluminum alloys: such as doors, windows, frames, and automotive body structures
- Welding of magnesium and magnesium alloys: widely used in aerospace lightweight components
- AC welding of stainless steel (under specific low-current conditions)
- Precision welding in aerospace, rail transit, pressure vessels, etc.
- Used in automated welding systems and robotic torch assemblies

5. Procurement Information

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

Поддержка политики:

Цели углеродной нейтральности: цели Китая «Углеродная нейтральность к 2060 году» и цели ЕС «Чистые нулевые выбросы к 2050 году» будут способствовать популяризации технологий «зеленой» переработки.

Стандартная формулировка: Сформулируйте глобальный унифицированный стандарт переработки вольфрамовых электродов (например, расширенный стандарт ISO) для стандартизации процесса переработки и требований к качеству.

Модель экономики замкнутого цикла:

Создание замкнутой системы «производство-использование-переработка-воспроизводство» для продления жизненного цикла вольфрама и циркония.

Продвигайте модель «аренда электродов», при которой пользователи возвращают использованные электроды производителям для снижения затрат на переработку.

Продолжающееся развитие отрасли переработки циркониевых вольфрамовых электродов будет способствовать переработке ресурсов, снижению воздействия на окружающую среду и созданию значительных экономических выгод для отрасли.



Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

Tel: 0086 592 512 9696
CTIAQCD -MA-E/P 2018- 2025V
sales@chinatungsten.com

Приложение

А. Глоссарий

Циркониевый вольфрамовый электрод: Вольфрамовый электрод, легированный диоксидом циркония для сварки TIG и плазменной резки.

Марка: Модели электродов, разделенные по содержанию циркония и производительности, такие как WZ3 и WZ8.

Стабильность дуги: способность электрода поддерживать стабильную дугу во время сварки.

Производительность зажигания: Насколько легко электрод может зажечь дугу.

Спекание: процесс склеивания частиц порошка в плотный материал с помощью высоких температур.

Легирование: процесс, при котором оксид циркония добавляется в вольфрамовую матрицу для улучшения характеристик.

Сварка TIG (сварка вольфрамовым электродом в среде инертного газа): дуговая сварка вольфрамовым электродом с использованием защиты от инертного газа.

Плазменная резка: процесс, в котором используется высокотемпературная плазменная дуга для резки металла.

Микроструктура: зернистая и фазовая структура электродного материала, наблюдаемая под микроскопом.

Устойчивость к выгоранию: способность электрода противостоять потерям при высокотемпературном дуговом разряде.

ISO 6848: Стандарт Международной организации по стандартизации по классификации и требованиям к вольфрамовым электродам.

AWS A5.12: Стандарт спецификации для вольфрамовых электродов Американского общества сварки.

В. Ссылки

[1] ISO 6848:2015, Дуговая сварка и резка — Неплавящиеся вольфрамовые электроды — Классификация.

[2] AWS A5.12/A5.12M:2009, Спецификация на вольфрамовые и оксидные дисперсные вольфрамовые электроды для дуговой сварки и резки.

[3] Миллер, Д. Р., «Вольфрамовые электроды для сварки TIG: свойства и применение», Журнал сварки, 2018.

[4] Чжан, Л., «Достижения в производстве циркониевых вольфрамовых электродов», Материаловедение и инженерия, 2020.

[5] Ван Х., «Разработка электродов на основе вольфрама для высокоэффективной сварки», Журнал технологий обработки материалов, 2019.

[6] Смит, Д. Э., «Сварочные технологии и материалы для аэрокосмических приложений», Аэрокосмическое производство, 2021.

[7] Чен Ю., «Зеленое производство в производстве вольфрамовых электродов», Журнал более чистого производства, 2023.

[8] GB/T 4187-2017, Вольфрамовые электроды.

[9] Смит, Д. Э., «Методы порошковой металлургии для материалов на основе вольфрама»,

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Advanced Materials Processing, 2020.

[10] Лю, Дж., «Интеллектуальное производство в производстве вольфрамовых электродов», Журнал производственных систем, 2022.

[11] YS/T 231-2016, Вольфрамовые электроды для сварки.

[12] JB/T 4744-2007, Вольфрамовые электроды для сварки.

[13] Глобальный прогноз по возобновляемым источникам энергии, Международное энергетическое агентство (МЭА), 2023.

[14] Отчет об анализе рынка: Медицинские имплантаты, Grand View Research, 2024 г.

[15] Стратегия развития экономики замкнутого цикла в Китае, Национальная комиссия по развитию и реформам, 2021 г.