

Энциклопедия иттриевого вольфрамового электрода

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© 2024 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- 2024V
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© 2024 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- 2024V
sales@chinatungsten.com

CTIA GROUP LTD

Yttrium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Yttrium Tungsten Electrode

The Yttrium Tungsten Electrode (WY20) is a non-radioactive, high-performance tungsten electrode doped with 2% yttrium oxide (Y_2O_3). Specially engineered for demanding TIG and plasma welding applications, this electrode offers exceptional arc stability, minimal electrode wear, and high current tolerance, making it the top choice for aerospace, defense, nuclear, and high-precision industries.

2. Key Features of Yttrium Tungsten Electrode

- **Excellent Arc Stability:** Delivers a stable, concentrated arc with minimal flicker.
- **High Current Capacity:** Ideal for high-load DC or AC welding operations.
- **Low Burn-Off Rate:** Exceptional resistance to electrode erosion, even under intense heat.
- **Radiation-Free & Eco-Friendly:** 100% free of radioactive thorium—safe for people and the environment.
- **Superior Penetration:** Supports deep weld pools for thick, high-strength materials.
- **Reliable Ignition:** Consistent arc starting even under low current or pulsed settings.

3. Typical Specifications of Yttrium Tungsten Electrode

Type	Y_2O_3 Content	Color Code	Length (mm)	Diameter (mm)
WY20	1.8% – 2.2%	Blue	50 – 175	1.0 – 6.4

4. Applications of Yttrium Tungsten Electrode

- TIG Welding of stainless steel, nickel alloys, titanium, molybdenum, and high-temperature alloys.
- Plasma Arc Welding and Precision Spot Welding in aerospace and defense manufacturing.
- Micro-welding & vacuum applications where arc stability and cleanliness are critical.
- Suitable for DC (Direct Current) or AC/DC mixed-mode operations.

5. Why Choose Yttrium Tungsten Electrode?

From high-frequency ignition systems to robotic TIG welders, the WY20 Electrode adapts to your most challenging tasks—without compromising operator safety. Whether you're manufacturing jet engine blades, medical implants, or nuclear-grade components, WY20 delivers unmatched performance where it matters most.

6. Procurement Information

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

Каталог

Глава 1 Введение в иттриевые вольфрамовые электроды

- 1.1 Определение и предпосылки иттриевого вольфрамового электрода
 - 1.1.1 Химический состав и основной принцип работы иттрий-вольфрамового электрода
 - 1.1.2 История исследований и разработок и технологическая эволюция иттриевых вольфрамовых электродов
 - 1.1.3 Распространение иттриевых вольфрамовых электродов в высокопроизводительной сварке
- 1.2 Позиционирование на рынке иттриевых вольфрамовых электродов
 - 1.2.1 Сравнительный анализ с другими редкоземельными вольфрамовыми электродами
 - 1.2.2 Состояние мирового рынка и перспективы иттриевых вольфрамовых электродов
 - 1.2.3 Уникальные преимущества иттриевых вольфрамовых электродов

Глава 2 Классификация иттриевых вольфрамовых электродов

- 2.1 Классификация по содержанию оксида иттрия
 - 2.1.1 Производительность и использование электрода из оксида иттрия 2% (WY20)
 - 2.1.2 Разработка электродов с содержанием оксида иттрия по индивидуальному заказу
- 2.2 Классификация в зависимости от процесса сварки
 - 2.2.1 Иттриевый вольфрамовый электрод для сварки TIG
 - 2.2.2 Электроды для плазменно-дуговой сварки и резки
 - 2.2.3 Электроды для специальных процессов (вакуумная сварка, микросварка)
- 2.3 Классификация по форме и техническим условиям
 - 2.3.1 Стандартный стержневой электрод (характеристики диаметра и длины)
 - 2.3.2 Микроигольчатые электроды (для сверхточной сварки)
 - 2.3.3 Нестандартные электроды по индивидуальному заказу (специальная форма конструкции и применение)
- 2.4 Классификация по среде применения
 - 2.4.1 Сварочные электроды в высокотемпературных средах
 - 2.4.2 Вакуумные электроды и электроды для работы в среде инертного газа
 - 2.4.3 Специальные электроды для агрессивных сред
- 2.5 Стандарты и идентификационные спецификации
 - 2.5.1 Классификация и цветовые шкалы в международных стандартах (ISO 6848, AWS A5.12)
 - 2.5.2 Классификация и идентификация в национальных стандартах (GB/T 4192)
 - 2.5.3 Требования к упаковке и маркировке иттриевых вольфрамовых электродов

Глава 3 Эксплуатационные характеристики иттриевых вольфрамовых электродов

- 3.1 Физические свойства иттриевых вольфрамовых электродов
 - 3.1.1 Высокая температура плавления и высокая температурная стабильность иттриевых вольфрамовых электродов
 - 3.1.2 Плотность, твердость и сопротивление деформации иттрий-вольфрамовых электродов
 - 3.1.3 Характеристики теплопроводности и теплового расширения иттрий-вольфрамовых электродов

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

- 3.2 Химические свойства иттриевых вольфрамовых электродов
 - 3.2.1 Химическая стабильность оксида иттрия при высоких температурах
 - 3.2.2 Стойкость к окислению и коррозии иттрий-вольфрамовых электродов
 - 3.2.3 Химическое поведение иттрий-вольфрамовых электродов в особых условиях
- 3.3 Электрические свойства иттриевых вольфрамовых электродов
 - 3.3.1 Работа по утечке электронов и характеристики дугового разряда иттрий-вольфрамового электрода
 - 3.3.2 Стабильность дуги иттриевого вольфрамового электрода при высокой плотности тока
 - 3.3.3 Проводимость и термоэмиссионная способность иттрий-вольфрамовых электродов
- 3.4 Механические свойства иттриевых вольфрамовых электродов
 - 3.4.1 Высокотемпературное сопротивление ползучести иттриевого вольфрамового электрода
 - 3.4.2 Износостойкость кончика электрода иттриевого вольфрамового электрода
 - 3.4.3 Анализ низких характеристик потерь при выгорании и срока службы иттрий-вольфрамовых электродов
- 3.5 Безопасность и охрана окружающей среды Характеристики иттриевых вольфрамовых электродов
 - 3.5.1 Преимущества нерадиоактивности и низкой токсичности иттрий-вольфрамовых электродов
 - 3.5.2 Воздействие на окружающую среду и устойчивость иттриевых вольфрамовых электродов
 - 3.5.3 Технические условия по охране труда и технике безопасности для иттрий-вольфрамовых электродов
- 3.6 Китай Вольфрамовый интеллектуальное производство Иттриевый вольфрамовый электрод MSDS

Глава 4 Процесс подготовки и технология иттриевого вольфрамового электрода

- 4.1 Подготовка сырья для иттриевых вольфрамовых электродов
 - 4.1.1 Просеивание и получение вольфрамового порошка высокой чистоты
 - 4.1.2 Очистка и контроль качества оксида иттрия
 - 4.1.3 Выбор и оптимизация вспомогательных присадок
- 4.2 Процесс порошковой металлургии с использованием иттрий-вольфрамового электрода
 - 4.2.1 Технология смешивания и легирования порошка иттриевого вольфрама
 - 4.2.2 Процесс формовки под высоким давлением и изостатического прессования
 - 4.2.3 Высокотемпературное спекание и регулирование атмосферы (водород, вакуумное спекание)
- 4.3 Обработка и финишная обработка иттриевых вольфрамовых электродов
 - 4.3.1 Горячее каландрирование и прецизионное волочение
 - 4.3.2 Полировка поверхности и формовка наконечника
 - 4.3.3 Резка электродов и индивидуальная обработка
- 4.4 Технология контроля качества иттриевых вольфрамовых электродов
 - 4.4.1 Контроль равномерности распределения оксида иттрия
 - 4.4.2 Анализ микроструктуры (SEM, EDS, XRD)
 - 4.4.3 Оптимизация технологических параметров и предотвращение дефектов

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

- 4.5 Передовая технология производства иттрий-вольфрамового электрода
- 4.5.1 Технология наноразмерного легирования оксидом иттрия
- 4.5.2 Процесс плазменного спекания под давлением (SPS)
- 4.5.3 Интеллектуальное производство и технологии мониторинга в режиме реального времени

Глава 5 Области применения иттриевых вольфрамовых электродов

- 5.1 Применение при сварке иттриевых вольфрамовых электродов
 - 5.1.1 Применение сварки TIG (аргодуговой сварки) в жаропрочных сплавах
 - 5.1.2 Высокоточное применение плазменно-дуговой сварки
 - 5.1.3 Сварка титанового сплава со сплавом на основе никеля в вакуумной среде
- 5.2 Несварочные применения иттриевых вольфрамовых электродов
 - 5.2.1 Плазменная резка и напыление
 - 5.2.2 Применение электродов в электроэрозионной обработке (EDM)
 - 5.2.3 Применение в высокотемпературных разрядных устройствах
- 5.3 Применение иттрий-вольфрамового электрода в промышленности
 - 5.3.1 Аэрокосмическая промышленность (компоненты двигателей, лопатки турбин)
 - 5.3.2 Оборонная и военная промышленность (бронетанковые материалы, компоненты ракет)
 - 5.3.3 Энергетика (атомное энергетическое оборудование, газовые турбины)
 - 5.3.4 Производство полупроводников и микроэлектроники
- 5.4 Типичный анализ случаев использования иттриевых вольфрамовых электродов
 - 5.4.1 Сварка авиационных конструкционных деталей из титанового сплава
 - 5.4.2 Ремонт жаропрочных сплавов и упрочнение поверхности
 - 5.4.3 Сварка прецизионных деталей в вакуумной среде

Глава 6 Оборудование для производства иттриевых вольфрамовых электродов

- 6.1 Оборудование для подготовки сырья для иттриевых вольфрамовых электродов
 - 6.1.1 Оборудование для измельчения вольфрамового порошка и сортировки частиц по размеру
 - 6.1.2 Оборудование для очистки оксида иттрия и наноконсервации
- 6.2 Оборудование для порошковой металлургии для иттриевых вольфрамовых электродов
 - 6.2.1 Высокоточная система смешивания и легирования
 - 6.2.2 Оборудование для холодного изостатического прессования и горячего прессования
 - 6.2.3 Высокотемпературная вакуумная печь для спекания и атмосферная печь
- 6.3 Оборудование для обработки и формовки иттриевых вольфрамовых электродов
 - 6.3.1 Прецизионная машина для каландрирования и волочения
 - 6.3.2 Шлифовальное и полировальное оборудование с ЧПУ
 - 6.3.3 Оборудование для лазерной резки и формовки электродов
- 6.4 Оборудование для инспекции и контроля качества иттриевых вольфрамовых электродов
 - 6.4.1 Оборудование для анализа химического состава (ICP-MS, XRF)
 - 6.4.2 Аппаратура для анализа микроструктуры и морфологии (СЭМ, ПЭМ)
 - 6.4.3 Оборудование для тестирования производительности (тестер стабильности дуги, скорости выгорания)

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

6.5 Интеллектуальное производственное оборудование для иттриевых вольфрамовых электродов

6.5.1 Автоматизированные производственные линии и промышленные роботы

6.5.2 Онлайн-система мониторинга качества и анализа данных

Глава 7 Отечественные и зарубежные стандарты на иттрий-вольфрамовые электроды

7.1 Международный стандарт на иттрий-вольфрамовые электроды

7.1.1 ISO 6848: Классификация и технические требования к вольфрамовым электродам

7.1.2 AWS A5.12: Технические характеристики и производительность вольфрамовых электродов

7.1.3 EN 26848: Европейский стандарт для вольфрамовых электродов

7.2 Отечественные стандарты на иттриевые вольфрамовые электроды

7.2.1 GB/T 4192: Технические условия на вольфрамовые электроды

7.2.2 JB/T 12706: Стандарт для вольфрамовых электродов для сварки

7.2.3 Отраслевые стандарты и спецификации

7.3 Сравнение стандартов и применение иттрий-вольфрамового электрода

7.3.1 Различия и применимость отечественных и зарубежных стандартов

7.3.2 Руководящая роль стандартов в производственном процессе

7.3.3 Нормативная роль стандартов в сценариях применения

7.4 Стандартная тенденция развития иттрий-вольфрамовых электродов

7.4.1 Влияние новых материалов и процессов на стандарты

7.4.2 Обновление стандартов охраны окружающей среды и безопасности

Глава 8 Технология обнаружения иттриевого вольфрамового электрода

8.1 Определение химического состава иттриевых вольфрамовых электродов

8.1.1 Точное измерение содержания оксида иттрия

8.1.2 Элементы примесей и анализ следов

8.1.3 Определение равномерности распределения компонентов

8.2 Физические свойства иттриевых вольфрамовых электродов

8.2.1 Испытание на плотность, твердость и механические свойства

8.2.2 Испытание качества поверхности и точности размеров

8.2.3 Испытание физических свойств при высоких температурах

8.3 Определение электрических свойств иттриевого вольфрамового электрода

8.3.1 Работа на утечку электронов и термоэмиссионное испытание

8.3.2 Характеристики инициации дуги и испытание на стабильность дуги

8.3.3 Испытание скорости выгорания в условиях высоких токов

8.4 Определение микроструктуры иттрий-вольфрамовых электродов

8.4.1 Анализ структуры и размеров зерна

8.4.2 Распределение и фазовый анализ частиц оксида иттрия

8.4.3 Обнаружение внутренних дефектов (трещин, пористости)

8.5 Испытания на воздействие окружающей среды и безопасность иттриевых вольфрамовых электродов

8.5.1 Нерадиоактивная сертификация

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

- 8.5.2 Оценка воздействия на окружающую среду и пригодности к переработке
- 8.5.3 Испытания на охрану труда и технику безопасности
- 8.6 Технология и оборудование для испытаний иттриевых вольфрамовых электродов
- 8.6.1 Общие инструменты и принципы тестирования
- 8.6.2 Передовые технологии обнаружения (с помощью искусственного интеллекта, анализ на месте и т.д.)

Глава 9 Распространенные проблемы и решения для пользователей иттриевых вольфрамовых электродов

- 9.1 Возможные причины дуговой нестабильности иттриевых вольфрамовых электродов
 - 9.1.1 Неправильная геометрия наконечника электрода
 - 9.1.2 Проблемы с настройкой текущего типа и параметров
 - 9.1.3 Недостаточное качество или расход защитного газа
 - 9.1.4 Загрязнение или окисление поверхности электрода
- 9.2 Причины и меры противодействия быстрому горению наконечников иттрий-вольфрамовых электродов
 - 9.2.1 Чрезмерный ток или неправильный выбор полярности
 - 9.2.2 Оптимизация угла шлифовки наконечника и обработки поверхности
 - 9.2.3 Регулировка типа и расхода защитного газа
 - 9.2.4 Заменить электрод с более высоким содержанием оксида иттрия
- 9.3 Как выбрать подходящее содержание оксида иттрия
 - 9.3.1 Выбирается в соответствии с материалом сварки (титановый сплав, сплав на основе никеля и т.д.)
 - 9.3.2 Согласование типа и силы тока
 - 9.3.3 Отбор в особых условиях (вакуум, высокая температура)
 - 9.3.4 Сбалансированный анализ производительности и стоимости
- 9.4 Меры противодействия трудности дугового разряда иттриевых вольфрамовых электродов
 - 9.4.1 Проверка чистоты поверхности и состояния наконечника электродов
 - 9.4.2 Оптимизация параметров запуска высокочастотной дуги
 - 9.4.3 Отрегулируйте расстояние между электродом и заготовкой
 - 9.4.4 Замените электрод или проверьте стабильность блока питания
- 9.5 Иттриевый вольфрам, смешанный с другими вольфрамовыми электродами
 - 9.5.1 Влияние смешивания на характеристики дуги
 - 9.5.2 Проблемы с потерей электродов, вызванные смешиванием
 - 9.5.3 Рекомендации по идентификации электродов и управлению ими
 - 9.5.4 Анализ замещения иттриевых вольфрамовых электродов

Глава 10 Будущие тенденции развития иттриевых вольфрамовых электродов

- 10.1 Направление технологических инноваций иттрий-вольфрамового электрода
 - 10.1.1 Новая технология легирования редкоземельных композитов
 - 10.1.2 Исследование и разработка сверхвысокотемпературных и сверхточных электродов
 - 10.1.3 Экологически чистое производство и технологии производства с низким содержанием углерода

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

10.2 Расширение областей применения иттриевых вольфрамовых электродов

10.2.1 Производство оборудования для новых источников энергии (аккумуляторы, энергия ветра)

10.2.2 Углубление применения в аэрокосмической и оборонной областях

10.2.3 Прецизионная сварка в микроэлектронике и полупроводниковой промышленности

10.3 Тенденции рынка и политики иттриевых вольфрамовых электродов

10.3.1 Прогноз спроса на мировом рынке иттриевых вольфрамовых электродов

10.3.2 Влияние политики в отношении редкоземельных ресурсов на производство

10.3.3 Оптимизация международной торговли и цепочек поставок

Приложение

A. Глоссарий

B. Ссылки

Глава 1 Введение в иттриевые вольфрамовые электроды

1.1 Определение и предпосылки иттриевого вольфрамового электрода

1.1.1 Химический состав и основной принцип работы иттриевого вольфрамового электрода

Иттриевый вольфрамовый электрод представляет собой высокопроизводительный редкоземельный вольфрамовый электрод, в основном легированный соответствующим количеством оксида иттрия (Y_2O_3) в вольфрамовой матрице высокой чистоты. Распространенный промышленный класс - WY20, а характерным логотипом является синее покрытие. Этот электрод сочетает в себе физико-химические свойства металлического вольфрама и оксида иттрия, что делает его важным расходным материалом при аргонодуговой сварке вольфрама (сварка TIG). Химический состав иттриевых вольфрамовых электродов в основном включает вольфрам высокой чистоты (W, около 98% 99,5%) и небольшое количество оксида иттрия (Y_2O_3 , обычно от 1,8% до 2,2%), которые иногда могут содержать следовые количества других примесей, но эти примеси строго контролируются для обеспечения стабильности работы.

Будучи переходным металлом, вольфрам обладает чрезвычайно высокой температурой плавления (3422 °C), отличной электро- и теплопроводностью, а также химической инертностью, что делает его идеальным выбором для электродных материалов. Однако чистые вольфрамовые электроды имеют такие проблемы, как низкая эффективность электронной эмиссии и легкая поломка при высокотемпературной сварке. Легирование оксидом иттрия значительно улучшило эти недостатки. Оксид иттрия является рабочим материалом с низким уровнем убегания электронов, и его работа по убеганию электронов составляет около 2,5 ~ 2,7 эВ, что намного ниже, чем 4,5 эВ чистого вольфрама. Это позволяет иттриевым вольфрамовым электродам зажигать дугу при более низких напряжениях, демонстрируя превосходные характеристики инициирования дуги. Кроме того, добавление оксида иттрия повышает температуру рекристаллизации электрода (обычно выше 2000°C), тем самым повышая устойчивость к высокотемпературной деформации и снижая скорость выгорания.

Исходя из основного принципа, иттриевый вольфрамовый электрод используется в качестве неплавящегося электрода при сварке TIG, в основном используется для создания стабильной дуги, нагрева и плавления заготовки и заполняющего материала. Принцип его работы основан на термоэмиссионном излучении: когда электрод возбуждается высокочастотным или постоянным источником питания, частицы оксида иттрия в вольфрамовой матрице активируют электронное излучение, образуя высокотемпературную дугу (температура до 6000~7000°C). Стабильность дуги обусловлена тонким и высоким сжатием дугового столба иттриевого вольфрамового электрода, что делает его большой глубиной проникновения в условиях умеренного и высокого тока, что делает его особенно подходящим для высокоточной сварки.

К физико-химическим свойствам иттриевых вольфрамовых электродов также относятся

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

высокий модуль упругости (около 410 ГПа), хорошая коррозионная стойкость и стойкость к окислению. Эти свойства обеспечивают долговременную стабильность электрода в сложных условиях, таких как высокие температуры, высокая влажность или коррозионные газы. Кроме того, проводимость иттриевых вольфрамовых электродов (удельное сопротивление составляет около $5,6 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$) и теплопроводность (примерно 174 Вт/м·К) лучше, чем у других редкоземельных вольфрамовых электродов, что делает их превосходными при сварке высокой мощности.

1.1.2 История исследований и разработок и технологическая эволюция иттриевых вольфрамовых электродов

Разработка иттриевых вольфрамовых электродов возникла из-за спроса на высокоэффективные сварочные материалы в середине-конце 20-го века. Вольфрамовые электроды сначала использовались в виде чистого вольфрама для сварки TIG, но их ограничения постепенно обнажались, особенно в контексте растущих требований к качеству сварки в аэрокосмической и военной промышленности. В 60-х годах 20-го века ториевые вольфрамовые электроды (легированный оксид тория, ThO_2) стали массовыми благодаря своим превосходным электронно-эмиссионным свойствам, но радиоактивность тория подняла вопросы безопасности и защиты окружающей среды, что побудило исследователей искать альтернативные материалы.

В 1970-х годах оксиды редкоземельных элементов (такие как оксид лантана, оксид церия, оксид иттрия) были введены в легирование вольфрамовых электродов. Оксид иттрия привлек к себе внимание благодаря своей низкой работе по убеганию электронов и высокой химической стабильности. Ранние исследования и разработки иттриевых вольфрамовых электродов в основном были сосредоточены на оптимизации соотношений легирования и производственных процессов. В 1980-х годах некоторые исследовательские институты в Соединенных Штатах и Европе начали экспериментировать с оксидом иттрия в вольфрамовой матрице и обнаружили, что он может значительно улучшить характеристики дуги и долговечность электродов. В 1985 году на рынок поступил первый коммерческий иттриевый вольфрамовый электрод (WY20), который в основном использовался для прецизионной сварки в аэрокосмической отрасли.

В 21 веке, с развитием материаловедения и производственных технологий, процесс производства иттриевых вольфрамовых электродов был значительно оптимизирован. Традиционный метод порошковой металлургии был усовершенствован, а применение технологии распыляемого легирования и процесса высокотемпературного спекания сделало распределение оксида иттрия в вольфрамовой матрице более равномерным. Например, современные производственные процессы часто включают в себя следующие этапы: распыление водного раствора иттриевой селитры в паравольфрамат аммония или триоксид вольфрама в сырье, после сушки образуется порошок покрытия из иттрия вольфрама; Однородный порошок вольфрама иттрия получают двумя восстановительными методами; Затем он прессуется, спекается при высокой температуре (около 2800 °C) и проковывается в несколько проходов для получения заготовок из тонкозернистых иттриевых вольфрамовых

электродов высокой плотности. Эти усовершенствования процесса уменьшают внутренние дефекты электродов, улучшают механические свойства и стабильность дуги.

В последние годы Китай добился значительного прогресса в области исследований и разработок иттриевых вольфрамовых электродов. Например, отечественная компания разработала мультикомпонитный вольфрамовый электрод (WX4) и получила национальный патент на изобретение. Этот электрод достиг прорыва в оптимизации процесса легирования и производительности, а также широко используется в сценариях высокопроизводительной сварки. Кроме того, во всем мире фокус исследований и разработок иттриевых вольфрамовых электродов постепенно смещается в сторону защиты окружающей среды и экономической эффективности, с целью разработки нерадиоактивных и недорогих альтернативных материалов.

1.1.3 Распространение иттриевых вольфрамовых электродов в высокопроизводительной сварке

Рост использования иттриевых вольфрамовых электродов в высокопроизводительной сварке тесно связан с развитием аэрокосмической, военной промышленности и высокотехнологичного производства. Эти области требуют высокой прочности, точности и надежности сварных соединений, и иттриевые вольфрамовые электроды являются предпочтительным материалом из-за их превосходных дуговых свойств и низкой скорости выгорания.

В аэрокосмической отрасли иттриевые вольфрамовые электроды широко используются для сварки титановых сплавов, нержавеющей стали и жаропрочных сплавов. Например, изготовление лопаток авиационных двигателей требует чрезвычайно высокой точности сварки, а тонкий дуговой столб и способность к глубокому плавлению иттриевых вольфрамовых электродов обеспечивают однородность и прочность сварного шва. В военной промышленности иттриевые вольфрамовые электроды используются для сварки бронепластин из стали и снарядов ракет, а их стабильная дуга и низкая скорость выгорания позволяют удовлетворить высокие требования надежности сложных конструкций. Кроме того, в атомной промышленности и производстве энергетического оборудования иттриевые вольфрамовые электроды используются для сварки критически важных компонентов, таких как корпуса реакторов, благодаря их коррозионной стойкости и стабильности при высоких температурах.

Рост популярности иттриевых вольфрамовых электродов также связан с развитием технологии сварки TIG. Современные сварочные аппараты TIG обеспечивают точное управление током и возможность высокочастотного дугового разряда, что точно соответствует характеристикам иттриевых вольфрамовых электродов. Кроме того, популярность автоматизированной и роботизированной сварки еще больше стимулирует спрос на иттриевые вольфрамовые электроды, поскольку их высокая стабильность и длительный срок службы значительно снижают производственные затраты.

1.2 Позиционирование на рынке иттриевых вольфрамовых электродов

1.2.1 Сравнительный анализ с другими редкоземельными вольфрамовыми электродами

Как разновидность редкоземельного вольфрамового электрода, иттриевый вольфрамовый электрод имеет значительные различия в производительности и применении от ториевого вольфрамового электрода (WT20), лантанового вольфрамового электрода (WL20) и цериевого вольфрамового электрода (WC20). Вот сравнительный анализ нескольких электродов:

Ториевый вольфрамовый электрод (WT20)

Химический состав: легирован 2% оксидом тория (ThO_2), красное покрытие.

Преимущества: Высокая способность к электронному излучению, отличные характеристики дугового разряда, подходит для сильноточной сварки.

Недостатки: оксид тория радиоактивен и может причинить вред здоровью и окружающей среде при длительном применении, требуя специальных средств хранения и защиты.

Применение: В основном используется для сварки постоянным током, подходит для углеродистой стали и нержавеющей стали, но ограниченное использование из-за экологических проблем.

Лантановый вольфрамовый электрод (WL20)

Химический состав: легирован 1,5% ~ 2% оксидом лантана (La_2O_3), синее покрытие головки.

Преимущества: Отсутствие радиоактивности, хорошие характеристики инициирования дуги, высокая стабильность дуги, подходит для сварки переменным и постоянным током.

Недостатки: Скорость выгорания немного выше, чем у иттриевого вольфрамового электрода при сильном токе, а долговечность немного ниже.

Применение: Широко используется в сварке переменным током алюминиевого сплава и магниевое сплава, подходит для автоматизированной сварки.

Цериевый вольфрамовый электрод (WC20)

Химический состав: легирован 2% оксидом церия (CeO_2), серое покрытие.

Преимущества: Отсутствие радиоактивности, отличные характеристики дугового разряда при низком токе, подходит для сварки тонкими пластинами.

Недостатки: Стабильность дуги плохая при высоком токе, а устойчивость к высоким температурам не так хороша, как у иттриевого вольфрамового электрода.

Применение: Подходит для прецизионной сварки с низким энергопотреблением, например, с электронными компонентами и тонкостенными трубами.

Иттриевый вольфрамовый электрод (WY20)

Химический состав: легирован 2% оксидом иттрия (Y_2O_3), синее покрытие наконечника.

Преимущества: нерадиоактивный, быстрое затемнение дуги, стабильная дуга, низкая скорость выгорания, подходит для сварки глубоким расплавом среднего и высокого тока.

Недостатки: несколько более высокая себестоимость производства и более сложная обработка.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Применение: Широко используется в аэрокосмической и военной промышленности, подходит для углеродистой стали, нержавеющей стали, меди и алюминия и других материалов.

С точки зрения сравнения характеристик, иттриевые вольфрамовые электроды лучше, чем другие редкоземельные вольфрамовые электроды, с точки зрения общих характеристик, особенно при сварке с высоким током и глубоким плавлением. Его нерадиоактивная природа делает его идеальной альтернативой ториевым вольфрамовым электродам, которые имеют преимущества с точки зрения долговечности при высоких температурах и стабильности дуги по сравнению с лантановыми вольфрамовыми и цериевыми вольфрамовыми электродами.

1.2.2 Состояние мирового рынка и перспективы иттриевых вольфрамовых электродов

На мировом рынке вольфрамовых электродов доминирует Китай, поскольку запасы вольфрама в Китае составляют более 70% мировых ресурсов, а годовой объем производства составляет более 80% мирового производства. Китайские компании занимают лидирующие позиции в области исследований и разработок и производства иттриевых вольфрамовых электродов. Кроме того, Соединенные Штаты, Европа и Япония также имеют значительное влияние на рынке вольфрамовых электродов, особенно в высокотехнологичных приложениях.

Согласно маркетинговым исследованиям, объем мирового рынка вольфрамовых электродов составил около 500 миллионов долларов США в 2020 году и, как ожидается, к 2030 году будет расти с совокупным годовым темпом роста (CAGR) около 4,5%. Основными драйверами роста являются аэрокосмическая промышленность, военная промышленность и производство нового энергетического оборудования. Например, быстрый рост мирового аэрокосмического рынка, который, как ожидается, достигнет 1,2 триллиона долларов США к 2030 году, напрямую стимулирует спрос на высокоэффективные сварочные материалы.

С точки зрения региональных рынков, Азиатско-Тихоокеанский регион (особенно Китай и Индия) является крупнейшим потребительским рынком для иттриевых вольфрамовых электродов, на долю которого приходится более 50% мирового рынка. Рынки Северной Америки и Европы ориентированы на высокотехнологичные приложения, уделяя особое внимание точности и надежности электродов. В будущем, в связи с ужесточением экологических норм и постепенным отказом от ториевых вольфрамовых электродов, ожидается, что рыночный спрос на иттриевые вольфрамовые электроды будет расти и дальше. Кроме того, развитие новых технологий, таких как аддитивное производство (3D-печать) и лазерная сварка композитных материалов TIG, также открыло новые сценарии применения иттриевых вольфрамовых электродов.

Тем не менее, рынок иттриевых вольфрамовых электродов также сталкивается с проблемами. Основными сдерживающими факторами являются высокие производственные затраты и колебания цен на сырье. Кроме того, некоторые развивающиеся страны по-прежнему предпочитают использовать ториевые вольфрамовые электроды с более низкой стоимостью, что может сдерживать популярность иттриевых вольфрамовых электродов в краткосрочной

перспективе. В долгосрочной перспективе, с повышением экологической осведомленности и оптимизацией производственных процессов, ожидается, что иттриевые вольфрамовые электроды займут большую долю рынка во всем мире.

1.2.3 Уникальные преимущества иттриевых вольфрамовых электродов

Уникальные преимущества иттриевых вольфрамовых электродов проявляются в следующих аспектах:

Превосходные характеристики дуги: дуговой столб из иттриевого вольфрамового электрода тонкий и сильно сжатый, что делает его пригодным для сварки глубоким проплавлением при средних и высоких токах. Пусковое напряжение дуги низкое (около 10 ~ 15 В), дуга быстро зажигается, а стабильность высокая, что делает ее пригодной для высокоточной сварки.

Низкая скорость выгорания: легирование оксидом иттрия увеличивает температуру рекристаллизации, так что электрод нелегко деформировать или сжечь при высоких температурах, а срок службы примерно на 30% ~ 50% больше, чем у чистых вольфрамовых электродов.

Экологичность и нерadioактивность: по сравнению с ториевыми вольфрамовыми электродами, иттриевые вольфрамовые электроды не содержат радиоактивных веществ, что соответствует современным стандартам охраны окружающей среды и безопасности, снижая риски для здоровья операторов.

Широкая адаптируемость материалов: Иттриевые вольфрамовые электроды подходят для сварки различных металлов, таких как углеродистая сталь, нержавеющая сталь, медь, алюминий и титановые сплавы, что делает их пригодными для различных сценариев сварки от тонких до толстых пластин.

Высокая надежность: В аэрокосмической и военной промышленности иттриевые вольфрамовые электроды обеспечивают высокую прочность и однородность сварных швов, отвечая высоким требованиям к качеству.

Эти преимущества делают иттриевые вольфрамовые электроды незаменимыми в области высокотехнологичной сварки, особенно в сценариях с высокими требованиями к качеству сварки и защите окружающей среды.



Глава 2 Классификация иттриевых вольфрамовых электродов

Являясь высокопроизводительным неплавящимся электродом, иттриевый вольфрамовый электрод широко используется в аргонодуговой сварке вольфрама (TIG), плазменно-дуговой сварке и других высокоточных приложениях благодаря своей превосходной стабильности дуги, низкой скорости выгорания и нерадиоактивным свойствам. Чтобы удовлетворить потребности различных процессов, материалов и сред, иттриевые вольфрамовые электроды классифицируются в соответствии с содержанием оксида иттрия, процессом сварки, морфологическими характеристиками, средой применения и стандартными спецификациями. В данной главе подробно рассматриваются эти методы классификации, анализируются эксплуатационные характеристики, использование и тенденции развития различных типов электродов.

