

Энциклопедия электродов из чистого вольфрама

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

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, достигнутому 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 Ханн 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

CTIA GROUP LTD

Pure Tungsten electrode Introduction

1. Overview of Pure Tungsten Electrode

Pure tungsten electrodes are electrode materials made primarily from high-purity tungsten (content $\geq 99.95\%$) through powder metallurgy processes, including pressing, sintering, forging, and precision machining. They contain no rare earth or alloying elements, making them the most basic type of tungsten electrodes. They are widely used in welding and plasma applications that require high temperatures and high current density.

2. Main Applications of Pure Tungsten Electrode

TIG Welding (Tungsten Inert Gas Welding): Especially suitable for DC welding of reactive metals such as magnesium, aluminum, and titanium (using DCEN).

Plasma Cutting and Spraying: Used as electrode materials for high-temperature ion sources.

Electronic Devices: Serves as cathodes or supporting components in vacuum devices such as electron tubes and discharge tubes.

High-Temperature Furnace Electrodes: Used as heating electrodes in resistance furnaces operating in inert atmospheres or vacuum environments.

Scientific Research and Experimental Applications: Involved in high-temperature and high energy-density experiments.

3. Basic Data of Pure Tungsten Electrode

Item	Parameter
Chemical Composition (W)	$\geq 99.95\%$
Melting Point	3410°C
Density	19.3 g/cm ³
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Hardness (HV)	340 – 400 HV
Thermal Conductivity	170 W/(m·K)
Operating Current Range	DCEN, depends on diameter and base metal
Electrode Diameter Range	Ø0.5 mm ~ Ø6.4 mm (customizable)
Electrode Length	Standard lengths: 150 mm and 175 mm (customizable)
Applicable Standard	ISO 6848 (Tungsten electrodes for welding)

4. Supply Form and Packaging of Pure Tungsten Electrode

Form: Polished rods, with customized ground tips

Standard Packaging: 10 pieces per plastic box, outer carton with shock-resistant protection

Customization: Dimensions, packaging, and tips can be customized

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Каталог

Глава 1 Введение

- 1.1 Определение и обзор электродов из чистого вольфрама
- 1.2 Важность чистого вольфрамового электрода в сварочной промышленности
- 1.3 Предпосылки исследований и применения чистых вольфрамовых электродов

Глава 2 Характеристики электрода из чистого вольфрама

- 2.1 Физические свойства электрода из чистого вольфрама
 - 2.1.1 Температуры плавления и кипения чистого вольфрамового электрода
 - 2.1.2 Плотность электрода из чистого вольфрама
 - 2.1.3 Тепло- и электропроводность чистого вольфрамового электрода
 - 2.1.4 Коэффициент теплового расширения электрода из чистого вольфрама
 - 2.1.5 Давление паров чистого вольфрамового электрода
- 2.2 Химические свойства чистого вольфрамового электрода
 - 2.2.1 Химическая стабильность чистого вольфрамового электрода
 - 2.2.2 Стойкость к окислению электрода из чистого вольфрама
 - 2.2.3 Реакционная способность чистого вольфрамового электрода с другими элементами
- 2.3 Электрические характеристики электрода из чистого вольфрама
 - 2.3.1 Электронная работа чистого вольфрамового электрода
 - 2.3.2 Стабильность дуги чистого вольфрамового электрода
 - 2.3.3 Расход электродов чистого вольфрамового электрода
- 2.4 Механические свойства электрода из чистого вольфрама
 - 2.4.1 Твердость и хрупкость электрода из чистого вольфрама
 - 2.4.2 Пластичность электрода из чистого вольфрама
 - 2.4.3 Высокая термостойкость и сопротивление ползучести чистого вольфрамового электрода
- 2.5 Сравнение электрода из чистого вольфрама с другими вольфрамовыми электродами
 - 2.5.1 Электрод из чистого вольфрама и электрод из цериевого вольфрама
 - 2.5.2 Электрод из чистого вольфрама и электрод из лантанового вольфрама
 - 2.5.3 Электрод из чистого вольфрама и электрод из торированного вольфрама
 - 2.5.4 Электрод из чистого вольфрама и электрод из иттриевого вольфрама
 - 2.5.5 Электрод из чистого вольфрама и циркониевый вольфрамовый электрод
- 2.6 Чистый вольфрамовый электрод MSDS от CTIA GROUP LTD

Глава 3 Подготовка и технология производства чистого вольфрамового электрода

- 3.1 Подготовка сырья для чистого вольфрамового электрода
 - 3.1.1 Добыча и очистка вольфрамовой руды
 - 3.1.2 Приготовление вольфрамового порошка высокой чистоты
- 3.2 Процесс получения чистого вольфрамового электрода в порошковой металлургии
 - 3.2.1 Формование под давлением вольфрамового порошка
 - 3.2.2 Процесс спекания
 - 3.2.3 Термическая обработка и отжиг

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

- 3.3 Обработка под давлением электрода из чистого вольфрама
 - 3.3.1 Ковка и прокатка
 - 3.3.2 Черчение и черчение
 - 3.3.3 Формовка электродного стержня
- 3.4 Обработка поверхности электрода из чистого вольфрама
 - 3.4.1 Чистка и полировка
 - 3.4.2 Зеленая маркировка
- 3.5 Контроль качества электрода из чистого вольфрама
 - 3.5.1 Контроль качества сырья
 - 3.5.2 Мониторинг производственных процессов
 - 3.5.3 Проверка готовой продукции
- 3.6 Технические трудности и инновации чистого вольфрамового электрода
 - 3.6.1 Контроль высокой чистоты
 - 3.6.2 Оптимизация структуры зерна
 - 3.6.3 Повышение эффективности производства
 - 3.6.4 Охрана окружающей среды и устойчивое развитие

Глава 4 Использование электрода из чистого вольфрама

- 4.1 Применение сварки
 - 4.1.1 Сварка вольфрамом в инертном газе (TIG)
 - 4.1.2 Применение в сварке переменным током (AC)
 - 4.1.3 Сварка магния, алюминия и их сплавов
- 4.2 Другие промышленные применения
 - 4.2.1 Электроды для контактной сварки
 - 4.2.2 Плазменная резка и напыление
 - 4.2.3 Термоэлектронные излучающие материалы
 - 4.2.4 Распыление мишеней
 - 4.2.5 Противовесы и нагревательные элементы
- 4.3 Специальные полевые приложения
 - 4.3.1 Аэрокосмическая промышленность
 - 4.3.2 Военная промышленность
 - 4.3.3 Атомная промышленность
- 4.4 Ограничения приложения
 - 4.4.1 Недостатки сварки постоянным током (DC)
 - 4.4.2 Износ электродов и проблемы со сроком службы

Глава 5 Производственное оборудование для электродов из чистого вольфрама

- 5.1 Оборудование для обработки сырья для чистого вольфрамового электрода
 - 5.1.1 Оборудование для дробления и измельчения вольфрамовой руды
 - 5.1.2 Оборудование для химической очистки
- 5.2 Оборудование для порошковой металлургии для получения чистого вольфрамового электрода

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

- 5.2.1 Прессы
- 5.2.2 Печи для спекания
- 5.2.3 Вакуумные печи для термообработки
- 5.3 Оборудование для обработки под давлением чистого вольфрамового электрода
 - 5.3.1 Кузнечные машины
 - 5.3.2 Прокатные станы
 - 5.3.3 Волоочильные машины
- 5.4 Оборудование для обработки поверхности чистого вольфрамового электрода
 - 5.4.1 Оборудование для уборки
 - 5.4.2 Полировальные машины
 - 5.4.3 Аппликаторное оборудование
- 5.5 Оборудование для тестирования и контроля качества чистого вольфрамового электрода
 - 5.5.1 Анализаторы химического состава
 - 5.5.2 Оборудование для анализа микроструктуры
 - 5.5.3 Оборудование для тестирования физических характеристик
- 5.6 Автоматизация и интеллектуальное оборудование для электродов из чистого вольфрама
 - 5.6.1 Применение автоматизированных производственных линий
 - 5.6.2 Интеллектуальная система мониторинга

Глава 6 Отечественные и зарубежные стандарты на электроды из чистого вольфрама

- 6.1 Международные стандарты для чистых вольфрамовых электродов
 - 6.1.1 AWS A5.12 (стандарт Американского института сварки)
 - 6.1.2 ISO 6848 (Международная организация по стандартизации)
 - 6.1.3 EN 26848 (Европейский стандарт)
- 6.2 Китайский национальный стандарт для электродов из чистого вольфрама
 - 6.2.1 GB/T 4190 (стандарт вольфрамовых электродов)
 - 6.2.2 Соответствующие отраслевые стандарты
- 6.3 Другие национальные стандарты для чистых вольфрамовых электродов
 - 6.3.1 JIS Z 3233 (Японский промышленный стандарт)
 - 6.3.2 DIN EN ISO 6848 (Немецкий стандарт)
- 6.4 Сравнение стандартов и отличия электродов из чистого вольфрама
 - 6.4.1 Требования к химическому составу
 - 6.4.2 Размеры и допуски
 - 6.4.3 Методы тестирования производительности
- 6.5 Тенденции развития стандартов чистых вольфрамовых электродов
 - 6.5.1 Требования к окружающей среде и безопасности
 - 6.5.2 Стандарты высокоэффективных электродов

Глава 7 Методы и технологии обнаружения чистого вольфрамового электрода

- 7.1 Определение химического состава чистого вольфрамового электрода
 - 7.1.1 Спектроскопический анализ (ICP-OES)
 - 7.1.2 Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА)

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

- 7.1.3 Химическое титрование
- 7.2 Физические свойства электрода из чистого вольфрама
 - 7.2.1 Измерение плотности
 - 7.2.2 Определение твердости
 - 7.2.3 Испытание на проводимость
- 7.3 Анализ микроструктуры чистого вольфрамового электрода
 - 7.3.1 Наблюдение с помощью световой микроскопии
 - 7.3.2 Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ)
 - 7.3.3 Анализ размера зерна
- 7.4 Испытание сварочных характеристик чистого вольфрамового электрода
 - 7.4.1 Тест на производительность дуги
 - 7.4.2 Испытание на устойчивость к дуге
 - 7.4.3 Испытание нормы расхода электродов
- 7.5 Испытания на воздействие окружающей среды и безопасность чистого вольфрамового электрода
 - 7.5.1 Детектирование радиоактивности (сравнение ториев-вольфрамовых электродов)
 - 7.5.2 Обнаружение выбросов пыли и выхлопных газов
- 7.6 Калибровка и стандартизация оборудования для испытаний чистых вольфрамовых электродов
 - 7.6.1 Методы калибровки оборудования
 - 7.6.2 Международные стандарты испытаний

Глава 8 Анализ преимуществ и недостатков электрода из чистого вольфрама

- 8.1 Преимущества электрода из чистого вольфрама
 - 8.1.1 Низкая стоимость
 - 8.1.2 Устойчивость к высоким температурам
 - 8.1.3 Подходит для сварки переменным током
- 8.2 Недостатки электрода из чистого вольфрама
 - 8.2.1 Плохая производительность сварки постоянным током
 - 8.2.2 Высокий расход электродов
 - 8.2.3 Сложность дуги и нестабильная дуга
- 8.3 Направление улучшения электрода из чистого вольфрама
 - 8.3.1 Оптимизация процессов
 - 8.3.2 Исследования легирования
 - 8.3.3 Разработка новых материалов для электродов