2.1 Классификация по содержанию оксида иттрия

Содержание оксида иттрия (Y_2O_3) является ключевым фактором, влияющим на характеристики иттриевого вольфрамового электрода, который напрямую определяет работу по утечке электронов, стабильность дуги и устойчивость электрода к высоким температурам. В зависимости от различного содержания оксида иттрия вольфрамовые электроды можно разделить на электроды стандартного содержания (например, WY20) и электроды с индивидуальным содержанием.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

CTIA GROUP LTD

Yttrium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Yttrium Tungsten Electrode

The Yttrium Tungsten Electrode (WY20) is a non-radioactive, high-performance tungsten electrode doped with 2% yttrium oxide (Y_2O_3). Specially engineered for demanding TIG and plasma welding applications, this electrode offers exceptional arc stability, minimal electrode wear, and high current tolerance, making it the top choice for aerospace, defense, nuclear, and high-precision industries.

2. Key Features of Yttrium Tungsten Electrode

- **Excellent Arc Stability:** Delivers a stable, concentrated arc with minimal flicker.
- **High Current Capacity:** Ideal for high-load DC or AC welding operations.
- **Low Burn-Off Rate:** Exceptional resistance to electrode erosion, even under intense heat.
- **Radiation-Free & Eco-Friendly:** 100% free of radioactive thorium—safe for people and the environment.
- **Superior Penetration:** Supports deep weld pools for thick, high-strength materials.
- **Reliable Ignition:** Consistent arc starting even under low current or pulsed settings.

3. Typical Specifications of Yttrium Tungsten Electrode

Type	Y_2O_3 Content	Color Code	Length (mm)	Diameter (mm)
WY20	1.8% – 2.2%	Blue	50 – 175	1.0 – 6.4

4. Applications of Yttrium Tungsten Electrode

- TIG Welding of stainless steel, nickel alloys, titanium, molybdenum, and high-temperature alloys.
- Plasma Arc Welding and Precision Spot Welding in aerospace and defense manufacturing.
- Micro-welding & vacuum applications where arc stability and cleanliness are critical.
- Suitable for DC (Direct Current) or AC/DC mixed-mode operations.

5. Why Choose Yttrium Tungsten Electrode?

From high-frequency ignition systems to robotic TIG welders, the WY20 Electrode adapts to your most challenging tasks—without compromising operator safety. Whether you're manufacturing jet engine blades, medical implants, or nuclear-grade components, WY20 delivers unmatched performance where it matters most.

6. Procurement Information

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

2.1.1 Производительность и использование 2% электрода из оксида иттрия (WY20).

Эксплуатационные характеристики: Электрод WY20 является наиболее распространенным типом иттриевого вольфрамового электрода в настоящее время, с содержанием оксида иттрия 1,8% ~ 2,2% (массовая доля), что соответствует международному стандарту ISO 6848 и отечественному стандарту GB/T 4192.

К ключевым особенностям можно отнести:

Работа убегания электронов: 2,5 ~ 2,7 эВ, ниже, чем у чистого вольфрамового электрода (4,5 эВ), так что напряжение дуги низкое (10 ~ 15 В), а время зажигания дуги составляет < 0,1 секунды.

Стабильность дуги: скорость дрейфа дуги < 5%, подходит для сварки постоянным током положительной полярности (DCEN) и сварки переменным током (AC) с диапазоном токов 50 ~ 300 А.

Скорость выгорания: при 200 А постоянного тока скорость выгорания < 0,2 мг/мин, что ниже, чем у ториевого вольфрамового электрода (0,3 ~ 0,5 мг/мин).

Механические свойства: твердость по Виккерсу (HV) 400 ~ 450, прочность на разрыв > 1000 МПа, подходит для высокотемпературной сварочной среды (температура дуги 6000/7000°C).

Защита окружающей среды: нерадиоактивен, лучше, чем ториевый вольфрамовый электрод (содержащий ThO₂, излучающий α лучей), в соответствии со стандартами безопасности Международной организации труда (МОТ).

Производственный процесс: Электрод WY20 получен методом порошковой металлургии, чистота вольфрамового порошка ≥ 99,95%, размер частиц оксида иттрия 12 мкм. В процессе легирования используется распылительное легирование или высокоэнергетическое шаровое фрезерование для обеспечения равномерного распределения оксида иттрия (отклонение < ± 0,1%). Спекание осуществляется в вакуумной или водородной атмосферной печи при температуре 2000 ~ 2400 °C и плотности более 98%.

Основные области применения:

Аэрокосмическая промышленность: сварка титановых сплавов (таких как Ti-6Al-4V) и сплавов на основе никеля (таких как Inconel 718) для лопаток турбин, камер сгорания двигателей и конструкций фюзеляжа. Низкая скорость выгорания и стабильная дуга WY20 обеспечивают прочность сварного шва > 900 МПа, что соответствует авиационным стандартам.

Энергетическая промышленность: сварка сосудов высокого давления из нержавеющей стали для ядерного энергетического оборудования и деталей из никелевого сплава для газовых турбин с током 150 ~ 250 А, без пор и трещин в сварных швах.

Автомобилестроение: сварные корпуса из нержавеющей стали и алюминиевых сплавов с током 50~150 А и подходят для сварки тонких пластин (< 2 мм) с небольшой зоной термического влияния (< 0,5 мм).

Судостроительная промышленность: сварка высокопрочных стальных листов, ток 200 ~ 300 А, высокая способность к глубокому проплавлению, высокая вязкость сварного шва.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Преимущества и ограничения: Электрод WY20 хорошо работает и экономически эффективен при сварке средним током и сварке общего назначения, но для сверхвысоких токов (>400 А) или микросварки (паяные соединения $< 0,5$ мм) может потребоваться корректировка содержания оксида иттрия или конструкции наконечника.

2.1.2 Разработка электродов с содержанием оксида иттрия по индивидуальному заказу

Предпосылки и требования: В связи с диверсификацией сварочных процессов (например, плазменно-дуговая сварка сверхвысоким током, микросварка) стандартные электроды WY20 могут не соответствовать конкретным потребностям. Специализированные электроды с содержанием оксида иттрия (такие как WY10 и WY30) оптимизируют производительность за счет регулировки соотношения Y_2O_3 ($0,5\% \sim 3,5\%$) в соответствии с особыми сценариями применения.

Направление развития:

Электрод с низким содержанием оксида иттрия (WY10, Y_2O_3 $0,8\% \sim 1,2\%$):

Производительность: Электронная мощность утечки $2,7 \sim 2,9$ эВ, подходит для пайки малым током (<50 А), примерно на $10\% \sim 15\%$ ниже стоимость. Устойчивость дуги немного уступает WY20 (скорость дрейфа $<7\%$), но характеристики дуги хорошие.

Применение: микросварка (например, упаковка чипов, медицинских устройств), сварка тонкими листами нержавеющей стали (<1 мм).

Производство: Процесс распыления с низким легированием используется для уменьшения количества оксида иттрия, а температура спекания составляет $1800 \sim 2200$ °C.

Электрод с высоким содержанием оксида иттрия (WY30, Y_2O_3 $2,5\% \sim 3,5\%$):

Производительность: мощность убегания электронов $2,4 \sim 2,6$ эВ, скорость выгорания $<0,1$ мг/мин, температура рекристаллизации > 2100 °C. Подходит для работы в условиях сверхвысоких токов (>400 А) и высоких температур.

Применение: плазменно-дуговая сварка, напыление и сварка глубоким расплавом в атомной и аэрокосмической промышленности.

Производство: Используется наноразмерный оксид иттрия (размер частиц $10 \sim 50$ нм) и газоразрядное плазменное спекание (SPS) с размером зерна < 5 мкм и плотностью $> 99\%$.

Композитные легированные электроды: сочетают оксид иттрия с оксидом лантана (La_2O_3) или оксидом церия (CeO_2), такими как Y-La-W (Y_2O_3 $1,5\% + La_2O_3$ $0,5\%$). Этот тип электродов сочетает в себе низкую работу утечки и высокую термостойкость со скоростью дрейфа дуги $<3\%$ и увеличенным сроком службы на $20\% \sim 30\%$.

Вызовы и перспективы:

Проблема: Высокое содержание оксида иттрия увеличивает производственные затраты (около $15\% \sim 20\%$), а технология нанолегирования требует более сложного оборудования (например, высокоэнергетических шаровых мельниц, печей SPS).

Перспектива: Индивидуальные электроды могут удовлетворить потребности высокотехнологичных рынков (таких как полупроводники и атомная промышленность), и

ожидается, что к 2030 году их доля на рынке увеличится до 15% ~ 20%.

2.2 Классификация в зависимости от процесса сварки

Иттриевые вольфрамовые электроды делятся на специальные электроды для сварки TIG, плазменно-дуговую сварку и резку специальных и специальных технологических электродов в соответствии с различными сварочными процессами, и каждый тип электродов оптимизирован для конкретных процессов.

2.2.1 Иттриевый вольфрамовый электрод для сварки TIG

Особенности: Сварка TIG (аргонодуговая сварка) является основной областью применения иттриевого вольфрамового электрода с температурой дуги 6000 ~ 7000 °C и током 50 ~ 300 А. Электрод WY20 предпочтительнее из-за его низкой работы утечки и стабильности дуги, с углом наконечника 30 ° ~ 45 ° и диаметром 1,6 ~ 3,2 мм.

Требования к производительности:

Напряжение дуги составляет < 15 В, а время зажигания дуги – < 0,1 секунды.

Скорость дрейфа дуги составляет <5%, что делает его пригодным для сварки DCEN и AC.

Скорость выгорания < 0,2 мг/мин, а продолжительность жизни - 100 ~ 150 часов.

Использование:

Сварка нержавеющей стали: выхлопная труба автомобиля, сосуд под давлением, ток 50 ~ 150 А, гладкий сварной шов, зона термического влияния < 0,5 мм.

Сварка титанового сплава: аэрокосмические конструкционные детали, ток 100 ~ 200 А, требуется защита от аргона (расход 1015 л/мин).

Сварка алюминиевым сплавом: сварка переменным током, ток 50 ~ 200 А, частота 50 ~ 150 Гц, подходит для корпусов и деталей кораблей.

Оптимизированная конструкция:

Наконечник отшлифован под углом 30° ~ 45°, чтобы обеспечить концентрацию дуги.

Электрохимическая полировка поверхности (Ra<0,4 мкм) для уменьшения дрейфа дуги.

В сочетании с интеллектуальным сварочным аппаратом частота импульсов (1 ~ 10 Гц) автоматически регулируется для улучшения качества сварного шва.

2.2.2 Электроды для плазменно-дуговой сварки и резки

Особенности: Плазменно-дуговая сварка (PAW) и резка используют дугу с высокой плотностью энергии (температура > 20000 °C), ток 100 ~ 500 А, что требует от электрода высокой несущей способности по току и высокой термостойкости. Диаметр электрода WY20 или WY30 составляет 2,4 ~ 4,8 мм, а угол наконечника - 45 ° ~ 60 °.

Требования к производительности:

Стабильность дуги (скорость смещения <3%) и поддержка сварки глубоким проплавлением (глубина проплавления 10 ~ 15 мм).

Скорость выгорания < 0,15 мг/мин, а продолжительность жизни - 50 ~ 100 часов.

Высокая температура рекристаллизации (>2000°C), устойчивость к тепловому удару.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Использование:

Плазменно-дуговая сварка: сосуд высокого давления из нержавеющей стали для оборудования атомной энергетики, ток 200 ~ 400 А, сварной шов без пористости.

Плазменная резка: углеродистая сталь, пластина из нержавеющей стали (толщина 20~100 мм), ток 300~1000 А, ширина реза < 2 мм.

Плазменное напыление: керамическое покрытие (диоксид циркония) лопаток авиационной турбины, ток 400~600 А, прочность сцепления покрытия > 70 МПа.

Оптимизированная конструкция:

Используйте электрод WY30 для повышения производительности при высоких температурах.

Оснащен сварочной горелкой с водяным охлаждением для защиты электрода от перегрева.

Смешанный защитный газ аргон-гелий (соотношение 3:1) используется для повышения температуры и стабильности дуги.

2.2.3 Электроды для специальных процессов (вакуумная сварка, микросварка).

Особенности: Для вакуумной сварки и микросварки требуются электроды с низкой летучестью, высокой точностью и низким тепловложением. Основными вариантами являются электроды WY20 (диаметр 0,5 ~ 1,6 мм) или миниатюрные электроды по индивидуальному заказу (диаметр 0,3 ~ 0,8 мм).

Требования к производительности:

Низкая скорость газовыделения ($<10^{-6}$ Па·м³/с), подходит для вакуумных сред (10^{-3} ~ 10^{-5} Па).

Диаметр дуги < 0,5 мм, подходит для микросварки.

Скорость горения составляет <0,1 мг/мин, а радиус наконечника – <0,1 мм.

Использование:

Вакуумная сварка: трубопроводы полупроводникового оборудования, корпуса космических аппаратов из титанового сплава, ток 10~50 А, степень вакуума 10^{-4} Па.

Микропайка: упаковка микросхем, медицинские устройства (например, хирургические инструменты), ток 5 ~ 20 А, диаметр паяного соединения < 0,2 мм.

Высокоточное аддитивное производство: плазменно-дуговой ремонт аэрокосмических деталей, ток 20 ~ 50 А, точность штабелирования $\pm 0,05$ мм.

Оптимизированная конструкция:

Разработан миниатюрный игольчатый электрод (радиус наконечника <0,05 мм), полученный методом лазерной микрообработки.

Используйте гелий высокой чистоты (расход 8 ~ 12 л/мин) для уменьшения диффузии дуги.

В сочетании с высокочастотным дугогасящим устройством (частота 10 ~ 20 кГц) он обеспечивает быстрое зажигание.

2.3 Классификация по форме и техническим условиям

Морфология и технические характеристики иттриевых вольфрамовых электродов разделены на стандартные стержни, микроиглы и нестандартные электроды по индивидуальному заказу

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

в соответствии с потребностями применения, отвечающими различным требованиям к точности сварки и технологическим процессам.

2.3.1 Стандартный стержневой электрод (характеристики диаметра и длины)

Особенности: Стандартный стержневой электрод представляет собой основную форму иттриевого вольфрамового электрода, диаметром 0,5 ~ 6,4 мм и длиной 50 ~ 175 мм, которая соответствует стандартам ISO 6848 и GB/T 4192. Допуски составляют $\pm 0,05$ мм в диаметре, ± 1 мм в длину, а шероховатость поверхности составляет $Ra < 0,4$ мкм.

Технические характеристики и применение:

Диаметр 0,5 ~ 1,6 мм: микросварка и пайка тонкими пластинами, ток 10 ~ 100 А, подходит для упаковки чипов и медицинских устройств.

Диаметр 1,6 ~ 3,2 мм: универсальная сварка TIG, ток 50 ~ 250 А, подходит для нержавеющей стали, титанового сплава и алюминиевого сплава.

Диаметр 3,2 ~ 6,4 мм: высокоэнергетическая сварка и плазменная резка, ток 200 ~ 500 А, подходит для толстых листов и сварки глубоким расплавом.

Длина 50 ~ 75 мм: ручная сварка для простоты эксплуатации.

Длина 150 ~ 175 мм: Автоматическая сварка, совместимая с длинными сварочными пистолетами.

Процесс изготовления:

Используется прецизионный волочильный станок (допуск $\pm 0,01$ мм) и станок для лазерной резки (точность длины $\pm 0,1$ мм).

Поверхность подвергается электрохимической полировке для обеспечения гладкости и отсутствия дефектов.

Преимущества: Стандартные стержневые электроды обладают высокой эффективностью производства, низкой стоимостью, высокой универсальностью и составляют более 70% доли рынка.

2.3.2 Микроигльчатые электроды (для сверхточной сварки)

Особенности: Диаметр микроигльчатого электрода 0,3 ~ 1,0 мм, радиус наконечника $< 0,1$ мм, предназначен для сверхточной сварки. Длина электрода составляла 20 ~ 50 мм, допуск $\pm 0,01$ мм, шероховатость поверхности — $Ra < 0,2$ мкм.

Производительность и использование:

Производительность: диаметр дуги $< 0,5$ мм, зона термического влияния $< 0,1$ мм, подходит для тока 5 ~ 50 А.

Использование:

Корпус полупроводниковых микросхем: пайка медных и золотых выводов, диаметр паяного соединения $< 0,2$ мм.

Медицинские приборы: сварочные микрохирургические ножи из нержавеющей стали, ток 5 ~ 20 А.

Оптоэлектроника: Паяние волоконно-оптических разъемов с точностью до $\pm 0,01$ мм.

Процесс изготовления:

Используйте оборудование для лазерной микрообработки для обработки наконечника под углом $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$.

Электрохимическая полировка (напряжение $5 \sim 10$ В) используется для обеспечения гладкой поверхности.

Он оснащен высокоточным волочильным станком (допуск $\pm 0,005$ мм) для производства ультратонких электродов.

Тенденция развития: С развитием микроэлектроники и медицинской промышленности ожидается, что спрос на микроигльчатые электроды увеличится на $20\% \sim 30\%$, способствуя применению лазерной обработки и технологии нанолегирования.

2.3.3 Нестандартные электроды по индивидуальному заказу (специальная форма конструкции и применение)

Особенности: Нестандартные электроды по индивидуальному заказу разрабатываются в соответствии со специальными технологическими требованиями, такими как изогнутые электроды, конические электроды или электроды с несколькими наконечниками. Диаметр и длина изготавливаются по индивидуальному заказу в соответствии с требованиями заказчика с допусками $\pm 0,05$ мм.

Сценарии применения:

Сложная конструкционная сварка: Для сварных швов специальной формы аэрокосмических компонентов требуются изгибающие электроды (радиус кривизны $5 \sim 10$ мм).

Многоточечная пайка: Многопроводовая пайка в сборке батареи использует многоконтактные электроды (расстояние между наконечниками $0,5 \sim 2$ мм).

Аддитивное производство: ремонт плазменной дугой с использованием конических электродов (угол наконечника $60^{\circ} \sim 90^{\circ}$) для повышения точности штабелирования.

Процесс изготовления:

Электроды специальной формы формируются с помощью токарных станков с ЧПУ или технологии 3D-печати.

Сложные формы достигаются с помощью лазерной резки и электроэрозионной обработки (EDM).

Поверхностные покрытия, такие как диоксид циркония, повышают устойчивость к высоким температурам.

Преимущества и проблемы:

Преимущества: удовлетворение особых потребностей и повышение эффективности сварки.

Проблемы: длительный производственный цикл и высокая стоимость (примерно на $20\% \sim 30\%$ выше).

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

2.4 Классификация по среде применения

Иттриевые вольфрамовые электроды делятся на высокотемпературные, вакуумные и инертные газы, а также специальные электроды для агрессивных сред в зависимости от температуры, атмосферы и химических характеристик среды применения.

2.4.1 Сварочные электроды в высокотемпературных средах

Особенности: Высокотемпературные среды (такие как плазменно-дуговая сварка, напыление) требуют, чтобы электроды имели высокую температуру рекристаллизации ($>2000^{\circ}\text{C}$) и низкую скорость выгорания ($<0,15$ мг/мин). Электрод WY30 (Y_2O_3 2,5% ~ 3,5%) является основным выбором с диаметром 2,4 ~ 4,8 мм и углом наконечника $45^{\circ} \sim 60^{\circ}$.

Производительность и использование:

Производительность: Устойчивость к тепловому удару, температура дуги $> 10000^{\circ}\text{C}$, срок службы 50 ~ 100 часов.

Использование:

Атомная промышленность: сварные топливные стержни из циркониевого сплава, ток 300 ~ 500 А.

Аэрокосмическая промышленность: напыление лопастей турбины из сплава на основе никеля, ток 400 ~ 600 А.

Энергетическое оборудование: сварка камеры сгорания газовой турбины, температура $> 1200^{\circ}\text{C}$.

Оптимизированная конструкция:

Было использовано спекание SPS, размер зерна составил < 5 мкм.

Поверхностные нанопокртия (например, $\text{Y}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$) для повышения стойкости к окислению.

2.4.2 Вакуумные электроды и электроды для работы в среде инертного газа

Характеристики: Вакуумная ($10^{-3} \sim 10^{-5}$ Па) или инертная газовая среда (например, аргон, гелий) требует низкой летучести электродов (скорость выделения газа $< 10^{-6}$ Па·м³/с). Электрод WY20 (диаметр 0,5 ~ 2,4 мм) подходит для этой среды и имеет радиус наконечника $< 0,2$ мм.

Производительность и использование:

Производительность: Низкое газовыделение, стабильность дуги (скорость дрейфа $< 3\%$).

Использование:

Полупроводниковое оборудование: вакуумная сварка труб из нержавеющей стали, ток 10 ~ 50 А.

Космический аппарат: корпус из титанового сплава сварной, степень вакуума 10^{-4} Па.

Вакуумная термообработка: высокотемпературный электрод печи, температура $> 1500^{\circ}\text{C}$.

Оптимизированная конструкция:

Используются вольфрам высокой чистоты ($\geq 99,99\%$) и оксид наноиттрия (10~50 нм).

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Используйте гелий высокой чистоты (расход 8 ~ 12 л/мин) для уменьшения диффузии дуги.

2.4.3 Специальные электроды для агрессивных сред

Характеристики: Коррозионные среды (например, морская техника, химическое оборудование) требуют электродов для защиты от окисления и химической коррозии. Электрод WY20 (диаметр 1,6 ~ 3,2 мм) с аргоновой защитой (расход 10 ~ 15 л/мин) является основным выбором.

Производительность и использование:

Производительность: Образование антиоксидантного слоя (летучесть $WO_3 < 0,05$ мг/мин), шероховатость поверхности $Ra < 0,2$ мкм.

Использование:

Морская техника: сварные палубы судов из нержавеющей стали, устойчивые к коррозии хлорид-ионами.

Химическое оборудование: сварка труб из сплава хастеллой, устойчивая к воздействию кислотной среды.

Энергетика: Сварка трубопроводов атомного энергетического оборудования, устойчивость к высоким температурам и высоким давлениям.

Оптимизированная конструкция:

Электрохимическая полировка поверхности или покрытие (например, TiN) для повышения коррозионной стойкости.

В сочетании с газообразной смесью аргона и гелия (соотношение 4:1) улучшается защитный эффект.

2.5 Стандарты и идентификационные спецификации

Стандарты и спецификации маркировки обеспечивают постоянство качества и прослеживаемость иттриевых вольфрамовых электродов, охватывая международные стандарты, внутренние стандарты и требования к упаковке.

2.5.1 Классификация и цветовые шкалы в международных стандартах (ISO 6848, AWS A5.12).

Стандарт ISO 6848:2015:

Классификация: Иттриевый вольфрамовый электрод маркируется как WY20, содержание Y_2O_3 составляет 1,8% ~ 2,2%, а конец окрашен в синий цвет.

Цветовая гамма: синий конец отличается от тория вольфрама (красный), лантанового вольфрама (золотого) и цериевого вольфрама (серого).

Требования: диаметр 0,5~6,4 мм, допуск $\pm 0,05$ мм; длина 50~175 мм, допуск ± 1 мм; Скорость выгорания $< 0,2$ мг/мин.

AWS A5.12:2009:

Классификация: Маркируется как EWY-2, содержание Y_2O_3 1,8% ~ 2,2%, синий конец.

Требования: Химический состав (вольфрам $\geq 99,5\%$), устойчивость дуги (скорость дрейфа

<5%), шероховатость поверхности $Ra < 0,4$ мкм.

Сертификация: Требуется отчет о эксплуатационных испытаниях и сертификация стороннего испытательного агентства.

Применение: Международные стандарты применимы к мировой торговле и широко используются в аэрокосмической, атомной промышленности и микроэлектронике для обеспечения стабильных характеристик электродов.

2.5.2 Классификация и идентификация в национальных стандартах (GB/T 4192).

GB/T 4192-2017:

Классификация: WY20 (Y_2O_3 1,8% 2,2%), и WY10 (0,8% 1,2%) и другие нестандартные модели, синий конец.

Требования: чистота вольфрама $\geq 99,5\%$, примеси $< 0,05\%$, пусковое напряжение дуги < 15 В, скорость прогорания $< 0,2$ мг/мин.

Идентификация: Модель, размер, производственная партия и информация о производителе маркируются на поверхности электрода или упаковке.

Применение: Отечественные стандарты в сочетании с фактическим производством в Китае, гибко поддерживают нестандартную кастомизацию и широко используются в автомобильной, судостроительной и энергетической промышленности.

2.5.3 Требования к упаковке и маркировке иттриевых вольфрамовых электродов

Требования к упаковке:

Влаго- и ударопрочность: используйте герметичные пластиковые коробки или вакуумную упаковку, чтобы предотвратить наглажение электродов или их столкновение.

Четкая идентификация: на упаковке указана модель (WY20), размеры (диаметр, длина), номер партии, дата производства и информация о производителе.

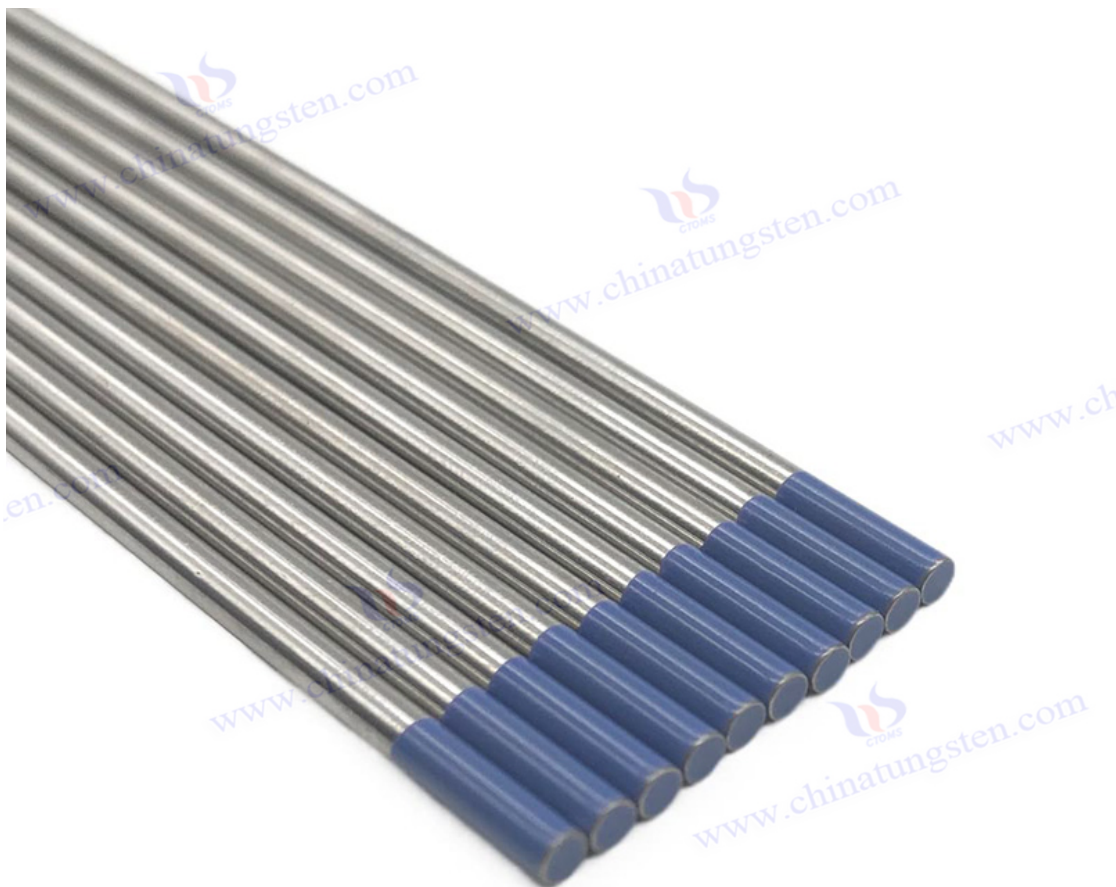
Штрихкод/RFID: Современная упаковка включает штрихкоды или RFID-метки для упрощения управления запасами и отслеживания.

Хранение и транспортировка:

Условия хранения: влажность $< 60\%$, температура $5 \sim 30$ °C для предотвращения окисления или загрязнения.

Требования к транспортировке: Используйте ударопрочную упаковку, чтобы предотвратить изгиб или поломку электрода.

Тенденция развития: В будущем может быть внедрена умная упаковка (например, данные о производительности QR-кодов) для улучшения отслеживаемости и удобства пользователей.



Глава 3 Эксплуатационные характеристики иттриевых вольфрамовых электродов

3.1 Физические свойства иттриевых вольфрамовых электродов

3.1.1 Высокая температура плавления и высокая температурная стабильность иттриевых вольфрамовых электродов

Иттриевые вольфрамовые электроды занимают важное место в сварочной промышленности благодаря своей исключительной высокой температуре плавления и стабильности при высоких температурах. Иттриевые вольфрамовые электроды в основном состоят из вольфрама высокой чистоты (W, чистота около 98% ~ 99,5%) и оксида иттрия (Y_2O_3 , массовая доля около 1,8% ~ 2,2%), а температура плавления вольфрама достигает 3422 °C, что является одним из металлов с самой высокой температурой плавления в природе. Эта характеристика позволяет иттриевым вольфрамовым электродам сохранять структурную целостность в условиях чрезвычайно высокой температуры дуги (температура дуги может достигать 6000 ~ 7000 °C) и менее подвержены плавлению или сильному выгоранию.

Легирование оксидом иттрия еще больше повышает устойчивость электрода к высоким температурам. Оксид иттрия обладает высокой термической стабильностью, а его температура разложения значительно превышает фактическую рабочую температуру в процессе сварки (около 2500°C и более). При легировании оксида иттрия температура рекристаллизации иттриевого вольфрамового электрода значительно увеличивается, обычно

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

достигая более 2000 °С, что значительно выше, чем у чистого вольфрамового электрода 1700 °С. Это означает, что иттриевые вольфрамовые электроды могут сохранять стабильность структуры зерна при длительной работе при высоких температурах, снижая проскальзывание границы зерна и образование микроскопических трещин. Эта стабильность при высоких температурах особенно важна при высокоточной сварке с глубоким расплавом, например, при сварке титановых или жаропрочных сплавов в аэрокосмической отрасли, где электрод может выдерживать длительное воздействие высокотемпературной дуги без деформации или ухудшения характеристик.

Кроме того, высокотемпературная стабильность иттриевых вольфрамовых электродов также отражается на их устойчивости к тепловому удару. Во время цикла быстрого нагрева и охлаждения поверхность электрода не подвержена образованию термических трещин. Это свойство обусловлено равномерной микроструктурой вольфрамовой матрицы и диффузным распределением частиц оксида иттрия, которые играют роль в приращении границ зерен при высоких температурах, ингибируя рост зерна и концентрацию термического напряжения.

3.1.2 Плотность, твердость и сопротивление деформации иттриевых вольфрамовых электродов

Плотность иттриевого вольфрамового электрода близка к теоретическому значению чистого вольфрама, которое составляет около 19,1 ~ 19,3 г/см³, что является материалом высокой плотности. Эта высокая плотность гарантирует, что электрод обладает высокой механической стабильностью под действием дуги, противостоя деформации, вызванной ударом дуги и механической вибрацией. Легирование оксидом иттрия оказывает незначительное влияние на плотность электрода, но за счет оптимизации производственного процесса (например, высокотемпературного спекания и многопроходнойковки) внутренняя пористость электрода может быть снижена до менее чем 1%, что еще больше улучшает однородность плотности.

Что касается твердости, твердость по Виккерсу (HV) иттриевых вольфрамовых электродов обычно составляет 400 ~ 450, что немного выше, чем у чистых вольфрамовых электродов (около 350 ~ 400 HV). Диффузионный упрочняющий эффект частиц оксида иттрия повышает сопротивление деформации электрода, делая его менее подверженным пластической деформации при высоких температурах и давлении. Высокая твердость и устойчивость к деформации особенно важны в сценариях, требующих непрерывной сварки в течение длительного времени, например, при сварке труб или производстве сосудов под давлением, где электрод может сохранять стабильность формы наконечника и уменьшать смещение дуги, вызванное деформацией.

Увеличение сопротивления деформации также тесно связано с размером зерна электрода. Точно контролируя температуру спекания и процесс легирования, современные иттриевые вольфрамовые электроды могут контролировать размер зерна в диапазоне 5 ~ 10 мкм, что значительно меньше по сравнению с 20 ~ 50 мкм традиционных чистых вольфрамовых электродов. Мелкозернистая структура не только улучшает твердость, но и повышает ударную вязкость электрода, делая его менее подверженным разрушению под механическим

воздействием.

3.1.3 Характеристики теплопроводности и теплового расширения иттриевых вольфрамовых электродов

Теплопроводность иттриевого вольфрамового электрода составляет около 174 Вт/м·К, что близко к теплопроводности чистого вольфрама (около 170~180 Вт/м·К), что лучше, чем у других редкоземельных электродов (например, ториевого вольфрама, около 160 Вт/м·К). Высокая теплопроводность позволяет электроду быстро рассеивать тепло под действием высокотемпературной дуги, снижая температуру наконечника и уменьшая возникновение прогара и термического растрескивания. Это особенно важно для высокоомощной сварки, где наконечник электрода должен выдерживать непрерывное поступление тепла.