Глава 9 Рынок и тенденции развития чистых вольфрамовых электродов

- 9.1 Обзор мирового рынка вольфрамовых электродов
 - 9.1.1 Основные страны-производители
 - 9.1.2 Объем рынка и спрос
- 9.2 Анализ рынка вольфрамовых электродов в Китае
 - 9.2.1 Внутренние производственные мощности

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

- 9.2.2 Рыночный спрос и области применения
- 9.3 Тенденции развития технологии чистых вольфрамовых электродов
 - 9.3.1 Эффективная технология производства
 - 9.3.2 Экологически чистый производственный процесс
 - 9.3.3 Исследование и разработка нового вольфрамового электрода
- 9.4 Проблемы с чистым вольфрамовым электродом
 - 9.4.1 Колебания цен на сырье
 - 9.4.2 Давление со стороны экологических норм
 - 9.4.3 Международные соревнования

Глава 10 Выводы

- 10.1 Всесторонняя оценка чистого вольфрамового электрода
- 10.2 Перспективы дальнейшего развития электродов из чистого вольфрама
- 10.3 Исследования и предложения по применению электрода из чистого вольфрама

Приложение

- A. Глоссарий
- B. Ссылки

Глава 1 Введение

1.1 Определение и обзор электродов из чистого вольфрама

Чистый вольфрамовый электрод (WP electrode) представляет собой материал сварочного электрода, изготовленный из вольфрама высокой чистоты (содержание вольфрама $\geq 99,5\%$) в качестве основного сырья, обычно легированный оксидами редкоземельных элементов или другими легирующими элементами, полученный методом передовой порошковой металлургии, а его поверхность покрыта зелеными метками в соответствии с международными стандартными идентификационными спецификациями. Будучи редким металлом, вольфрам обладает чрезвычайно высокой температурой плавления ($3422\text{ }^{\circ}\text{C}$), высокой плотностью ($19,3\text{ г/см}^3$), отличной электропроводностью (около 30% IACS), теплопроводностью ($173\text{ Вт/м}\cdot\text{К}$) и отличной химической стабильностью, что делает чистый вольфрамовый электрод одним из самых ранних типов электродов, используемых в аргонодуговой сварке вольфрамом (TIG). Его высокая электронная работа (около $4,52\text{ эВ}$) дает ему хорошую способность к тепловой эмиссии электронов при высоких температурах, но его применение ограничено из-за сложности зарождения дуги и недостаточной стабильности дуги при сварке постоянным током (DC), и он в основном используется для сварки переменным током (AC), особенно для сварки алюминия, магния и их сплавов.

Процесс подготовки чистых вольфрамовых электродов является сложным и точным, он включает в себя несколько этапов от очистки вольфрамовой руды до готовых электродов. Сначала из вольфрамовой руды (например, вольфрамита или шеелита) химически извлекают вольфрамовый порошок высокой чистоты, а затем изготавливают электродные стержни путем прессования и формовки, спекания,ковки, волочения проволоки и полировки поверхности. Готовые электроды доступны в различных размерах, обычно от $0,5$ до $6,4$ мм в диаметре и от 75 до 600 мм в длину, с распространенными размерами, включая $1,0$, $1,6$, $2,4$, $3,2$ и $4,0$ мм для удовлетворения различных потребностей сварочного оборудования и технологических процессов. Кроме того, качество поверхности и допуск на размеры чистых вольфрамовых электродов имеют решающее значение для производительности сварки, поэтому содержание примесей и структура зерна должны строго контролироваться в процессе производства, чтобы обеспечить стабильность и долговечность электрода в условиях высокотемпературной дуги.

1.2 Важность чистого вольфрамового электрода в сварочной промышленности

Чистый вольфрамовый электрод занимает незаменимое место в сварочной промышленности, особенно при аргонодуговой сварке вольфрамом (сварка TIG), из-за своих уникальных физических и химических свойств он стал предпочтительным материалом для сварки переменным током. Прежде всего, высокая температура плавления и превосходная устойчивость к высоким температурам чистых вольфрамовых электродов позволяют им сохранять структурную целостность в сильноточных (обычно $100\text{--}300\text{ А}$) и высокотемпературных дуговых (около $6000\text{--}7000^{\circ}\text{C}$) средах, значительно снижая расход электродов и продлевая срок службы, тем самым повышая эффективность и качество сварки.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Во-вторых, при сварке переменным током чистый вольфрамовый электрод может образовывать стабильный полусферический электрод, который помогает равномерно распределять энергию дуги, эффективно удалять оксидную пленку на поверхности легких металлов, таких как алюминий и магний и их сплавы, и формировать гладкий и плотный сварной шов для удовлетворения потребностей высокоточной сварки.

По сравнению с вольфрамовыми электродами, легированными оксидами редкоземельных элементов (такими как цериевый вольфрамовый электрод, лантановый вольфрамовый электрод или ториевый вольфрамовый электрод), чистый вольфрамовый электрод имеет значительные преимущества по стоимости и экологически чистым характеристикам. Поскольку чистые вольфрамовые электроды не содержат радиоактивных элементов (например, тория), они не имеют радиационного риска при использовании и утилизации, а также соответствуют требованиям современного зеленого производства и норм охраны окружающей среды. Эта особенность делает его очень востребованным в отраслях с высокими требованиями к безопасности, таких как аэрокосмическая промышленность и производство медицинского оборудования. Кроме того, процесс производства чистого вольфрамового электрода является зрелым, источники сырья широки, а цена относительно стабильна, что делает его экономичным в крупномасштабном промышленном производстве.

Области применения чистых вольфрамовых электродов охватывают многие высокотехнологичные отрасли промышленности. В автомобильной промышленности чистые вольфрамовые электроды используются для сварки алюминиевых корпусов и деталей; В аэрокосмической сфере он используется для прецизионной сварки титановых и алюминиевых сплавов; В электротехнической и электронной промышленности он используется для сварки тонкостенных металлов и миниатюрных деталей. Благодаря трансформации и модернизации мировой обрабатывающей промышленности, а также растущему спросу на высококачественные сварочные процессы, рыночный спрос на чистые вольфрамовые электроды продолжает расти. Несмотря на то, что некоторые из его ограничений в сварке постоянным током привели к замене легированных электродов в некоторых областях применения, чистые вольфрамовые электроды остаются незаменимыми в сварке переменным током, контактной сварке, а также в некоторых процессах плазменной резки и напыления.

1.3 Предпосылки исследований и применения чистых вольфрамовых электродов

Будучи стратегическим редким металлом, вольфрам широко используется в промышленности и военной сфере с конца 19 века благодаря своим превосходным физическим и химическим свойствам. Исследования и разработки и применение чистого вольфрамового электрода начались в начале 20-го века, что тесно связано с рождением и развитием технологии аргонодуговой сварки вольфрама. В 1910-х годах вольфрамовые электроды впервые были использованы в экспериментах по сварке, а их высокая температура плавления и способность к термической электронной эмиссии быстро сделали их основным материалом для сварки TIG. Однако из-за высокой степени утечки электронов в ранних

чистых вольфрамовых электродах существуют проблемы зарождения дуги и нестабильности дуги при сварке постоянным током, что ограничивает область ее применения. Чтобы преодолеть эти недостатки, исследователи с середины 20-го века изучают вольфрамовые электроды, легированные оксидами редкоземельных элементов (например, оксидом церия, оксидом лантана, оксидом тория), чтобы уменьшить работу электронов и улучшить производительность инициации дуги и стабильность дуги. Несмотря на то, что легированные электроды хорошо работают при сварке постоянным током, чистые вольфрамовые электроды сохраняют важное положение на рынке благодаря своей нерадиоактивности, низкой стоимости и пригодности для сварки переменным током.

В конце 20-го века, с быстрым развитием аэрокосмической, автомобильной, атомной промышленности, электронной и электротехнической промышленности, спрос на высокоэффективные сварочные материалы значительно возрос, что способствовало постоянному совершенствованию процесса производства чистых вольфрамовых электродов. Современные технологии производства включают в себя приготовление вольфрамового порошка высокой чистоты, изостатическое прессование, вакуумное спекание, прецизионную ковку и автоматизированное волочение проволоки и т.д., что значительно улучшает чистоту, однородность зерна и механические свойства электрода. Кроме того, международные стандарты (например, AWS A5.12, ISO 6848) и китайские национальные стандарты (например, GB/T 4190) определяют химический состав, допуск на размеры, качество поверхности и методы эксплуатационных испытаний чистых вольфрамовых электродов, что способствует их стандартизированному производству и применению на мировом рынке.

Будучи страной с крупнейшими в мире запасами вольфрама (около 1,9 млн тонн, что составляет более 50% от общемировых запасов) и производством (около 80% мировых запасов в 2024 году), Китай имеет полную промышленную цепочку от добычи и выплавки вольфрама до производства электродов. Благодаря технологическим инновациям и крупномасштабному производству отечественные предприятия значительно повысили международную конкурентоспособность чистых вольфрамовых электродов. В то же время отраслевые информационные платформы, такие как Chinatungsten Online Technology Co., Ltd., публикуют рыночные тенденции, технический прогресс и информацию о ценах через веб-сайт и официальный аккаунт WeChat, предоставляя индивидуальные решения для клиентов по всему миру и становясь авторитетным источником информации в отрасли вольфрамовых изделий.

В настоящее время направления исследований чистых вольфрамовых электродов включают оптимизацию структуры зерна для повышения износостойкости и стабильности дуги, разработку эффективных и экологически чистых производственных процессов для снижения энергопотребления и выбросов, а также изучение новых материалов электродов для удовлетворения различных потребностей в сварке. Кроме того, глобальный акцент на экологически чистое производство и устойчивое развитие способствовал разработке и применению нерадиоактивных электродов, и чистые вольфрамовые электроды имеют

преимущество в этой тенденции благодаря своим экологически чистым характеристикам. В будущем, с дальнейшим развитием новой энергетики, аэрокосмической промышленности и производства высокотехнологичного оборудования, перспективы применения чистого вольфрамового электрода будут более широкими.



чистые вольфрамовые электроды от CTIA GROUP LTD

Глава 2 Характеристики электрода из чистого вольфрама

2.1 Физические свойства чистого вольфрамового электрода

Чистый вольфрамовый электрод (WP electrode) занимает важное место в сварочной промышленности благодаря своим превосходным физическим свойствам. Его высокая температура плавления, высокая плотность, отличная теплопроводность, низкий коэффициент теплового расширения и низкое давление пара делают его незаменимым материалом при аргонодуговой сварке вольфрама (сварка TIG), особенно при сварке переменным током (AC). Ниже подробно рассматриваются физические свойства электродов из чистого вольфрама.

2.1.1 Температуры плавления и кипения чистого вольфрамового электрода

Вольфрам является элементом с самой высокой температурой плавления среди всех металлов, с температурой плавления 3422 °C (около 3695 K) и температурой кипения 5660 °C (около 5933 K) для чистых вольфрамовых электродов. Эта особенность позволяет чистым вольфрамовым электродам сохранять структурную целостность в условиях высокотемпературной дуги (примерно 6000-7000 °C), снижая риск расплавления электродов или чрезмерного выгорания. При сварке TIG высокая температура плавления гарантирует, что электрод может сохранять стабильную форму конца при высоких токах (100-300 A), особенно при сварке переменным током легких металлов, таких как алюминий и магний,

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

электрод может образовывать полусферический конец, что способствует равномерному распределению дуги. Однако высокая температура плавления также означает, что чистые вольфрамовые электроды требуют большего расхода энергии во время обработки, что увеличивает производственные затраты.

2.1.2 Плотность чистого вольфрамового электрода

Плотность чистых вольфрамовых электродов составляет $19,3 \text{ г/см}^3$ при 25°C , что близко к золоту ($19,32 \text{ г/см}^3$) и в 2,5 раза выше, чем у стали ($7,8 \text{ г/см}^3$). Высокая плотность придает электроду превосходную механическую стабильность и виброустойчивость, а также может выдерживать ударную силу, создаваемую дугой в процессе сварки, снижая риск деформации или поломки конца. Кроме того, высокая плотность делает электроды из чистого вольфрама потенциальным применением в противовесах и аэрокосмической промышленности. Однако высокая плотность также увеличивает вес электродов, что может быть проблемой для некоторого сварочного оборудования, требующего легкой конструкции.

2.1.3 Тепло- и электропроводность чистого вольфрамового электрода

Чистый вольфрамовый электрод обладает хорошей тепло- и электропроводностью, его теплопроводность составляет около $173 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ (комнатная температура), а электропроводность составляет около 30% IACS (Международный стандарт отожженной меди). Превосходная теплопроводность позволяет электроду быстро рассеивать тепло, выделяемое дугой, снижая риск перегрева электрода и продлевая срок службы. Хорошая электропроводность гарантирует, что электрод может эффективно передавать ток в процессе сварки и поддерживать стабильную дугу. Однако чистый вольфрам имеет более низкую электропроводность по сравнению с медью (теплопроводность около $400 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ и проводимость 100% IACS), что может привести к перегреву электрода и повлиять на стабильность дуги при сварке постоянным током (DC). Таким образом, чистые вольфрамовые электроды больше подходят для сценариев сварки переменным током.

2.1.4 Коэффициент теплового расширения чистого вольфрамового электрода

Чистые вольфрамовые электроды имеют низкий коэффициент теплового расширения около $4,5 \times 10^{-6}/\text{K}$ ($20\text{-}1000^\circ\text{C}$). Низкий коэффициент теплового расширения означает, что электрод имеет небольшое изменение размеров во время высокотемпературной сварки, сохраняя стабильность формы и размеров и уменьшая трещины или деформацию из-за термического напряжения. Это особенно важно при прецизионной сварке, например, при сварке компонентов в аэрокосмической отрасли. Тем не менее, низкий коэффициент теплового расширения также позволяет чистым вольфрамовым электродам создавать межфазные напряжения, когда коэффициент теплового расширения сильно отличается от коэффициента теплового расширения подложки (например, стали или алюминия), что необходимо смягчить путем оптимизации процесса (например, предварительного нагрева).

2.1.5 Давление паров чистого вольфрамового электрода

Давление паров чистых вольфрамовых электродов при высоких температурах крайне низкое,

всего 0 Па при 3000°C [2]. Низкое давление пара означает, что электрод имеет чрезвычайно низкое давление в высокотемпературной среде дуги, что снижает потери материала электрода на испарение и продлевает срок службы электрода. Это особенно важно при длительной непрерывной сварке, такой как автоматизированная сварка в промышленном производстве. Однако при очень высоких температурах (например, вблизи точки кипения) давление пара значительно возрастает, что может привести к небольшим потерям на электроде и повлиять на стабильность дуги.

2.2 Химические свойства чистого вольфрамового электрода

Химические свойства чистых вольфрамовых электродов в основном отражаются на их химической стабильности, стойкости к окислению и реакционной способности с другими элементами. Эти характеристики определяют пригодность и долговечность электрода в различных условиях сварки.

2.2.1 Химическая стабильность чистого вольфрамового электрода

Вольфрам чрезвычайно химически стабилен при комнатных и средних и низких температурах, не вступает в реакцию с большинством кислот, оснований или солевых растворов и медленно растворяется только в сильно окисляющих кислотах, таких как концентрированная азотная или фтористоводородная кислоты. При сварке TIG чистые вольфрамовые электроды обычно работают под защитой инертного газа, такого как аргон или гелий, который химически стабилен и позволяет ему противостоять коррозии в условиях сварки, сохраняя чистую поверхность и стабильность дуги. Однако в атмосферах неинертных газов (например, атмосферах, содержащих кислород или водяные пары) химическая стабильность вольфрама снижается, и требуется контроль процесса, чтобы избежать окисления поверхности электрода.

2.2.2 Стойкость к окислению чистого вольфрамового электрода

Чистые вольфрамовые электроды имеют плохую стойкость к окислению при высоких температурах и начинают вступать в реакцию с кислородом при температуре около 400°C и более с образованием триоксида вольфрама (WO_3), и скорость окисления значительно ускоряется при более высоких температурах (например, выше 800 °C) [21]. При сварке TIG защита инертным газом может эффективно предотвратить окисление электродов, но если поток защитного газа недостаточен или прерван, на поверхности электрода быстро образуется желтый или синий оксидный слой, что приводит к нестабильности дуги или даже выходу электрода из строя. Поэтому необходимо обеспечить стабильную газовую защиту во время сварочных работ и регулярно проверять состояние поверхности электродов. Кроме того, электроды из чистого вольфрама не так устойчивы к окислению, как электроды, легированные оксидами редкоземельных элементов (например, цериевые вольфрамовые или лантановые вольфрамовые электроды), что ограничивает их применение в некоторых суровых условиях.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

CTIA GROUP LTD

Pure Tungsten electrode Introduction

1. Overview of Pure Tungsten Electrode

Pure tungsten electrodes are electrode materials made primarily from high-purity tungsten (content $\geq 99.95\%$) through powder metallurgy processes, including pressing, sintering, forging, and precision machining. They contain no rare earth or alloying elements, making them the most basic type of tungsten electrodes. They are widely used in welding and plasma applications that require high temperatures and high current density.

2. Main Applications of Pure Tungsten Electrode

TIG Welding (Tungsten Inert Gas Welding): Especially suitable for DC welding of reactive metals such as magnesium, aluminum, and titanium (using DCEN).

Plasma Cutting and Spraying: Used as electrode materials for high-temperature ion sources.

Electronic Devices: Serves as cathodes or supporting components in vacuum devices such as electron tubes and discharge tubes.

High-Temperature Furnace Electrodes: Used as heating electrodes in resistance furnaces operating in inert atmospheres or vacuum environments.

Scientific Research and Experimental Applications: Involved in high-temperature and high energy-density experiments.

3. Basic Data of Pure Tungsten Electrode

Item	Parameter
Chemical Composition (W)	$\geq 99.95\%$
Melting Point	3410°C
Density	19.3 g/cm ³
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Hardness (HV)	340 – 400 HV
Thermal Conductivity	170 W/(m·K)
Operating Current Range	DCEN, depends on diameter and base metal
Electrode Diameter Range	Ø0.5 mm ~ Ø6.4 mm (customizable)
Electrode Length	Standard lengths: 150 mm and 175 mm (customizable)
Applicable Standard	ISO 6848 (Tungsten electrodes for welding)

4. Supply Form and Packaging of Pure Tungsten Electrode

Form: Polished rods, with customized ground tips

Standard Packaging: 10 pieces per plastic box, outer carton with shock-resistant protection

Customization: Dimensions, packaging, and tips can be customized

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

2.2.3 Реакционная способность чистого вольфрамового электрода с другими элементами

Чистые вольфрамовые электроды менее реактивны с другими элементами (например, углеродом, азотом, водородом) при высоких температурах, но могут реагировать при определенных условиях. Например, в углеродсодержащих атмосферах, таких как CO или CH₄, вольфрам может образовывать карбид вольфрама (WC), что приводит к увеличению твердости поверхности, но повышенной хрупкости, что влияет на свариваемость. В азотсодержащей атмосфере вольфрам может образовывать нитрид вольфрама (WN), но скорость реакции медленная и оказывает ограниченное влияние на работу электродов. Кроме того, вольфрам слабо вступает в химическую реакцию с металлами в расплавленной ванне (например, алюминием, магнием), что обеспечивает чистоту сварного шва. Эти свойства делают чистые вольфрамовые электроды пригодными для сварки материалов высокой чистоты, но при этом исключают прямой контакт с активной атмосферой.

2.3 Электрические характеристики чистого вольфрамового электрода

Электрические свойства чистых вольфрамовых электродов напрямую влияют на их производительность при сварке TIG, включая производительность зарождения дуги, стабильность дуги и расход электродов. Ниже анализируются три аспекта: производительная работа электронов, стабильность дуги и расход электродов.

2.3.1 Электронная работа чистого вольфрамового электрода

Работа электронов является мерой трудности излучения горячих электронов из материала, а электронная работа чистого вольфрамового электрода относительно высока, около 4,52 эВ. Высокая работа электронов означает, что электроду требуется более высокое напряжение для инициирования дуги на начальном этапе сварки, особенно при сварке постоянным током, которая имеет плохие характеристики инициирования дуги и склонна к отсутствию дуги или скачку дуги. При переменном токе (AC) переменный эффект положительных и отрицательных полупериодов переменного тока может частично облегчить сложность дугового разряда, но все же требуется более высокое напряжение дуги. Напротив, электроды, легированные оксидами редкоземельных элементов (например, цериевые вольфрамовые электроды, с электронным действием около 2,7-3,0 эВ), имеют лучшие характеристики инициирования дуги, что является основной причиной ограниченного применения чистых вольфрамовых электродов при сварке постоянным током.

2.3.2 Стабильность дуги чистого вольфрамового электрода

Стабильность дуги относится к способности дуги оставаться непрерывной и равномерной в процессе сварки. Чистый вольфрамовый электрод обладает хорошей стабильностью дуги при сварке переменным током, поскольку его высокая температура плавления и теплопроводность позволяют поддерживать стабильную форму электрода (полусферическую) для обеспечения равномерного распределения энергии дуги. Однако при сварке постоянным током дуга подвержена дрейфу или прерыванию из-за высокой работы электронов и низкой эффективности теплового электронного излучения, особенно при низких токах (<50 А) или

высоких частотах. Кроме того, загрязнение поверхности электрода (например, оксидом или маслом) может еще больше снизить стабильность дуги, поэтому необходимо регулярно затачивать детали электродов, чтобы поддерживать их в чистоте.

2.3.3 Расход электродов чистого вольфрамового электрода

Норма расхода электрода относится к скорости, с которой электрод уменьшается из-за плавления, испарения или механических потерь в процессе сварки. Вольфрамовые электроды имеют высокую скорость расхода электродов, особенно при высоких токах (>200 А) или длительной непрерывной сварке, из-за их высокой работы по убеганию электронов, что приводит к высокой температуре электрода, что ускоряет испарение материала и выгорание. При сварке переменным током образование полусферических концов частично замедляет расход, но при положительном соединении постоянным током (DCSP) расход электродов значительно выше, чем у легированных электродов (например, цериевых вольфрамовых или лантановых вольфрамовых электродов). Чтобы снизить расход топлива, необходимо оптимизировать параметры сварки (например, ток, расход газа) и регулярно затачивать электрод для поддержания угла наклона наконечника.

2.4 Механические свойства чистых вольфрамовых электродов

Механические свойства чистых вольфрамовых электродов включают твердость, хрупкость, пластичность и высокотемпературную прочность, которые определяют их производительность при производстве, обработке и использовании.