Коэффициент теплового расширения является еще одним ключевым физическим свойством иттриевых вольфрамовых электродов. Коэффициент теплового расширения вольфрама низкий, около $4,5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (20~1000°C), в то время как легирование оксидом иттрия оказывает незначительное влияние на коэффициент теплового расширения. Это низкое тепловое расширение гарантирует, что электрод претерпевает минимальные изменения размеров во время высокотемпературных циклов, что позволяет избежать концентрации напряжений или деформации зонда, вызванной тепловым расширением. В практическом применении низкий коэффициент теплового расширения позволяет иттриевым вольфрамовым электродам адаптироваться к быстро нагреваемым и охлаждаемым сварочным процессам, таким как импульсная сварка TIG или плазменно-дуговая сварка.

3.2 Химические свойства иттриевых вольфрамовых электродов

3.2.1 Химическая стабильность оксида иттрия при высоких температурах

Оксид иттрия (Y_2O_3), являясь ключевым легирующим компонентом иттриевых вольфрамовых электродов, обладает чрезвычайно высокой химической стабильностью. Его температура плавления составляет около 2410 °C, а температура разложения намного выше, чем фактическая температура в процессе сварки (около 2000 ~ 2500 °C). В условиях высокотемпературной дуговой дуги оксид иттрия остается химически инертным и не вступает в существенной реакции с химически активными газами (например, кислородом, азотом) или парами металлов в дуге. Такая стабильность гарантирует, что при длительном использовании на поверхности электрода не образуются оксидные или сложные отложения, тем самым сохраняя стабильность и чистоту дуги.

Химическая стабильность оксида иттрия также отражается на его восстановительной стойкости. При сварке аргоном или гелием TIG поверхность электрода может подвергаться воздействию небольших количеств восстановительных газов (например, водорода). Высокая энергия связи оксида иттрия (энергия связи Y-O около 715 кДж/моль) затрудняет его восстановление, сохраняя микроструктурную целостность электрода. Эта характеристика особенно важна для высокоточной сварки, где любые химические изменения на поверхности электрода могут привести к дрейфу дуги или загрязнению сварного шва.

CTIA GROUP LTD

Yttrium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Yttrium Tungsten Electrode

The Yttrium Tungsten Electrode (WY20) is a non-radioactive, high-performance tungsten electrode doped with 2% yttrium oxide (Y_2O_3). Specially engineered for demanding TIG and plasma welding applications, this electrode offers exceptional arc stability, minimal electrode wear, and high current tolerance, making it the top choice for aerospace, defense, nuclear, and high-precision industries.

2. Key Features of Yttrium Tungsten Electrode

- **Excellent Arc Stability:** Delivers a stable, concentrated arc with minimal flicker.
- **High Current Capacity:** Ideal for high-load DC or AC welding operations.
- **Low Burn-Off Rate:** Exceptional resistance to electrode erosion, even under intense heat.
- **Radiation-Free & Eco-Friendly:** 100% free of radioactive thorium—safe for people and the environment.
- **Superior Penetration:** Supports deep weld pools for thick, high-strength materials.
- **Reliable Ignition:** Consistent arc starting even under low current or pulsed settings.

3. Typical Specifications of Yttrium Tungsten Electrode

Type	Y_2O_3 Content	Color Code	Length (mm)	Diameter (mm)
WY20	1.8% – 2.2%	Blue	50 – 175	1.0 – 6.4

4. Applications of Yttrium Tungsten Electrode

- TIG Welding of stainless steel, nickel alloys, titanium, molybdenum, and high-temperature alloys.
- Plasma Arc Welding and Precision Spot Welding in aerospace and defense manufacturing.
- Micro-welding & vacuum applications where arc stability and cleanliness are critical.
- Suitable for DC (Direct Current) or AC/DC mixed-mode operations.

5. Why Choose Yttrium Tungsten Electrode?

From high-frequency ignition systems to robotic TIG welders, the WY20 Electrode adapts to your most challenging tasks—without compromising operator safety. Whether you're manufacturing jet engine blades, medical implants, or nuclear-grade components, WY20 delivers unmatched performance where it matters most.

6. Procurement Information

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

3.2.2 Стойкость к окислению и коррозии иттриевых вольфрамовых электродов

Стойкость к окислению иттриевого вольфрамового электрода при высокой температуре лучше, чем у чистого вольфрамового электрода. Чистый вольфрам подвержен окислению в высокотемпературном ($>1000^{\circ}\text{C}$) воздухе, образуя летучие WO_3 , что приводит к быстрому выгоранию электродов. Легирование оксидом иттрия значительно снижает скорость окисления поверхности электрода за счет образования стабильного оксидного защитного слоя. Эксперименты показывают, что скорость окисления и набора массы иттриевого вольфрамового электрода составляет всего 50% ~ 60% от скорости чистого вольфрамового электрода в среде окисления 1000°C .

В коррозионных средах (например, в промышленных средах, содержащих хлориды или кислые газы) иттриевые вольфрамовые электроды обладают хорошей коррозионной стойкостью. Вольфрамовая матрица сама по себе обладает хорошей коррозионной стойкостью, в то время как химическая инертность оксида иттрия еще больше повышает коррозионную стойкость электрода. Например, при сварке в морской технике иттриевые вольфрамовые электроды противостоят коррозии хлорид-ионов в морской воде, сохраняя долгосрочную стабильность работы.

3.2.3 Химическое поведение иттриевых вольфрамовых электродов в специальных средах (вакуум, инертный газ и т.д.)

В вакууме или среде инертных газов иттриевые вольфрамовые электроды обладают особенно превосходными химическими свойствами. При вакуумной сварке (например, при вакуумной электронно-лучевой сварке) поверхность электрода практически не контактирует с каким-либо активным газом, а низкая летучесть оксида иттрия (давление пара при $2000^{\circ}\text{C} < 10^{-5}$ Па) гарантирует, что электрод не выделяет примесные газы, сохраняя чистоту вакуумной среды. Эта особенность делает его идеальным для изготовления полупроводников и пайки уплотнений космических аппаратов.

В средах инертного газа (например, при сварке аргоном, сваркой TIG с гелием с защитой от гелия) химическая стабильность иттриевых вольфрамовых электродов еще больше снижает взаимодействие между электродом и защитным газом. Частицы оксида иттрия образуют на поверхности электрода устойчивый микроскопический защитный слой, предотвращающий реакцию вольфрамовой матрицы со следовыми примесными газами, такими как кислород или водяной пар. Эта характеристика обеспечивает чистоту дуги и качество сварного шва, что особенно выгодно при высокоточной сварке.

3.3 Электрические свойства иттриевых вольфрамовых электродов

3.3.1 Работа по убеганию электронов и дуговым разрядам иттриевого вольфрамового электрода

Работа по убеганию электронов иттриевого вольфрамового электрода является основным показателем его электрических характеристик. Работа убегания электронов чистого вольфрама составляет около 4,5 эВ, в то время как легирование оксидом иттрия снижает его до 2,5 ~ 2,7 эВ. Такая малая работа утечки значительно улучшает термоэмиссионную

способность электрода, позволяя электроду зажигать дугу при более низком напряжении (10 ~ 15 В), сокращая время запуска дуги и потребление энергии.

В практическом применении характеристики дугового разряда иттриевых вольфрамовых электродов характеризуются быстрым откликом и низкой частотой отказа дугового разряда. Особенно при импульсной сварке TIG или высокочастотной дуговой дуге электрод может образовывать стабильный дуговой столб за миллисекунды. Это свойство особенно важно для прецизионной сварки, например, при микросварке электронных компонентов или медицинских устройств, для снижения тепловложения и защиты материала заготовки.

3.3.2 Стабильность дуги иттриевого вольфрамового электрода при высокой плотности тока

Дуговая стабильность иттриевых вольфрамовых электродов при высоких плотностях тока (50 ~ 500 А/мм²) является одним из их основных преимуществ. Легирование оксидом иттрия делает дуговой столб более тонким и сжатым, энергия дуги концентрируется, а бассейн расплава точно контролируется. Эксперименты показывают, что скорость дрейфа дуги иттриевого вольфрамового электрода составляет менее 5% в условиях высокого тока 200 ~ 300 А, что значительно лучше по сравнению с чистым вольфрамовым электродом (около 10% ~ 15%).

Повышенная стабильность дуги также связана с микроструктурой наконечника электрода. Частицы оксида иттрия образуют равномерную точку излучения на кончике электрода, уменьшая локальные скачки или дисперсию дуги. Эта характеристика особенно важна при сварке глубоким расплавом, например, при сварке толстой нержавеющей стали или титанового сплава, где стабильная дуга обеспечивает однородность и прочность сварного шва.

3.3.3 Проводимость и термоэмиссионная способность иттриевых вольфрамовых электродов

Проводимость иттриевого вольфрамового электрода близка к проводимости чистого вольфрама, а удельное сопротивление составляет около $5,6 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$, что немного лучше, чем у ториевого вольфрамового электрода (около $6,0 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$). Высокая проводимость гарантирует, что электрод может эффективно проводить ток при высоких токах, снижая потери тепла в Джоуле и поддерживая стабильность температуры наконечника.

Термоэмиссионная способность является еще одним ключевым электрическим свойством иттриевых вольфрамовых электродов. Низкая работа убегания и устойчивость оксида иттрия к высоким температурам позволяют ему непрерывно излучать тепловые электроны в среде дуги и поддерживать непрерывность дуги. По сравнению с лантановым вольфрамовым электродом (WL20) или церий-вольфрамовым электродом (WC20), иттриевый вольфрамовый электрод имеет более высокую эффективность термоэмиссионной эмиссии при высоких токах (>200 А), что делает его пригодным для мощной сварки глубоким расплавом.

3.4 Механические свойства иттриевых вольфрамовых электродов

3.4.1 Сопротивление ползучести иттриевого вольфрамового электрода при высоких температурах

Сопротивление ползучести иттриевого вольфрамового электрода при высокой температуре обусловлено диффузионно-упрочняющим эффектом оксида иттрия. В условиях высокотемпературной дуговой дуги (около 2000 ~ 2500 °C) чистые вольфрамовые электроды склонны к ползучести, что приводит к деформации или поломке наконечника. Частицы оксида иттрия значительно улучшают сопротивление ползучести электрода за счет закрепления границ зерен и препятствования движению дислокаций. Эксперименты показывают, что скорость ползучести иттриевого вольфрамового электрода при 2000°C составляет всего 30% ~ 40% от скорости чистого вольфрамового электрода.

Это сопротивление ползучести позволяет иттриевым вольфрамовым электродам сохранять стабильность формы при длительной сварке сильным током. Например, при сварке титана в аэрокосмической отрасли, где электроды подвергаются многочасовой непрерывной работе, противоскользкие свойства иттриевых вольфрамовых электродов обеспечивают долговременную стабильность формы наконечников.

3.4.2 Износостойкость наконечника электрода иттриевого вольфрамового электрода

Износостойкость наконечника электрода является критическим фактором, влияющим на качество сварного шва и срок службы электрода. Иттриевые вольфрамовые электроды формируются с острыми наконечниками (радиус наконечника 0,1 ~ 0,5 мм) в процессе прецизионного шлифования, а износостойкость повышается за счет укрепляющего эффекта оксида иттрия. При сварке сильным током наконечник электрода подвергается удару дуги и ионной бомбардировке, а твердость частиц оксида иттрия (около 910 Мооса) эффективно противостоит износу и эрозии наконечника.

По сравнению с чистыми вольфрамовыми электродами, скорость износа наконечников иттриевых вольфрамовых электродов снижается примерно на 20% ~ 30%, особенно при сварке переменным током (АС). При сварке переменным током наконечник электрода подвергается быстрому переключению между положительной и отрицательной полярностью, а износостойкость иттриевого вольфрамового электрода обеспечивает долговременную стабильность формы наконечника, уменьшая дрейф дуги и дефекты сварных швов.

3.4.3 Анализ низких характеристик потерь при выгорании и ресурса иттриевых вольфрамовых электродов

Низкая скорость выгорания иттриевых вольфрамовых электродов является одним из их наиболее важных механических свойств. Скорость выгорания обычно определяется как скорость потери массы электрода при определенном токе и времени. Эксперименты показывают, что скорость выгорания иттриевого вольфрамового электрода составляет всего 0,1 ~ 0,2 мг/мин в условиях сварки постоянным током 200 А, что значительно ниже, чем у чистого вольфрамового электрода (0,3 ~ 0,5 мг/мин).

Низкий уровень потерь при горении достигается благодаря следующим факторам:

Оксид иттрия повышает температуру рекристаллизации электрода и снижает рост зерна при высоких температурах.

Высокая теплопроводность и низкий коэффициент теплового расширения снижают термическое напряжение на наконечнике и уменьшают микротрещины.

Гладкость поверхности электрода высокая ($Ra < 0,4$ мкм), что снижает отслаивание материала, вызванное ударом дуги.

Анализ ресурса показывает, что срок службы иттриевого вольфрамового электрода в типичных условиях сварки TIG может достигать 100 ~ 150 часов, что примерно на 30% ~ 50% больше, чем у чистого вольфрамового электрода (50 ~ 80 часов). При сильноточной или высокочастотной импульсной сварке преимущество в сроке службы еще более очевидно.

3.5 Характеристики безопасности и защиты окружающей среды иттриевых вольфрамовых электродов

3.5.1 Преимущества нерадиоактивности и низкой токсичности иттриевых вольфрамовых электродов

Нерадиоактивность иттриевых вольфрамовых электродов является их основным преимуществом перед ториевыми вольфрамовыми электродами (WT20). Ториевые вольфрамовые электроды представляют опасность для здоровья из-за присутствия оксида тория (ThO_2 , который α радиоактивен), а длительное воздействие может привести к радиационному облучению. Оксид иттрия в вольфрамовых электродах иттрия не радиоактивен и соответствует стандартам безопасности Международной организации труда (МОТ) и Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ).

Кроме того, низкая токсичность иттриевых вольфрамовых электродов позволяет оказывать минимальное воздействие на здоровье операторов во время производства и использования. Оксид иттрия и вольфрам являются химически инертными веществами, которые не склонны к испарению и образованию вредных газов. В процессе сварки иттриевый вольфрамовый электрод не выделяет токсичных паров, что снижает риск воздействия на органы дыхания и кожу для операторов.

3.5.2 Оценка воздействия на окружающую среду и экологичности иттриевых вольфрамовых электродов

Охрана окружающей среды иттриевых вольфрамовых электродов выражается в их низком воздействии на окружающую среду при производстве и использовании. По сравнению с ториевыми вольфрамовыми электродами, иттриевые вольфрамовые электроды не требуют специальных установок по переработке радиоактивных отходов, что снижает риск загрязнения окружающей среды. Современные процессы, такие как распылительное легирование и высокотемпературное спекание, повышают экологичность производства за счет оптимизации использования энергии и сокращения выбросов отходов.

С точки зрения жизненного цикла, характеристики длительного срока службы иттриевых

вольфрамовых электродов снижают частоту замены электродов, снижая потребление ресурсов и образование отходов. Кроме того, как вольфрам, так и оксид иттрия могут быть переработаны, достигая коэффициента восстановления более 90% за счет высокотемпературного плавления и химической очистки, что соответствует требованиям экономики замкнутого цикла.

3.5.3 Технические условия по охране труда и технике безопасности для иттриевых вольфрамовых электродов

Технические условия по охране труда и технике безопасности для иттриевых вольфрамовых электродов в основном включают в себя следующие аспекты:

Эксплуатационная безопасность: во время сварки следует надевать защитные очки и перчатки, чтобы избежать повреждения глаз и кожи дуговым светом.

Требования к вентиляции: Хотя иттриевые вольфрамовые электроды нетоксичны, они могут выделять небольшое количество паров металла в процессе сварки, поэтому убедитесь, что рабочее место хорошо проветривается.

Хранение и транспортировка: Электроды следует хранить в сухом и проветриваемом помещении во избежание попадания влаги или механических повреждений. При транспортировке требуется ударопрочная упаковка, чтобы предотвратить поломку электродов.

Утилизация отходов: Отработанные электроды должны быть отсортированы и переработаны, чтобы избежать случайного выброса.

3.6 Китай Вольфрамовый интеллектуальное производство Иттриевый вольфрамовый электрод MSDS

Часть 1: Название продукта

Название: Иттриевый вольфрамовый электрод (WY20)

Номер CAS: 7440-33-7

Часть 2: Композиция/информация о композиции

Химический состав: вольфрам (W, 98%~99,5%), оксид иттрия (Y_2O_3 , 1,8%~2,2%), следовые примеси (<0,1%).

Физическое состояние: форма твердого стержня, логотип с синим покрытием.

Часть 3: Обзор опасности

Опасность для здоровья: Этот продукт не раздражает глаза и кожу.

Взрывоопасность: Этот продукт негорюч и не вызывает раздражения.

Часть 4: Меры первой помощи

Контакт с кожей: Снимите загрязненную одежду и промойте большим количеством проточной воды.

Попадание в глаза: приподнимите веко и промойте проточной водой или физиологическим раствором. Лечение.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Ингаляция: Оставьте место происшествия на свежем воздухе. Если дыхание затруднено, дайте кислород. Лечение.

Еда: Пейте достаточно теплой воды, чтобы вызвать рвоту. Лечение.

Часть 5: Противопожарные меры

Вредные продукты горения: естественные продукты разложения неизвестны.

Методы тушения пожара: Пожарные должны носить противогазы и пожарные костюмы, чтобы потушить огонь с наветренной стороны. Огнетушащее вещество: сухой кожаный порошок, песок.

Часть 6: Неотложная помощь при утечке

Неотложная помощь: изолируйте протекающую зону загрязнения и ограничьте доступ. Перекройте источник огня. Персоналу аварийно-спасательных служб рекомендуется носить респираторы (полнолицевые маски) и противогазовую одежду. Избегайте попадания пыли, тщательно подметите его и переложите в надежное место в сумке. Если имеется большое количество протекания, накройте его полиэтиленовой пленкой или полотном. Собирайте и перерабатывайте или транспортируйте на места переработки отходов для утилизации.

Часть 7: Эксплуатация, утилизация и хранение

Меры предосторожности при эксплуатации: Операторы должны пройти специальную подготовку и строго соблюдать рабочие процедуры. Операторам рекомендуется носить самовсасывающие фильтрующие пылезащитные маски, защитные очки от химических веществ, рабочую одежду с антитоксическим проникновением и резиновые перчатки. Вдали от огня и источников тепла курение на рабочем месте категорически запрещено. Используйте взрывозащищенные вентиляционные системы и оборудование. Избегайте попадания пыли. Избегайте контакта с окислителями и галогенами. При обращении его следует загружать и выгружать легко, чтобы не повредить упаковку и контейнеры. Комплекуются соответствующими сортами и количествами противопожарного оборудования и оборудования для устранения утечек аварийного оборудования. Пустые контейнеры могут оставлять вредные вещества.

Меры предосторожности при хранении: Хранить в прохладном, проветриваемом складе. Держитесь подальше от огня и источников тепла. Его следует хранить отдельно от окислителей и галогенов, и не следует смешивать. Оснащается соответствующими сортами и количествами противопожарного оборудования. Площадка для хранения должна быть оборудована соответствующими материалами для локализации разлива.

Часть VIII: Контроль контакта/личная защита

ПДК в Китае (мг/м³): 6

Бывший советский ПДК (мг/м³): 6

TLVTN: ACGIH 1 мг/м³

Краткая стоимость: ACGIH 3 мг/м³

Метод мониторинга: Спектролюминесценция титаноцианида калия-хлорида титана

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Инженерный контроль: беспыльный производственный процесс и полная вентиляция.

Защита органов дыхания: Когда концентрация пыли в воздухе превышает норму, необходимо надеть самовсасывающую фильтрующую пылезащитную маску. При эвакуации в экстренной ситуации следует надеть респиратор.

Защита глаз: Носите очки химической защиты.

Защита тела: носить рабочую одежду с защитой от проникновения яда.

Защита рук: надевайте резиновые перчатки.

Часть 9: Физические и химические свойства

Основные ингредиенты: чистый продукт

Внешний вид и свойства: твердый, металллик ярко-белого цвета

Температура плавления (°C): Н/Д

Температура кипения (°C): Н/Д

Относительная плотность (вода = 1): 13 ~ 18,5 (20 ° C)

Плотность пара (воздух=1): Нет данных

Давление насыщенного пара (кПа): Нет данных

Теплота сгорания (кДж/моль): Нет данных

Критическая температура (°C): Нет данных

Критическое давление (МПа): Нет данных

Логарифмическое значение коэффициента распределения воды: Нет данных

Температура вспышки (°C): Нет данных

Температура воспламенения (°C): Нет данных

Предел взрываемости % (V/V): Нет данных

Нижний предел взрываемости % (V/V): Нет данных

Растворимость: растворима в азотной кислоте и фтористоводородной кислоте

Основное применение: используется для изготовления защитных деталей, валов дровиков из вольфрамового сплава, шариков из вольфрамового сплава и т. Д.

Часть 10: Стабильность и реакционная способность

Запрещенные ингредиенты: сильные кислоты и щелочи.

Часть XI:

Острая токсичность: данных нет

LC50: Нет данных

Часть 12: Экологические данные

Данных по этой части нет

Часть 13: Утилизация отходов

Метод утилизации отходов природного характера: Перед утилизацией ознакомьтесь с соответствующими национальными и местными правилами. Если есть возможность, утилизируйте.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Часть 14: Информация о доставке

Номер опасного груза: Нет информации

Категория упаковки: Z01

Меры предосторожности при транспортировке: Упаковка должна быть полной, а погрузка должна быть надежной. Во время транспортировки следите за тем, чтобы контейнер не протекал, не сложился, не упал и не повредился. Категорически запрещается смешивать и транспортировать с окислителями, галогенами, пищевыми химикатами и т.д. Во время транспортировки он должен быть защищен от воздействия солнца, дождя и высокой температуры. После транспортировки транспортное средство должно быть тщательно очищено.

Часть 15: Нормативная информация

Нормативная информация: Правила управления безопасностью химических опасных грузов (изданы Государственным советом 17 февраля 1987 года), Правила реализации Правил управления безопасностью химических опасных грузов (Hua Lao Fa [1992] No 677), Правила безопасного использования химических веществ на рабочем месте ([1996] Департамент труда No 423) и другие нормативные акты, которые устанавливают соответствующие положения о безопасном использовании, производстве, хранении, транспортировке, погрузке и разгрузке опасных химических грузов. Гигиенический стандарт для вольфрама в воздухе цеха (GB 16229-1996) определяет максимально допустимую концентрацию и метод обнаружения вещества в воздухе цеха.

Часть 16: Информация о поставщиках

Поставщик: CTIA GROUP LTD

Телефон: 0592-5129696/5129595



Глава 4 Процесс подготовки и технология иттриевого вольфрамового электрода

4.1 Подготовка сырья для иттриевых вольфрамовых электродов

4.1.1 Просеивание и приготовление вольфрамового порошка высокой чистоты

Подготовка иттриевого вольфрамового электрода начинается с просеивания и приготовления вольфрамового порошка высокой чистоты, а качество вольфрамового порошка напрямую влияет на физические, химические и электрические свойства электрода. Порошок вольфрама обычно получают из паравольфрама аммония (АПТ) или триоксида вольфрама (WO_3) с помощью процесса восстановления водорода. Производство иттриевых вольфрамовых электродов требует, чтобы чистота вольфрамового порошка достигала более 99,95% для обеспечения стабильности электрода в условиях высокотемпературной дуговой дуги. Содержание примесей (например, железа, никеля, углерода и т. д.) должно быть ниже 50 ppm, так как даже следовые количества примесей могут вызвать выгорание электрода или смещение дуги в процессе сварки.

Гранулометрический состав вольфрамового порошка является ключевым параметром для прохочения. Идеальный диапазон размеров частиц вольфрамового порошка составляет 1 ~ 5 мкм, а слишком крупные частицы (>10 мкм) приведут к тому, что зерно станет грубым после спекания, что снизит механическую прочность электрода. Слишком мелкие частицы (<0,5 мкм) могут увеличить сложность спекания и повлиять на плотность электрода. В

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

современном процессе подготовки используется технология классификации воздушным потоком для просеивания вольфрамового порошка, а точное регулирование скорости воздушного потока и размера сита отделяет вольфрамовый порошок с равномерным размером частиц. Кроме того, морфология вольфрамового порошка также нуждается в оптимизации, и предпочтение отдается частицам, близким к сферическим, так как сферические частицы имеют лучшую текучесть при последующем смешивании и спекании, что помогает улучшить однородность электрода.

Процесс приготовления вольфрамового порошка обычно включает в себя следующие этапы:

Восстановление: АРТ или WO_3 дважды восстанавливается в атмосфере водорода ($600 \sim 900^\circ C$) с образованием вольфрамового порошка высокой чистоты.

Просеивание: Просеивание порошка вольфрама целевого размера с помощью вибрационного сита или оборудования для сортировки воздушным потоком.

Очистка: Травление (разбавленная соляная кислота или азотная кислота) используется для удаления поверхностных оксидов и загрязнений.

Сушка: Сушка при низкой температуре ($<200^\circ C$) в вакууме или среде инертного газа для предотвращения окисления вольфрамового порошка.

4.1.2 Очистка и контроль качества оксида иттрия

Оксид иттрия (Y_2O_3) является ключевым легирующим компонентом иттриевых вольфрамовых электродов, и его чистота и качество напрямую влияют на характеристики электронной эмиссии электрода и стабильность при высоких температурах. Оксид иттрия обычно извлекается из иттриевых руд, таких как монацит или фторцерий, и очищается до уровня выше 99,99% с помощью экстракции растворителем и процессов ионного обмена. В процессе очистки следует строго контролировать содержание примесных элементов (таких как кальций, кремний, железо), а общая целевая примесь должна составлять $< 100 \text{ ppm}$, чтобы избежать негативного влияния на работу электродов.

Контроль размера частиц оксида иттрия также имеет решающее значение. Идеальный размер частиц оксида иттрия составляет $0,5 \sim 2 \text{ мкм}$, и слишком крупные частицы приведут к неравномерному легированию и снизят стабильность дуги электрода. Слишком мелкие частицы ($<0,1 \text{ мкм}$) могут агломерироваться в процессе спекания, влияя на микроструктуру электрода. В современных процессах используется технология распылительной сушки для подготовки частиц оксида иттрия, обеспечивающая однородность и текучесть за счет контроля скорости распыления и температуры сушки.

Меры контроля качества включают в себя:

Химический анализ: Для определения чистоты и содержания примесей оксида иттрия использовалась эмиссионная спектроскопия с индуктивно связанной плазмой (ICP-OES).

Анализ размера частиц: Используйте лазерный анализатор размера частиц для измерения распределения частиц, обеспечивая соответствие целевому диапазону.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Морфологическое исследование: Морфология частиц оксида иттрия изучается с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), при этом предпочтение отдается частицам, близким к сферическим.

4.1.3 Подбор и оптимизация вспомогательных добавок

При приготовлении иттриевых вольфрамовых электродов вспомогательные добавки используются для улучшения текучести порошка, свойств спекания или механических свойств электродов. К обычно используемым добавкам относятся:

Связующие вещества: такие как поливиниловый спирт (ПВА) или полиэтиленгликоль (ПЭГ), которые используются для улучшения формовочных характеристик порошков, обычно добавляются 0,1% ~ 0,5%.

Диспергаторы: такие как полиакрилат аммония (ПАА), который используется для предотвращения агломерации частиц оксида иттрия, с добавлением около 0,05% ~ 0,2%.

Вспомогательные вещества для спекания: такие как небольшое количество оксида лантана (La_2O_3) или оксида церия (CeO_2), которое используется для снижения температуры спекания и увеличения плотности электродов, а количество добавки составляет < 0,1%.

При выборе добавок следует учитывать их летучесть в процессе высокотемпературного спекания, чтобы избежать влияния остатков на электрические свойства электрода. Например, ПВА может быть полностью разложен при температуре 600 ~ 800 °C без остатков органических веществ в электроде. Эксперименты по оптимизации соотношения присадок обычно проводятся с помощью ортогонального дизайна для всесторонней оценки влияния добавок на плотность электродов, твердость и характеристики дуги.

4.2 Процесс порошковой металлургии иттриевого вольфрамового электрода

4.2.1 Технология смешивания и легирования порошка иттриевого вольфрама

Смешивание и легирование порошка иттриевого вольфрама является ключевым этапом в получении однородных электродов. Оксид иттрия должен быть равномерно распределен в вольфрамовой матрице, чтобы обеспечить стабильность дуги и механические свойства электрода. К наиболее часто используемым методам допинга относятся:

Влажное легирование: водный раствор оксида иттрия, обычно нитрата иттрия, распыляется на вольфрамовый порошок или сырье триоксида вольфрама, обеспечивая равномерное перемешивание за счет перемешивания и ультразвукового диспергирования. Впоследствии композитный порошок вольфрама иттрия формировали путем распылительной сушки, а размер частиц контролировали при 2 ~ 5 мкм.

Сухое легирование: порошок оксида иттрия непосредственно смешивается с порошком вольфрама, а механическое легирование осуществляется с помощью высокоэнергетического шарового фрезерного оборудования. В процессе шарового фрезерования необходимо контролировать скорость (200 ~ 400 об/мин) и время (48 часов), чтобы избежать слишком мелких частиц или загрязнения.

Легирование плазменным напылением: Технология плазменного напыления используется для распыления частиц оксида иттрия на поверхность порошка вольфрама для формирования

структуры покрытия. Этот метод подходит для получения электродов с высоким содержанием оксида иттрия ($>2,5\%$).

Равномерность распределения оксида иттрия должна строго контролироваться в процессе легирования. Современные процессы анализируют элементное распределение легированных порошков методами рентгенофлуоресцентной спектроскопии (РФА) или энергодисперсионной спектроскопии (ЭДС), гарантируя, что отклонение массовой доли оксида иттрия $<\pm 0,1\%$.

4.2.2 Процесс формования под высоким давлением и изостатического прессования

После смешивания литрамового порошка иттрия его необходимо превратить в электродные заготовки методом формования под высоким давлением. Распространенные методы формовки под высоким давлением включают:

Компрессионное формование: легированный порошок загружается в форму и прессуется в заготовки под давлением $50 \sim 100$ МПа. Компрессионное формование подходит для мелкосерийного производства, но распределение внутренней плотности заготовки может быть неравномерным.

Холодное изостатическое прессование (CIP): порошок загружается в гибкую форму, и в жидкую среду подается равномерное давление $200 \sim 300$ МПа. Процесс безразборной мойки позволяет значительно увеличить плотность заготовки (до $60\% \sim 70\%$ от теоретической плотности) и снизить внутреннюю пористость, что делает ее пригодной для производства высокопроизводительных электродов.

Преимущество процесса изостатического прессования заключается в том, что давление равномерное, что позволяет избежать концентрации напряжений в стержне заготовки. Параметры процесса (такие как давление, время выдержки) должны быть оптимизированы в соответствии с размером частиц порошка и соотношением присадок, обычно время выдержки составляет $30 \sim 60$ секунд для обеспечения стабильности формы и прочности заготовки.

4.2.3 Высокотемпературное спекание и регулирование атмосферы (водород, вакуумное спекание)

Высокотемпературное спекание является основным этапом подготовки иттриевых вольфрамовых электродов с целью улучшения плотности и механических свойств электродов. Спекание обычно выполняется в водородной или вакуумной атмосфере, а параметры процесса включают:

Водородное спекание: Проводимый в атмосфере водорода с температурой $1800 \sim 2200$ °C, водород предотвращает окисление вольфрамового порошка, способствуя равномерному распределению частиц оксида иттрия. Время спекания составляет 24 часа, а скорость нагрева контролируется на уровне $5 \sim 10$ °C / мин, чтобы избежать быстрого роста зерен.

Вакуумное спекание: проводится в вакуумной среде $10^{-3} \sim 10^{-5}$ Па, температура спекания

составляет 2000~2400°C. Вакуумное спекание позволяет снизить адсорбцию газовых примесей и подходит для изготовления электродов высокой чистоты.

В процессе спекания следует строго контролировать чистоту атмосферы (содержание кислорода < 10 ppm), чтобы предотвратить окисление или образование летучих веществ WO₃ на поверхности электрода. Плотность электродов после спекания может достигать более 98% от теоретической плотности, а размер зерна контролируется на уровне 5 ~ 10 мкм, чтобы обеспечить механическую прочность и стабильность дуги электрода.

4.3 Обработка и финишная обработка иттриевых вольфрамовых электродов

Обработка и отделка иттриевых вольфрамовых электродов являются ключевыми этапами преобразования спеченных заготовок в электродные стержни, соответствующие стандартным спецификациям (ISO 6848, GB/T 4192), включая такие процессы, как горячая каландрация, прецизионное волочение, полировка поверхности, формовка наконечника и индивидуальная резка. Эти процессы напрямую влияют на точность размеров, качество поверхности и характеристики дуги электродов.