2.4.1 Твердость и хрупкость чистого вольфрамового электрода

Чистые вольфрамовые электроды имеют чрезвычайно высокую твердость, твердость по Виккерсу (HV) при комнатной температуре составляет около 350-450, близка к карбиду вольфрама (HV около 500). Его высокая твердость придает ему отличную износостойкость и способен выдерживать удар дуги и механический износ. Тем не менее, кристаллическая структура вольфрама (куба, центрируемого по телу) делает его очень хрупким, особенно при комнатной температуре, и склонным к хрупкому разрушению. В процессе производства хрупкость снижается за счет высокотемпературнойковки и отжига, но с готовым электродом все равно нужно обращаться осторожно, чтобы избежать поломки из-за падений или ударов. При сварке высокая твердость электрода помогает сохранить морфологию конца, но хрупкость может привести к образованию микротрещин на концах, что влияет на стабильность дуги.

2.4.2 Пластичность чистого вольфрамового электрода

Пластичность чистых вольфрамовых электродов плохая, пластическая деформационная способность при комнатной температуре практически отсутствует, а удлинение при разрыве близко к 0%. При высоких температурах (>1200°C) вольфрам имеет небольшое улучшение пластичности и может быть сформирован путемковки или волочения проволоки. Тем не менее, пластичность при высоких температурах все еще ограничена, а температура и скорость деформации необходимо строго контролировать во время обработки, чтобы

избежать растрескивания. При сварке плохая пластичность затрудняет адаптацию электродов к сварочным потребностям сложных форм, но их высокая твердость и стабильность компенсируют этот недостаток.

2.4.3 Высокая термостойкость и сопротивление ползучести чистого вольфрамового электрода

Электроды из чистого вольфрама обладают отличной прочностью при высоких температурах и сопротивлением ползучести при высоких температурах. При температуре более 2000 °C его прочность на разрыв все еще может достигать 100-200 МПа, а сопротивление ползучести намного превышает сопротивление большинству металлов. Это свойство позволяет электроду сохранять механическую стабильность в условиях высокотемпературной дуги, уменьшая деформацию или разрушение из-за термического напряжения. Сопротивление ползучести обеспечивает стабильность морфологии терминала и продлевает срок службы при длительной непрерывной сварке. Однако рост зерна при высоких температурах может снизить прочность, и требуется измельчение зерна за счет оптимизации производственного процесса, например, контроля температуры спекания.

2.5 Сравнение чистого вольфрамового электрода с другими вольфрамовыми электродами

Существуют значительные различия в характеристиках чистых вольфрамовых электродов и других легированных вольфрамовых электродов (таких как цериевый вольфрам, лантановый вольфрам, ториевый вольфрам, иттриевый вольфрам и циркониевые вольфрамовые электроды). Ниже приведено сравнение с точки зрения производительности сварки, сценариев применения, преимуществ и недостатков.

2.5.1 Чистый вольфрамовый электрод и цериевый вольфрамовый электрод

Цериевый вольфрамовый электрод (WC-электрод) легирован 2%-4% оксида церия (CeO_2) в вольфрамовой матрице), цветовая гамма серая. Работа электронов церий-вольфрамового электрода ниже (около 2,7-3,0 эВ), а показатели инициирования дуги лучше, чем у чистого вольфрамового электрода, особенно при слаботочной сварке постоянным током (<100 А). Кроме того, цериевые вольфрамовые электроды обладают высокой стабильностью дуги и низким расходом электродов, что подходит для сварки постоянным током нержавеющей стали, углеродистой стали и других материалов. В отличие от них, чистые вольфрамовые электроды трудно поддаются дуговой обработке и нестабильны при сварке постоянным током, но их стоимость невысока и подходит для сварки алюминиевых и магниевых сплавов переменным током. Цериевый вольфрамовый электрод не радиоактивен и соответствует требованиям защиты окружающей среды, но при высокоточной сварке переменным током концу легко придать неправильную форму, а стабильность дуги не так хороша, как у чистого вольфрамового электрода.

2.5.2 Чистый вольфрамовый электрод и лантановый вольфрамовый электрод

Вольфрамовые электроды из лантана (электроды WL) легированы 1%-2% оксида лантана

(La₂O₃) и окрашены в синий или золотой цвет. Электронная работа лантанового вольфрамового электрода составляет около 2,8-3,2 эВ, а характеристики инициирования дуги и стабильность дуги лучше, чем у чистого вольфрамового электрода, который подходит для сварки постоянным и переменным током. Его низкий расход электродов и стабильная морфология концов при высоких температурах делают его пригодным для высокоточной сварки (например, аэрокосмических компонентов). Чистый вольфрамовый электрод образует стабильную полусферическую форму на конце при сварке переменным током, которая подходит для сварки алюминиевым сплавом, но его производительность плоха при сварке постоянным током. Кроме того, себестоимость производства лантановых вольфрамовых электродов выше, чем у чистых вольфрамовых электродов, что ограничивает его продвижение в недорогих приложениях.

2.5.3 Чистый вольфрамовый электрод и торированный вольфрамовый электрод

Ториевые вольфрамовые электроды (WT-электроды) легированы 1%-2% оксидом тория (ThO₂) и окрашены в красный или желтый цвет. Ториевые вольфрамовые электроды имеют самую низкую работу электронов (около 2,6 эВ) и отличные характеристики инициирования дуги и стабильность дуги, и широко используются при сварке постоянным током углеродистой стали, нержавеющей стали и никелевых сплавов. Низкий расход электродов обеспечивает высокую допустимую плотность тока (>200 А). Тем не менее, оксид тория радиоактивен (доза облучения около 3,60×10⁵Кюри/кг) и потенциально вреден для человека и окружающей среды [17]. Чистые вольфрамовые электроды нерадиоактивны, недороги и подходят для сварки переменным током, но их производительность при сварке постоянным током значительно уступает производительности торированных вольфрамовых электродов. В настоящее время ториево-вольфрамовые электроды постепенно заменяются церий-вольфрамовыми или лантановыми вольфрамовыми электродами в районах с жесткими требованиями к охране окружающей среды.

2.5.4 Чистый вольфрамовый электрод и иттриевый вольфрамовый электрод

Иттриевый вольфрамовый электрод (WY электрод), легированный 2% оксидом иттрия (Y₂O₃) с темно-синим цветовым кодом, в основном используется для сварки постоянным током в военной и аэрокосмической областях. Работа электронов иттрий-вольфрамовых электродов составляет около 2,9 эВ, они обладают отличными характеристиками инициирования дуги и стабильностью дуги, низким расходом электродов и подходят для сварки большими токами (например, титановыми сплавами). Чистые вольфрамовые электроды редко используются в этих областях из-за их сложного зарождения дуги и нестабильности дуги. Иттрий-вольфрамовые электроды имеют высокие производственные затраты и узкий спектр применения на рынке, в то время как чистые вольфрамовые электроды по-прежнему широко используются из-за их экономичности и пригодности для сварки переменным током.

2.5.5 Чистый вольфрамовый электрод и циркониевый вольфрамовый электрод

Циркониево-вольфрамовый электрод (электрод WZ), легированный 0,3%-0,8% диоксида циркония (ZrO₂), цветовой код коричневый или белый, предназначен для сварки переменным

током. Электронная работа циркониевого вольфрамового электрода составляет около 4,0 эВ, что немного ниже, чем у чистого вольфрамового электрода, а производительность инициирования дуги немного лучше, а стабильность дуги высокая, что подходит для сварки алюминиевых и магниевых сплавов переменным током. Расход электродов ниже, чем у чистого вольфрамового электрода, а форма торца более стабильна. Чистые вольфрамовые электроды близки к циркониевым вольфрамовым электродам при сварке переменным током, но имеют более низкую стоимость и подходят для приложений, чувствительных к стоимости. Процесс производства циркониевых вольфрамовых электродов сложен, а цена высока, что ограничивает его долю на рынке.

2.6 Чистый вольфрамовый электрод MSDS от CTIA GROUP LTD

Паспорт безопасности материалов (MSDS) является важным документом, описывающим безопасное использование, хранение и утилизацию чистых вольфрамовых электродов. Ниже приведено краткое изложение основных компонентов MSDS для электродов из чистого вольфрама:

Часть I: Наименование продукта

Название: Чистый вольфрамовый электрод (WP)

Номер CAS: 7440-33-7

Часть II: Композиция/информация о композиции

Основное содержание $W \geq 99.95\%$

Общее содержание примесей $\leq 0,05\%$

Часть III: Обзор опасностей

Опасность для здоровья: Этот продукт не вызывает раздражения у глаз и кожи.

Взрывоопасность: Этот продукт негорюч и не вызывает раздражения.

Часть IV: Меры первой помощи

Контакт кожа к коже: снимите загрязненную одежду и промойте большим количеством проточной воды.

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

Ингаляция: Уберите с места происшествия на свежий воздух. Если вы испытываете трудности с дыханием, дайте кислород. Лечение.

Применение: Пейте много теплой воды, чтобы вызвать рвоту. Лечение.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Часть V: Меры противопожарной защиты

Вредные продукты сгорания: Естественные продукты разложения неизвестны.

Метод тушения пожара: Пожарные должны носить противогазы и пожарные костюмы для тушения огня в наветренном направлении. Огнетушащее вещество: сухой кожаный порошок, песок.

Часть VI: Чрезвычайная ликвидация разливов

Неотложная помощь: Изолируйте загрязненную утечкой зону и ограничьте доступ. Перекройте источник огня. Сотрудникам экстренных служб рекомендуется носить респираторы (полнолицевые маски) и защитную одежду. Избегайте попадания пыли, тщательно подметите его, положите в пакет и перенесите в безопасное место. Если имеется большое количество протекания, накройте его пластиковой тканью или холстом. Собирайте и перерабатывайте или транспортируйте на свалку отходов для утилизации.

Часть VII: Обработка, обработка и хранение

Меры предосторожности при эксплуатации: Операторы должны быть специально обучены и строго следовать рабочим процедурам. Операторам рекомендуется носить самовсасывающие фильтрующие пылезащитные маски, защитные очки от химических веществ, комбинезоны для защиты от отравления и резиновые перчатки. Держите подальше от огня и источников тепла, а также курение на рабочем месте категорически запрещено. Используйте взрывозащищенные вентиляционные системы и оборудование. Избегайте образования пыли. Избегайте контакта с окислителями и галогенами. При погрузочно-разгрузочных работах необходимо загружать и выгружать налегке, чтобы не допустить повреждения упаковки и контейнеров. Комплектуются 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. Держите вдали от огня и источников тепла. Его следует хранить отдельно от окислителей и галогенов, и не следует смешивать. Оснащается соответствующим разнообразием и количеством противопожарного оборудования. Площадка для хранения должна быть оборудована подходящими материалами для локализации разлива.

Часть VIII: Контроль воздействия/Индивидуальная защита

ПДК в Китае (мг/м³): 6

ПДК СССР (мг/м³): 6

TLV/TN: ACGIH 1 мг/м³

Краткая стоимость: ACGIH 3 мг/м³

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Метод мониторинга: метод спектролюминесценции тиоцианида калия-хлорида титана

Инженерный контроль: производственный процесс проходит без пыли и полностью проветривается.

Защита органов дыхания: Когда концентрация пыли в воздухе превышает норму, необходимо надеть самовсасывающую фильтрующую пылезащитную маску. В случае экстренной эвакуации следует надеть дыхательные аппараты с воздухом.

Защита глаз: Носите очки химической защиты.

Защита тела: Носите комбинезон с защитой от отравления.

Защита рук: Надевайте резиновые перчатки.

Часть IX: Физико-химические свойства

Основной ингредиент: Чистый

Внешний вид и свойства: цельный, ярко-белый металл

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): Данные отсутствуют

Критическое давление (МПа): Данные отсутствуют

Логарифм коэффициента разбавления воды: нет данных

Температура вспышки (°C): Данные отсутствуют

Температура воспламенения (°C): Нет данных

Предел взрываемости % (В/В): Нет данных

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

Растворимость: растворим в азотной кислоте, фтористоводородной кислоте

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

Часть X: Стабильность и реакционная способность

Запрещенные вещества: сильная кислота и щелочь.