4.3.1 Горячее каландрирование и прецизионное волочение

Процесс горячей каландрации: Горячая каландрировка - это основной процесс переработки спеченных полос из иттриевого вольфрама (диаметр 10 ~ 20 мм, длина 100 ~ 300 мм) в прутки меньшего диаметра (3 ~ 5 мм). Горячее каландрирование проводится в высокотемпературной среде для снижения требований к твердости и пластичности вольфрама, обеспечивая равномерную деформацию и отсутствие трещин в заготовке.

Параметры процесса:

Температура: 1400 ~ 1600 °C, ниже, чем температура рекристаллизации вольфрама (>2000 °C) для предотвращения чрезмерного образования зерен.

Проходы прокатки: 5 ~ 10 проходов, диаметр каждого прохода уменьшается на 0,51 мм, а совокупная деформация составляет 70% ~ 80%.

Материал валка: вольфрамо-молибденовый сплав или керамический композит, устойчивый к высоким температурам (> 1500°C) и устойчивый к износу.

Защитная атмосфера: газообразный аргон или азот (расход 10 ~ 15 л/мин, содержание кислорода < 10 ppm) для предотвращения окисления вольфрамовой поверхности с образованием летучих веществ WO₃.

Скорость нагрева: 5 ~ 10 °C / мин, чтобы избежать микротрещин, вызванных термическим напряжением.

Оборудование:

Высокотемпературные горячие каландры: оснащены инфракрасными термометрами (точность ±2°C) и системами контроля атмосферы для обеспечения контроля температуры и окисления.

Многовалковый стан: четырехвалковая или шестивалковая конструкция, усилие прокатки

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

100 ~ 200 кН, точность $\pm 0,1$ мм.

Требования к качеству:

Шероховатость поверхности $Ra < 1,0$ мкм, без видимых царапин и оксидных слоев.

Допуск по диаметру $\pm 0,1$ мм, отклонение по округлости $< 0,05$ мм.

Задачи и оптимизация:

Задача: Хрупкость вольфрама при высоких температурах может привести к образованию трещин, что требует точного контроля температуры и скорости деформации.

Оптимизация: Используется многоступенчатая прогрессивная прокатка, величина деформации составляет $< 15\%$ за проход, а внутренние трещины контролируются с помощью онлайн-детектора ультразвука (частота 5 ~ 10 МГц).

Процесс прецизионного волочения: Прецизионное волочение дополнительно обрабатывает прутки с горячей каландрой до целевого диаметра (0,5 ~ 4,8 мм) для удовлетворения потребностей в высокоточной сварке (например, микросварка, аэрокосмическая промышленность). Процесс волочения гарантирует, что поверхность электрода будет гладкой, точной по размерам и свободной от внутренних напряжений.

Параметры процесса:

Форма для волочения: алмазная форма (точность диаметра отверстия $\pm 0,01$ мм), устойчивая к износу и гладкая поверхность.

Скорость вытягивания: 0,5 ~ 2 м/мин, слишком высокая скорость может привести к царапинам на поверхности, слишком низкая скорость снизит эффективность.

Смазка: графитовая эмульсия (вязкость 0,1 ~ 0,3 Па·с) или смазка на основе молибдена (MoS_2) для снижения коэффициента трения ($< 0,1$).

Волочильные проходы: 10 ~ 15 проходов, диаметр каждого прохода уменьшается на 0,1 ~ 0,3 мм, а совокупная деформация составляет $> 90\%$.

Контроль натяжения: тяговое усилие (10 ~ 50 кН) контролируется серводвигателем для обеспечения согласованности размеров.

Оборудование:

Прецизионный волочильный станок: оснащен датчиком натяжения (точность $\pm 0,1$ кН) и лазерным измерителем диаметра (точность $\pm 0,005$ мм).

Система смазки: автоматическое распыление смазки, расход 0,1 ~ 0,5 л/мин для предотвращения перегрева пресс-формы.

Требования к качеству:

Допуск по диаметру $\pm 0,05$ мм, шероховатость поверхности $Ra < 0,4$ мкм.

Отсутствие царапин на поверхности, трещин и остаточных напряжений, а процент внутренних дефектов $< 0,5\%$.

Задачи и оптимизация:

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Задача: Отклонения в размерах, вызванные износом алмазных форм, которые необходимо регулярно заменять (вытягиваются каждые 100 000 метров).

Оптимизация: Внедрение онлайн-лазерного измерителя диаметра и рентгеновской томографии (ХСТ, разрешение < 1 мкм) для мониторинга размеров и внутренних дефектов в режиме реального времени.

Направление развития:

Разработайте технологию высокотемпературной плазменной прокатки для снижения температуры прокатки (1200 ~ 1400 °C) и снижения энергопотребления на 20% ~ 30%.

Используйте пресс-формы с нанопокрытием (например, TiN или CrN), чтобы продлить срок службы пресс-формы на 50% и повысить точность волочения.

4.3.2 Полировка поверхности и формовка наконечника

Процесс полировки поверхности: Полировка поверхности является важным этапом в повышении стабильности дуги и долговечности иттриевых вольфрамовых электродов. Гладкая поверхность ($Ra < 0,4$ мкм) снижает дрейф дуги (целевой <5%) и выгорание наконечника (<0,2 мг/мин), а также уменьшает нестабильность дуги, вызванную поверхностными дефектами.

Механическая полировка:

Процесс: Используйте алмазный шлифовальный круг (размер зерна 2000 ~ 3000 меш) или полировальную ленту из оксида алюминия, скорость полировки 13 м/мин.

Оборудование: Полировальный станок с ЧПУ, оснащенный автоматической системой подачи (точность $\pm 0,01$ мм) и устройством циркуляции охлаждающей жидкости (расход 5 ~ 10 л/мин).

Требования к качеству: Шероховатость поверхности $Ra < 0,4$ мкм, без царапин и микротрещин.

Преимущества: Подходит для крупносерийного производства и низкой стоимости.

Недостатки: Могут попасть следовые остатки абразива, которые необходимо очистить позже.

Электрохимическая полировка:

Процесс: Смешанный электролит серной кислоты и фосфорной кислоты (соотношение 1:1, концентрация 10% 20%), напряжение 515 В, плотность тока 0,52 А/см², время полировки 1030 секунд.

Оборудование: Электрохимическая полировальная машина с источником питания постоянного тока (точность $\pm 0,1$ В) и системой перемешивания (скорость 100 ~ 200 об/мин).

Требования к качеству: шероховатость поверхности $Ra < 0,2$ мкм, отсутствие оксидного слоя и коррозии.

Преимущества: Высокая чистота поверхности, подходит для высокоточной пайки (например, полупроводников).

Недостатки: Высокая стоимость электролитной обработки и природоохранных мероприятий.

Контроль качества:

Шероховатость определяли с помощью лазерного сканера поверхности (разрешение < 0,01

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

мкм).

Оптические микроскопы (увеличение $100 \sim 500 \times$) исследуют дефекты поверхности, чтобы убедиться в отсутствии царапин или следов окисления.

Процесс формовки наконечников: При формировании наконечников создаются наконечники с определенными углами ($15^\circ \sim 60^\circ$) и радиусами ($0,1 \sim 0,5$ мм) с помощью прецизионного шлифования для оптимизации концентрации дуги и производительности дуги. Различные сварочные процессы предъявляют особые требования к форме наконечников:

Параметры процесса:

Выбор угла:

$15^\circ \sim 30^\circ$: подходит для микросварки (ток $5 \sim 50$ А), концентрация дуги, зона термического влияния $< 0,1$ мм.

$30^\circ \sim 45^\circ$: Общая сварка TIG (ток $50 \sim 200$ А) для балансировки стабильности дуги и срока службы.

$45^\circ \sim 60^\circ$: Плазменная дуговая сварка (ток > 200 А), подходит для глубокого плавления и высокотемпературных сред.

Радиус наконечника: $0,1 \sim 0,2$ мм (микросварка), $0,3 \sim 0,5$ мм (сильноточная сварка).

Шлифовальное оборудование: шлифовальный станок с ЧПУ, оснащенный алмазным шлифовальным кругом (размер зерна 3000 меш), скорость вращения $1000 \sim 5000$ об/мин.

Оборудование:

Шлифовальный станок с ЧПУ: поддерживает многоосевое управление (точность $\pm 0,01^\circ$), программируемую форму наконечника.

Система охлаждения: Используйте охлаждающую жидкость на водной основе (расход $5 \sim 10$ л/мин) для предотвращения перегрева наконечника.

Требования к качеству:

Отклонение угла наклона наконечника составляет $< \pm 1^\circ$, а отклонение радиуса — $< \pm 0,02$ мм.

Без заусенцев и микротрещин, шероховатость поверхности $Ra < 0,2$ мкм.

Задачи и оптимизация:

Задача: Трудно гарантировать стабильность шлифовки наконечников, а ручное управление может легко привести к отклонениям.

Оптимизация: Внедрение системы визуального распознавания (разрешение $< 0,01$ мм) для автоматического определения формы наконечника; Разработайте специализированные приспособления для обеспечения постоянных углов заточки.

Направление развития:

Технология лазерной полировки: Используйте импульсный лазер (мощность $1 \sim 5$ кВт) для полировки поверхности электрода, шероховатость $Ra < 0,1$ мкм, без химических отходов жидкости.

Интеллектуальная система шлифования: сочетает в себе алгоритмы искусственного интеллекта для оптимизации углов и радиусов наконечников, адаптации к различным сценариям сварки и повышения стабильности > 95%.

4.3.3 Резка электродов и индивидуальная обработка

Процесс резки электрода: При резке электродов длинные стержни разрезаются на стандартные длины (50 ~ 175 мм) для удовлетворения потребностей ручной или автоматизированной сварки. Разрез должен быть ровным, без заусенцев и избежать микротрещин, вызванных термическим напряжением.

Алмазный отрезной круг:

Процесс: Используйте алмазный отрезной круг (размер частиц 500 ~ 1000 меш), скорость вращения 2000 ~ 5000 об/мин, скорость резки 0,1 ~ 0,5 м/мин.

Оборудование: режущий станок с ЧПУ, оснащенный системой впрыска охлаждающей жидкости (расход 10 ~ 20 л/мин).

Требования к качеству: плоскостность разреза < 0,05 мм, отсутствие микротрещин и зон термического воздействия.

Преимущества: Подходит для крупносерийного производства и низкой стоимости.

Недостатки: Режущий круг изношен и нуждается в регулярной замене.

Технология лазерной резки:

Процесс: Волоконный лазер (мощность 13 кВт) со скоростью резки 0,52 м/мин и диаметром фокусной точки < 0,1 мм.

Оборудование: Станок для лазерной резки, оснащенный защитой от инертного газа (аргон, расход 10 ~ 15 л/мин).

Требования к качеству: Точность резки $\pm 0,1$ мм, отсутствие трещин под термическим напряжением.

Преимущество: Высокая точность, подходит для резки нестандартной длины.

Недостатки: Высокая стоимость оборудования.

Контроль качества:

Качество разреза проверяли с помощью светового микроскопа (увеличение 50×).

Ультразвуковой детектор (частота 5~20 МГц) обнаруживает внутренние микротрещины (длина < 0,1 мм).

Индивидуальная обработка: Индивидуальная обработка отвечает специальным потребностям сварки, таким как электроды специальной формы (изогнутые, конические, с несколькими наконечниками) или электроды нестандартных размеров.

Сценарии применения:

Изгибающие электроды: радиус кривизны 5 ~ 10 мм, подходит для сложных сварных швов (например, аэрокосмических компонентов).

Конический электрод: угол наконечника $60^\circ \sim 90^\circ$, используется для аддитивного плазменно-дугового производства, точность укладки $\pm 0,05$ мм.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Электрод с несколькими наконечниками: расстояние между наконечниками 0,5 ~ 2 мм, подходит для многоточечной сварки для сборки аккумуляторов.

Ремесло:

Токарные станки с ЧПУ: обработка изогнутых или конических электродов с точностью $\pm 0,05$ мм.

Электроэрозионная обработка (электроэрозионная обработка): создание сложных форм с зазорами между электродами $< 0,01$ мм.

Помощь в 3D-печати: используется для создания прототипов для быстрой проверки производительности электродов специальной формы.

Требования к качеству:

Допуски на размеры $\pm 0,05$ мм и шероховатость поверхности $Ra < 0,4$ мкм.

Отсутствие внутренних дефектов, механическая прочность > 1000 МПа.

Задачи и оптимизация:

Проблемы: Долгий индивидуальный цикл обработки (2~5 дней) и высокая стоимость (примерно на 30% выше).

Оптимизация: внедрение модульной конструкции, разработка универсальных приспособлений и сокращение производственных циклов на 50%.

Направление развития:

Разработана ультракороткая импульсная лазерная резка (длительность импульса < 10 пс) с зоной термического влияния $< 0,01$ мм разреза.

Электроды специальной формы формируются непосредственно с использованием технологий аддитивного производства, таких как лазерное наплавление, что сокращает количество этапов обработки.

4.4 Технология контроля качества иттриевых вольфрамовых электродов

Технология контроля качества гарантирует, что химический состав, микроструктура и производительность иттриевых вольфрамовых электродов соответствуют стандартам (ISO 6848, GB/T 4192), охватывающим распределение оксида иттрия, анализ микроструктуры и оптимизацию процессов.

4.4.1 Контроль равномерности распределения оксида иттрия

Важность: Равномерное распределение оксида иттрия (Y_2O_3) напрямую влияет на стабильность дуги (скорость дрейфа $< 5\%$) и скорость выгорания ($< 0,2$ мг/мин) электрода. Неравномерное распределение может привести к образованию локализованных горячих точек, что приведет к сокращению срока службы.

Способ контроля:

Химический анализ:

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

XRF: рентгенофлуоресцентный спектрометр обнаруживает содержание оксида иттрия в поперечном сечении электрода с точностью $\pm 0,05\%$ и временем анализа < 1 минуту.

ICP-OES: Спектрометр с индуктивно связанной плазмой с пределом обнаружения < 1 ppb и точностью $\pm 0,01\%$, подходящий для высокоточного лабораторного анализа.

Процесс: Отбор проб в 5 ~ 10 точек (центр, край) для обеспечения отклонения содержания $Y_2O_3 < \pm 0,1\%$.

Микроскопическое наблюдение:

SEM-EDS: Сканирующая электронная микроскопия в сочетании с энергодисперсионной спектроскопией с разрешением < 1 мкм для анализа распределения частиц оксида иттрия (отсутствие агломерации в мишени, $< 5\%$ в области агломерации).

EPMA: Электронно-зондовый микроанализ, глубина обнаружения 5 ~ 10 мкм, точность $\pm 0,01\%$, подходит для трехмерного анализа распределения.

Оптимизация процессов:

Легирование распылением: контролируйте скорость распыления (0,1 ~ 0,5 л/мин) и концентрацию раствора (Y_2O_3 5% ~ 10%) для обеспечения равномерного легирования.

Высокоэнергетическая шаровая мельница: 1000 ~ 2000 об/мин, время 48 часов, гранулы диоксида циркония (диаметр 0,1 ~ 0,5 мм) для уменьшения агломерации частиц.

Параметры спекания: температура 2200~2400°C, сохранение тепла в течение 24 часов, содержание кислорода в атмосфере < 10 ppm.

Требования к качеству:

Содержание Y_2O_3 составляет 1,8%~2,2%, с отклонением $< \pm 0,1\%$. Явной агломерации не было, размер частиц составлял 1~2 мкм, а равномерность распределения составляла $> 95\%$.

Задачи и оптимизация:

Проблема: Неравномерное легирование приводит к снижению местных показателей и высоким затратам на обнаружение.

Оптимизация: Внедрение онлайн-системы обнаружения РФА для мониторинга однородности легирования в режиме реального времени; Разработка алгоритмов искусственного интеллекта для прогнозирования дефектов легирования и корректировки параметров процесса.

4.4.2 Анализ микроструктуры (SEM, EDS, XRD)

Важность: Микроструктура (например, размер зерна, пористость, фазовый состав) определяет механическую прочность и электрические свойства электрода. Аналитические методы обеспечивают отсутствие дефектов и вредных фаз (например, WO_3).

Метод анализа:

БЕЗ:

Функция: Наблюдайте за размером зерна (цель 5 ~ 10 мкм) и пористостью ($< 1\%$) поперечного сечения электрода.

Устройство: Полевой эмиссионный РЭМ с разрешением < 1 нм и увеличением $1000\sim 5000\times$.
Процесс: Полировка образца, травление (раствор HF, концентрация 5%), наблюдение за границами зерен и порами.

ЭЦП:

Функция: Анализировать распределение оксида иттрия и примесных элементов (Fe, Si, C) с точностью $\pm 0,05\%$.

Процедура: Отсканируйте центр и край электрода, чтобы подтвердить однородность Y_2O_3 и содержание примесей (< 50 ppm).

Рентгенография:

Функция: Определение фазового состава для обеспечения отсутствия WO_3 или других окисляющих фаз.

Устройство: луч Cu K α , угол сканирования $10\sim 90^\circ$, разрешение $\pm 0,01^\circ$.

Процесс: Подтвержден анализ пиков вольфрамовой матрицы (структура ОЦК) и Y_2O_3 (кубическая структура) для подтверждения чистоты фазы $> 99\%$.

Требования к качеству:

Размер зерна составляет $5\sim 10$ мкм, а пористость - $< 1\%$.

Содержание примесей составляло < 50 ppm, а фаза WO_3 отсутствовала.

Частицы оксида иттрия были равномерно распределены, а площадь неагломерации составила $> 5\%$.

Задачи и оптимизация:

Проблема: Анализ SEM/EDS занимает много времени ($30\sim 60$ минут на образец) и не подходит для периодического тестирования.

Оптимизация: внедрение высокопроизводительного SEM (автоматического анализа нескольких образцов) и онлайн-системы дифрактометра для сокращения времени обнаружения на 50%.

4.4.3 Оптимизация технологических параметров и предотвращение дефектов

Оптимизация процессов:

Ортогональные эксперименты: многофакторные эксперименты (коэффициент легирования, температура спекания, скорость волочения) были разработаны для оптимизации показателей эффективности (например, скорость выгорания $< 0,2$ мг/мин).

Анализ поверхности отклика: создание математической модели для прогнозирования влияния параметров процесса на размер и однородность зерна, а также на коэффициент оптимизации $> 90\%$.

Ключевые параметры:

Коэффициент легирования: Y_2O_3 1,8%-2,2%, допуск $\leq \pm 0,1\%$.

Изостатическое давление: 250-300 МПа, плотность заготовки $> 70\%$.

Температура спекания: 2200-2400°C, скорость нагрева 510°C/мин.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Скорость волочения: 0,52 м/мин, натяжение 10-50 кН.

Профилактика дефектов:

Поры: Увеличьте изостатическое давление (>250 МПа) и температуру спекания ($>2200^{\circ}\text{C}$) с помощью вакуумной печи для спекания ($10^{-3}\sim 10^{-5}$ Па).

Трещина: Контролируйте скорость нагрева / охлаждения ($<10^{\circ}\text{C} / \text{мин}$) и используйте градиентное охлаждение ($100 \sim 200^{\circ}\text{C} / \text{ч}$).

Неравномерное легирование: увеличенное время высокоэнергетического шарового фрезерования (68 часов) с многоступенчатым распылением легирования (давление сопла 13 МПа).

Обнаруживать:

Рентгеновская томография (ХСТ, разрешение < 1 мкм) выявляет поры и трещины.

Ультразвуковой контроль (частота $5 \sim 20$ МГц) для быстрого скрининга внутренних дефектов.

Направление развития:

Разработка технологии цифровых двойников для моделирования процесса обработки и прогнозирования процента дефектов ($<0,5\%$).

Машинное обучение было внедрено для оптимизации параметров процесса и снижения процента брака до $<0,1\%$.

4.5 Передовая технология изготовления иттриевого вольфрамового электрода

Передовые производственные технологии повышают производительность и эффективность производства иттриевых вольфрамовых электродов за счет внедрения наноразмерного легирования, спекания SPS и интеллектуального производства.

4.5.1 Технология наноразмерного легирования оксидом иттрия

Технический обзор: Наноразмерное легирование оксидом иттрия (размер частиц $10 \sim 100$ нм) было получено методом высокоэнергетического шарового измельчения или золь-гель метода, что значительно улучшило характеристики электрода.

Процесс приготовления:

Высокоэнергетическая шаровая мельница: скорость вращения $1000 \sim 2000$ об/мин, шарики из диоксида циркония (диаметр $0,1 \sim 0,5$ мм), время измельчения $4 \sim 6$ часов, вода или этанол для предотвращения агломерации.

Золь-гель метод: раствор нитрата иттрия (концентрация $5\% \sim 10\%$) смешивается с порошком вольфрама, высушивается распылением (температура $200 \sim 300^{\circ}\text{C}$) с образованием наночастиц.

Улучшения производительности:

Температура рекристаллизации: $>2100^{\circ}\text{C}$, сопротивление ползучести увеличено на 30% .

Стабильность дуги: скорость дрейфа $<3\%$, пусковое напряжение дуги < 12 В.

Скорость выгорания: $<0,1$ мг/мин, срок службы увеличен на $20\% \sim 30\%$.

Перспективы применения:

Сварка сверхсильным током (>400 А), например, для компонентов реакторов атомной промышленности.

Микропайка (паяные соединения $< 0,2$ мм), например, корпуса полупроводниковых микросхем.

Задачи и оптимизация:

Задача: Наночастицы легко агломерировать, что увеличивает затраты на легирование на 10% ~ 15%.

Оптимизация: Ультразвуковое дисперсионное устройство (частота 20 ~ 40 кГц) было разработано для улучшения дисперсии частиц на $> 95\%$.

4.5.2 Процесс нагнетательного плазменного спекания (СФС)

Технический обзор: SPS завершает спекание за 5 ~ 10 минут с импульсным током (1000 ~ 5000 А) и давлением (50 ~ 100 МПа), с температурой 1800 ~ 2000 °С, что ниже, чем при традиционном спекании (2200 ~ 2400 °С).

Преимущества процесса:

Высокая плотность: $>99\%$, пористость $<0,5\%$.

Мелкие зерна: 3 ~ 5 мкм, механическая прочность > 1200 МПа.

Энергосбережение и защита окружающей среды: снижение энергопотребления на 30% ~ 40% и сокращение времени спекания на 80%.

Оборудование:

Печь для спекания SPS: оснащена графитовой формой (термостойкость $> 2000^{\circ}\text{C}$) и вакуумной системой (10^{-3} Па).

Контроль температуры: инфракрасный термометр (точность $\pm 2^{\circ}\text{C}$), точность контроля тока ± 1 А.

Применять:

Высокопроизводительные электроды: лопатка авиационной турбины, сваренная током > 400 А.

Микроэлектрод: полупроводниковая микропайка, диаметр 0,3 ~ 0,8 мм.

Задачи и оптимизация:

Проблема: Высокая стоимость оборудования СЭС.

Оптимизация: Разработка модульной системы СЭС снижает затраты на оборудование на 20%.

4.5.3 Интеллектуальное производство и технология мониторинга в режиме реального времени

Обзор технологий: Умное производство оптимизирует производственные процессы с помощью датчиков, Интернета вещей (IoT) и машинного обучения, повышая эффективность и согласованность.

Мониторинг в режиме реального времени:

Инфракрасный термометр (точность $\pm 1^{\circ}\text{C}$): контролирует температуру спекания (1800~2400 $^{\circ}\text{C}$).

Газоанализатор (предел обнаружения $< 1 \text{ ppm}$): контролирует содержание кислорода $< 10 \text{ ppm}$ в атмосфере.

Онлайн РФА: определение содержания оксида иттрия с точностью до 0,05% $\pm$ %.

Обучение машины:

Создание базы данных технологических параметров (легирование, спекание, волочение) и прогнозирование показателей эффективности (таких как скорость выгорания, размер зерна).

С помощью алгоритмов искусственного интеллекта для оптимизации параметров процент дефектов был снижен до $< 0,5\%$.

Автоматизированная производственная линия:

Шестиосевой робот (нагрузка 5 ~ 20 кг, точность позиционирования $\pm 0,1 \text{ мм}$): для загрузки и выгрузки порошка, обработки заготовок и упаковки электродов.

Обрабатывающее оборудование с ЧПУ: волочение, шлифовка и резка, эффективность увеличивается на 50%.

Применять:

Массовое производство: 5000 ~ 10000 электродов в день, процент дефектов $< 1\%$.

Высокоточная кастомизация: производство электродов специальной формы, сокращение цикла на 30%.

Направление развития:

Разработайте платформу цифровых двойников для моделирования производственного процесса в режиме реального времени и прогнозирования дефектов.

Технология блокчейн внедряется для отслеживания всего процесса производства сырья и электродов для обеспечения прослеживаемости.



Глава 5 Области применения иттриевых вольфрамовых электродов

5.1 Применение иттриевых вольфрамовых электродов при сварке

5.1.1 Применение сварки TIG (аргонодуговой сварки) в жаропрочных сплавах

Дуговая сварка вольфрамовым аргоном (сварка TIG) является одной из наиболее широко используемых областей применения иттриевого вольфрамового электрода (WY20), особенно при сварке жаропрочных сплавов. Суперсплавы, такие как сплавы на основе никеля (Inconel, Hastelloy) и сплавы на основе кобальта, широко используются в аэрокосмической, энергетической и химической промышленности благодаря своей превосходной устойчивости к высоким температурам, коррозии и усталости. Тем не менее, высокая температура плавления ($1300 \sim 1500 \text{ }^{\circ}\text{C}$) и сложный состав этих сплавов предъявляют чрезвычайно высокие требования к процессу сварки. Иттриевые вольфрамовые электроды идеально подходят для сварки жаропрочных сплавов TIG благодаря их низкой работе по выбеганию электронов (около $2,5 \sim 2,7 \text{ эВ}$), отличной стабильности дуги и низкой скорости выгорания.

При сварке TIG иттриевые вольфрамовые электроды создают высокотемпературную дугу (около $6000 \sim 7000 \text{ }^{\circ}\text{C}$) через аргоновую или гелиевую защиту, плавя заготовку и заполняющий материал для образования высококачественных сварных швов. Его тонкая и сжатая дуговая колонна позволяет точно контролировать форму ванны расплава, уменьшая зону термического влияния (ЗТВ) и, таким образом, снижая риск образования трещин и

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

пористости сварных швов. Иттриевые вольфрамовые электроды особенно заметны в условиях положительной полярности постоянного тока (DCEN), обычно в диапазоне тока 50 ~ 300 А, и подходят для пластин из сплава толщиной от 0,5 мм до 20 мм.

Конкретные области применения включают:

Компоненты авиационных двигателей: Сварка дисков и лопаток турбин из сплава никеля, требующих высокой прочности и высокой термостойкости сварных швов. Низкая скорость выгорания иттриевого вольфрамового электрода (около 0,1 ~ 0,2 мг/мин) обеспечивает стабильность электрода при длительной сварке.

Газовые турбины: Сварка камер сгорания из жаропрочных сплавов требует глубокого плавления и равномерных сварных швов, а высокая стабильность дуги иттриевых вольфрамовых электродов (скорость дрейфа <5%) удовлетворяет эту потребность.

Химическое оборудование: сварка труб из сплава Хастеллой, коррозионная стойкость иттриевых вольфрамовых электродов обеспечивает длительную стабильность сварных швов в кислых средах.

Иттриевый вольфрамовый электрод обладает отличными характеристиками дугового разряда и низким напряжением дуги (около 10 ~ 15 В), что позволяет добиться быстрого воспламенения и гашения при импульсной сварке TIG, что подходит для высокоточных и автоматизированных сценариев сварки. Кроме того, его нерадиоактивная природа делает его экологически чистой альтернативой ториевым вольфрамовым электродам, отвечающей стандартам безопасности в аэрокосмической промышленности.

5.1.2 Высокоточные применения плазменно-дуговой сварки

Плазменно-дуговая сварка (PAW) — это процесс сварки с высокой плотностью энергии и температурой дуги до 20 000 °С, подходящий для высокоточной и глубокой сварки расплавом. Применение иттриевого вольфрамового электрода при плазменно-дуговой сварке имеет преимущества благодаря его высокой термостойкости и высокой пропускной способности по току (100 ~ 500 А). Плазменно-дуговая сварка позволяет достичь более высокой концентрации энергии за счет сжатия дуги (ограниченной соплом), с глубиной проникновения до 10 ~ 15 мм, небольшой зоной термического влияния и высоким качеством сварного шва.

К преимуществам иттриевых вольфрамовых электродов при плазменно-дуговой сварке можно отнести:

Концентрация дуги: Низкая работа утечки и равномерное распределение оксида иттрия делают дуговую колонну тонкой и стабильной, пригодной для сварки пластин толщиной > 10 мм.

Низкая скорость выгорания: при высокой плотности тока (>300 А/мм²) скорость выгорания иттриевого вольфрамового электрода составляет всего 0,15 ~ 0,25 мг/мин, что продлевает срок службы электрода.

Адаптируемость материала: подходит для сварки нержавеющей стали, титановых сплавов,

сплавов на основе никеля и циркониевых сплавов.

Типичные области применения включают:

Сосуды под давлением: Сварка контейнеров из нержавеющей стали и циркониевого сплава в ядерном энергетическом оборудовании требует, чтобы сварные швы не содержали пористости и шлаковых включений.

Судостроение: глубокая сварка высокопрочных стальных пластин и палуб из никелевого сплава, а также высокая дуговая стойкость иттриевых вольфрамовых электродов обеспечивают стабильность сварного шва.

Медицинские устройства: прецизионная сварка хирургических инструментов из нержавеющей стали, а также тонкая дуга иттриевого вольфрамового электрода (радиус наконечника 0,1 ~ 0,5 мм) удовлетворяет потребности крошечных сварных соединений.

Для плазменно-дуговой сварки обычно требуется сварочная горелка с водяным или газовым охлаждением для защиты иттриевого вольфрамового электрода от перегрева. Современные процессы также включают в себя автоматизированные системы управления для дальнейшего повышения точности сварки за счет точного регулирования тока и расхода газа.

5.1.3 Сварка титанового сплава сплавом на основе никеля в вакуумной среде

Сварка в вакуумных средах в основном используется для обработки высокоточных и чувствительных материалов, таких как сплавы на основе титана и никеля, и обычно используется в аэрокосмической и полупроводниковой промышленности. Иттриевые вольфрамовые электроды отлично подходят для вакуумной сварки TIG или вакуумной плазменной сварки благодаря своей низкой летучести и химической стабильности, обеспечивающим чистоту сварочной среды.

Титановые сплавы, такие как Ti-6Al-4V, широко используются в аэрокосмических конструкционных деталях благодаря своей высокой прочности, низкой плотности и отличной коррозионной стойкости, но их высокая химическая активность требует сварки в вакууме или среде инертного газа для предотвращения загрязнения кислородом и азотом. К преимуществам иттриевых вольфрамовых электродов в вакуумной среде ($10^{-3} \sim 10^{-5}$ Па) можно отнести:

Низкое газовыделение: низкое давление пара оксида иттрия ($<10^{-5}$ Па при 2000°C) гарантирует, что электрод не выделяет примесные газы, сохраняя вакуумную среду чистой.

Стабильность дуги: Низкая работа на вылете и равномерная точка излучения позволяют дуге быстро зажигаться в условиях низкого давления со скоростью дрейфа $< 3\%$.

Длительный срок службы: В вакуумной среде скорость выгорания электродов дополнительно снижается ($< 0,1$ мг/мин), что делает электрод пригодным для длительной непрерывной сварки.

Вакуумная сварка сплавов на основе никеля, таких как Inconel 718, в основном используется в деталях космических аппаратов и лопатках турбин, где высокая температура плавления и

сложный состав требуют отличной жаропрочности электрода. Высокая температура рекристаллизации ($>2000^{\circ}\text{C}$) и сопротивление ползучести иттриевых вольфрамовых электродов позволяют им выдерживать длительные высокотемпературные дуговые удары и сохранять стабильность формы наконечника.

Типичные области применения включают:

Уплотнения космических аппаратов: корпуса из титанового сплава, сваренные вакуумной сваркой, для обеспечения герметичности и коррозионной стойкости.

Лопатки турбин: Лопасти из никелевого сплава свариваются с высокой точностью, а сварные швы должны соответствовать высоким требованиям к усталостной прочности.

Полупроводниковое оборудование: Сварка труб из нержавеющей стали и титана в вакуумной среде для оборудования для производства чипов.

5.2 Несварочные применения иттриевых вольфрамовых электродов

5.2.1 Плазменная резка и напыление

Применение иттриевых вольфрамовых электродов при плазменной резке и плазменном напылении обусловлено их высокой пропускной способностью по току и устойчивостью к высоким температурам. Плазменная резка плавит и сдувает металлические материалы с помощью высокоэнергетических плазменных дуг (температуры до 30000°C) и широко используется для резки углеродистой стали, нержавеющей стали и алюминиевых сплавов. Удлиненная дуга и высокая стабильность иттриевых вольфрамовых электродов делают их предпочтительным электродом для плазменной резки.

При плазменной резке типичными особенностями иттриевых вольфрамовых электродов являются:

Высокая адаптивность к току: он может выдерживать сверхвысокие токи $300 \sim 1000 \text{ A}$, подходит для резки пластин толщиной $20 \sim 100 \text{ мм}$.

Низкая скорость выгорания: при высокой плотности энергии срок службы электродов может достигать $50 \sim 100$ часов.

Точность резки: высокая концентрация дуги, малая ширина реза ($<2 \text{ мм}$), высокая чистота поверхности.

Плазменное напыление — это метод поверхностного упрочнения, при котором керамический или металлический порошок расплавляется и распыляется на поверхность заготовки с помощью плазменной дуги для создания износостойкого или коррозионностойкого покрытия. Области применения иттриевых вольфрамовых электродов при плазменном напылении включают:

Аэрокосмическая промышленность: Распыление керамических покрытий (например, диоксида циркония) на поверхности лопаток турбины для повышения устойчивости к высоким температурам.

Промышленное оборудование: Распыляйте износостойкие покрытия на ковши экскаваторов

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

или поверхности корпуса насоса для продления срока службы.

5.2.2 Применение электродов в электроэрозионной обработке (EDM).

Электроэрозионная обработка (EDM) — это метод бесконтактной обработки, при котором материал удаляется через искровой разряд между электродом и заготовкой, что делает его пригодным для прецизионной обработки материалов высокой твердости. Иттриевый вольфрамовый электрод используется из-за его высокой твердости (HV 400~450), износостойкости и электропроводности (удельное сопротивление около $5,6 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$) используется в качестве электрода электроэрозионного электрода.

В электроэрозионной обработке к преимуществам иттриевых вольфрамовых электродов можно отнести:

Высокая износостойкость: Упрочняющий эффект оксида иттрия делает электрод менее подверженным износу во время высокочастотного разряда, сохраняя стабильность формы.

Контроль дуги: Низкая работа утечки обеспечивает стабильность искрового разряда, повышая точность обработки.

Адаптируемость материала: подходит для обработки титановых сплавов, литейных сталей и карбида.

Типичные области применения включают:

Изготовление пресс-форм: Используется для прецизионной обработки штамповочных форм и пресс-форм для литья под давлением.

Аэрокосмическая промышленность: обработка титановых деталей сложной формы, таких как охлаждающие отверстия в лопатках турбины.

Медицинские приборы: обработка высокоточных хирургических инструментов и имплантатов.

5.2.3 Применение в высокотемпературных разрядных устройствах

Иттриевые вольфрамовые электроды используются в качестве генераторов дуги или разрядных электродов в высокотемпературных разрядных устройствах и широко используются в исследованиях плазмы, оборудовании для термического напыления и высокоинтенсивных источниках света, таких как ксеноновые лампы. Его высокая температура плавления (3422°C) и низкая скорость выгорания позволяют ему выдерживать экстремальные температуры и частые разряды.

Сценарии применения включают в себя:

Исследования плазмы: В плазменных генераторах иттриевые вольфрамовые электроды используются для генерации высокотемпературной плазмы ($>10000^\circ\text{C}$) для тестирования свойств материалов или исследований в области ядерного синтеза.

Производство ксеноновых ламп: Иттриевые вольфрамовые электроды служат катодом

ксеноновых ламп, которые выдерживают высокий токовый разряд и излучают сильный свет, которые используются в кинопроекторах и лазерах.

Оборудование для термического напыления: В установках для плазменного напыления иттриевые вольфрамовые электроды действуют как генераторы дуги для распыления износостойких или устойчивых к высоким температурам покрытий.

5.3 Применение иттриевого вольфрамового электрода в промышленности

5.3.1 Аэрокосмическая промышленность (компоненты двигателей, лопатки турбин)

Аэрокосмическая промышленность является одной из крупнейших областей применения иттриевых вольфрамовых электродов, включая сварку компонентов двигателей, лопаток турбин и конструкций фюзеляжа. Титан и сплавы на основе никеля являются наиболее часто используемыми материалами в аэрокосмической отрасли, требующими процессов сварки с высокой точностью, прочностью и устойчивостью к высоким температурам. Применение иттриевых вольфрамовых электродов в сварке TIG и плазменно-дуговой сварке отвечает этим потребностям.

Конкретные области применения включают:

Лопатки турбин: сварка TIG лопаток из никелевого сплава, для которых сварной шов должен выдерживать высокие температуры ($>1200^{\circ}\text{C}$) и усталостную прочность. Тонкая дуга иттриевого вольфрамового электрода обеспечивает равномерные сварные швы, уменьшая количество трещин.

Камера сгорания двигателя: сварка глубоким расплавом титанового сплава и камера сгорания нержавеющей стали, высокая пропускная способность по току иттриевого вольфрамового электрода ($>300\text{ A}$) для удовлетворения потребностей в глубокой плавке.

Конструкция корпуса: сварка обшивки и каркаса из титанового сплава, низкое тепловложение иттриевого вольфрамового электрода снижает деформацию материала.

5.3.2 Оборонная и военная промышленность (бронематериалы, компоненты ракет)

Сфера оборонной и военной промышленности предъявляет чрезвычайно высокие требования к качеству сварки, предполагая производство броневых материалов, компонентов ракет и систем вооружения. Иттриевые вольфрамовые электроды широко используются благодаря своей высокой надежности, нерадиоактивности и длительному сроку службы.

Области применения включают:

Бронированные стальные пластины: сварка высокопрочных стальных листов глубоким расплавом, высокая дуговая стабильность иттриевых вольфрамовых электродов обеспечивают прочность и ударную вязкость сварного шва.

Корпус ракеты: прецизионная сварка корпусов из титанового сплава и нержавеющей стали, требующая герметичности и коррозионной стойкости сварных швов.

Системы вооружения: сварка сложных конструкций (таких как антенны радаров), возможности микросварки иттриевых вольфрамовых электродов отвечают требованиям

точности.

5.3.3 Энергетика (атомное энергетическое оборудование, газовые турбины)

В энергетике предъявляются чрезвычайно высокие требования к безопасности и долговечности сварочных материалов, и иттриевые вольфрамовые электроды играют важную роль в производстве оборудования атомной энергетики и газовых турбин.

Области применения включают:

Оборудование для атомной энергетики: сварка корпусов реакторов и трубопроводов, сварка TIG или плазменно-дуговая сварка с использованием иттриевых вольфрамовых электродов для обеспечения бездефектных и коррозионностойких сварных швов.

Газовая турбина: Сварка камер сгорания и лопаток из сплава никеля, высокотемпературная стабильность иттриевых вольфрамовых электродов для удовлетворения долгосрочных потребностей эксплуатации.

Ветроэнергетическое оборудование: сварка башен и лопастей, способность глубокого плавления иттриевых вольфрамовых электродов подходит для сварки толстых листов.

5.3.4 Производство полупроводников и микроэлектроники

Полупроводниковая и микроэлектронная промышленность требует сверхточных процессов пайки для изготовления корпусов микросхем, датчиков и микротрубок. Крошечная игольчатая конструкция (диаметр 0,5 ~ 1,0 мм) и низкое тепловложение иттриевых вольфрамовых электродов делают их идеальным выбором.

Области применения включают:

Упаковка микросхемы: микропайка медных и золотых выводов, а также тонкая дуга (<0,5 мм) иттрий-вольфрамовых электродов обеспечивает точность паяных соединений.

Изготовление датчиков: сварка датчиков из нержавеющей стали и титановых сплавов, требующих минимальных зон термического влияния.

Микротрубы: сварка труб в вакуумной среде, а низкая летучесть иттриевых вольфрамовых электродов сохраняет чистоту окружающей среды.

5.4 Типичный случай использования иттриевых вольфрамовых электродов

5.4.1 Сварка авиационных конструкционных деталей из титанового сплава

Предпосылки дела: Аэрокосмической компании необходимо сваривать конструкционные детали фюзеляжа из титанового сплава Ti-6Al-4V толщиной 5 мм, требующие высокой прочности (>900 МПа) и герметичности сварного шва. Процесс представлял собой вакуумную сварку TIG, а электрод представлял собой иттрий-вольфрамовый электрод (WY20, диаметр 2,4 мм, угол наконечника 30°).

Реализация процесса:

Параметры сварки: ток 150 А (DCEN), расход аргона 12 л/мин, степень вакуума 10^{-4} Па.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Производительность электрода: Низкая утекаемость иттриевого вольфрамового электрода обеспечивает быстрое зажигание дуги со скоростью дрейфа дуги <3% и отсутствие значительного угара во время сварки.

Результат: Прочность сварного шва на разрыв достигает 950 МПа, без пор и трещин, что соответствует авиационным стандартам.

Анализ: Низкая летучесть и высокая дуговая стабильность иттриевых вольфрамовых электродов обеспечивают качество сварных швов в вакуумной среде, снижая риск окисления титановых сплавов. Срок службы электродов составляет до 120 часов, что снижает производственные затраты.

5.4.2 Ремонт жаропрочных сплавов и упрочнение поверхности

Предыстория дела: Производителю газовой турбины необходимо было отремонтировать изношенные участки лопатки турбины из сплава никеля (Inconel 718) и укрепить поверхность плазменным напылением. Ремонт сварных швов TIG и плазменное напыление выполнялись с использованием иттриевого вольфрамового электрода (WY20, диаметр 3,2 мм).

Реализация процесса:

Ремонт сварки: импульсная сварка TIG, ток 100 ~ 200 А, материал заполнения - сварочная проволока Inconel 718. Тонкая дуга иттриевого вольфрамового электрода обеспечивает точное управление бассейном в зоне ремонта.

Плазменное напыление: напыление на покрытие из диоксида циркония, ток 400 А, высокая термостойкость иттриевого вольфрамового электрода поддерживает непрерывное напыление в течение 4 часов.

Результат: Твердость ремонтируемого участка достигала HV 450, а прочность сцепления покрытия составляла > 70 МПа, что соответствовало требованиям высокотемпературной эксплуатации.

Анализ: Высокая адаптивность к току и низкая скорость выгорания иттриевых вольфрамовых электродов при ремонте и напылении повышают эффективность процесса и снижают частоту замены электродов.

5.4.3 Сварка прецизионных деталей в условиях вакуума

Предыстория кейса: Производителю полупроводникового оборудования необходимо сваривать микротрубы из нержавеющей стали (диаметром 2 мм и толщиной стенки 0,2 мм) для вакуумной системы в оборудовании для производства чипов. Для вакуумной сварки TIG выбран микроигльчатый электрод из иттриевого вольфрама (диаметр 0,5 мм, радиус наконечника 0,1 мм).

Реализация процесса:

Параметры сварки: ток 10~20 А (импульсный режим), расход аргона 8 л/мин, степень вакуума

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

10^{-5} Па.

Характеристики электродов: Низкое тепловложение и тонкая дуга ($<0,5$ мм) иттриевых вольфрамовых электродов обеспечивают небольшой размер паяного соединения с зоной термического влияния $<0,1$ мм.

Результаты: Герметичность сварного шва достигла 10^{-9} Па·м³/с, что соответствует стандартам полупроводниковой промышленности.

Анализ: Возможности микросварки и низкая летучесть иттриевых вольфрамовых электродов обеспечивают чистоту и точность сварки в вакуумных условиях, что делает их пригодными для высокоточных применений в микроэлектронике.



Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Copyright© 2024 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- 2024V
sales@chinatungsten.com

CTIA GROUP LTD

Yttrium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Yttrium Tungsten Electrode

The Yttrium Tungsten Electrode (WY20) is a non-radioactive, high-performance tungsten electrode doped with 2% yttrium oxide (Y_2O_3). Specially engineered for demanding TIG and plasma welding applications, this electrode offers exceptional arc stability, minimal electrode wear, and high current tolerance, making it the top choice for aerospace, defense, nuclear, and high-precision industries.

2. Key Features of Yttrium Tungsten Electrode

- **Excellent Arc Stability:** Delivers a stable, concentrated arc with minimal flicker.
- **High Current Capacity:** Ideal for high-load DC or AC welding operations.
- **Low Burn-Off Rate:** Exceptional resistance to electrode erosion, even under intense heat.
- **Radiation-Free & Eco-Friendly:** 100% free of radioactive thorium—safe for people and the environment.
- **Superior Penetration:** Supports deep weld pools for thick, high-strength materials.
- **Reliable Ignition:** Consistent arc starting even under low current or pulsed settings.

3. Typical Specifications of Yttrium Tungsten Electrode

Type	Y_2O_3 Content	Color Code	Length (mm)	Diameter (mm)
WY20	1.8% – 2.2%	Blue	50 – 175	1.0 – 6.4

4. Applications of Yttrium Tungsten Electrode

- TIG Welding of stainless steel, nickel alloys, titanium, molybdenum, and high-temperature alloys.
- Plasma Arc Welding and Precision Spot Welding in aerospace and defense manufacturing.
- Micro-welding & vacuum applications where arc stability and cleanliness are critical.
- Suitable for DC (Direct Current) or AC/DC mixed-mode operations.

5. Why Choose Yttrium Tungsten Electrode?

From high-frequency ignition systems to robotic TIG welders, the WY20 Electrode adapts to your most challenging tasks—without compromising operator safety. Whether you're manufacturing jet engine blades, medical implants, or nuclear-grade components, WY20 delivers unmatched performance where it matters most.

6. Procurement Information

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

Глава 6 Оборудование для производства иттриевых вольфрамовых электродов

6.1 Оборудование для подготовки сырья для иттриевых вольфрамовых электродов

Первым этапом производства иттриевых вольфрамовых электродов является подготовка сырья, которая включает в себя просеивание, очистку и оптимизацию порошка вольфрама высокой чистоты и оксида иттрия. На этой стадии оборудования необходимо обеспечить высокую чистоту, однородность размера частиц и химическую стабильность сырья для удовлетворения требований к производительности иттриевых вольфрамовых электродов при высокотемпературной сварке.

6.1.1 Оборудование для измельчения вольфрамового порошка и сортировки частиц по размеру

Приготовление вольфрамового порошка является основой производства иттриевых вольфрамовых электродов, для которого требуется, чтобы чистота вольфрамового порошка достигала более 99,95%, а размер частиц контролировался в диапазоне 1 ~ 5 мкм для обеспечения равномерности последующего спекания и легирования. Вот основные устройства и их особенности:

Высокоэнергетическая шаровая мельница

Высокоэнергетическая шаровая мельница используется для измельчения крупного вольфрамового порошка (начальный размер частиц 10 ~ 50 мкм) до целевого размера частиц. Оборудование имеет планетарное или вибрационное исполнение, оснащено мелющими шарами из диоксида циркония или карбида (диаметр 5 ~ 10 мм) для снижения загрязнения металлом. Процесс шлифования осуществляется под защитой инертных газов (таких как аргон), скорость регулируется на уровне 200 ~ 400 об/мин, а время шлифования составляет 48 часов. Современные шаровые мельницы оснащены системами контроля температуры, которые предотвращают окисление вольфрамового порошка из-за перегрева. Преимущества: высокая эффективность, равномерное распределение частиц по размерам; Недостатки: При длительном измельчении могут появиться следовые примеси.

Классификатор воздушных потоков

Классификатор воздушного потока используется для отсеивания вольфрамового порошка с размером частиц 15 мкм и отбраковки слишком крупных или слишком мелких частиц. Оборудование диспергирует вольфрамовый порошок высокоскоростным потоком газа (скорость 10 ~ 50 м/с) и отделяет его в соответствии с размером частиц с точностью до $\pm 0,1$ мкм. Классификаторы часто оснащаются многоступенчатыми циклонами и прецизионными фильтрами, обеспечивающими беспорошковое загрязнение. Преимущества: высокоточная сортировка, большая производительность (100~500 кг в час); Недостатки: Высокие затраты на обслуживание оборудования.

Оборудование для ультразвуковой очистки

Очистительное оборудование используется для удаления оксидов и примесей (например, железа, углерода) с поверхности вольфрамового порошка. Оборудование использует

разбавленный раствор соляной кислоты или азотной кислоты (концентрация 5% ~ 10%) в сочетании с ультразвуковыми колебаниями (частота 20 ~ 40 кГц) для очистки вольфрамового порошка, а затем удаляет воду путем вакуумной сушки (<200°C). Преимущества: Эффективно удаляют поверхностные загрязнения; Недостатки: Концентрацию раствора необходимо строго контролировать, чтобы избежать коррозии вольфрамового порошка.

Лазерные анализаторы размера частиц используются для мониторинга распределения частиц вольфрамового порошка по размерам в режиме реального времени, гарантируя, что размер частиц соответствует целевым требованиям. Оборудование использует принцип лазерной дифракции с дальностью обнаружения 0,01 ~ 1000 мкм и точностью ±1%. Преимущества: быстро и точно; Недостатки: Оборудование дорогое.

Эти устройства работают вместе, чтобы гарантировать, что чистота, размер частиц и морфология вольфрамового порошка соответствуют требованиям производства иттриевых вольфрамовых электродов. Современные заводы также внедряют автоматизированные системы управления для достижения непрерывных операций измельчения, сортировки и очистки с помощью ПЛК (программируемых логических контроллеров), повышая эффективность производства.

6.1.2 Оборудование для очистки оксида иттрия и наноконсервации

Оксид иттрия (Y_2O_3) используется в качестве легирующей примеси, а его чистота (>99,99%) и размер частиц (0,52 мкм, наноразмер 10~100 нм) имеют решающее значение для работы иттриевых вольфрамовых электродов. Оборудование для очистки и нанобработки включает в себя:

Оборудование для экстракции растворителем

Оборудование для экстракции растворителем используется для извлечения оксида иттрия высокой чистоты из иттриевых руд, таких как монацит. Оборудование включает в себя экстракционный резервуар, центробежный сепаратор и ионообменную колонну, которая отделяет иттрий от других редкоземельных элементов с помощью органических экстрагентов, таких как ТВР или P204. Процесс экстракции проводится в кислой среде (pH 2-4) с типичным циклом 10 ~ 20 циклов для обеспечения < 100 ppm примесей (например, кальция, кремния). Преимущества: высокая чистота, подходит для промышленного производства; Недостатки: высокая стоимость переработки отработанных жидкостей.

Распылительная сушилка

Распылительные сушилки используются для приготовления растворов нитрата иттрия в порошок оксида иттрия. Оборудование распыляет раствор через сопло высокого давления (давление 0,52 МПа), а горячий воздух (200~300°C) быстро высушивает его с образованием микро- или наночастиц. Скорость распыления и температура сушки должны точно контролироваться для обеспечения однородности частиц (целевой размер частиц 0,5 ~ 2 мкм). Преимущества: хорошая морфология частиц, высокая текучесть; Недостатки: Высокое энергопотребление.

Нано-кофемолка

Наномельницы используются для дальнейшего измельчения оксида иттрия микронного масштаба до наноразмера (10 ~ 100 нм). Оборудование использует мокрый помол, среда - гранулы диоксида циркония (диаметр 0,1 ~ 0,5 мм), скорость вращения составляет 1000 ~ 2000 об/мин, а время помола - 26 часов. Процесс измельчения происходит в воде или этаноле, что предотвращает скопление частиц. Преимущества: Он может производить наноразмерные частицы для улучшения однородности легирования; Недостатки: Износ оборудования требует регулярного технического обслуживания.

Оборудование для химического анализа «Масс-спектрометр с индуктивно связанной плазмой» (ИСП-МС) используется для определения чистоты и содержания примесей оксида иттрия с пределом обнаружения < 1 ppb для обеспечения соответствия требованиям производства электродов. Преимущества: Высокая чувствительность; Недостатки: Сложная эксплуатация и профессиональная работа.

Эти устройства обеспечивают высококачественное сырье из оксида иттрия для процесса легирования иттриевых вольфрамовых электродов за счет многоступенчатой очистки и контроля размера частиц.

6.2 Оборудование для порошковой металлургии для иттриевых вольфрамовых электродов

Порошковая металлургия является основным процессом подготовки иттриевых вольфрамовых электродов, включающим смешивание порошков, формование и спекание. Оборудование должно обеспечивать равномерное распределение оксида иттрия и высокую плотность электродов.

6.2.1 Высокоточная система смешивания и легирования

Смесительно-легирующее оборудование используется для равномерного диспергирования оксида иттрия в вольфрамовом порошке, что влияет на стабильность дуги и механические свойства электрода.

Высокоэнергетический смеситель

Высокоэнергетический смеситель имеет трехмерную или V-образную конструкцию смешивания, оснащен управлением преобразованием частоты (скорость вращения 50 ~ 200 об/мин), а время смешивания составляет 48 часов. Оборудование работает под защитой инертных газов, таких как аргон, который предотвращает окисление вольфрамового порошка. Некоторое оборудование интегрировано с ультразвуковым диспергирующим устройством (частота 20 ~ 40 кГц) для улучшения диспергирования частиц оксида иттрия. Преимущества: Равномерно перемешивает, подходит для массового производства; Недостатки: большие габариты оборудования и большая занимаемая площадь.

Система распыления легирования

Система распыления легирования обеспечивает легирование путем распыления раствора нитрата иттрия на порошок вольфрама или сырье из триоксида вольфрама. Оборудование

включает в себя форсунку высокого давления (давление 13 МПа), резервуар для перемешивания и сушильную камеру, а скорость распыления регулируется на уровне 0,1~0,5 л/мин. После сушки образовывался композиционный порошок литрама иттрия, а отклонение содержания оксида иттрия составило $\leq \pm 0,1\%$. Преимущества: равномерное легирование, подходит для высокого содержания оксида иттрия ($>2\%$); Недостатки: Процесс сложный, и концентрация раствора должна строго контролироваться.

Рентгенофлуоресцентная спектроскопия (РФА) РФА используется для мониторинга элементного распределения легированных порошков в режиме реального времени, чтобы гарантировать, что содержание оксида иттрия соответствует целевому значению (1,8% ~ 2,2%). Точность обнаружения оборудования $\pm 0,05\%$, а время анализа < 1 минуту. Преимущества: быстрый и без потерь; Недостатки: дорогое оборудование.

6.2.2 Оборудование для холодного изостатического прессования и горячего прессования

Формовочное оборудование прессует легированный порошок в электродные заготовки, обеспечивая высокую плотность и механическую прочность.

Холодный изостатический пресс (CIP)

Холодный изостатический пресс применяет равномерное давление (200 ~ 300 МПа) через жидкую среду (обычно воду или масло) для прессования порошка в заготовки диаметром 10 ~ 20 мм. Оборудование оснащено насосом высокого давления и гибкой формой, со временем удержания тепла 30 ~ 60 секунд и плотностью 60% ~ 70% от теоретического значения полосы заготовки. Преимущества: равномерная плотность, отсутствие концентрации напряжений; Недостатки: высокая стоимость оборудования и сложное обслуживание.

Термопресс

Горячий пресс применяет давление 50 ~ 100 МПа при 1000 ~ 1400 °C, что подходит для предварительного формования высокопроизводительных электродов. Оборудование оснащено графитовой формой и вакуумной системой для предотвращения окисления. Процесс горячего прессования позволяет увеличить плотность заготовки до более чем 80%. Преимущества: подходит для небольших партий и высокоточного производства; Недостатки: высокая энергоемкость, быстрый износ пресс-формы.

6.2.3 Высокотемпературная вакуумная печь для спекания и атмосферная печь

Агломерационное оборудование является ядром подготовки иттриевых вольфрамовых электродов и используется для улучшения плотности и механических свойств электродов.

Высокотемпературная вакуумная печь для спекания

Вакуумная печь для спекания работает в вакуумной среде $10^{-3} \sim 10^{-5}$ Па, с температурой спекания 2000~2400°C, скоростью нагрева 5~10°C/мин и временем выдержки 24 часа. В оборудовании используются молибденовые или вольфрамовые нагревательные элементы для обеспечения стабильности при высоких температурах. Вакуумная среда снижает адсорбцию газовых примесей, а плотность электродов может достигать более 98%. Преимущества:

Высокая чистота, подходит для высококачественных электродов; Недостатки: Высокая стоимость оборудования и сложное обслуживание вакуумной системы.

Водородная газообразная атмосферная печь

Водородная атмосферная печь работала при температуре 1800 ~ 2200 °C, скорость потока водорода составляла 10 ~ 20 л/мин, а содержание кислорода контролировалось на уровне <10 ppm. Оборудование оснащено инфракрасным термометром и газоанализатором для контроля условий спекания в режиме реального времени. Водородная защита предотвращает окисление вольфрамового порошка и способствует равномерному распределению оксида иттрия. Преимущества: невысокая стоимость, подходит для массового производства; Недостатки: Чистоту водорода нужно строго контролировать.

Система контроля атмосферы оснащена высокоточным газоанализатором (с определением содержания кислорода <1 ppm) и регулятором расхода для обеспечения стабильности спеченной атмосферы. Преимущества: Улучшение стабильности качества электродов; Недостатки: Требуется регулярной калибровки.

6.3 Оборудование для обработки и формовки иттриевых вольфрамовых электродов

Оборудование для обработки и формовки перерабатывает спеченные заготовки в стандартные электродные стержни, обеспечивая точность размеров и качество поверхности.

6.3.1 Прецизионная каландровая и волочильная машина

Горячий каландр Горячий каландр уменьшает диаметр заготовки с 10 ~ 20 мм до 3 ~ 5 мм при 1400 ~ 1600 °C. Оборудование использует многоходовую прокатку (5 ~ 10 проходов) и оснащено системой защиты инертным газом (расход аргона 10 ~ 15 л/мин). Материал валка – вольфрам-молибденовый сплав, который устойчив к высоким температурам и износу. Преимущества: высокая эффективность, подходит для массового производства; Недостатки: Требуется точный контроль температуры, чтобы избежать окисления поверхности.

Прецизионный волочильный станок

Прецизионный волочильный станок натягивает каландровый стержень до заданного диаметра (0,5 ~ 4,8 мм) с допуском $\pm 0,05$ мм. На оборудовании используются алмазные формы, скорость волочения 0,52 м/мин, а смазкой служит графитовая эмульсия или смазка на основе молибдена. Процесс волочения оснащен системой контроля натяжения для обеспечения гладкой поверхности электрода. Преимущества: высокая точность размеров; Недостатки: Износ плесени нуждается в регулярной замене.

6.3.2 Шлифовальное и полировальное оборудование с ЧПУ

Шлифовальный станок с ЧПУ Шлифовальный станок с ЧПУ используется для придания формы наконечнику электрода (угол 15 ° ~ 60 °, радиус наконечника 0,1 ~ 0,5 мм). В оборудовании используется алмазный шлифовальный круг с точностью обработки $\pm 0,01$ мм и скоростью вращения 1000 ~ 5000 об/мин. Системы ЧПУ запрограммированы на управление формой наконечников, обеспечивая их однородность. Преимущества: Высокая точность,

подходит для сложных современных конструкций; Недостатки: Более медленная скорость обработки.

Электрохимическая полировальная машина

Электрохимический полировщик полирует поверхность электрода электролитом (обычно смесью серной кислоты и фосфорной кислоты) и источником питания постоянного тока (напряжение 5 ~ 15 В) с целевой шероховатостью $Ra < 0,4$ мкм. Оборудование оснащено автоматической системой смешивания и контроля температуры, а время полировки составляет 10 ~ 30 секунд. Преимущества: высокая чистота поверхности, уменьшенный дрейф дуги; Недостатки: Электролит необходимо регулярно обрабатывать.

6.3.3 Оборудование для лазерной резки и формовки электродов

Станок для лазерной резки

Лазерный резак использует волоконный лазер (мощность 13 кВт) для резки электродного стержня до стандартной длины (50 ~ 175 мм). Оборудование оснащено системой охлаждения для предотвращения образования микротрещин, вызванных термическими нагрузками. Точность реза $\pm 0,1$ мм, а срез ровный и без заусенцев. Преимущества: Высокая точность, подходит для нестандартных длин; Недостатки: Высокая стоимость оборудования.

Станок для формовки электродов

Формовочные станки используются для обработки электродов специальной формы (таких как изогнутые или конические электроды) с помощью токарных станков с ЧПУ или специализированных приспособлений. Оборудование поддерживает индивидуальное проектирование с точностью обработки $\pm 0,05$ мм. Преимущества: высокая гибкость для удовлетворения особых потребностей; Недостатки: длительный цикл производства.

6.4 Оборудование для контроля и контроля качества иттриевых вольфрамовых электродов

Оборудование для проверки качества используется для того, чтобы убедиться, что химический состав, микроструктура и производительность иттриевых вольфрамовых электродов соответствуют стандартам.

6.4.1 Оборудование для анализа химического состава (ICP-MS, XRF)

Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) ИСП-МС используется для определения чистоты и содержания примесей (Fe, Ca, Si и др.) оксидов вольфрама и иттрия с пределом обнаружения < 1 ppb и временем анализа < 5 минут. Оборудование оснащено автоматической системой впрыска образцов для поддержки тестирования партий. Преимущества: Высокая чувствительность, подходит для анализа микроэлементов; Недостатки: Сложная эксплуатация и профессиональная работа.

Рентгенофлуоресцентная спектроскопия (РФА) РФА используется для неразрушающего определения однородности содержания оксида иттрия и распределения электродов с точностью $\pm 0,05\%$. Оборудование поддерживает быстрое сканирование (< 1 минуты) и подходит для мониторинга в режиме реального времени на производственной линии.

Преимущества: быстрый и без потерь; Недостатки: Низкая чувствительность к обнаружению световых элементов.

6.4.2 Аппаратура для анализа микроструктуры и морфологии (СЭМ, ПЭМ)

С помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) СЭМ наблюдали за размером зерен (мишень 5~10 мкм), пористостью (<1%) и распределением оксида иттрия электродов. Прибор имеет разрешение < 1 нм и оснащен аксессуаром для энергодисперсионной спектроскопии (ЭДС) для анализа распределения элементов. Преимущества: Интуитивно понятное отображение микроструктуры; Недостатки: длительное время подготовки образцов.

Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ) ПЭМ используется для анализа распределения и кристаллической структуры частиц оксида иттрия на наномасштабе с разрешением < 0,1 нм. Оборудование подходит для изучения микроскопических свойств нанолегированных электродов. Преимущества: высокое разрешение; Недостатки: Дорогое оборудование и сложная эксплуатация.

6.4.3 Оборудование для тестирования производительности (тестер стабильности дуги, скорости выгорания)

Тестер стабильности дуги Тестер моделирует условия сварки TIG (ток 50 ~ 300 А, расход аргона 10 ~ 15 л/мин) и измеряет скорость смещения дуги (цель <5%) и пусковое напряжение дуги (10 ~ 15 В). Оборудование оснащено высокочастотным источником питания и анализатором спектра для регистрации интенсивности и стабильности света дуги. Преимущества: Реалистичное моделирование сварочной среды; Недостатки: Более высокие затраты на тестирование.

Тестер скорости выгорания Тестер скорости выгорания измеряет потерю массы электрода при стандартных условиях сварки (200 А, 1 час) с целевой скоростью выгорания < 0,2 мг/мин. Оборудование оснащено высокоточными весами (точность ± 0,01 мг) и системой контроля температуры. Преимущества: Точное измерение срока службы; Недостатки: Длительный цикл испытаний.

6.5 Интеллектуальное производственное оборудование для иттриевых вольфрамовых электродов

Интеллектуальное производственное оборудование повышает эффективность производства и стабильность качества за счет автоматизации и анализа данных.

6.5.1 Автоматизированные производственные линии и промышленные роботы

Автоматизированная производственная линия Автоматизированная производственная линия объединяет в себе оборудование для измельчения, легирования, формовки, спекания и обработки для достижения непрерывного производства с помощью конвейерных лент и систем ПЛК. Производственная линия поддерживает параллельную работу с несколькими станциями, а производительность может достигать 1000 ~ 5000 штук в день. Преимущества: высокая эффективность, низкая трудозатраты; Недостатки: большие первоначальные

вложения.

Промышленные роботы Промышленные роботы используются для загрузки и выгрузки порошков, обработки заготовок и упаковки электродов. Шестиосевой робот (нагрузка 5~20 кг) оснащен системой распознавания зрения с точностью позиционирования $\pm 0,1$ мм, что подходит для высокоточной работы. Преимущества: высокая гибкость, уменьшение ручной ошибки; Недостатки: Высокие затраты на техническое обслуживание.

6.5.2 Онлайн-система мониторинга качества и анализа данных

Система онлайн-мониторинга

Система онлайн-мониторинга включает в себя инфракрасный термометр (точность $\pm 1^{\circ}\text{C}$), газоанализатор (содержание кислорода <1 ppm) и XRF для мониторинга температуры спекания, чистоты атмосферы и однородности легирования в режиме реального времени. Система загружает данные в облако с помощью технологии Интернета вещей (IoT) для создания отчетов в режиме реального времени. Преимущества: быстрая обратная связь, уменьшение брака; Недостатки: Требуется стабильная поддержка сети.

Система анализа данных

Система анализа данных анализирует взаимосвязь между параметрами процесса (температурой, давлением, коэффициентом легирования) и производительностью электродов (скоростью выгорания, стабильностью дуги) на основе алгоритмов машинного обучения для оптимизации производственных параметров. Система прогнозирует процент брака до $<1\%$. Преимущества: интеллектуальная оптимизация; Недостатки: Требуется большое количество исторических данных для поддержки.