Часть 11:

Острая токсичность: данные отсутствуют

LC50: Нет данных

Часть XII: Экологические данные

Нет данных по данному разделу

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Часть XIII: Утилизация

Метод утилизации отходов: Перед утилизацией ознакомьтесь с соответствующими национальными и местными законами и нормативными актами. По возможности утилизируйте.

Часть XIV: Информация о доставке

Номер опасного груза: нет информации

Категория упаковки: Z01

Меры предосторожности при транспортировке: Упаковка должна быть полной при отправке, а погрузка должна быть надежной. Во время транспортировки необходимо следить за тем, чтобы контейнер не протекал, не сложился, не упал и не повредился. Категорически запрещается смешивать с окислителями, галогенами, пищевыми химикатами и т.д. Во время транспортировки он должен быть защищен от воздействия солнца, дождя и высокой температуры. Транспортные средства должны быть тщательно очищены после транспортировки.

Часть XV: Нормативная информация

Нормативная информация: Правила управления безопасностью опасных химических веществ (обнародованы Государственным советом 17 февраля 1987 г.), Подробные правила применения Правил безопасного управления опасными химическими веществами (Hua Lao Fa [1992] No 677), Правила безопасного использования химических веществ на рабочем месте ([1996] Lao Vu Fa No 423) и другие законы и нормативные акты, которые предусмотрели соответствующие положения о безопасном использовании, производстве, хранении, транспортировке, погрузке и разгрузке опасных химических веществ; Гигиенический стандарт для вольфрама в воздухе цеха (GB 16229-1996) предусматривает максимально допустимую концентрацию и метод обнаружения этого вещества в воздухе цеха.

Часть XVI: Информация о поставщиках

Поставщик: CTIA GROUP LTD

Тел.: 0592-5129696/5129595

Заявление об авторских правах и юридической ответственности



чистые вольфрамовые электроды от CTIA GROUP LTD

Глава 3 Подготовка и технология производства чистого вольфрамового электрода

Получение чистого вольфрамового электрода (WP-электрода) представляет собой высокоточный процесс, включающий междисциплинарную междисциплинарность, охватывающий минеральную металлургию, порошковую металлургию, обработку под давлением и обработку поверхности от добычи сырья до формования готовых электродов. Строгий контроль параметров процесса необходим на каждом этапе для обеспечения высокой чистоты, однородности и отличных сварочных характеристик электрода. В этой главе будет подробно рассмотрена подготовка и технология производства чистых вольфрамовых электродов, включая подготовку сырья, порошковую металлургию, обработку под давлением, обработку поверхности, контроль качества, а также технические трудности и инновационные направления.

3.1 Подготовка сырья для чистого вольфрамового электрода

Подготовка чистых вольфрамовых электродов начинается с выбора и обработки сырья. Как редкий металл, вольфрам в основном существует в природе в виде вольфрамовой руды, и процесс его получения требует извлечения из руды соединений вольфрама высокой чистоты и дальнейшей переработки в вольфрамовый порошок высокой чистоты. Процесс на этом этапе напрямую определяет чистоту и производительность электрода.

3.1.1 Добыча и очистка вольфрамовой руды

Добыча и очистка вольфрамовой руды является первым этапом производства чистых вольфрамовых электродов, который в основном включает в себя забор вольфрамовой руды из природы и превращение ее в вольфрамовые соединения высокой чистоты. Мировые

ресурсы вольфрамовой руды в основном распределены в Китае, России, Канаде и Австралии, из которых на Китай приходится более половины мировых запасов. К распространенным вольфрамовым рудам относятся вольфрамиты (в основном FeWO_4 и MnWO_4) и шеелит (в основном CaWO_4). Благодаря высокому содержанию вольфрама и легким характеристикам обогащения, вольфрамиты являются основным сырьем для приготовления чистых вольфрамовых электродов.

Вольфрамовая руда обычно добывается открытым или подземным способами добычи, а добытая руда измельчается и измельчается для получения мелких частиц для последующего обогащения. Процессы обогащения включают гравитационное обогащение, флотацию и магнитную сепарацию, с помощью которых минералы вольфрама отделяются от других примесей (например, силикатов, сульфидов) с получением вольфрамовых концентратов с высоким содержанием вольфрама. Содержание вольфрама в вольфрамовом концентрате обычно должно соответствовать определенным стандартам, чтобы соответствовать требованиям очистки.

Процесс очистки в основном осуществляется гидрометаллургией. Сначала вольфрамовый концентрат вступает в реакцию с гидроксидом натрия или раствором карбоната натрия с получением раствора вольфрама натрия (Na_2WO_4). Этот процесс необходимо проводить при высокой температуре и давлении для повышения эффективности реакции. Впоследствии нерастворимые примеси, такие как кремний, железо и т.д., удаляются из раствора путем фильтрации. Затем вольфрамат натрия преобразуется в осадок вольфрамовой кислоты (H_2WO_4) путем добавления кислоты, такой как соляная кислота. После промывки и сушки осадок вольфрамовой кислоты дополнительно прокаливается с получением триоксида вольфрама (WO_3), который является промежуточным продуктом для приготовления вольфрамового порошка высокой чистоты. Весь процесс очистки должен строго контролировать значение pH, температуру и время реакции раствора, чтобы свести к минимуму остатки примесей, обеспечить чистоту триоксида вольфрама и заложить основу для последующего процесса.

3.1.2 Приготовление вольфрамового порошка высокой чистоты

Вольфрамовый порошок высокой чистоты является основным сырьем для приготовления чистого вольфрамового электрода, и его чистота, размер частиц и морфология напрямую влияют на производительность электрода. Для приготовления вольфрамового порошка обычно изготавливают из триоксида вольфрама в качестве исходного материала, который получают методом восстановления водорода. Конкретный процесс состоит из следующих этапов:

Во-первых, триоксид вольфрама помещают в восстановительную печь, а водород высокой чистоты вводят при высокой температуре, чтобы постепенно восстановить триоксид вольфрама до металлического порошка вольфрама. Процесс восстановления разделен на две стадии: первая стадия восстанавливает триоксид вольфрама до диоксида вольфрама (WO_2)

при более низкой температуре, а вторая стадия дополнительно восстанавливает металлический вольфрам до металла при более высокой температуре. Этот процесс требует точного контроля градиентов температуры, скорости потока водорода и времени восстановления, чтобы избежать чрезмерного или агломерированного количества частиц вольфрамового порошка. Восстановленный вольфрамовый порошок просеивается и очищается для удаления остаточных оксидов и примесей.

Чтобы соответствовать высоким требованиям к чистоте чистых вольфрамовых электродов, чистота вольфрамового порошка обычно должна достигать более 99,95%, а содержание примесей (таких как железо, никель, кремний, кислород) должно строго контролироваться на следовых уровнях. Кроме того, распределение частиц по размерам и морфология вольфрамового порошка также имеют решающее значение. Слишком большой размер частиц может привести к снижению плотности спеченного тела, в то время как слишком малый размер частиц может увеличить сложность сжатия. Таким образом, средний размер частиц вольфрамового порошка обычно контролируется в диапазоне 1-5 микрон, а морфология частиц предпочтительно близка к сферической для улучшения текучести и характеристик сжатия.

В последние годы некоторые предприятия внедрили передовые технологии, такие как плазменное восстановление или химическое осаждение из газовой фазы для получения ультрадисперсного вольфрамового порошка, что еще больше улучшает чистоту и однородность порошка. Несмотря на то, что эти технологии являются дорогостоящими, они дают значительные преимущества при производстве высокопроизводительных электродов.

3.2 Процесс порошковой металлургии чистого вольфрамового электрода

Порошковая металлургия является основным процессом получения чистого вольфрамового электрода, в ходе которого вольфрамовый порошок преобразуется в вольфрамовое тело высокой плотности и высокой прочности путем прессования, спекания и термической обработки. Этот процесс осуществляется при высоких температурах, давлениях и вакууме для обеспечения плотности и механических свойств электродов.

3.2.1 Прессование вольфрамового порошка

Литье под давлением вольфрамового порошка – это процесс переработки вольфрамового порошка высокой чистоты в сырое тело с определенной формой и прочностью. Целью данного этапа является формирование сырого тела с равномерной плотностью и достаточной прочностью, чтобы обеспечить основу для последующего спекания. Процесс прессования в основном включает в себя два метода: холодное изостатическое прессование и формование.

Холодное изостатическое прессование в настоящее время является наиболее часто используемым методом прессования, при котором вольфрамовый порошок загружается в гибкую форму (например, резиновую форму) и помещается в жидкую среду под высоким давлением для приложения равномерного давления (обычно 100-300 МПа) для плотного

связывания частиц порошка. Преимуществами холодного изостатического прессования являются равномерное распределение давления и постоянная плотность сырых тел, что подходит для производства больших или сложных форм. Формование подходит для мелкосерийного производства, а вольфрамовый порошок формируется за счет однонаправленного давления через стальную форму, но при этом легко получить градиенты плотности, что требует последующей оптимизации процесса.

Небольшое количество связующего вещества (например, поливинилового спирта или парафина) добавляется в процессе прессования для повышения прочности формирования сырого тела, но связующее вещество необходимо полностью удалить перед последующим спеканием, чтобы избежать остаточных примесей. Для того чтобы обеспечить однородность сырого тела, необходимо контролировать плотность наполнения и скорость прессования вольфрамового порошка, чтобы избежать образования трещин или расслоения.

3.2.2 Процесс спекания

Спекание — это процесс нагрева прессованного тела до температуры ниже точки плавления вольфрама, в результате чего частицы порошка соединяются в плотный материал. Высокая температура плавления вольфрама заставляет его спекаться при высокой температуре, обычно в пределах 2000-2800 °C. Чтобы избежать окисления, спекание происходит в вакуумной или водородной защитной атмосфере, а обычное оборудование включает вакуумные печи для спекания или печи для водородного спекания.

Процесс спекания делится на три стадии: ранний, средний и поздний. На начальной стадии, при низких температурах (около 1000-1500°C), связующее вещество в сыром теле испаряется, и на поверхности частиц начинают образовываться горловинные соединения. На средней стадии (1500-2200 °C) связывание между частицами усиливается, сырое тело сжимается, а плотность постепенно увеличивается. На более поздней стадии (2200-2800°C) зерно вырастает и сырое тело достигает максимальной плотности, которая обычно составляет 95-98% от теоретической плотности. Время и температура спекания должны точно контролироваться, слишком высокая температура или слишком длительное время выдержки могут привести к чрезмерному росту зерна и снижению механических свойств сырого тела.

Для повышения эффективности спекания некоторые компании используют технологию активного спекания, которая снижает температуру спекания за счет добавления следов металлов, таких как никель или кобальт, но при этом необходимо следить за тем, чтобы добавки не влияли на чистоту электрода. Кроме того, новые технологии, такие как индукционное спекание ПЧ и разрядное плазменное спекание (SPS), постепенно применяются для производства высокоэффективных вольфрамовых электродов, которые позволяют значительно сократить время спекания и повысить плотность сырого тела.