Глава 7 Отечественные и зарубежные стандарты на иттрий-вольфрамовые электроды

Поскольку иттриевые вольфрамовые электроды являются высокоэффективным сварочным материалом, их качество и эксплуатационные характеристики подлежат строгому стандартизированному управлению. Отечественные и зарубежные стандарты регулируют производство, испытания и применение иттриевых вольфрамовых электродов с помощью четкой классификации, требований к производительности и методов испытаний. В этой главе подробно рассматриваются международные стандарты, отечественные стандарты, сравнения стандартов и тенденции развития иттриевых вольфрамовых электродов.

7.1 Международный стандарт на иттриевые вольфрамовые электроды

Международные стандарты предусматривают единые технические спецификации для производства и применения иттриевых вольфрамовых электродов, в основном включающие соответствующие стандарты Международной организации по стандартизации (ISO), Американского общества сварки (AWS) и Европейского комитета по стандартизации (EN). В этих стандартах подробно описывается химический состав, допуски на размеры, эксплуатационные испытания и требования к маркировке иттриевых вольфрамовых электродов.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

7.1.1 ISO 6848: Классификация и технические требования к вольфрамовым электродам
ISO 6848:2015 «Сварочные материалы — Неплавящиеся вольфрамовые электроды для дуговой сварки» — это международный стандарт для вольфрамовых электродов, подходящий для таких процессов, как вольфрамовая аргонодуговая сварка (сварка TIG) и плазменно-дуговая сварка. Стандарт четко классифицирует и выполняет иттриевые вольфрамовые электроды (WY20).

Классификация и идентификация: Иттриевые вольфрамовые электроды классифицируются как WY20 с содержанием оксида иттрия (Y_2O_3) 1,8% ~ 2,2% (массовая доля), а наконечник электрода помечен синим покрытием. Стандарт также определяет классификацию других легированных редкоземельными элементами электродов (таких как лантан вольфрам, цериевый вольфрам) для обеспечения различия между различными типами электродов. Требования к идентификации включают модель электрода, размер, производственную партию и информацию о производителе, часто в виде лазерной гравировки или упаковочных этикеток.

Химический состав: Чистота вольфрамовой матрицы требуется $\geq 99,5\%$, а общее содержание примесей (таких как железо, кремний, углерод) $< 0,05\%$. Равномерное распределение оксида иттрия определяли методами рентгенофлуоресцентной спектроскопии (РФА) или энергодисперсионной спектроскопии (ЭДС) с отклонением содержания $< \pm 0,1\%$.

Размеры и допуски: диаметр электрода колеблется от 0,5 ~ 6,4 мм, допуск $\pm 0,05$ мм; Диапазон длины составляет 50 ~ 175 мм, а допуск - ± 1 мм. Поверхность должна быть гладкой, без трещин, включений или оксидных слоев, с шероховатостью $Ra < 0,4$ мкм.

Требования к производительности:

Характеристики запуска дуги: пусковое напряжение дуги < 15 В, скорость дрейфа дуги $< 5\%$, условия тестирования - положительная полярность постоянного тока (DCEN), ток 50 ~ 200 А.

Скорость выгорания: При сварке постоянным током 200 А скорость выгорания $< 0,2$ мг/мин. Механические свойства: твердость по Виккерсу (HV) 400~450, прочность на разрыв > 1000 МПа.

Методы испытаний: Стандарт определяет конкретные методы анализа химического состава (ICP-MS), тестирования микроструктуры (SEM), испытания стабильности дуги и тестирования скорости выгорания. Испытание должно проводиться в стандартных условиях сварки (расход аргона 10 ~ 15 л/мин).

ISO 6848 обеспечивает единую основу для глобального производства и торговли иттриевыми вольфрамовыми электродами, которые широко используются в аэрокосмической, энергетической и автомобильной промышленности. Строгие требования к рабочим характеристикам обеспечивают надежность электрода при высокоточной сварке.

CTIA GROUP LTD

Yttrium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Yttrium Tungsten Electrode

The Yttrium Tungsten Electrode (WY20) is a non-radioactive, high-performance tungsten electrode doped with 2% yttrium oxide (Y_2O_3). Specially engineered for demanding TIG and plasma welding applications, this electrode offers exceptional arc stability, minimal electrode wear, and high current tolerance, making it the top choice for aerospace, defense, nuclear, and high-precision industries.

2. Key Features of Yttrium Tungsten Electrode

- **Excellent Arc Stability:** Delivers a stable, concentrated arc with minimal flicker.
- **High Current Capacity:** Ideal for high-load DC or AC welding operations.
- **Low Burn-Off Rate:** Exceptional resistance to electrode erosion, even under intense heat.
- **Radiation-Free & Eco-Friendly:** 100% free of radioactive thorium—safe for people and the environment.
- **Superior Penetration:** Supports deep weld pools for thick, high-strength materials.
- **Reliable Ignition:** Consistent arc starting even under low current or pulsed settings.

3. Typical Specifications of Yttrium Tungsten Electrode

Type	Y_2O_3 Content	Color Code	Length (mm)	Diameter (mm)
WY20	1.8% – 2.2%	Blue	50 – 175	1.0 – 6.4

4. Applications of Yttrium Tungsten Electrode

- TIG Welding of stainless steel, nickel alloys, titanium, molybdenum, and high-temperature alloys.
- Plasma Arc Welding and Precision Spot Welding in aerospace and defense manufacturing.
- Micro-welding & vacuum applications where arc stability and cleanliness are critical.
- Suitable for DC (Direct Current) or AC/DC mixed-mode operations.

5. Why Choose Yttrium Tungsten Electrode?

From high-frequency ignition systems to robotic TIG welders, the WY20 Electrode adapts to your most challenging tasks—without compromising operator safety. Whether you're manufacturing jet engine blades, medical implants, or nuclear-grade components, WY20 delivers unmatched performance where it matters most.

6. Procurement Information

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

7.1.2 AWS A5.12: Технические характеристики и производительность вольфрамовых электродов

AWS A5.12:2009 «Спецификация на вольфрамовые и оксидно-дисперсные вольфрамовые электроды для дуговой сварки» — это стандарт вольфрамовых электродов, разработанный Американским обществом сварки и широко используемый на рынке Северной Америки. Технические характеристики и требования к рабочим характеристикам иттриевых вольфрамовых электродов (EWY-2) в значительной степени соответствуют стандарту ISO 6848, но в некоторых деталях уделяется больше внимания практическому применению.

Классификация и идентификация: Иттриевые вольфрамовые электроды маркируются как EWY-2 с содержанием оксида иттрия 1,8% ~ 2,2%, а конец окрашен в синий цвет. Стандарт требует, чтобы упаковка электродов имела четкую маркировку с классификацией AWS, размером и номером партии для легкой идентификации пользователя.

Химический состав: Чистота вольфрама должна составлять $\geq 99,5\%$, а отклонение содержания оксида иттрия составляет $\leq \pm 0,1\%$. Стандарт уделяет особое внимание контролю примесей (например, молибдена, железа) и требует обнаружения ICP-MS или XRF.

Размеры: диапазон диаметров 0,5~6,4 мм, допуск $\pm 0,05$ мм; Длина составляет 50 ~ 175 мм, а допуск - ± 1 мм. Стандарт также допускает индивидуальную длину при условии взаимного согласия.

Требования к производительности:

Стабильность дуги: при токе 100 ~ 300 А скорость дрейфа дуги составляет $< 5\%$, а время начала дуги составляет $< 0,1$ секунды.

Скорость выгорания: при 1-часовом тесте при давлении 200 А скорость выгорания $< 0,2$ мг/мин.

Качество поверхности: Отсутствие трещин, окислов и масляных пятен на поверхности электрода, шероховатость $Ra < 0,4$ мкм.

Тестирование и сертификация: AWS A5.12 требует, чтобы производители предоставляли отчеты о эксплуатационных испытаниях, включая завязывание дуги, скорость выгорания и сопротивление ползучести при высоких температурах. Орган по сертификации, такой как AWS или сторонняя лаборатория, может взять образцы электродов для тестирования.

AWS A5.12 широко представлен на рынке Северной Америки, особенно в аэрокосмической и оборонной промышленности, где производители обязаны строго придерживаться стандартов для удовлетворения требований клиентов.

7.1.3 EN 26848: Европейский стандарт для вольфрамовых электродов

EN 26848:1991 — это стандарт для вольфрамовых электродов, разработанный Европейским комитетом по стандартизации, который в значительной степени соответствует ISO 6848, но

имеет специфическое применение на европейском рынке. Стандарт определяет классификацию, эксплуатационные характеристики и методы испытаний иттриевых вольфрамовых электродов (WY20).

Классификация и идентификация: Иттриевый вольфрамовый электрод маркируется как WY20, содержание оксида иттрия составляет 1,8% ~ 2,2%, а конец окрашен в синий цвет. Стандарт требует, чтобы поверхность электрода или упаковка имели четкую маркировку с указанием модели и информации о производителе.

Химический состав: чистота вольфрамовой матрицы $\geq 99,5\%$, содержание примесей $< 0,05\%$. Равномерность распределения оксида иттрия должна быть обнаружена с помощью EDS, а отклонение $\leq \pm 0,1\%$.

Размеры и допуски: диаметр 0,5~6,4 мм, допуск $\pm 0,05$ мм; Длина составляет 50 ~ 175 мм, а допуск - ± 1 мм. Стандарт допускает нестандартные размеры, при условии соблюдения договорных требований.

Требования к производительности:

Характеристики дугового разряда: пусковое напряжение дуги < 15 В, подходит для сварки постоянным и переменным током.

Стабильность дуги: При 100 ~ 200 А скорость дрейфа дуги $< 5\%$.

Скорость выгорания: при 200 А постоянного тока скорость выгорания $< 0,2$ мг/мин.

Методы испытаний: Стандарт определяет конкретные процедуры для анализа химического состава (ICP-MS), проверки качества поверхности (микроскопическое наблюдение) и тестирования характеристик дуги. Испытания проводятся на стандартном сварочном оборудовании TIG.

EN 26848 широко используется на европейском рынке в автомобилестроении, судостроении и производстве энергетического оборудования, а его требования в значительной степени совместимы с ISO 6848 для упрощения международной торговли.

7.2 Отечественные стандарты на иттриевые вольфрамовые электроды

Являясь крупнейшим в мире производителем вольфрамовых электродов, Китай сформулировал ряд национальных стандартов и отраслевых стандартов, регулирующих производство и применение иттриевых вольфрамовых электродов. Эти стандарты выдвигают более конкретные технические требования, основанные на международных стандартах и совмещенные с реальным отечественным производством.

7.2.1 GB/T 4192: Технические условия на вольфрамовые электроды

GB/T 4192-2017 «Вольфрамовый электрод» — это китайский национальный стандарт для вольфрамовых электродов для сварки TIG и плазменно-дуговой сварки, включая иттриевые вольфрамовые электроды (WY20).

Классификация и идентификация: Иттриевый вольфрамовый электрод маркируется как WY20, содержание оксида иттрия составляет 1,8% ~ 2,2%, а конец окрашен в синий цвет. Стандарт также включает в себя нестандартные модели, такие как WY10 (1% оксид иттрия), которые должны быть маркированы моделью, размером и номером партии на упаковке.

Химический состав: чистота вольфрама $\geq 99,5\%$, общая примесь (например, железа, кремния) $< 0,05\%$. Отклонение содержания оксида иттрия $\leq \pm 0,1\%$ и было обнаружено с помощью РФА или ИСП-МС.

Размеры и допуски: диаметр 0,5~6,4 мм, допуск $\pm 0,05$ мм; Длина составляет 50 ~ 175 мм, а допуск - ± 1 мм. Поверхность должна быть без трещин и включений, а шероховатость $Ra < 0,4$ мкм.

Требования к производительности:

Производительность запуска дуги: пусковое напряжение дуги < 15 В, время запуска дуги $< 0,1$ секунды.

Стабильность дуги: при 100 ~ 300 А скорость дрейфа дуги $< 5\%$.

Скорость выгорания: при 200 А постоянного тока скорость выгорания $< 0,2$ мг/мин.

Механические свойства: твердость HV 400~450, прочность на разрыв > 1000 МПа.

Методы испытаний: Стандарт определяет конкретные методы анализа химического состава (ICP-MS), тестирования микроструктуры (SEM), испытания стабильности дуги и тестирования скорости выгорания. Испытательное оборудование должно соответствовать национальным метрологическим стандартам.

GB/T 4192 является основным стандартом китайской промышленности вольфрамовых электродов, широко используемым в отечественной аэрокосмической, энергетической и автомобильной промышленности.

7.2.2 JB/T 12706: Стандарт для вольфрамовых электродов для сварки

JB/T 12706-2016 «Вольфрамовый электрод для сварки» является стандартом механической отрасли, подходящим для оборудования для сварки TIG и плазменно-дуговой сварки, дополняющим некоторые требования GB/T 4192.

Классификация и идентификация: Иттриевый вольфрамовый электрод с маркировкой WY20, конец окрашен в синий цвет. Стандарт требует, чтобы на упаковке электродов указывалась модель, размер, дата изготовления и информация о производителе.

Химический состав: чистота вольфрама $\geq 99,5\%$, содержание оксида иттрия 1,8% ~ 2,2%. В стандарте подчеркивается контроль примесей (например, углерода $< 0,01\%$), который необходимо проверить химическим анализом.

Размеры и допуски: диаметр 0,5~6,4 мм, допуск $\pm 0,05$ мм; Длина составляет 50 ~ 175 мм, а допуск - ± 1 мм. Допускаются нестандартные размеры на заказ.

Требования к производительности:

Характеристики дугового разряда: пусковое напряжение дуги < 15 В, подходит для сварки постоянным и переменным током.

Стабильность дуги: При 50 ~ 200 А скорость дрейфа дуги $< 5\%$.

Скорость выгорания: при 200 А скорость выгорания $< 0,2$ мг/мин.

Испытания и сертификация: Стандарт требует от производителей предоставления сертификатов качества, включая химический состав, точность размеров и характеристики дуги. Могут быть сертифицированы сторонние испытательные органы.

JB/T 12706 широко используется в области машиностроения, особенно на малых и средних предприятиях, и пользуется популярностью благодаря своим относительно гибким требованиям.

7.2.3 Отраслевые стандарты и спецификации

В дополнение к национальным стандартам, некоторые отрасли промышленности Китая разработали специальные спецификации, которые выдвигают дополнительные требования к иттриевым вольфрамовым электродам для конкретных сценариев применения:

Аэрокосмическая промышленность: Китайские стандарты авиационной промышленности (например, серия НВ) требуют, чтобы иттрий-вольфрамовые электроды обладали более высокой стабильностью дуги и низкой летучестью при сварке титановых сплавов и сплавов на основе никеля, со скоростью выгорания $< 0,15$ мг/мин и скоростью газовыделения $< 10^{-6}$ Па· в вакуумной среде м³/с.

Атомная промышленность: Стандарты атомной промышленности (например, серия НJB) подчеркивают нерадиоактивность и коррозионную стойкость электродов с отклонением содержания оксида иттрия $< \pm 0,05\%$ для обеспечения долговременной стабильности сварных швов в условиях высоких температур и высокого давления.

Судостроение: Спецификации морской промышленности требуют, чтобы иттриевые вольфрамовые электроды обладали отличной коррозионной стойкостью в средах с высокой влажностью, содержащим хлор, а поверхность должна быть специально отполирована ($Ra < 0,2$ мкм).

Эти отраслевые стандарты обычно основаны на GB/T 4192, но добавляют требования к испытаниям для конкретных областей применения, такие как испытания на коррозионную стойкость и высокотемпературные усталостные испытания.

7.3 Сравнение стандартов и применение иттриевых вольфрамовых электродов

7.3.1 Различия и применимость отечественных и зарубежных стандартов

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Существуют определенные различия в классификации, требованиях к эксплуатационным характеристикам и методах испытаний иттриевых вольфрамовых электродов в стране и за рубежом, которые в основном выражаются в следующих аспектах:

Требования к химическому составу: ISO 6848 и AWS A5.12 имеют более строгие требования к содержанию примесей ($<0,05\%$), в то время как GB/T 4192 допускает несколько более высокие пределы примесей ($<0,1\%$) для адаптации к фактической ситуации с отечественным сырьем. EN 26848 соответствует стандарту ISO 6848, но имеет более слабый контроль над микроэлементами, такими как углерод.

Размеры и допуски: Международные стандарты (ISO, AWS, EN) соответствуют требованиям по допускам по диаметру ($\pm 0,05$ мм) и шероховатости поверхности ($Ra < 0,4$ мкм), в то время как GB/T 4192 и JB/T 12706 допускают нестандартные размеры, подходящие для разнообразных потребностей внутреннего рынка.

Эксплуатационные испытания: ISO 6848 и AWS A5.12 требуют всестороннего тестирования характеристик дуги (например, напряжения дуги, скорости дрейфа) и определяют стандартные условия сварки (расход аргона 10 ~ 15 л/мин). GB/T 4192 и JB/T 12706 имеют схожие методы испытаний, но обеспечивают более гибкие условия испытаний и подходят для малого и среднего бизнеса.

Применимость:

Международные стандарты: применимы к глобальной торговле и высокотехнологичным приложениям, таким как аэрокосмическая и атомная промышленность, с акцентом на постоянство характеристик и требования сертификации.

Отечественный стандарт: более экономичное и практичное производство, подходящее для отечественных малых и средних предприятий и общепромышленного применения.

Отраслевые стандарты: Повышенные требования для конкретных областей (например, авиация, атомная промышленность), подходящие для высокоточных и сложных сред.

7.3.2 Руководящая роль стандартов в производственном процессе

Отечественные и зарубежные стандарты дают важные рекомендации по процессу производства иттриевых вольфрамовых электродов благодаря четким показателям эффективности и методам испытаний:

Подготовка сырья: Стандарт предусматривает использование вольфрама высокой чистоты ($\geq 99,99\%$) и оксида иттрия ($\geq 99,99\%$), что побуждает производителей использовать передовое оборудование для очистки (например, экстракцию растворителем, распылительную сушку) и методы контроля качества (например, ICP-MS).

Легирование и спекание: Стандартное требование к равномерности распределения оксида иттрия (отклонение $< \pm 0,1\%$) обуславливает применение методов легирования распылением и вакуумного спекания для обеспечения микроструктурной консистенции электродов.

Механическая обработка и формовка: Стандартные допуски на размеры ($\pm 0,05$ мм) и шероховатость поверхности ($Ra < 0,4$ мкм) требуют от производителей использования прецизионных волочильных станков и шлифовального оборудования с ЧПУ для повышения точности обработки.

Контроль качества: Многочисленные испытания, требуемые стандартом (такие как стабильность дуги, скорость выгорания), побудили производителей внедрить SEM, XRF и другое испытательное оборудование для создания комплексной системы управления качеством.

Например, требование ISO 6848 к скорости выгорания ($< 0,2$ мг/мин) способствует оптимизации высокотемпературных печей для спекания с точным контролем температуры ($\pm 5^\circ\text{C}$) и управлением атмосферой (содержание кислорода < 10 ppm).

7.3.3 Нормативная роль стандартов в сценариях применения

Стандарт регламентирует использование иттриевых вольфрамовых электродов в различных сценариях применения с помощью требований к производительности и безопасности:

Аэрокосмическая промышленность: ISO 6848 и AWS A5.12 требуют, чтобы электроды обладали превосходной стабильностью дуги и низкой летучестью в условиях сильного тока (> 200 А) и вакуума, обеспечивая высокую прочность и воздухонепроницаемость сварных швов на основе титана и никеля.

Атомная промышленность: GB/T 4192 и отраслевые стандарты требуют, чтобы электроды были нерадиоактивными и коррозионностойкими, пригодными для сварки корпусов реакторов и предотвращали разрушение сварных швов при высоких температурах и давлениях.

Автомобилестроение: Гибкие требования к размерам JB/T 12706 позволяют изготавливать нестандартные электроды по индивидуальному заказу, удовлетворяя разнообразные потребности в сварке листового кузова.

Микроэлектроника: Стандартные требования к точности микроэлектродов (диаметр $0,5 \sim 1,0$ мм) способствовали применению методов шлифовки с ЧПУ и электрохимической полировки для обеспечения точности микросварки.

Стандарт также определяет требования к упаковке, хранению и транспортировке электродов, такие как требование влагонепроницаемой и ударопрочной упаковки и прозрачной маркировки для снижения риска повреждения при транспортировке.

7.4 Стандартная тенденция развития иттриевых вольфрамовых электродов

В связи с непрерывной разработкой новых материалов, новых процессов и требований к защите окружающей среды, стандарты для иттриевых вольфрамовых электродов также постоянно обновляются в соответствии с потребностями отрасли и технологическим прогрессом.

CTIA GROUP LTD

Yttrium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Yttrium Tungsten Electrode

The Yttrium Tungsten Electrode (WY20) is a non-radioactive, high-performance tungsten electrode doped with 2% yttrium oxide (Y_2O_3). Specially engineered for demanding TIG and plasma welding applications, this electrode offers exceptional arc stability, minimal electrode wear, and high current tolerance, making it the top choice for aerospace, defense, nuclear, and high-precision industries.

2. Key Features of Yttrium Tungsten Electrode

- **Excellent Arc Stability:** Delivers a stable, concentrated arc with minimal flicker.
- **High Current Capacity:** Ideal for high-load DC or AC welding operations.
- **Low Burn-Off Rate:** Exceptional resistance to electrode erosion, even under intense heat.
- **Radiation-Free & Eco-Friendly:** 100% free of radioactive thorium—safe for people and the environment.
- **Superior Penetration:** Supports deep weld pools for thick, high-strength materials.
- **Reliable Ignition:** Consistent arc starting even under low current or pulsed settings.

3. Typical Specifications of Yttrium Tungsten Electrode

Type	Y_2O_3 Content	Color Code	Length (mm)	Diameter (mm)
WY20	1.8% – 2.2%	Blue	50 – 175	1.0 – 6.4

4. Applications of Yttrium Tungsten Electrode

- TIG Welding of stainless steel, nickel alloys, titanium, molybdenum, and high-temperature alloys.
- Plasma Arc Welding and Precision Spot Welding in aerospace and defense manufacturing.
- Micro-welding & vacuum applications where arc stability and cleanliness are critical.
- Suitable for DC (Direct Current) or AC/DC mixed-mode operations.

5. Why Choose Yttrium Tungsten Electrode?

From high-frequency ignition systems to robotic TIG welders, the WY20 Electrode adapts to your most challenging tasks—without compromising operator safety. Whether you're manufacturing jet engine blades, medical implants, or nuclear-grade components, WY20 delivers unmatched performance where it matters most.

6. Procurement Information

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

7.4.1 Влияние новых материалов и процессов на стандарты

Технология наноразмерного легирования: применение оксида наноииттрия (размер частиц 10 ~ 100 нм) улучшает стабильность дуги и стойкость электрода к выгоранию. В будущих стандартах может быть добавлена классификация нанолегированных электродов (например, WY-Nano) и указаны более строгие распределения частиц по размерам (отклонение $\leq \pm 10$ нм) и методы эксплуатационных испытаний (например, анализ ПЭМ).

Композитные легирующие электроды: такие как иттриевые вольфрамовые электроды, представляют собой композитное легирование оксидом лантана или оксидом церия (например, WX4) для улучшения комплексных характеристик. Стандарты могут вводить классификации и эксплуатационные показатели для композитных легированных электродов, такие как сопротивление ползучести (скорость ползучести $< 10^{-6}$ с⁻¹) и эффективность термозмиссионной эмиссии.

Передовые производственные процессы: применение разрядного плазменного спекания (SPS) и интеллектуальных производственных технологий улучшает плотность ($> 99\%$) и консистенцию электродов. Будущие стандарты могут повысить требования к размеру зерна (< 5 мкм) и частоте дефектов ($< 0,5\%$) для электродов SPS.

Эти новые технологии и материалы требуют стандартов для обновления методов испытаний, таких как добавление анализа ПЭМ с высоким разрешением и мониторинга характеристик дуги в режиме реального времени, для проверки характеристик новых электродов.

7.4.2 Обновление стандартов охраны окружающей среды и безопасности

Требования по охране окружающей среды и безопасности являются важными факторами обновления стандартов. Радиоактивность ториевых вольфрамовых электродов способствовала широкому применению иттриевых вольфрамовых электродов, и будущие стандарты еще больше усилят требования к защите окружающей среды и безопасности:

Сертификация отсутствия радиоактивности: Стандарты могут требовать от производителей предоставления сертификатов отсутствия радиоактивности (например, отчетов о гамма-тестах), чтобы гарантировать, что электроды соответствуют стандартам Международной организации труда (МОТ) и Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ).

Спецификации по переработке отходов: В будущих стандартах может быть указан уровень переработки ($> 90\%$) иттриевых вольфрамовых электродов и процессы утилизации отходов для снижения загрязнения окружающей среды.

Требования к охране труда: Стандарт может добавить предельные значения выбросов сварочного дыма (например, $< 0,1$ мг/м³) и требования к эксплуатационной защите (например, принудительная вентиляция и защитное оборудование) для защиты здоровья операторов.

Кроме того, по мере ужесточения глобальных экологических норм (например, директивы ЕС RoHS) стандарты могут требовать, чтобы потребление энергии и выбросы отработанных

жидкостей в процессе производства электродов соответствовали определенным пределам, что способствует применению экологически чистых производственных технологий.



Глава 8 Технология детектирования иттриевых вольфрамовых электродов

Поскольку он является высокоэффективным сварочным материалом, качество иттриевого вольфрамового электрода напрямую влияет на эффект сварки и надежность применения. Технология обнаружения обеспечивает соответствие электродов международным и отечественным стандартам (например, ISO 6848, AWS A5.12, GB/T 4192) за счет всесторонней оценки химического состава, физических свойств, электрических свойств, микроструктуры и экологической безопасности. В этой главе подробно обсуждается технология обнаружения иттриевых вольфрамовых электродов, охватывающая химию, физику, электричество, микроструктуру и экологическую безопасность, а также знакомится с соответствующим оборудованием и новыми технологиями.

8.1 Определение химического состава иттриевых вольфрамовых электродов

Тестирование химического состава является основой контроля качества иттриевых вольфрамовых электродов, уделяя особое внимание однородности содержания оксида иттрия, примесных элементов и распределения компонентов для обеспечения стабильности и производительности электрода в условиях высокотемпературной дуговой дуги.

8.1.1 Точное измерение содержания оксида иттрия

Содержание оксида иттрия (Y_2O_3) является ключевым показателем иттриевого вольфрамового электрода (WY20), и стандарт требует содержания 1,8% ~ 2,2% (массовая доля), с отклонением $\leq \pm 0,1\%$. Точное измерение содержания оксида иттрия требует высокочувствительных аналитических методов.

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

ICP-MS определяет массовую долю иттрия методом плазменной ионизации образца, с пределом обнаружения < 1 ppb и точностью $\pm 0,01\%$. Образец нужно растворить азотной кислотой или фтористоводородной кислотой, а время анализа составляет около 5 минут. ICP-MS способен определять уровни как вольфрама, так и оксида иттрия для высокоточного лабораторного анализа. Преимущества: Высокая чувствительность, подходит для анализа микроэлементов; Недостатки: Сложная пробоподготовка и высокая стоимость оборудования.

Рентгенофлуоресцентная спектроскопия (РФА)

РФА возбуждает поверхность образца рентгеновскими лучами, анализирует характеристическую интенсивность флуоресценции иттрия и вольфрама и измеряет содержание оксида иттрия с точностью до $\pm 0,05\%$. XRF — это неразрушающий контроль со временем анализа < 1 минуту, что делает его пригодным для быстрого контроля на производственной линии. Преимущества: быстрый и без потерь; Недостатки: Менее чувствителен к световым элементам.

Метод химического титрования

Химическое титрование измеряет содержание иттрия с помощью кислотно-основной реакции или реакции комплексообразования с точностью $\pm 0,1\%$. Хотя метод является традиционным, он подходит для малых и средних предприятий, отличается низкой стоимостью и простотой в эксплуатации. Преимущества: низкая стоимость, простота в эксплуатации; Недостатки: Низкая точность и более длительные временные затраты.

В процессе измерения было взято несколько проб (не менее 3 разных мест), чтобы убедиться, что содержание оксида иттрия является репрезентативным. Стандарт требует отклонения $\leq \pm 0,1\%$ для обеспечения стабильной производительности электродов.

8.1.2 Анализ примесей и следов

Примесные элементы (такие как железо, кремний, углерод, кальций) оказывают существенное влияние на стабильность дуги и скорость выгорания иттриевых вольфрамовых электродов, а стандарт требует общего содержания примесей $< 0,05\%$. Анализ следов требует использования высокочувствительного оборудования.

ИСП-МС

ICP-MS может обнаруживать широкий спектр примесных элементов (Fe, Si, C, Ca и т. д.) с пределом обнаружения $< 0,1$ ppb, что делает его пригодным для следового анализа. Образец должен быть полностью растворен, а время анализа составляет около 5 ~ 10 минут.

Преимущества: одновременное обнаружение нескольких элементов, высокая точность;
Недостатки: Сложная пробоподготовка.

Масс-спектрометрия тлеющего разряда (GD-MS)

GD-MS использовали для ионизации поверхности образца тлеющим разрядом для анализа микроэлементов с пределом обнаружения $< 0,01$ ppb. Прибор подходит для прямого анализа твердотельных электродов без необходимости растворения образца. Преимущества: Высокая чувствительность, отсутствие потерь; Недостатки: Дорогое оборудование и сложная эксплуатация.

Атомно-абсорбционная спектроскопия (AAS)

AAS используется для обнаружения специфических примесных элементов (например, Fe, Ca) с пределом обнаружения < 1 ppm и точностью $\pm 0,1\%$. Метод подходит для одноэлементного анализа и является менее затратным. Преимущества: невысокая стоимость, простое управление; Недостатки: Обнаружение элементов по одному, низкая эффективность.

Анализ примесей охватывает поперечное сечение и поверхность электрода, чтобы гарантировать отсутствие локального обогащения. Стандарт предусматривает 50 ppm $<$ железа, 20 ppm кремниевого $<$ и 10 ppm углерода $<$, чтобы избежать дрейфа дуги или повышенного выгорания.

8.1.3 Определение равномерности распределения компонентов

Равномерное распределение оксида иттрия напрямую влияет на стабильность дуги и механические свойства электрода. Метод детектирования оценивает распределение состава внутри и на поверхности электрода.

Энергодисперсионная спектроскопия (ЭДС)

EDS в сочетании со сканирующей электронной микроскопией (СЭМ) анализирует элементное распределение сечений электродов методом рентгеновской энергетической спектроскопии с разрешением < 1 мкм и точностью $\pm 0,05\%$. Область детектирования охватывает центр и край электрода для анализа равномерности распределения оксида иттрия. Преимущества: Интуитивно понятное отображение распределения элементов; Недостатки: Ограничен поверхностным или поверхностным анализом.

Электронно-зондовый микроанализ (ЕРМА)

ЕРМА использует возбуждение электронным пучком для анализа двумерного распределения иттрия и вольфрама с разрешением $< 0,1$ мкм и точностью $\pm 0,01\%$. Оборудование подходит для высокоточного анализа с глубиной обнаружения в несколько микрон. Преимущества: Высокое разрешение, подходит для сложных образцов; Недостатки: дорогое оборудование, длительное время анализа.

Рентгеновская томография (ХКТ)

ХСТ сканирует внутреннюю часть электрода с помощью рентгеновских лучей для создания 3D-карты состава с разрешением < 1 мкм. Прибор может обнаруживать агломерацию или

сегрегацию оксида иттрия и подходит для неразрушающего анализа. Преимущества: 3D неразрушающий контроль; Недостатки: высокая стоимость оборудования и сложная обработка данных.

Для испытания на однородность требовалось, чтобы содержание оксида иттрия отклонялось на $\leq \pm 0,1\%$, а площадь локальной агломерации $< 5\%$. Полученные результаты позволяют оптимизировать процесс легирования и спекания.

8.2 Физические свойства иттриевых вольфрамовых электродов

Тестирование физических свойств оценивает плотность, твердость, механические свойства, качество поверхности и высокотемпературные характеристики иттриевых вольфрамовых электродов, обеспечивая их стабильность и долговечность во время сварочных процессов.

8.2.1 Испытание на плотность, твердость и механические свойства

Испытание на плотность

Плотность является ключевым показателем для измерения плотности электродов, и стандарт требует, чтобы она была близка к теоретической плотности ($19,1 \sim 19,3 \text{ г/см}^3$). Метод дренажа Архимеда использует высокоточные электронные весы (точность $\pm 0,001 \text{ г}$) для расчета плотности путем измерения массы электрода в воздухе и воде. Преимущества: простота и точность; Недостатки: Требуется многократное измерение для обеспечения согласованности. Современные заводы также используют рентгеновские плотнометры для измерения плотности по интенсивности поглощения рентгеновского излучения без разрушения образцов с точностью $\pm 0,01 \text{ г/см}^3$.

Испытание на твердость

В тесте на твердость по Виккерсу (HV) используется тест на твердость по Виккерсу, при этом применяется нагрузка 1050 Н и измеряется твердость поперечного сечения электрода с целевым значением 400450 HV . Контрольные точки охватывают центр и край электрода, обеспечивая однородность. Преимущества: высокая точность, отражающая прочность материала; Недостатки: Требуется подготовка плоских образцов.

Испытание механических свойств

Для испытаний на прочность на растяжение и изгиб используется универсальная машина для испытаний материалов с приложенной нагрузкой на растяжение или трехточечный изгиб с целевой прочностью на разрыв $> 1000 \text{ МПа}$ и прочностью на изгиб $> 800 \text{ МПа}$. Испытание проводилось при комнатной температуре и высокой температуре (1000°C) для оценки устойчивости электрода к деформации. Преимущества: Комплексная оценка механических свойств; Недостатки: Оборудование для высокотемпературных испытаний является сложным.

8.2.2 Испытание качества поверхности и точности размеров

Испытание шероховатости поверхности

Шероховатость поверхности ($Ra < 0,4 \text{ мкм}$) измеряется контактным профилографом или лазерным сканером поверхности для обнаружения царапин, оксидов или включений на

поверхности электрода. Разрешение устройства $< 0,01$ мкм, а длина сканирования 2~5 мм.
Преимущества: Высокая точность, подходит для контроля на производственной линии;
Недостатки: Требуется регулярной калибровки.

Контроль точности размеров

Точность размеров (диаметр $\pm 0,05$ мм, длина ± 1 мм) измеряется с помощью высокоточного лазерного измерителя диаметра или цифрового штангенциркуля. Лазерный измеритель диаметра сканирует диаметр электрода с точностью до $\pm 0,01$ мм с помощью лазерного луча, что делает его пригодным для партийного контроля. Преимущества: быстрый и без потерь;
Недостатки: Более высокая стоимость оборудования.

Микроскопическое исследование

Оптические микроскопы (увеличение 100~500 $\times$) используются для осмотра поверхностных трещин, пор или включений на глубине < 10 мкм. Серьезные дефекты (например, длина трещины $> 0,1$ мм) должны быть отбракованы. Преимущества: интуитивно понятный и простой;
Недостатки: Ограничен осмотр поверхности.

8.2.3 Испытание на физические свойства при высоких температурах

Высокотемпературные испытания позволяют оценить стабильность электрода в условиях сварки (> 2000 °C).

Высокотемпературная температура рекристаллизации

В тесте используется высокотемпературная печь (2000~2500°C) для нагрева электрода в сочетании с дифференциальным сканирующим калориметром (DSC) для измерения температуры рекристаллизации, а мишень > 2000 °C. Испытание проводится под защитой аргона от окисления. Преимущества: точно отражают высокую температурную стабильность;
Недостатки: длительное время тестирования.

Испытание на коэффициент теплового расширения

Тепловой dilatометр измеряет коэффициент теплового расширения электрода при температуре 20 ~ 1000 °C с целевым значением около $4,5 \times 10^{-6}$ K⁻¹. Прибор регистрирует изменения размеров методом лазерной интерферометрии с точностью $\pm 0,1 \times 10^{-6}$ K⁻¹. Преимущества: высокая точность; Недостатки: Требуется высокотемпературной поддержки оборудования.

Испытание на теплопроводность

Теплопроводность электрода измеряли методом лазерной вспышки (цель 174 Вт/м·К), а для тестирования температурного диапазона 20 ~ 1000 °C использовали высокотемпературный лазерный анализатор вспышек. Преимущества: быстро и точно; Недостатки: дорогое оборудование.

8.3 Определение электрических свойств иттриевого вольфрамового электрода

В ходе испытаний на электрические характеристики оцениваются электронно-эмиссионная

способность, стабильность дуги и высокая стойкость к току иттриевых вольфрамовых электродов, что обеспечивает их производительность при сварке TIG и плазменно-дуговой сварке.

8.3.1 Испытание на утечку электронов и термоэмиссионное испытание

Испытание на утечку электронов

Работа убегания электронов (цель 2,5 ~ 2,7 эВ) измеряется с помощью фотоэлектронной спектроскопии (ПЭС) или термоэмиссионного устройства. PES использует ультрафиолетовое излучение для возбуждения электронов и анализа ускользящей энергии; Термоэмиссионное устройство нагревает электрод (1000-1500°C) в вакуумной среде и измеряет ток излучения. Преимущества: Точное измерение возможностей электронной эмиссии; Недостатки: Оборудование сложное и требует вакуумной среды.

Термоэмиссионное испытание

Термоэмиссионное испытание проводилось в смоделированных условиях сварки (ток 50 ~ 200 А, вакуум или аргоновая среда), а плотность эмиссионного тока (целевой > 10 А/см²) измерялась с помощью высокочастотного источника питания и амперметра. Преимущества: непосредственное отражение сварочных характеристик; Недостатки: Условия испытаний должны строго контролироваться.

8.3.2 Испытания на инициацию дуги и стабильность дуги

Тест на эффективность инициирования дуги

Испытание характеристик дугового разряда проводилось с помощью сварочного аппарата TIG (ток 50 ~ 200 А, расход аргона 10 ~ 15 л/мин) для измерения напряжения дуги (<15 В) и времени начала дуги (<0,1 секунды). Оборудование оснащено устройством высокочастотного зажигания и анализатором спектра для регистрации интенсивности света дуги и скорости зажигания. Преимущества: Реалистичное моделирование сварочной среды; Недостатки: Требуется стандартная поддержка сварочного аппарата.

Стабильность дуги

Тестовые испытания на стабильность дуги проводятся при токе 100 ~ 300 А, регистрируя скорость дрейфа дуги (целевой <5%) и колебания напряжения (<±1 В). Устройство использует высокоскоростную камеру (частота кадров > 1000 кадров в секунду) для наблюдения за морфологией дуги и анализа стабильности в сочетании с регистратором напряжения/тока. Преимущества: Интуитивно отражают качество дуги; Недостатки: Дорогое испытательное оборудование.

8.3.3 Испытание скорости выгорания в условиях высоких токов

Испытание скорости выгорания проводили при 200 А постоянного тока в течение 1 часа для измерения потери массы электродов (целевой < 0,2 мг/мин). В состав оборудования входят высокоточные электронные весы (точность ±0,01 мг) и сварочный аппарат TIG, а испытание проводится под аргоновой защитой. Преимущества: прямая оценка ресурса электродов; Недостатки: Длительный цикл испытаний. При испытании на высокотемпературное

выгорание (>300 А) также используется аппарат плазменной дуговой сварки для оценки долговечности электрода в экстремальных условиях.

8.4 Определение микроструктуры иттриевых вольфрамовых электродов

Обнаружение микроструктуры позволяет оценить размер зерна электрода, распределение оксида иттрия и внутренние дефекты, обеспечивая его механические и электрические свойства.

8.4.1 Анализ структуры и размеров зерна

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ)

С помощью СЭМ наблюдали зернистую структуру поперечного сечения электрода с размером целевого зерна 510 мкм и разрешением < 1 нм. Образец необходимо отполировать и травить с увеличением 1000~5000 $\times$. Преимущества: высокое разрешение, интуитивно понятное отображение морфологии зерен; Недостатки: Сложная пробоподготовка.

Оптический микроскоп

Оптические микроскопы (увеличение 200~1000 $\times$) используются для быстрого анализа размера и распределения зерен, подходят для предварительного контроля на производственной линии. Преимущества: простое управление и невысокая стоимость; Недостатки: Более низкое разрешение, чем у SEM.

8.4.2 Распределение и фазовый анализ частиц оксида иттрия

Энергодисперсионная спектроскопия (ЭДС)

EDS в сочетании с SEM анализировал распределение частиц оксида иттрия с разрешением < 1 мкм. Детектирование охватывает поперечное сечение электрода, а отклонение целевого распределения составляет $\leq \pm 0,1\%$. Преимущества: Интуитивно понятное отображение распределения элементов; Недостатки: Ограничен поверхностным анализом.

Рентгеновская дифракция (XRD)

Дифрактометр проанализировал фазовый состав электрода, чтобы подтвердить отсутствие WO_3 или других окисляющих фаз. Устройство использует лучи $Cu K\alpha$ с углом сканирования $10 \sim 90^\circ$ и разрешением $\pm 0,01^\circ$. Преимущества: неразрушающий контроль фазовой структуры; Недостатки: Требуется профессиональный анализ данных.

8.4.3 Выявление внутренних дефектов (трещин, пористости)

Рентгеновская томография (ХКТ)

ХСТ генерирует трехмерное изображение электрода для обнаружения внутренних трещин и пор с разрешением < 1 мкм. Оборудование подходит для неразрушающего анализа с глубиной обнаружения в несколько миллиметров. Преимущества: 3D неразрушающий контроль; Недостатки: Дорогое оборудование и сложная обработка данных.

Ультразвуковой контроль

Ультразвуковое детектирование сканирует внутреннюю часть электрода высокочастотными

акустическими волнами (5 ~ 20 МГц) для обнаружения трещин и пор с точностью до $\pm 0,1$ мм. Оборудование подходит для быстрого осмотра больших объемов. Преимущества: быстрый и без потерь; Недостатки: Менее чувствителен к мелким дефектам.

8.5 Испытания иттриевых вольфрамовых электродов на окружающую среду и безопасность

Испытания на охрану окружающей среды и безопасность гарантируют, что иттриевые вольфрамовые электроды являются нерадиоактивными, малотоксичными и устойчивыми, отвечающими требованиям охраны окружающей среды и гигиены труда.

8.5.1 Сертификация нерадиоактивных веществ

Нерадиоактивность иттриевых вольфрамовых электродов является их основным преимуществом перед ториевыми вольфрамовыми электродами. Методы обнаружения включают в себя:

Обнаружение гамма-лучей

Уровень радиоактивности электрода измеряется с помощью детектора гамма-излучения (чувствительность $< 0,01$ мкЗв/ч) для обеспечения отсутствия α , β или γ лучей. Испытание проводилось в экранированной камере в течение 24 часов. Преимущества: Высокая чувствительность для обеспечения безопасности; Недостатки: дорогое оборудование.

Анализ радионуклидов

Радионуклиды в электроде (например, Th-232, U-238) анализировали с помощью германиевого детектора высокой чистоты, а предел обнаружения составлял $< 0,1$ Бк/г. Преимущества: Точное обнаружение следов радиоактивности; Недостатки: длительное время анализа.

Результаты теста должны соответствовать стандартам Международной организации труда (МОТ) и Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), подтверждающим, что электрод не содержит радиоактивности.

8.5.2 Оценка воздействия на окружающую среду и пригодности к вторичной переработке

Испытания на воздействие на окружающую среду

В ходе испытаний на воздействие на окружающую среду оцениваются выбросы (например, отработанная жидкость, сажа) при производстве и использовании электродов. Концентрацию сварочного дыма (целевой $< 0,1$ мг/м³) измеряли с помощью газоанализатора, а тяжелые металлы в отработанной жидкости анализировали с помощью жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Преимущества: Комплексная оценка воздействия на окружающую среду; Недостатки: Требуется несколько устройств для совместной работы.

Оценка восстановления

Испытания на восстановление оценивают восстановление электродов при

высокотемпературном плавлении и химической очистке (целевой > 90%). Оборудование включает в себя электродуговую печь и систему экстракции растворителем для проверки эффективности восстановления оксидов вольфрама и иттрия. Преимущества: Поддержка экономики замкнутого цикла; Недостатки: Процесс переработки сложный.

8.5.3 Испытания на гигиену труда и технику безопасности

Обнаружение сварочного дыма

Концентрацию сажи во время сварки измеряли с помощью пробоотборника твердых частиц с целевым значением < 0,1 мг/м³. Оборудование оснащено высокоэффективным фильтром, а время отбора проб составляет 1 ~ 2 часа. Преимущества: Прямая оценка рисков для здоровья; Недостатки: Требуются полевые испытания.

Обнаружение дугового света

Интенсивность ультрафиолетового излучения дугового света (длина волны 200 ~ 400 нм) измеряется с помощью спектрометра для оценки потенциального вреда для глаз и кожи. Испытание проводится в стандартных условиях сварки TIG. Преимущества: Защита оператора; Недостатки: Требуется профессиональное защитное снаряжение.

8.6 Технология и оборудование для испытаний иттриевых вольфрамовых электродов

8.6.1 Общие инструменты и принципы испытаний

ИСП-МС: Определение химического состава методом плазменной ионизации и масс-спектрометрии с точностью $\pm 0,01\%$.

XRF: анализирует содержание элементов с помощью рентгеновской флуоресценции, подходит для быстрого неразрушающего обнаружения.

SEM/EDS: Определяет микроструктуру и распределение элементов с помощью электронно-лучевой визуализации и энергетической спектроскопии.

XRD: рентгеноструктурный анализ фазового состава для подтверждения отсутствия вредных окисляющих фаз.

ХСТ: Генерирует 3D-изображения с помощью рентгеновского сканирования для обнаружения внутренних дефектов.

Твердомер Виккерса: измеряет твердость путем вдавливания и оценивает механические свойства.

Лазерный измеритель диаметра: точность размеров, измеренная с помощью лазерного сканирования, с точностью $\pm 0,01$ мм.

8.6.2 Передовые технологии обнаружения (с помощью искусственного интеллекта, анализ на месте и т.д.)

Обнаружение с помощью искусственного интеллекта

Технология искусственного интеллекта анализирует данные SEM, XRF и XRD с помощью алгоритмов машинного обучения для прогнозирования производительности электродов (например, скорости выгорания, стабильности дуги). Система оптимизирует параметры обнаружения на основе исторических данных, а коэффициент распознавания дефектов > 95%. Преимущества: повышение эффективности, уменьшение ручных ошибок; Недостатки:

Требует большого количества обучающих данных.

Методы анализа in-situ

Анализ in-situ сочетает в себе высокотемпературную печь и SEM/ТЕМ для наблюдения за изменениями микроструктуры электродов при высоких температурах ($>2000^{\circ}\text{C}$) в режиме реального времени. Оборудование оснащено высокотемпературным испытательным столиком и системой динамической визуализации с разрешением < 1 нм. Преимущества: Интуитивно отражают высокие температурные характеристики; Недостатки: Сложное оснащение и высокая стоимость.

Спектральный анализ в режиме онлайн

Онлайн-анализатор спектра оценивает стабильность дуги и испарение примесей, контролируя спектр дуги в режиме реального времени, время анализа составляет $< 0,1$ секунды. Преимущества: быстрая обратная связь, подходит для мониторинга на производственной линии; Недостатки: Требуется высокоточный спектрометр.

Эти передовые технологии повышают эффективность и точность контроля, способствуя интеллектуальному развитию контроля качества иттриевых вольфрамовых электродов.



Заявление об авторских правах и юридической ответственности

CTIA GROUP LTD

Yttrium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Yttrium Tungsten Electrode

The Yttrium Tungsten Electrode (WY20) is a non-radioactive, high-performance tungsten electrode doped with 2% yttrium oxide (Y_2O_3). Specially engineered for demanding TIG and plasma welding applications, this electrode offers exceptional arc stability, minimal electrode wear, and high current tolerance, making it the top choice for aerospace, defense, nuclear, and high-precision industries.

2. Key Features of Yttrium Tungsten Electrode

- **Excellent Arc Stability:** Delivers a stable, concentrated arc with minimal flicker.
- **High Current Capacity:** Ideal for high-load DC or AC welding operations.
- **Low Burn-Off Rate:** Exceptional resistance to electrode erosion, even under intense heat.
- **Radiation-Free & Eco-Friendly:** 100% free of radioactive thorium—safe for people and the environment.
- **Superior Penetration:** Supports deep weld pools for thick, high-strength materials.
- **Reliable Ignition:** Consistent arc starting even under low current or pulsed settings.

3. Typical Specifications of Yttrium Tungsten Electrode

Type	Y_2O_3 Content	Color Code	Length (mm)	Diameter (mm)
WY20	1.8% – 2.2%	Blue	50 – 175	1.0 – 6.4

4. Applications of Yttrium Tungsten Electrode

- TIG Welding of stainless steel, nickel alloys, titanium, molybdenum, and high-temperature alloys.
- Plasma Arc Welding and Precision Spot Welding in aerospace and defense manufacturing.
- Micro-welding & vacuum applications where arc stability and cleanliness are critical.
- Suitable for DC (Direct Current) or AC/DC mixed-mode operations.

5. Why Choose Yttrium Tungsten Electrode?

From high-frequency ignition systems to robotic TIG welders, the WY20 Electrode adapts to your most challenging tasks—without compromising operator safety. Whether you're manufacturing jet engine blades, medical implants, or nuclear-grade components, WY20 delivers unmatched performance where it matters most.

6. Procurement Information

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

Глава 9 Общие проблемы пользователей и их решения для иттриевых вольфрамовых электродов

Иттриевый вольфрамовый электрод (WY20) широко используется при сварке TIG, плазменно-дуговой сварке и несварочных работах благодаря своей превосходной стабильности дуги, низкой скорости выгорания и нерадиоактивным свойствам. Тем не менее, пользователи могут столкнуться с такими проблемами, как нестабильное закручивание дуги, быстрое прогорание наконечника и трудности с зажиганием дуги во время использования. В этой главе подробно анализируются причины этих проблем и предлагаются целевые решения, которые помогут пользователям оптимизировать производительность сварки и срок службы электродов.

9.1 Возможные причины дуговой нестабильности иттриевых вольфрамовых электродов

Нестабильность дуги является распространенной проблемой при использовании иттриевых вольфрамовых электродов, проявляющейся в виде дрейфа дуги, прерывистого течения или трудностей с контролем сварочной ванны, что может привести к снижению качества сварного шва. Ниже анализируются причины с четырех аспектов: геометрия наконечника электрода, параметры тока, защитный газ и загрязнение поверхности.

9.1.1 Неправильная геометрия наконечника электрода

Причина: Геометрия наконечника электрода (например, угол, радиус) напрямую влияет на концентрацию и стабильность дуги. Угол наконечника иттриевого вольфрамового электрода обычно составляет $15^{\circ} \sim 60^{\circ}$, а радиус наконечника - $0,1 \sim 0,5$ мм. Если угол слишком мал ($<15^{\circ}$), дуга слишком сконцентрирована, что может привести к перегреву наконечника; Если угол слишком велик ($>60^{\circ}$), дуга будет рассеяна, и устойчивость уменьшится. Кроме того, неравномерная шлифовка кончиков или наличие заусенцев могут привести к смещению дуги.

Решение:

Прецизионная обработка наконечника на шлифовальном станке с ЧПУ с рекомендуемым углом $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ и радиусом наконечника $0,2 \sim 0,3$ мм, подходит для большинства сценариев сварки TIG.

Регулярно проверяйте форму наконечника и используйте алмазный шлифовальный круг для шлифования, чтобы обеспечить гладкую поверхность без заусенцев.

Отрегулируйте угол в зависимости от материала сварки: 30° для титанового сплава (сварка с глубоким проплавлением), 45° для нержавеющей стали (средняя глубина проплавления).

После шлифовки наконечник осматривают с помощью микроскопа (увеличение $100\times$), чтобы убедиться в отсутствии микротрещин или неправильных форм.

Профилактика:

Установите стандартные операционные процедуры (СОП) для современных операторов шлифования и обучения.

Используйте специальное приспособление для шлифовки, чтобы обеспечить равномерные

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

углы шлифования.

9.1.2 Проблемы с установкой текущего типа и параметров

Причина: Тип тока (DCEN с положительной полярностью постоянного тока, DCEP с обратной полярностью постоянного тока или AC AC) и настройки параметров оказывают значительное влияние на стабильность дуги. Иттриевые вольфрамовые электроды подходят для сварки постоянным током положительной полярности (DCEN) или сварки переменным током с диапазоном тока 50 ~ 300 А. При использовании DCEP наконечник электрода перегревается, что может легко привести к дрейфу дуги; Если ток будет слишком высоким (>300 А), прогорание электродов будет усугубляться; Если ток слишком низкий (<50 А), трудно сохранить устойчивость дуги.

Решение:

Предпочтительным является DCEN, ток регулируется на уровне 100 ~ 200 А, подходит для сварки титановых сплавов и нержавеющей стали.

Для сварки переменным током (например, из алюминиевого сплава) используйте прямоугольный источник питания переменного тока с частотой 50 ~ 150 Гц и контролем баланса на уровне 50% ~ 70%, чтобы уменьшить перегрев наконечника.

Отрегулируйте ток в зависимости от толщины заготовки: 50 ~ 100 А для тонких пластин (<2 мм) и 150 ~ 250 А для толстых пластин (>5 мм).

При использовании импульсной сварки TIG частота импульсов составляет 110 Гц, а пиковый ток на 20% ~ 30% выше базового тока, что улучшает стабильность дуги.

Профилактика:

Используя базу данных параметров сварки, выбирается оптимальная настройка тока в зависимости от материала и толщины.

Регулярно калибруйте сварочный аппарат, чтобы обеспечить стабильный выходной ток.

9.1.3 Недостаточное качество или расход защитного газа

Причина: Масса и расход защитного газа (обычно аргона или гелия) напрямую влияют на атмосферу дугового разряда. Газообразный аргон должен быть $\geq$ чистоты 99,99% и содержание кислорода < 10 ppm. Если газ содержит примеси (например, кислород, водяной пар), поверхность электрода может окислиться, что приведет к нестабильности дуги. Недостаточный расход (<8 л/мин) может привести к попаданию воздуха в дугу, в то время как чрезмерный расход (>20 л/мин) может вызвать турбулентность, которая может нарушить дугу.

Решение:

Использует аргон высокой чистоты (99,999%) и оснащен газовым фильтром для удаления водяного пара и кислорода.

Отрегулируйте расход газа: 8 ~ 12 л/мин для сварки тонких листов и 12 ~ 15 л/мин для сварки толстых листов.

Осмотрите газовые магистрали, чтобы убедиться в отсутствии утечек или загрязнений, и

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

используйте расходомеры для точного контроля расхода.

При высокоточной сварке аргоно-гелиевые смеси (соотношение 3:1) могут использоваться для повышения температуры и стабильности дуги.

Профилактика:

Регулярно проверяйте чистоту газа с помощью газоанализатора (предел обнаружения < 1 ppm).

Установите условия хранения и использования газа во избежание попадания влаги или загрязнения газа.

9.1.4 Загрязнение или окисление поверхности электрода

Причина: Загрязнение поверхности электрода (например, маслом, пылью) или окисление (образование WO_3) могут мешать электронному излучению, что приводит к нестабильности дуги. Загрязнение может произойти в результате нечистых условий хранения или неправильного обращения, в то время как окисление обычно происходит, когда электроды подвергаются воздействию воздуха или высоких температур.

Решение:

Используйте безводный этанол или ацетон для очистки поверхности электрода и используйте ультразвуковой очиститель (частота 20 ~ 40 кГц) для удаления слоев масла и оксидов.

Отшлифуйте наконечник электрода, чтобы удалить оксидный слой и восстановить шероховатость поверхности ($Ra < 0,4$ мкм).

Храните электроды в герметичной упаковке и в сухом, проветриваемом помещении (влажность < 60%).

Перед сваркой осмотрите поверхность электрода и используйте оптический микроскоп (увеличение 50×), чтобы убедиться в отсутствии следов загрязнения или окисления.

Профилактика:

Установите технические условия для хранения и использования электродов во избежание контакта с маслом или влагой.

Поддерживайте непрерывную подачу защитного газа во время процесса сварки, чтобы избежать воздействия воздуха на электрод.

9.2 Причины и меры противодействия быстрому горению наконечников иттриевых вольфрамовых электродов

Быстрое прогорание наконечника является распространенной проблемой среди пользователей, проявляющейся в быстром износе или плавлении наконечника электрода, что сокращает срок его службы. Ниже приведен анализ причин и меры противодействия.

9.2.1 Чрезмерный ток или неправильный выбор полярности

Причина: Чрезмерный ток (>300 A) или неправильная полярность (например, DCEP) могут привести к перегреву наконечника, ускоряя прогорание. Скорость выгорания иттриевого вольфрамового электрода составляет около 0,1 ~ 0,2 мг/мин в условиях DCEN, но она может

увеличиться до более чем 0,5 мг/мин при DCER или высоком токе.

Решение:

При использовании DCEN ток регулируется на уровне 100 ~ 250 А, чтобы избежать перегрева наконечника.

При сварке переменным током отрегулируйте контроль баланса (время переднего хода <30%), чтобы сократить время нагрева наконечника.

В сценариях с сильным током (>200 А) для увеличения теплоемкости используются электроды большего диаметра (3,2 ~ 4,8 мм).

Контролируйте производительность сварочного аппарата и используйте регистратор тока, чтобы обеспечить стабильный ток без резких изменений.

Профилактика:

Выберите подходящий ток и полярность в зависимости от материала сварки со ссылкой на стандарт ISO 6848.

С помощью интеллектуального сварочного аппарата ток автоматически регулируется для защиты электрода.

9.2.2 Оптимизация угла заточки наконечника и обработки поверхности

Причина: Слишком малый угол наклона наконечника (<15°) или шероховатая поверхность ($Ra > 0,4$ мкм) могут привести к чрезмерной плотности тока и ускорить выгорание. Неравномерное шлифование может привести к образованию локальных горячих точек, что усугубит плавление наконечника.

Решение:

Отшлифуйте наконечник до $30^\circ \sim 45^\circ$, радиус наконечника составляет 0,2 ~ 0,3 мм, а алмазный шлифовальный круг используется для обеспечения гладкой поверхности.

Электрохимическая полировка (электролит серной кислоты-фосфорной кислоты, напряжение 5~15 В) была применена для снижения шероховатости поверхности до $Ra < 0,4$ мкм.

Проверьте качество шлифовки и с помощью микроскопа (увеличение 100×) убедитесь, что на кончике нет заусенцев или микротрещин.

Регулярно шлифуйте наконечник и проверяйте каждые 1 ~ 2 часа сварки.

Профилактика:

Используя шлифовальные станки с ЧПУ, обеспечьте постоянный угол наклона наконечника и качество поверхности.

Обучайте операторов правильной технике шлифования.

9.2.3 Регулировка типа и расхода защитного газа

Причина: Недостаточное количество защитного газа или примесей приведет к окислению наконечника, образованию летучих веществ WO_3 и ускорению выгорания. Высокая доля гелия (>50%) может повысить температуру дуги и усугубить потерю наконечника.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Решение:

Используется газообразный аргон высокой чистоты (99,999%) с расходом 10 ~ 15 л/мин, чтобы обеспечить защиту наконечника от окисления.

При сварке сильным током попробуйте использовать смесь аргона и гелия (соотношение 4:1), чтобы сбалансировать температуру дуги и защитный эффект.

Проверьте газовую магистраль и используйте расходомер (точность $\pm 0,1$ л/мин) для обеспечения стабильного потока.

При вакуумной или высокоточной сварке используется гелий высокой чистоты (расход 8 ~ 12 л/мин) для уменьшения выгорания наконечника.

Профилактика:

Регулярно проводите техническое обслуживание системы газоснабжения, проверяйте герметичность фильтра и магистрали.

Записывайте параметры использования газа для обеспечения соответствия требованиям сварочного процесса.

9.2.4 Заменить электрод с более высоким содержанием оксида иттрия

Причина: Стандартные электроды WY20 (оксид иттрия 1,8% ~ 2,2%) могут быстро перегорать при сверхвысоких токах (>400 А) или экстремальных условиях (например, при плазменно-дуговой сварке). Электроды с более высоким содержанием оксида иттрия (такие как WY30, оксид иттрия 2,5% ~ 3,0%) имеют более высокие температуры рекристаллизации и стойкость к выгоранию.

Решение:

В сценариях с высоким током или высокой температурой скорость выгорания может быть снижена на 20% ~ 30% с помощью электрода WY30.

Проконсультируйтесь с поставщиками по изготовлению электродов с высоким содержанием оксида иттрия в соответствии со стандартами ISO 6848 или GB/T 4192.

Были испытаны электроды с различным содержанием оксида иттрия и зафиксированы скорости выгорания (целевой < 0,15 мг/мин).

Что касается стоимости и производительности, цена электрода WY30 примерно на 10% ~ 20% выше.

Профилактика:

Выберите подходящую модель электрода в соответствии с задачей сварки, чтобы избежать чрезмерной или недостаточной производительности.

Создайте базу данных о производительности электродов для записи применимых сценариев различных моделей.

9.3 Как выбрать подходящее содержание оксида иттрия

Содержание оксида иттрия влияет на стабильность дуги, термоэмиссионную способность и срок службы электрода. Ниже анализируются принципы выбора с точки зрения сварочного материала, текущего типа, окружающей среды и стоимости.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

CTIA GROUP LTD

Yttrium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Yttrium Tungsten Electrode

The Yttrium Tungsten Electrode (WY20) is a non-radioactive, high-performance tungsten electrode doped with 2% yttrium oxide (Y_2O_3). Specially engineered for demanding TIG and plasma welding applications, this electrode offers exceptional arc stability, minimal electrode wear, and high current tolerance, making it the top choice for aerospace, defense, nuclear, and high-precision industries.

2. Key Features of Yttrium Tungsten Electrode

- **Excellent Arc Stability:** Delivers a stable, concentrated arc with minimal flicker.
- **High Current Capacity:** Ideal for high-load DC or AC welding operations.
- **Low Burn-Off Rate:** Exceptional resistance to electrode erosion, even under intense heat.
- **Radiation-Free & Eco-Friendly:** 100% free of radioactive thorium—safe for people and the environment.
- **Superior Penetration:** Supports deep weld pools for thick, high-strength materials.
- **Reliable Ignition:** Consistent arc starting even under low current or pulsed settings.

3. Typical Specifications of Yttrium Tungsten Electrode

Type	Y_2O_3 Content	Color Code	Length (mm)	Diameter (mm)
WY20	1.8% – 2.2%	Blue	50 – 175	1.0 – 6.4

4. Applications of Yttrium Tungsten Electrode

- TIG Welding of stainless steel, nickel alloys, titanium, molybdenum, and high-temperature alloys.
- Plasma Arc Welding and Precision Spot Welding in aerospace and defense manufacturing.
- Micro-welding & vacuum applications where arc stability and cleanliness are critical.
- Suitable for DC (Direct Current) or AC/DC mixed-mode operations.

5. Why Choose Yttrium Tungsten Electrode?

From high-frequency ignition systems to robotic TIG welders, the WY20 Electrode adapts to your most challenging tasks—without compromising operator safety. Whether you're manufacturing jet engine blades, medical implants, or nuclear-grade components, WY20 delivers unmatched performance where it matters most.

6. Procurement Information

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

9.3.1 Выбирается в соответствии с материалом сварки (титановый сплав, сплав на основе никеля и т.д.).

Анализ: Различные сварочные материалы предъявляют разные требования к характеристикам электродов. Титановые сплавы требуют низкого тепловложения и стабильного дугового разряда, сплавы на основе никеля требуют высокой токонесущей способности, а нержавеющие стали подходят для умеренных токов и универсальных свойств.

Предложение:

Титановый сплав: WY20 (оксид иттрия 1,8% ~ 2,2%), ток 100 ~ 200 А, угол наконечника 30 °, подходит для вакуумной или газозащитной сварки аргоном.

Сплав на основе никеля: WY30 (оксид иттрия 2,5% ~ 3,0%), ток 150 ~ 300 А, угол наконечника 45 °, для удовлетворения потребностей сварки глубоким расплавом.

Нержавеющая сталь: WY20 или WY15 (оксид иттрия 1,0% ~ 1,5%), ток 50 ~ 150 А, высокая универсальность.

Алюминиевый сплав: WY20, сварка переменным током, ток 50 ~ 200 А, контроль баланса 50% ~ 70%.

Орудие:

Обратитесь к руководству по сварке материалов, чтобы сопоставить модель электрода и параметры процесса.

Электроды с различным содержанием оксида иттрия испытываются для оценки качества сварного шва и срока службы электродов.

9.3.2 Согласование типа и силы тока

Анализ: положительная полярность постоянного тока (DCEN) подходит для большинства металлических сварочных работ, сварка переменным током используется для алюминиевых сплавов и т. Д. Содержание оксида иттрия влияет на токонесущую способность электрода.

Предложение:

DCEN: WY20, ток 50 ~ 250 А, подходит для титановых сплавов, нержавеющей стали и сплавов на основе никеля.

Переменный ток: WY20, ток 50 ~ 200 А, частота 50 ~ 150 Гц, подходит для алюминиевого сплава и магниевого сплава.

Большой ток (>300 А): WY30, повышенная огнестойкость и подходит для сварки толстых листов.

Малый ток (<50 А): WY15, сниженная стоимость, подходит для микропайки тонких листов.

Орудие:

Используйте параметр сварочного аппарата для оптимизации типа и интенсивности тока.

Регулярно проверяйте производительность электродов, чтобы убедиться в соответствии с задачами сварки.

9.3.3 Отбор в условиях особой среды (вакуум, высокая температура).

Анализ: Вакуумные или высокотемпературные среды (например, плазменно-дуговая сварка)

требуют низкой летучести и высоких температур рекристаллизации электродов. WY20 хорошо работает в вакуумных средах, а WY30 подходит для сценариев со сверхвысокими температурами.

Предложение:

Вакуумная среда: WY20, степень вакуума $10^{-3} \sim 10^{-5}$ Па, скорость выгорания $< 0,1$ мг/мин, подходит для полупроводниковой и аэрокосмической сварки.