3.2.3 Термическая обработка и отжиг

Спеченный вольфрамовый корпус обычно имеет внутренние напряжения и

микроскопические дефекты, которые необходимо устранить с помощью термической обработки и отжига для улучшения микроструктуры. Термическая обработка обычно проводится в вакуумной или водородной атмосфере, температура контролируется на уровне 1200-1800°C, а время выдержки регулируется в соответствии с размерами и требованиями к производительности сырого тела. Термическая обработка очищает зерна и повышает ударную вязкость и технологичность сырого тела.

Отжиг — это удлиненный этап термической обработки, предназначенный для дальнейшего снижения твердости и хрупкости сырого тела и улучшения пластичности. Температура отжига обычно ниже, чем температура термической обработки (около 800-1200°C) и медленно охлаждается, чтобы избежать новых напряжений. Отожженный корпус больше подходит для последующей обработки давлением, такой как ковка и волочение проволоки.

3.3 Обработка под давлением чистого вольфрамового электрода

Обработка давлением — это процесс обработки спеченного тела в электродный стержень с точными размерами и формами, включая этапыковки, прокатки, волочения и волочения. Высокая твердость и хрупкость вольфрама затрудняют его обработку и требуют проведения при высоких температурах для улучшения пластичности.

3.3.1 Ковка и прокатка

Ковка — это процесс деформации спеченной заготовки при высокой температуре (около 1500-1800 °C) путем удара молотком или прессованием для изготовления заготовки стержня или пластины. Ковка очищает зерна и увеличивает плотность и прочность корпуса, но скорость деформации необходимо контролировать, чтобы избежать растрескивания. Ковка обычно выполняется в водородной защитной атмосфере для предотвращения окисления.

Прокатка — это дальнейший этап обработки послековки, при котором кованая заготовка раскатывается в более мелкие прутки или проволоку с помощью многопроходного прокатного стана. Температура прокатки постепенно снижается (от 1500°C до 1000°C) с целью улучшения качества поверхности и точности размеров материала. Периодический отжиг требуется в процессе прокатки для устранения деформационного упрочнения и внутренних напряжений, а также для обеспечения обрабатываемости заготовки.

3.3.2 Черчение и черчение

Волочение проволоки — это процесс протягивания прокатанных прутков через матрицу для изготовления вольфрамовой проволоки или электродной заготовки меньшего диаметра. Волочение проволоки осуществляется при высоких температурах (около 800-1200°C) с использованием твердосплавных или алмазных штампов, выдерживающих высокую твердость вольфрама. Смазочные материалы, такие как графит или дисульфид молибдена, наносятся в процессе волочения для снижения трения и износа штампа. Деформация каждого волочильного прохода обычно контролируется на уровне 10%-20%, а для восстановления пластичности требуется несколько сеансов отжига.

CTIA GROUP LTD

Pure Tungsten electrode Introduction

1. Overview of Pure Tungsten Electrode

Pure tungsten electrodes are electrode materials made primarily from high-purity tungsten (content $\geq 99.95\%$) through powder metallurgy processes, including pressing, sintering, forging, and precision machining. They contain no rare earth or alloying elements, making them the most basic type of tungsten electrodes. They are widely used in welding and plasma applications that require high temperatures and high current density.

2. Main Applications of Pure Tungsten Electrode

TIG Welding (Tungsten Inert Gas Welding): Especially suitable for DC welding of reactive metals such as magnesium, aluminum, and titanium (using DCEN).

Plasma Cutting and Spraying: Used as electrode materials for high-temperature ion sources.

Electronic Devices: Serves as cathodes or supporting components in vacuum devices such as electron tubes and discharge tubes.

High-Temperature Furnace Electrodes: Used as heating electrodes in resistance furnaces operating in inert atmospheres or vacuum environments.

Scientific Research and Experimental Applications: Involved in high-temperature and high energy-density experiments.

3. Basic Data of Pure Tungsten Electrode

Item	Parameter
Chemical Composition (W)	$\geq 99.95\%$
Melting Point	3410°C
Density	19.3 g/cm ³
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Hardness (HV)	340 – 400 HV
Thermal Conductivity	170 W/(m·K)
Operating Current Range	DCEN, depends on diameter and base metal
Electrode Diameter Range	Ø0.5 mm ~ Ø6.4 mm (customizable)
Electrode Length	Standard lengths: 150 mm and 175 mm (customizable)
Applicable Standard	ISO 6848 (Tungsten electrodes for welding)

4. Supply Form and Packaging of Pure Tungsten Electrode

Form: Polished rods, with customized ground tips

Standard Packaging: 10 pieces per plastic box, outer carton with shock-resistant protection

Customization: Dimensions, packaging, and tips can be customized

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Волочение – это расширение волочения проволоки для производства заготовок электродов меньшего диаметра (0,5-6,4 мм). Точность изготовления штампа напрямую влияет на качество поверхности и допуск на размеры электрода, поэтому необходимо регулярно проверять и заменять пресс-форму. Непрерывное производство волочения и волочения проволоки может значительно повысить эффективность, но температура и скорость волочения необходимо строго контролировать, чтобы избежать обрыва проволоки.

3.3.3 Формовка электродного стержня

Формовка электродного стержня заключается в разрезании, выпрямлении и удлинении тянутой вольфрамовой проволоки для изготовления электродного стержня, соответствующего техническим требованиям. Резка обычно выполняется механическим способом или лазерной резкой, чтобы убедиться, что рез плоский и без заусенцев. Правка производится роликовым выпрямителем для устранения изгиба и внутреннего напряжения стержня. Поперечная резка регулируется в соответствии с потребностями заказчика, а общая длина составляет 75-600 мм. Сформированные стержни проверяются на поверхность на отсутствие трещин, царапин или следов окисления.

3.4 Обработка поверхности чистого вольфрамового электрода

Обработка поверхности является заключительным этапом подготовки чистого вольфрамового электрода и направлена на улучшение качества поверхности, свариваемости и распознавания электрода, включая очистку, полировку и маркировку необработанной головки.

3.4.1 Чистка и полировка

Очистка – это процесс удаления масла, оксидов и загрязнений с поверхности формованного прутка, обычно с использованием комбинации химической очистки и ультразвуковой очистки. При химической очистке используется щелочной раствор (например, гидроксид натрия) или кислотный раствор (например, разбавленная азотная кислота) для удаления оксидного слоя, который затем промывается чистой водой и высушивается. При ультразвуковой очистке используются высокочастотные вибрации для удаления мельчайших частиц и обеспечения чистоты поверхности.

Полировка является важным этапом в улучшении качества поверхности электрода, обычно с помощью механической или электрохимической полировки. При механической полировке используется шлифовальный круг или полировальная ткань для удаления микроскопических царапин на поверхности, а электрохимическая полировка делает поверхность более гладкой за счет электролиза. Шероховатость поверхности полированного электрода достигает Ra1,6-3,2 мкм, что способствует улучшению стабильности дуги и качества сварки.

3.4.2 Зеленая маркировка

Знак зеленого покрытия — это международный стандарт идентификации чистых вольфрамовых электродов, который соответствует стандартам AWS A5.12 и ISO 6848.

Процесс маркировки обычно покрывается зеленой нетоксичной краской (например, краской на водной основе для защиты окружающей среды) на одном конце электрода, которая имеет однородную толщину, износостойкость и не влияет на производительность сварки. Маркировка головки покрытия выполняется на чистой поверхности для обеспечения адгезии и долговечности. Некоторые компании используют автоматизированное распылительное оборудование для повышения эффективности и стабильности маркировки.

3.5 Контроль качества чистых вольфрамовых электродов

Контроль качества проходит на каждом этапе производства чистого вольфрамового электрода, от сырья до готовой продукции, и должен быть протестирован на нескольких уровнях, чтобы гарантировать производительность и надежность электрода.

3.5.1 Контроль качества сырья

Контроль качества сырья проводится в основном для вольфрамового концентрата, триоксида вольфрама и вольфрамового порошка. Вольфрамовый концентрат необходимо проверить на содержание вольфрама и примесей (например, серы, фосфора, кремния). Триоксид вольфрама проверяется на чистоту и примеси с помощью рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) или спектроскопии индуктивно связанной плазмы (ИСП-ОЭС). Вольфрамовый порошок необходимо проверить на распределение частиц по размерам, морфологию и содержание кислорода, чтобы убедиться, что он соответствует производственным требованиям.

3.5.2 Контроль производственного процесса

Мониторинг производственного процесса включает в себя обнаружение прессования, спекания,ковки, волочения проволоки и обработки поверхности в режиме реального времени. Плотность и размер спрессованного сырого тела необходимо проверить с помощью ультразвукового детектора, а плотность и размер зерна спеченного сырого тела необходимо проанализировать с помощью металлографического микроскопа. Во времяковки и волочения необходимо контролировать температуру, деформацию и качество поверхности, чтобы избежать трещин или дефектов. После обработки поверхности проверяется шероховатость поверхности и качество покрытия.

3.5.3 Проверка готовой продукции

Контроль готовой продукции включает в себя комплексную проверку химического состава, физических свойств, допусков по размерам и свариваемости. Химический состав анализируется с помощью ICP-OES или XRF для обеспечения $\geq 99,5\%$ содержания вольфрама. Физические свойства включают в себя испытания на плотность, твердость и проводимость. Допуски на размеры должны соответствовать нормам (e.g. ISO 6848), а отклонения диаметра должны контролироваться с точностью до $\pm 0,05$ мм. Производительность сварки: Эффективность завязывания дуги, стабильность дуги и расход электродов оцениваются путем моделирования сварочных испытаний TIG.

3.6 Технические трудности и инновации чистого вольфрамового электрода

Получение чистого вольфрамового электрода сопряжено с рядом технических трудностей, и в последние годы был достигнут значительный прогресс благодаря технологическим инновациям. Нижеследующее обсуждается с четырех аспектов: контроль высокой чистоты, оптимизация структуры зерна, повышение эффективности производства, а также охрана окружающей среды и устойчивое развитие.

3.6.1 Контроль высокой чистоты

Высокая чистота является основным требованием к чистому вольфрамовому электроду, а содержание примесей (таких как кислород, железо, углерод) необходимо контролировать на уровне ppm. К техническим сложностям можно отнести очистку сырья и внесение примесей в производственный процесс. Инновации включают использование технологий ионного обмена и экстракции растворителем для повышения чистоты триоксида вольфрама, использование высокочистого водорода и вакуумных сред для снижения загрязнения кислородом во время восстановления и спекания, а также разработку технологий поточного обнаружения примесей, таких как лазерно-индуцированная спектроскопия пробоя для мониторинга в режиме реального времени.

3.6.2 Оптимизация структуры зерна

Структура зерен напрямую влияет на механические свойства и сварочные характеристики электрода, при этом слишком крупные зерна приводят к повышенной хрупкости, а слишком мелкие зерна снижают прочность при высоких температурах. Техническая сложность заключается в контроле роста зерна во время спекания и обработки. Инновации включают использование нановольфрама в качестве сырья, измельчение зерна с помощью технологии быстрого спекания (например, SPS) и добавление ингибиторов следов (например, глинозема) для контроля роста зерна.

3.6.3 Повышение эффективности производства

Производственный цикл чистых вольфрамовых электродов длительный, а энергопотребление высокое, что ограничивает масштабное производство. К техническим трудностям относятся длительное время спекания, сложная обработка и высокие затраты на обслуживание оборудования. Инновации включают в себя разработку печей непрерывного спекания для повышения эффективности производства, использование автоматизированного оборудования для волочения проволоки и обработки поверхности для снижения затрат на рабочую силу, а также применение интеллектуальных производственных технологий, таких как промышленный Интернет вещей (IIoT), для оптимизации производственных процессов.

3.6.4 Охрана окружающей среды и устойчивое развитие

Производство вольфрамовых электродов сопряжено с высоким потреблением энергии и выбросами сточных вод, а также находится под давлением окружающей среды. Технические задачи включают в себя снижение энергопотребления и переработку вольфрамсодержащих отходов. Инновации включают использование возобновляемых источников энергии для

привода производственного оборудования, разработку технологии переработки сточных вод и создание системы переработки вольфрамовых отходов для достижения переработки ресурсов. Некоторые компании начали изучать модели «зеленого» производства, такие как использование нетоксичных растворителей и оборудования с низким уровнем выбросов.



чистые вольфрамовые электроды от CTIA GROUP LTD

Глава 4 Использование электродов из чистого вольфрама

Чистые вольфрамовые электроды (WP-электроды) играют важную роль в различных отраслях промышленности благодаря своей высокой температуре плавления, отличной электро- и теплопроводности и химической стабильности. В частности, в сварочной промышленности чистый вольфрамовый электрод является основным материалом для дуговой сварки вольфрамовым аргоном (сварка TIG), которая широко используется в сценариях сварки переменным током (AC). Кроме того, он обладает уникальными преимуществами в других отраслях промышленности, специальных областях и некоторых областях, не связанных со сваркой. Однако применение электродов из чистого вольфрама также имеет определенные ограничения. В этой главе будет представлен всесторонний обзор использования чистых вольфрамовых электродов, охватывающий сварочные работы, другие промышленные применения, специальные полевые применения и их ограничения.

4.1 Применение сварки

Сварка является наиболее важной областью применения чистого вольфрамового электрода, особенно при аргонодуговой сварке вольфрамом (сварка TIG), чистый вольфрамовый электрод стал незаменимым материалом благодаря своей высокой температуре плавления и стабильным характеристикам дуги. Ниже рассматривается его применение с трех аспектов: сварка TIG, сварка переменным током и сварка магнием, алюминием и их сплавами.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

4.1.1 Сварка вольфрамом в инертном газе (TIG)

Сварка вольфрамовым электродом в инертном газе (TIG) — это сварочный процесс, в котором используются вольфрамовые электроды для создания дуги под защитой инертного газа, такого как аргон или гелий, и известен своей высокой точностью, высоким качеством сварных швов и широкой применимостью материалов. Чистый вольфрамовый электрод является ранним типом электрода для сварки TIG, он может сохранять структурную целостность в среде высокой температуры дуги (около 6000-7000 °C) благодаря своей высокой температуре плавления (3422 °C) и превосходной стабильности при высоких температурах, снижая риск плавления или возгорания электрода. Это свойство делает его ценным в промышленных сценариях, где требуется высококачественная сварка.

При сварке TIG чистый вольфрамовый электрод действует как неплавкий электрод и в первую очередь отвечает за зажигание и поддержание дуги, в то время как присадочный металл (при необходимости) обеспечивается сварочной проволокой. Форма конца электрода оказывает значительное влияние на форму дуги и качество сварки. В процессе работы электроды из чистого вольфрама часто необходимо шлифовать до конической или полусферической формы для оптимизации концентрации и стабильности дуги. Защитный эффект инертного газа предотвращает окисление электродов и расплавленной ванны, обеспечивая чистоту и механические свойства сварного шва.

Чистые вольфрамовые электроды широко используются при сварке TIG, охватывая различные металлические материалы от тонких пластин до толстых пластин, особенно в сценариях с высокими показателями внешнего вида и производительности сварного шва. Например, при сварке нержавеющей стали, алюминиевых сплавов и магниевых сплавов чистые вольфрамовые электроды обеспечивают стабильную дугу и чистый сварной шов для удовлетворения потребностей прецизионного производства. Кроме того, гибкость сварки TIG делает ее пригодной как для ручной, так и для автоматизированной сварки, а чистые вольфрамовые электроды демонстрируют надежную работу в обоих режимах.

Несмотря на то, что чистые вольфрамовые электроды широко используются при сварке TIG, их высокая скорость выделения электронов (около 4,52 эВ) приводит к плохим показателям зарождения дуги, особенно при сварке постоянным током (DC). Таким образом, его основное применение сосредоточено в сценариях сварки переменным током, в то время как в сварке постоянным током в основном используются электроды, легированные оксидами редкоземельных элементов (например, цериевые вольфрамовые или лантановые вольфрамовые электроды). Тем не менее, чистые вольфрамовые электроды являются незаменимым выбором для сварки TIG благодаря своей низкой стоимости, отсутствию радиоактивности и пригодности для конкретных материалов.

4.1.2 Применение в сварке переменным током (AC).

Сварка переменным током (AC) является одним из основных сценариев применения чистых вольфрамовых электродов, поскольку она может образовывать стабильную дугу при

переменном действии положительных и отрицательных полупериодов переменного тока, и особенно подходит для сварки легких металлов оксидными пленками. При сварке переменным током используются переменные токи между электродом и заготовкой в качестве катода и анода, что позволяет достичь динамического равновесия дуги. Уникальное преимущество чистого вольфрамового электрода при сварке переменным током заключается в том, что он может образовывать стабильный полусферический электрод, и такая форма концов помогает равномерно распределить энергию дуги и улучшить качество сварки.

При сварке переменным током полусферический конец чистого вольфрамового электрода производит сильную электронную эмиссию во время положительного полупериода (электрод катод), образуя высокотемпературную дугу; В отрицательном полупериоде (заготовка является катодом) дуга производит эффект «катодной очистки» на оксидной пленке на поверхности заготовки, что эффективно удаляет оксидный слой и обеспечивает чистоту сварного шва. Это свойство делает чистые вольфрамовые электроды отличными при сварке алюминия, магния и их сплавов. Кроме того, сварочное оборудование может регулировать текущую форму волны при сварке переменным током (например, прямоугольную или синусоиду) для оптимизации характеристик дуги и проплавления, а чистые вольфрамовые электроды могут адаптироваться к различным настройкам формы волны, демонстрируя высокую адаптивность процесса.

Сценарии применения чистых вольфрамовых электродов в сварке переменным током включают строительство, судостроение, автомобильную промышленность и аэрокосмическую промышленность. Например, в строительной отрасли алюминиевые навесные стены и конструкционные детали часто свариваются с помощью AC TIG, а чистые вольфрамовые электроды могут обеспечить высококачественные сварные швы, отвечающие требованиям внешнего вида и прочности. В судостроении сварка алюминиевых корпусов требует стабильной дуги и чистых сварных швов, а чистые вольфрамовые электроды являются идеальными. Кроме того, его нерадиоактивные свойства дают ему преимущество в условиях, где безопасность имеет решающее значение, например, при производстве оборудования для пищевой промышленности.

Несмотря на то, что чистые вольфрамовые электроды хорошо работают при сварке переменным током, их стабильность дуги может немного уступать легированным электродам при высоких частотах или низких токах. Для повышения производительности оператору необходимо регулярно заточивать электродную часть, чтобы поддерживать ее в чистоте и под правильным углом. Кроме того, оптимизация параметров сварки (например, тока, расхода газа) имеет важное значение для обеспечения стабильности дуги и качества сварки.

4.1.3 Сварка магния, алюминия и их сплавов

Магний, алюминий и их сплавы широко используются в аэрокосмической, автомобильной и электронной промышленности благодаря своему легкому весу, высокой прочности и хорошей коррозионной стойкости. Однако эти материалы склонны к образованию плотных оксидных

пленок (например, Al_2O_3 , температура плавления около $2050\text{ }^{\circ}C$) на поверхности, что создает проблему для процесса сварки. Эффект «катодной очистки» чистых вольфрамовых электродов при сварке переменным током TIG делает их предпочтительным материалом для сварки магния, алюминия и их сплавов.

При сварке алюминиевым сплавом чистый вольфрамовый электрод удаляет оксидную пленку через отрицательный полупериод переменного тока, обеспечивая при этом достаточно тепла для расплавления подложки в течение положительного полупериода с образованием равномерной расплавленной ванны. Сварка алюминиевых сплавов (таких как 6061 и 7075) требует стабильной дуги и умеренного проплавления, и полусферический конец чистого вольфрамового электрода может удовлетворить эти требования. Кроме того, высокая теплопроводность алюминия (около $237\text{ Вт/м}\cdot\text{К}$) требует контролируемого подвода тепла во время сварки, а превосходная теплопроводность чистых вольфрамовых электродов помогает рассеивать тепло дуги и снижает риск перегрева.

Магниевого сплавы (например, AZ31, AZ91) широко используются в легких конструкциях из-за их низкой плотности (около $1,74\text{ г/см}^3$), но их низкая температура плавления (около $650\text{ }^{\circ}C$) и высокая химическая активность увеличивают сложность сварки. Чистые вольфрамовые электроды обеспечивают стабильную дугу при сварке магниевым сплавом, а вместе с соответствующей защитой от инертного газа (например, аргона или аргоно-гелиевой смеси) могут эффективно предотвращать окисление ванны расплава и обеспечивать качество сварного шва. В аэрокосмической промышленности чистые вольфрамовые электроды часто используются для сварки компонентов из магниевых сплавов (например, каркасов сидений, панелей фюзеляжа), поскольку они могут соответствовать требованиям высокой точности и качества.

Для того чтобы оптимизировать сварочный эффект магния, алюминия и их сплавов, следует отметить следующие моменты: во-первых, диаметр электрода следует подбирать в соответствии с толщиной и током заготовки, а обычно используемый диаметр составляет 1,6-3,2 мм; Во-вторых, расход защитного газа должен быть умеренным (около 8-15 л/мин) для обеспечения защиты бассейна расплава; Наконец, электродную часть необходимо регулярно полировать до полусферической формы для поддержания стабильности дуги. Широкое применение чистого вольфрамового электрода при сварке этих материалов в полной мере отражает его уникальные преимущества в области сварки переменным током.

4.2 Другие промышленные применения

Помимо сварки, вольфрамовые электроды также широко используются в других отраслях промышленности, включая контактную сварку, плазменную резку и напыление, термоэлектронное излучение, распыление мишеней, противовесы и нагревательные элементы. В этих областях используются преимущества высокой температуры плавления, высокой плотности и превосходных электрических свойств вольфрама.

CTIA GROUP LTD

Pure Tungsten electrode Introduction

1. Overview of Pure Tungsten Electrode

Pure tungsten electrodes are electrode materials made primarily from high-purity tungsten (content $\geq 99.95\%$) through powder metallurgy processes, including pressing, sintering, forging, and precision machining. They contain no rare earth or alloying elements, making them the most basic type of tungsten electrodes. They are widely used in welding and plasma applications that require high temperatures and high current density.

2. Main Applications of Pure Tungsten Electrode

TIG Welding (Tungsten Inert Gas Welding): Especially suitable for DC welding of reactive metals such as magnesium, aluminum, and titanium (using DCEN).

Plasma Cutting and Spraying: Used as electrode materials for high-temperature ion sources.

Electronic Devices: Serves as cathodes or supporting components in vacuum devices such as electron tubes and discharge tubes.

High-Temperature Furnace Electrodes: Used as heating electrodes in resistance furnaces operating in inert atmospheres or vacuum environments.

Scientific Research and Experimental Applications: Involved in high-temperature and high energy-density experiments.