Высокотемпературная среда: WY30, температура дуги $> 10000^{\circ}\text{C}$, подходит для плазменно-дуговой сварки или напыления.

Коррозионная среда: WY20, с защитой от аргона, высокая стойкость к окислению, подходит для морской техники.

Орудие:

Выбирайте электроды, соответствующие стандартам ISO 6848 или GB/T 4192, чтобы обеспечить низкую летучесть.

Проверьте работу электрода в целевой среде, зафиксировав скорость выгорания и стабильность дуги.

9.3.4 Анализ баланса между эффективностью и затратами

Анализ: Высокое содержание оксида иттрия (например, WY30) улучшает производительность, но стоимость увеличивается на $10\% \sim 20\%$. Пользователям необходимо выбрать правильный электрод в соответствии с потребностями задачи и бюджетом.

Предложение:

Высокоточная сварка: Priority WY30 для отличной производительности и подходит для аэрокосмической и атомной промышленности.

Общая промышленность: Выберите WY20, экономичный, для удовлетворения большинства потребностей в сварке TIG.

Недорогой сценарий: WY15, снижение затрат на закупку, подходит для сварки тонкими пластинами или слаботочной сварки.

Приоритет срока службы: WY30, увеличение срока службы на $20\% \sim 30\%$, снижение частоты замены.

Орудие:

Разработайте модель стоимости выбора электрода, всесторонне учитывая стоимость закупок, срок службы и эффективность сварки.

Общайтесь с поставщиками, чтобы сократить расходы за счет оптовых закупок.

9.4 Меры противодействия трудности дугового разряда иттриевых вольфрамовых электродов

Трудности с зажиганием дуги проявляются в виде задержки или неудачного зажигания дуги, что влияет на эффективность сварки. Далее анализируются причины и предлагаются пути их решения.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

9.4.1 Проверка чистоты поверхности и состояния наконечника электродов

Причина: Загрязнение поверхности электрода (масло, оксиды) или износ наконечника могут привести к увеличению напряжения дуги и снижению эффективности излучения электронов.

Решение:

Используйте безводный этанол для очистки электрода и используйте ультразвуковую очистительную машину (частота 20 ~ 40 кГц) для удаления загрязнений.

Отшлифуйте наконечник под углом $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ и радиусом 0,2 ~ 0,3 мм с помощью алмазного шлифовального круга.

Проверьте состояние наконечника и с помощью микроскопа (увеличение 100×) убедитесь, что на нем нет окислов и микротрещин.

Используйте герметичную упаковку при хранении электродов, чтобы избежать загрязнения.

Профилактика:

Сформулируйте спецификации очистки и проверки электродов, которые необходимо проверить перед сваркой.

Используйте специальные приспособления для фиксации электродов, чтобы предотвратить загрязнение операции.

9.4.2 Оптимизация параметров запуска высокочастотной дуги

Причина: Неправильные параметры высокочастотного зажигающего дуги (например, слишком низкая частота или недостаточное напряжение) приведут к сбою инициации дуги. Низкая работа утечки (2,5 ~ 2,7 эВ) иттриевого вольфрамового электрода подходит для высокочастотного дугового разряда, но ее необходимо разумно настраивать.

Решение:

Отрегулируйте частоту высокочастотного дугового разряда на 10 ~ 20 кГц и напряжение на 5 ~ 10 кВ, чтобы обеспечить быстрое зажигание дуги.

Проверьте высокочастотное устройство сварочного аппарата, очистите патрон электрода и провод заземления, уменьшите контактное сопротивление.

Использование импульсной высокочастотной дуговой дуги и длительностью импульса 0,1 ~ 0,5 мс может повысить вероятность успешного закручивания дуги.

Время начала тестовой дуги, целевой < 0,1 секунды.

Профилактика:

Регулярно проводите техническое обслуживание высокочастотного устройства сварочного аппарата для обеспечения стабильной производительности.

С помощью интеллектуального сварочного аппарата параметры запуска дуги автоматически оптимизируются.

9.4.3 Отрегулируйте расстояние между электродом и заготовкой

Причины: Расстояние между электродом и заготовкой слишком велико (>3 мм), что приводит к недостаточной напряженности электрического поля и затруднению дугового разряда.

Слишком маленькое расстояние (<1 мм) может привести к короткому замыканию или

загрязнению.

Решение:

Расстояние между электродом и заготовкой регулируется с точностью до 1,5 ~ 2,5 мм, что подходит для большинства сценариев сварки TIG.

Используйте сварочную горелку для фиксации электрода, чтобы обеспечить стабильное расстояние.

При микросварке расстояние может быть уменьшено до 1 ~ 1,5 мм для улучшения концентрации дуги.

Расстояние проверялось с помощью лазерного дальномера (точность $\pm 0,1$ мм).

Профилактика:

Обучайте операторов правильной настройке дистанции.

При автоматизированной сварке датчики используются для контроля расстояний в режиме реального времени.

9.4.4 Замените электрод или проверьте стабильность источника питания

Причина: Старение электрода или колебания напряжения питания могут вызвать затруднение зажигания дуги. Срок службы иттриевых вольфрамовых электродов обычно составляет 100 ~ 150 часов, а эффективность электронной эмиссии снижается по истечении срока службы.

Решение:

Замените электрод на новый, выберите WY20 или WY30, убедитесь в соответствии со стандартом (ISO 6848).

Проверяйте стабильность работы блока питания и следите за колебаниями выходного напряжения ($< \pm 5\%$) с помощью вольтметра (точность $\pm 0,1$ В).

Очистите точки контакта сварочного аппарата, чтобы убедиться, что электродный патрон не окислился и не ослаб.

Проверьте производительность электрода, запишите напряжение дуги и время.

Профилактика:

Установите циклы замены электродов и запишите время использования.

Регулярно калибруйте сварочный аппарат, чтобы обеспечить стабильное электроснабжение.

9.5 Иттрий вольфрам, смешанный с другими вольфрамовыми электродами

Смешивание различных типов вольфрамовых электродов (например, иттриевого вольфрама, ториевого вольфрама, лантанового вольфрама) может привести к снижению производительности или путанице в работе. Ниже анализируется влияние смешивания и рекомендации по управлению.

9.5.1 Влияние смешивания на характеристики дуги

Причина: Работа по убеганию электронов и термическая стабильность различных электродов сильно различаются. Иттриевые вольфрамовые электроды (работа побега 2,5 ~ 2,7 эВ)

подходят для сварки DCEN и AC, в то время как ториевый вольфрам (WT20, работа побега 2,6 ~ 2,8 эВ) лучше работает при DCEP, а лантановый вольфрам (WL20, работа побега 2,8 ~ 3,0 эВ) подходит для низких токов. Смешивание может привести к нестабильной дуге или затруднению дугового разряда.

Решение:

Избегайте смешивания, отдайте предпочтение WY20, соответствуйте сварочному материалу и типу тока.

При смешивании проверьте производительность дуги и запишите скорость дрейфа (цель <5%) и время начала дуги (< 0,1 секунды).

При сварке переменным током предпочтительно использовать иттриевые вольфрамовые электроды, чтобы избежать проблем с перегревом ториевых вольфрамовых электродов.

Используйте базу данных параметров сварки для оптимизации текущих настроек и настроек газа для сценариев смешанного использования.

Профилактика:

Установите систему классификации и хранения электродов, чтобы избежать путаницы.

Обучайте операторов понимать различия в производительности между различными электродами.

9.5.2 Проблемы с потерей электродов, вызванные смешиванием

Причина: Смешивание может привести к усиленному перегоранию электродов. Например, ториевые вольфрамовые электроды имеют высокую скорость выгорания (0,3 ~ 0,5 мг/мин) при высоких токах, в то время как иттриевые вольфрамовые электроды имеют скорость прогорания 0,1 ~ 0,2 мг/мин. Смешивание может ускорить потери из-за неподходящих параметров.

Решение:

Используя электрод WY20, он имеет низкую скорость выгорания и длительный срок службы (100 ~ 150 часов).

Потери на электродах контролируются, а скорость выгорания измеряется с помощью высокоточных весов с точностью до $\pm 0,01$ мг).

Отрегулируйте параметры сварки в соответствии с типом электрода, например, WY20 использует DCEN, ток 100 ~ 250 A.

Регулярно заменяйте электроды, чтобы избежать ухудшения производительности из-за износа.

Профилактика:

Запишите срок службы каждого электрода и разработайте план замены.

Используйте интеллектуальную систему мониторинга для определения потерь электродов в режиме реального времени.

9.5.3 Рекомендации по идентификации электродов и управлению ими

Причина: Смешанное использование электродов часто вызвано нечеткой маркировкой или неправильным управлением. Иттриевые вольфрамовые электроды (синий конец) путают с ториевым вольфрамом (красный конец) и лантановым вольфрамом (золотой конец).

Решение:

Строго соблюдайте требования идентификации ISO 6848 или GB/T 4192, проверяйте цвет наконечника электрода и этикетку на упаковке.

Управляйте запасами электродов с помощью штрихкодов или RFID-меток, записывайте модели и партии.

В перегородах хранятся разные типы электродов и используются специальные емкости во избежание путаницы.

Обучайте операторов для ознакомления с идентификацией электродов и спецификациями их использования.

Профилактика:

Создайте базу данных управления электродами для отслеживания использования и запасов. Регулярно проверяйте свои запасы, чтобы обеспечить четкую идентификацию.

9.5.4 Анализ замещения иттриевых вольфрамовых электродов

Анализ: Иттриевые вольфрамовые электроды могут заменить ториевые вольфрамовые электроды (WT20), лантановый вольфрам (WL20) и цериевые вольфрамовые электроды (WC20), но их необходимо выбирать в соответствии со сценарием применения. Отсутствие радиоактивности и низкая скорость выгорания иттриевых вольфрамовых электродов делают их предпочтительным выбором.

Предложение:

Альтернатива ториевому вольфраму: торийский вольфрам радиоактивен (ThO_2 выделяет α лучах) и WY20 может быть полностью заменен, что делает его пригодным для аэрокосмической и медицинской промышленности.

Альтернатива лантановому вольфраму: лантановый вольфрам подходит для сварки слабыми токами, а WY20 лучше работает при высоких токах (>200 A).

Альтернатива цериевому вольфраму: Характеристики дугового разряда из цериевого вольфрама немного ниже, а WY20 лучше работает в условиях микросварки и вакуума.

Проверьте производительность альтернативного электрода, зафиксировав стабильность дуги, скорость выгорания и качество сварных швов.

Орудие:

Общайтесь с поставщиками, чтобы получить информацию о производительности альтернативных электродов.

Постепенная замена электродов с высоким риском (например, ториевого вольфрама) в соответствии с экологическими требованиями и требованиями безопасности.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности



Глава 10 Будущие тенденции развития иттриевых вольфрамовых электродов

Являясь высокоэффективным, нерадиоактивным сварочным материалом, иттриевый вольфрамовый электрод (WY20) широко используется при сварке TIG, плазменно-дуговой сварке и несварочных работах благодаря своей превосходной стабильности дуги, низкой скорости выгорания и характеристикам защиты окружающей среды. С развитием материаловедения, производственных технологий и рыночного спроса, будущее иттриевых вольфрамовых электродов будет демонстрировать новые тенденции в технологических инновациях, расширении применения и рыночной политике. В данной главе подробно рассматриваются эти тенденции, анализируется их влияние на индустрию иттриевых вольфрамовых электродов.

10.1 Направление технологических инноваций иттриевого вольфрамового электрода

Технологические инновации являются основной движущей силой разработки иттриевых вольфрамовых электродов, охватывающих новые технологии легирования, исследования и разработки сверхвысокотемпературных и сверхточных электродов, а также технологии экологически чистого производства. Эти инновации направлены на повышение производительности электродов, продление срока службы и снижение производственных затрат.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

10.1.1 Новая технология легирования редкоземельных композитов

Актуальность: Производительность иттриевого вольфрамового электрода в основном зависит от легирования оксида иттрия (Y_2O_3), которое обычно составляет 1,8% ~ 2,2%. Тем не менее, одно легирование может не соответствовать более высоким эксплуатационным требованиям при сверхвысоких токах (>400 А) или экстремальных условиях, таких как вакуум или высокие температуры. Новая технология легирования редкоземельных композитов оптимизирует работу электродов за счет введения различных оксидов редкоземельных элементов (таких как оксид лантана La_2O_3 и оксид церия CeO_2).

Инновационное направление:

Легирование многоэлементными элементами: Разработка композитных легированных электродов, таких как иттрий-лантановый вольфрам (Y-La-W) или иттрий-цериевый вольфрам (Y-Ce-W), с содержанием оксида иттрия 1,5% ~ 2,0%, дополненных 0,2% ~ 0,5% оксида лантана или оксида церия. Композитное легирование может уменьшить работу убегания электронов (2,4 ~ 2,6 эВ), улучшить стабильность дуги (скорость дрейфа <3%) и стойкость к выгоранию (скорость выгорания < 0,1 мг/мин).

Наноразмерное легирование: Наноразмерные оксиды редкоземельных элементов (размер частиц 10 ~ 50 нм) были использованы для улучшения однородности легирования (отклонение $\leq \pm 0,05\%$). Наночастицы могут увеличивать плотность границ зерен и повышать температуру рекристаллизации электрода (> 2100°C).

Оптимизация процесса легирования: Разработка технологии плазменного легирования или химического осаждения из газовой фазы (CVD) для равномерного покрытия оксидов редкоземельных элементов на поверхности вольфрамового порошка для уменьшения агломерации.

Интеллектуальный контроль легирования: использует алгоритмы машинного обучения для оптимизации соотношений и распределения легирования, регулируя скорость распыления и параметры шаровой мельницы с помощью мониторинга в режиме реального времени (XRF, EDS).

Потенциальное воздействие: Композитные легированные электроды могут увеличить срок службы электродов на 30% ~ 50%, что делает их пригодными для сценариев с высоким спросом, таких как аэрокосмическая и атомная промышленность. Будущие стандарты (например, редакция ISO 6848) могут добавить классификацию композитных легированных электродов (например, WY-La или WY-Ce).

10.1.2 Исследование и разработка сверхвысокотемпературных и сверхточных электродов

Актуальность: В связи с увеличением спроса на плазменно-дуговую сварку (температура дуги >20000°C) и микросварку (диаметр паяного соединения <0,5 мм), иттриевые вольфрамовые электроды должны обладать более высокой термостойкостью и точностью обработки.

Инновационное направление:

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Сверхвысокотемпературный электрод: разработан электрод с высоким содержанием оксида иттрия (содержание Y_2O_3 2,5% ~ 3,5%), который был получен методом газоразрядного плазменного спекания (SPS), с размером зерна 35 мкм и плотностью > 99%. Температура рекристаллизации этих электродов может достигать 2200 °C, а скорость выгорания < 0,08 мг/мин, что делает их пригодными для пайки сверхвысоким током (> 500 А).

Сверхточные электроды: Разработаны миниатюрные иттриевые вольфрамовые электроды (диаметр 0,3 ~ 0,8 мм, радиус наконечника < 0,1 мм) для достижения высокой точности (допуск $\pm 0,01$ мм) за счет лазерной микрообработки и электрохимической полировки. Эти электроды подходят для микропайки полупроводников и медицинских приборов.

Технология модификации поверхности: ионная имплантация или нанопокрывание (например, покрытие из диоксида циркония) используется для повышения стойкости к окислению и термической стабильности поверхности электрода, продлевая срок службы на 20% ~ 30%.

Высокотемпературные эксплуатационные испытания: Разработка высокотемпературного испытательного устройства in-situ для анализа микроструктурных изменений электродов в режиме реального времени при температуре > 2000°C в сочетании с SEM и XRD.

Потенциальное влияние: Сверхвысокотемпературные электроды будут стимулировать развитие оборудования для плазменного напыления и ядерного синтеза, а сверхточные электроды удовлетворят потребности производства микросхем и микроэлектроники. Эти технологии могут увеличить производственные затраты на 10% ~ 15%, но повышение производительности может привести к повышению конкурентоспособности на рынке.

10.1.3 Зеленое производство и технологии низкоуглеродного производства

Актуальность: Глобальные экологические нормы (такие как директива ЕС RoHS и цели по достижению углеродной нейтральности) требуют производства иттриевых вольфрамовых электродов для снижения энергопотребления и выбросов. Традиционные процессы спекания и очистки имеют высокое энергопотребление (около 5000 ~ 8000 кВтч на тонну электрода), и выбросы отработанных жидкостей и выхлопных газов нуждаются в дальнейшей оптимизации.

Инновационное направление:

Спекание с низким энергопотреблением: Продвигайте процесс SPS, сократите время спекания до 510 минут и снизьте потребление энергии на 30% ~ 40%. Разработка высокоэффективных вакуумных печей для спекания (точность регулирования температуры $\pm 2^\circ\text{C}$) для снижения потребления водорода.

Технология «зеленой» очистки: для очистки оксида иттрия используется технология ионного обмена и мембранного разделения, что снижает выбросы отработанных жидкостей более чем на 50%. Переработанный вольфрамовый порошок и редкоземельные материалы, с коэффициентом извлечения > 90%.

Интеллектуальное управление энергопотреблением: оптимизируйте энергопотребление производственного оборудования с помощью Интернета вещей (IoT) и искусственного интеллекта, отслеживая потребление электроэнергии и газа в режиме реального времени для снижения углеродного следа.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Применение возобновляемых источников энергии: На производственных площадках внедряется солнечная или ветровая энергия с целью достижения 30% ~ 50% энергии из возобновляемых источников к 2030 году.

Потенциальное влияние: Экологичное производство может снизить производственные затраты на 5% ~ 10%, соответствовать экологическим нормам и улучшить имидж бренда. В будущем могут быть введены стандарты выбросов углерода (например, 2 тонны CO₂ на тонну электродов) что будет способствовать переходу отрасли к низкоуглеродной экономике.

10.2 Расширение областей применения иттриевых вольфрамовых электродов

Область применения иттриевых вольфрамовых электродов расширяется от традиционной сварки до новых отраслей, таких как новая энергетика, аэрокосмическая промышленность и микроэлектроника, удовлетворяя потребности высокопроизводительного и точного производства.

10.2.1 Производство оборудования для новых источников энергии (аккумуляторы, энергия ветра)

Актуальность: Новое энергетическое оборудование (например, литиевые батареи, лопасти ветроэнергетики и оборудование для водородной энергетики) предъявляет высокие требования к качеству сварки, требуя высокой точности, низкого тепловложения и экологически чистых материалов. Отсутствие радиоактивности и стабильность дуги иттриевых вольфрамовых электродов делают их идеальным выбором.

Направление применения:

Производство литиевых батарей: Иттриевый вольфрамовый электрод используется для микросварки медной и алюминиевой фольги (диаметр паяного соединения <0,5 мм), ток 10 ~ 50 А, диаметр наконечника 0,5 ~ 1,0 мм. Стабильность дуги (скорость дрейфа <3%) обеспечивает прочность паяного соединения и герметичность.

Лопастей ветряных турбин: сварные башни из углеродистой и нержавеющей стали, толщина 10 ~ 50 мм, ток 200 ~ 400 А. Возможности глубокого плавления иттриевых вольфрамовых электродов снижают количество дефектов сварных швов и продлевают срок службы оборудования.

Оборудование для водородной энергетики: сварные резервуары для хранения водорода из нержавеющей стали с вакуумной средой (10⁻⁴ Па) и малолетучими электродами. Низкая скорость газовой выделенности электрода WY20 (<10⁻⁶ Па·м³/с) для удовлетворения требований.

Фотоэлектрическое оборудование: микросварка кремниевых пластин и медной проволоки, сверхточные наконечники иттриевых вольфрамовых электродов (радиус < 0,1 мм) для поддержки высокоточного производства.

Тенденция развития: Быстрый рост новой энергетической отрасли (ожидается, что ежегодный темп роста мирового рынка литиевых батарей составит >15% в 2025~2030 годах) приведет к росту спроса на иттриевые вольфрамовые электроды на 20% ~ 30%. Индивидуальные микроэлектроды станут ключевым направлением исследований и

разработок.

10.2.2 Углубление применения в аэрокосмической и оборонной областях

Актуальность: Спрос на иттриевые вольфрамовые электроды в аэрокосмической и оборонной промышленности сосредоточен при сварке высокопрочных сплавов (таких как титановые сплавы, сплавы на основе никеля), которые требуют высокой несущей способности по току и длительного срока службы.

Направление применения:

Авиационный двигатель: сварные лопатки турбины из никелевого сплава, ток 150 ~ 300 А, угол наклона 45 °. Низкая скорость выгорания иттриевого вольфрамового электрода (<0,1 мг/мин) обеспечивает устойчивость сварного шва к высоким температурам (> 1200 °C).

Конструкция космического аппарата: вакуумная сварка титановым сплавом корпуса, степень вакуума 10⁻⁵ Па. Низкая летучесть электрода WY20 предотвращает загрязнение окружающей среды, а прочность сварного шва > 900 МПа.

Оборонное оборудование: сварка броневых стальных листов и корпусов ракет глубоким расплавом, ток > 400 А. Разработан электрод WY30 (оксид иттрия 2,5% ~ 3,0%) для поддержки приложений сверхвысокого тока.

Аддитивное производство: Иттриевые вольфрамовые электроды используются в плазменно-дуговом аддитивном производстве, ремонте аэрокосмических компонентов, стабильности дуги (скорость дрейфа <2%) для повышения точности штабелирования.

Тенденция развития: Ожидается, что к 2030 году аэрокосмический рынок будет расти на 8% в год, что стимулирует спрос на высокопроизводительные иттриевые вольфрамовые электроды. Композитные легированные и сверхвысокотемпературные электроды еще больше удовлетворяют потребности экстремальных условий.

10.2.3 Прецизионная сварка в микроэлектронике и полупроводниковой промышленности

Актуальность: Микроэлектроника и полупроводниковая промышленность требуют сверхточной пайки (например, при упаковке микросхем, производстве датчиков) с диаметром электродов < 1,0 мм и размерами паяных соединений < 0,2 мм. Возможности микросварки и низкое тепловложение иттриевых вольфрамовых электродов делают их предпочтительным выбором.

Направление применения:

Корпус микросхемы: паяные медные и золотые провода, ток 5~20 А, радиус наконечника < 0,1 мм. Тонкая дуга иттриевого вольфрамового электрода (<0,5 мм) обеспечивает точность паяного соединения.

Изготовление датчиков: микросварные датчики из нержавеющей стали и титановых сплавов с зоной термического влияния < 0,1 мм. Низкая летучесть электрода WY20 подходит для работы в вакуумных условиях.

МЭМС-устройства: Пайка микроэлектромеханических систем (МЭМС) током < 10 А. Разработаны сверхпрецизионные электроды (диаметр 0,3~0,5 мм) для обеспечения наноразмерной точности.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Оптоэлектроника: Пайка волоконно-оптических разъемов, высокая стабильность дуги иттриевых вольфрамовых электродов уменьшает дефекты паяных соединений.

Тенденция развития: Ожидается, что рынок полупроводников достигнет 1 триллиона долларов в 2030 году, а спрос на микросварку будет стимулировать исследования и разработки сверхточных иттриевых вольфрамовых электродов, а доля рынка, как ожидается, увеличится на 15% ~ 20%.

10.3 Тенденции рынка и политики в области иттриевых вольфрамовых электродов

Рыночные и политические тенденции окажут глубокое влияние на структуру спроса и предложения, производственные затраты и международную конкурентоспособность иттриевых вольфрамовых электродов.

10.3.1 Прогноз спроса на мировом рынке иттриевых вольфрамовых электродов

Актуальность: Ожидается, что мировой рынок сварочного оборудования будет расти со скоростью 6% ~ 8% в год в 2025 ~ 2030 годах, и спрос на иттриевые вольфрамовые электроды в качестве высококачественных сварочных материалов будет расти одновременно. Китай, США и Европа являются основными рынками, на которые приходится более 70% мирового спроса.

Прогноз:

Рост спроса: Расширение аэрокосмической, новой энергетики и микроэлектроники приведет к ежегодному росту спроса на иттрий-вольфрамовые электроды на 10% ~ 15%, а объем мирового рынка, как ожидается, достигнет 500 миллионов долларов США к 2025 году.

Региональное распределение: на долю Китая приходится 40% доли рынка (благодаря преимуществам редкоземельных ресурсов), на долю США и Европы приходится по 20%. Самый быстрый рост спроса наблюдался в Азиатско-Тихоокеанском регионе (Индия, Юго-Восточная Азия) (>12%).

Ориентированность на приложения: на новые источники энергии (аккумуляторы, энергия ветра) пришлось 30% роста спроса, на аэрокосмическую отрасль — 25%, на микроэлектронику — 20%.

Высококачественные электроды: доля рынка электродов WY30 и композитных легированных электродов увеличится с 10% до 20% для удовлетворения требований к высокой производительности.

Влияющие факторы:

Распространение автоматизированного сварочного оборудования увеличивает спрос на высокопроизводительные электроды.

Экологические нормы стимулируют замену ториевых вольфрамовых электродов, и ожидается, что рыночная доля иттриевых вольфрамовых электродов увеличится до 50%.

CTIA GROUP LTD

Yttrium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Yttrium Tungsten Electrode

The Yttrium Tungsten Electrode (WY20) is a non-radioactive, high-performance tungsten electrode doped with 2% yttrium oxide (Y_2O_3). Specially engineered for demanding TIG and plasma welding applications, this electrode offers exceptional arc stability, minimal electrode wear, and high current tolerance, making it the top choice for aerospace, defense, nuclear, and high-precision industries.

2. Key Features of Yttrium Tungsten Electrode

- **Excellent Arc Stability:** Delivers a stable, concentrated arc with minimal flicker.
- **High Current Capacity:** Ideal for high-load DC or AC welding operations.
- **Low Burn-Off Rate:** Exceptional resistance to electrode erosion, even under intense heat.
- **Radiation-Free & Eco-Friendly:** 100% free of radioactive thorium—safe for people and the environment.
- **Superior Penetration:** Supports deep weld pools for thick, high-strength materials.
- **Reliable Ignition:** Consistent arc starting even under low current or pulsed settings.

3. Typical Specifications of Yttrium Tungsten Electrode

Type	Y_2O_3 Content	Color Code	Length (mm)	Diameter (mm)
WY20	1.8% – 2.2%	Blue	50 – 175	1.0 – 6.4

4. Applications of Yttrium Tungsten Electrode

- TIG Welding of stainless steel, nickel alloys, titanium, molybdenum, and high-temperature alloys.
- Plasma Arc Welding and Precision Spot Welding in aerospace and defense manufacturing.
- Micro-welding & vacuum applications where arc stability and cleanliness are critical.
- Suitable for DC (Direct Current) or AC/DC mixed-mode operations.

5. Why Choose Yttrium Tungsten Electrode?

From high-frequency ignition systems to robotic TIG welders, the WY20 Electrode adapts to your most challenging tasks—without compromising operator safety. Whether you're manufacturing jet engine blades, medical implants, or nuclear-grade components, WY20 delivers unmatched performance where it matters most.

6. Procurement Information

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

10.3.2 Влияние политики в области редкоземельных ресурсов на производство

Актуальность: Производство иттриевых вольфрамовых электродов основано на редкоземельных ресурсах (оксиде иттрия) и вольфраме. Китай обладает 70% мировых запасов редкоземельных элементов и 80% запасов вольфрама, но строгая политика добычи и экспорта ресурсов влияет на производственные затраты и стабильность цепочки поставок.

Тенденции в области политики:

Политика Китая в отношении редкоземельных элементов: Китай усиливает экологический надзор за добычей редкоземельных элементов, квоты на редкоземельные элементы могут быть сокращены на 10% ~ 15% с 2025 года, а цены на оксид иттрия, как ожидается, вырастут на 5% ~ 10%.

Экспортные ограничения: Экспортные тарифы на редкоземельные элементы могут увеличиться, что побудит производителей оптимизировать технологии переработки (уровень переработки > 90%).

Разработка альтернативных ресурсов: Австралия и Соединенные Штаты ускоряют разработку редкоземельной руды, при этом ожидается, что к 2030 году мировые поставки увеличатся на 20%, что ослабит зависимость Китая от ресурсов.

Технологии экологически чистой добычи: Продвижение технологий очистки с низким уровнем загрязнения окружающей среды (таких как ионный обмен и мембранное разделение) для сокращения сброса отработанной жидкости и соблюдения экологических норм.

Воздействие: Политика в отношении редкоземельных элементов может привести к росту себестоимости производства иттриевых вольфрамовых электродов на 5% ~ 10%, но технологии переработки и диверсификация глобальной цепочки поставок ослабят давление. Производителям необходимо инвестировать в оборудование для «зеленой» очистки, чтобы обеспечить стабильность ресурсов.

10.3.3 Оптимизация международной торговли и цепочек поставок

Актуальность: Глобальная цепочка поставок иттриевых вольфрамовых электродов включает Китай (основные производители), США (центры технологических инноваций) и Европу (рынки высокотехнологичных приложений). Торговые барьеры, транспортные расходы и геополитика влияют на эффективность цепочки поставок.

Тенденция:

Торговые барьеры: Соединенные Штаты и Европа могут ввести тарифы на редкоземельную продукцию (5% ~ 10%), а китайским производителям необходимо оптимизировать свои экспортные стратегии и расширить рынки Юго-Восточной Азии и Южной Америки.

Локализация цепочки поставок: Соединенные Штаты и Европа инвестируют в местное производство вольфрамовых электродов, и ожидается, что к 2030 году местные производственные мощности составят 20% ~ 30%, что снизит зависимость от Китая.

Цифровая цепочка поставок: используйте технологию блокчейн для отслеживания происхождения вольфрама и редкоземельного сырья, обеспечивая прозрачность и соответствие требованиям.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Оптимизация логистики: Сократите транспортные расходы на 10% ~ 15% и сократите циклы доставки с помощью интеллектуальных логистических систем (прогнозирование спроса на основе искусственного интеллекта).

Результат: Оптимизация цепочки поставок повысит глобальную конкурентоспособность иттриевых вольфрамовых электродов и снизит затраты на логистику. Китайским производителям необходимо укреплять технологические инновации и создание бренда, чтобы справиться с международной конкуренцией.



Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Copyright© 2024 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- 2024V
sales@chinatungsten.com

Приложение

А. Глоссарий

Иттриевый вольфрамовый электрод: нерадиоактивный электрод, легированный 1% ~ 2% оксидом иттрия на основе вольфрама, подходящий для сварки жаропрочными сплавами и плазменных процессов.

Оксид иттрия (Y_2O_3): добавка оксида редкоземельных элементов, которая улучшает стабильность при высоких температурах и дуговые свойства вольфрамовых электродов.

Рабочая функция убегания электронов: Минимальное количество энергии, необходимое для отрыва электронов от поверхности электрода, определяет характеристики дугового разряда.

Пусковые характеристики дуги: способность электрода образовывать стабильную дугу при низких токах.

Стабильность дуги: Дуга сохраняет непрерывную и недрожящую характеристику в процессе сварки.

Burn-off Rate (Скорость выгорания): Скорость потери массы электрода при высокотемпературной сварке.

Сварка TIG (сварка вольфрамом в инертном газе): процесс дуговой сварки вольфрамовым аргоном, в котором используется защита от инертного газа.

Плазменная дуговая сварка: процесс, в котором для высокоточной сварки используется высокотемпературная плазменная дуга.

Порошковая металлургия: Технология подготовки иттриевых вольфрамовых электродов путем смешивания порошка, прессования и спекания.

Микроструктура: зернистые и фазовые характеристики электродного материала под микроскопом.

ISO 6848: Стандарт классификации и технических требований к вольфрамовым электродам, разработанный Международной организацией по стандартизации.

AWS A5.12: стандарт спецификации для вольфрамовых электродов, разработанный Американским обществом сварки.

SEM (Scanning Electron Microscope): Сканирующий электронный микроскоп, используемый для анализа морфологии поверхности и микроструктуры электродов.

ICP-MS (масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой): масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой для обнаружения оксида иттрия и содержания примесей.

Искровое плазменное спекание (SPS): Метод быстрого спекания, используемый для получения высокопроизводительных иттрий-вольфрамовых электродов.

В. Ссылки

[1] Википедия, вольфрам, [https://zh.wikipedia.org/wiki/ вольфрам](https://zh.wikipedia.org/wiki/вольфрам)

[2] Chinatungsten Online, анализ иттриевых вольфрамовых электродов, <http://www.ctia.com.cn>

[3] ISO 6848:2015, Сварочные материалы — Неплавящиеся вольфрамовые электроды для дуговой сварки

[4] AWS A5.12:2009, Спецификация на вольфрамовые и оксидно-дисперсные вольфрамовые электроды для дуговой сварки

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

- [5] EN 26848: 1991, Вольфрамовые электроды для дуговой сварки
- [6] Материаловедение и инженерия: А, Стандарты и испытания легированных иттрием вольфрамовых электродов, Elsevier, 2023 г.
- [7] Материаловедение и инженерия: А, Производственное оборудование для легированных иттрием вольфрамовых электродов, Elsevier, 2022 г.
- [8] AWS A5.12: Спецификация на вольфрамовые и оксидно-дисперсные вольфрамовые электроды для дуговой сварки