3. Basic Data of Pure Tungsten Electrode

Item	Parameter
Chemical Composition (W)	$\geq 99.95\%$
Melting Point	3410°C
Density	19.3 g/cm ³
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Hardness (HV)	340 – 400 HV
Thermal Conductivity	170 W/(m·K)
Operating Current Range	DCEN, depends on diameter and base metal
Electrode Diameter Range	Ø0.5 mm ~ Ø6.4 mm (customizable)
Electrode Length	Standard lengths: 150 mm and 175 mm (customizable)
Applicable Standard	ISO 6848 (Tungsten electrodes for welding)

4. Supply Form and Packaging of Pure Tungsten Electrode

Form: Polished rods, with customized ground tips

Standard Packaging: 10 pieces per plastic box, outer carton with shock-resistant protection

Customization: Dimensions, packaging, and tips can be customized

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

4.2.1 Электроды контактной сварки

Контактная сварка — это процесс сварки, при котором резистивное тепло плавит металл за счет вырабатываемого электрического тока и широко используется в автомобилестроении, электронной промышленности и производстве бытовой техники. Чистые вольфрамовые электроды часто используются в контактных сварочных электродах из-за их высокой твердости, высокой проводимости и износостойкости, особенно при точечной сварке и сварке швов. При точечной сварке чистый вольфрамовый электрод действует как электродная головка и находится в непосредственном контакте с заготовкой, передавая высокий ток (тысячи ампер) для создания локализованной высокой температуры, которая плавит металл с образованием паяного соединения. Высокая температура плавления гарантирует, что электрод не размягчается и не прилипает к заготовке при высоких температурах, продлевая срок службы.

В электронной промышленности контактная сварка используется для сварки тонких металлических листов (например, медной фольги, никелевых листов) или миниатюрных компонентов, а высокая проводимость и стабильность электродов из чистого вольфрама обеспечивают точный термоконтроль во избежание перегрева и повреждения чувствительных компонентов. Кроме того, износостойкость чистых вольфрамовых электродов делает их пригодными для высокочастотной сварки, таких как непрерывная точечная сварка автомобильных деталей. Несмотря на то, что электроды из медных сплавов более распространены в некоторых сценариях контактной сварки, чистые вольфрамовые электроды обладают уникальными преимуществами при высокоточной и высокотемпературной сварке.

4.2.2 Плазменная резка и напыление

Плазменная резка — это процесс, в котором используется высокотемпературная плазменная дуга (до 20 000 °C) для плавления металла и сдувания расплавленного материала, и который широко используется при резке стали, алюминиевых сплавов и нержавеющей стали. Чистый вольфрамовый электрод, являющийся основным компонентом пистолета плазменной резки, отвечает за инициирование и поддержание плазменной дуги. Высокая температура плавления и низкое давление пара позволяют ему оставаться стабильным при экстремально высоких температурах, снижая расход электродов. Кроме того, проводимость чистого вольфрамового электрода обеспечивает быстрый отклик дуги и подходит для высокоскоростной резки.

При плазменном напылении чистые вольфрамовые электроды используются для создания высокотемпературного плазменного газового потока для плавления и распыления керамических или металлических порошков на поверхность подложки с образованием износостойкого, коррозионностойкого или теплоизоляционного покрытия. Высокая термостойкость и химическая стабильность электродов из чистого вольфрама позволяют им выдерживать суровые условия процесса напыления, обеспечивая однородность и качество покрытия. Широкое использование плазменной резки и напыления стимулирует спрос на чистые вольфрамовые электроды в обрабатывающей промышленности, особенно в тяжелой

промышленности и инженерии поверхностей.

4.2.3 Термоэлектронные излучающие материалы

Вольфрамовые электроды обычно используются в устройствах, требующих теплового излучения электронов, таких как электронные микроскопы, электронно-лучевые трубки (ЭЛТ) и рентгеновские трубки, благодаря их высокой работе по ускорению электронов и отличным показателям тепловой электронной эмиссии. В этих устройствах чистый вольфрамовый электрод действует как катод, который излучает электроны при высоких температурах (около 2000-2500°C) для формирования электронного пучка или луча. Его высокая температура плавления и низкое давление пара обеспечивают длительную стабильную работу электрода в условиях высокотемпературного вакуума, а его химическая стабильность предотвращает реакции с остаточными газами.

Хотя вольфрамовые электроды, легированные оксидами редкоземельных элементов (например, вольфрамовые электроды с лантаном), работают лучше в некоторых областях термической электронной эмиссии, чистые вольфрамовые электроды по-прежнему широко используются в устройствах с высокими требованиями к безопасности из-за их нерадиоактивности и низкой стоимости. Кроме того, механическая прочность электродов из чистого вольфрама позволяет им выдерживать высокие напряжения и тепловые удары, что делает их пригодными для применения в мощной электронике.

4.2.4 Мишени для распыления

Распыление — это метод физического осаждения из газовой фазы (PVD), используемый для нанесения тонких пленок на поверхность подложки и широко используемый в полупроводниковой промышленности, производстве солнечных батарей и оптических покрытий. Благодаря своей высокой чистоте ($\geq 99,95\%$) и высокой плотности, чистый вольфрамовый электрод может быть использован в качестве мишени для распыления для высвобождения атомов вольфрама под бомбардировкой высокоэнергетическими ионами с образованием однородной вольфрамовой пленки. Эти пленки обладают отличной электропроводностью, коррозионной стойкостью и устойчивостью к высоким температурам, что делает их пригодными для производства микроэлектроники, датчиков и оптических компонентов.

Производство чисто вольфрамовых мишеней требует строгого контроля содержания примесей и структуры зерна для обеспечения эксплуатационных характеристик пленки. Высокая плотность и однородность электродов из чистого вольфрама делают их идеальными для высококачественных мишеней. Кроме того, высокая температура плавления и химическая стабильность гарантируют, что мишень может использоваться в течение длительного времени без деградации в условиях высокого вакуума и высокотемпературного распыления. С быстрым развитием полупроводниковой промышленности и новой энергетики спрос на чистые вольфрамовые электроды в качестве мишеней для распыления продолжает расти.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

4.2.5 Противовесы и нагревательные элементы

Высокая плотность электродов из чистого вольфрама (19,3 г/см³) делает их идеальными для противовесов и широко используется в аэрокосмической, автомобильной и прецизионной контрольно-измерительной технике. Например, в самолетах и спутниках вольфрамовые противовесы используются для балансировки конструкций и повышения устойчивости полета; В гонках вольфрамовые грузы используются для оптимизации распределения центра тяжести автомобиля. Высокая плотность чистого вольфрама позволяет ему обеспечивать больший вес при меньшем объеме, что превосходит традиционные свинцовые или стальные материалы противовеса. Кроме того, его нетоксичность и коррозионная стойкость соответствуют экологическим требованиям.

Что касается нагревательных элементов, то чистые вольфрамовые электроды часто используются в нагревательных элементах высокотемпературных печей (таких как вакуумные печи и графитовые печи) из-за их высокой температуры плавления и отличной проводимости. В этих устройствах вольфрамовые электроды способны выдерживать температуру выше 2000°C, обеспечивая стабильный источник тепла для процессов плавления металлов, спекания керамики и термообработки. Несмотря на то, что вольфрам подвержен окислению при высоких температурах, защита от инертного газа или вакуума может эффективно продлить срок его службы.

4.3 Применение в специальных областях

Электроды из чистого вольфрама имеют важное применение в специальных областях, таких как аэрокосмическая, военная и атомная промышленность, где к производительности, безопасности и надежности материалов предъявляются чрезвычайно высокие требования.

4.3.1 Аэрокосмическая промышленность

Аэрокосмическая промышленность предъявляет чрезвычайно строгие требования к качеству сварки и свойствам материалов, и применение чистых вольфрамовых электродов в этой области в основном сосредоточено на сварке TIG алюминиевых, магниевых сплавов и титановых сплавов. Например, при изготовлении фюзеляжей самолетов, компонентов двигателей и конструкций спутников алюминиевые сплавы (такие как 7075, 6061) широко используются благодаря своему легкому весу и высокой прочности. Чистые вольфрамовые электроды свариваются с помощью технологии AC TIG для удаления оксидной пленки и получения высококачественного сварного шва, отвечающего требованиям прочности и коррозионной стойкости аэрокосмических компонентов.

Кроме того, магниевые сплавы все чаще используются в аэрокосмической отрасли, например, при производстве трансмиссий вертолетов и каркасов сидений. Стабильная дуга и чистота сварных швов чистых вольфрамовых электродов при сварке магниевыми сплавами обеспечивают надежность и малый вес компонентов. Кроме того, отсутствие радиоактивности чистых вольфрамовых электродов делает их пригодными для изготовления компонентов космических аппаратов с чрезвычайно высокими требованиями безопасности,

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

таких как корпуса спутников и топливные баки.

В аэрокосмической отрасли вольфрамовые электроды также используются для плазменного напыления и производства противовесов. Плазменное напыление используется для формирования термостойкого покрытия на поверхности лопаток двигателя, а стабильность чистых вольфрамовых электродов обеспечивает качество покрытия. Противовесы используются для балансировки конструкций космических аппаратов, а высокая плотность и нетоксичность чистого вольфрама делают его идеальным выбором.

4.3.2 Военная промышленность

Военная промышленность требует высокой термостойкости, коррозионной стойкости и высокой прочности материалов, а применение чистых вольфрамовых электродов в этой области включает в себя сварку и обработку бронетанковой техники, компонентов ракет и систем вооружения. Например, алюминиевые сплавы и нержавеющая сталь широко используются при изготовлении бронетанковой техники, а чистые вольфрамовые электроды обеспечивают высокое качество сварных швов за счет сварки TIG, повышая прочность конструкции. При изготовлении компонентов ракет, таких как корпуса головок самонаведения, точное управление дугой чистых вольфрамовых электродов удовлетворяет потребность в высокоточной сварке.

Кроме того, чистые вольфрамовые электроды также играют роль в плазменной резке и термической электронной эмиссии в военной промышленности. Плазменная резка используется для обработки высокопрочных стальных и титановых сплавов, а высокая термостойкость чистых вольфрамовых электродов обеспечивает эффективность и точность резки. Тепловая электронная эмиссия используется в военных радарх и электронных лампах для аппаратуры связи, а стабильность чистых вольфрамовых электродов обеспечивает длительную работу оборудования. Нерадиоактивная природа чистых вольфрамовых электродов делает их еще более выгодными в военной области, особенно в сценариях, где предъявляются строгие требования к окружающей среде и безопасности персонала.

4.3.3 Атомная промышленность

Атомная промышленность предъявляет чрезвычайно высокие требования к радиационной стойкости, высокой термостойкости и химической стабильности материалов, а чистые вольфрамовые электроды имеют важное применение в производстве компонентов ядерных реакторов, корпусов топливных стержней и экспериментального оборудования. Например, чистые вольфрамовые электроды часто используются для сварки алюминиевых сплавов и нержавеющей стали в системах охлаждения и конструктивных деталях ядерных реакторов, так как обеспечивают бездефектные сварные швы, отвечающие требованиям по радиационной стойкости и коррозионной стойкости.

В исследованиях в области термоядерного синтеза (например, в Международном экспериментальном реакторе термоядерного синтеза (ИТЭР)) вольфрам используется в качестве плазмоориентированного материала (ПФМ) из-за его высокой температуры

плавления и низкой скорости распыления. Чистые вольфрамовые электроды играют роль в сварке и обработке этих компонентов, а их высокая чистота и стабильность обеспечивают производительность компонентов. Кроме того, чистые вольфрамовые электроды также используются в противовесах и нагревательных элементах в атомной промышленности, таких как противовесы для радиационной защиты и нагревательные элементы для высокотемпературных экспериментальных печей.

Нерadioактивная природа чистых вольфрамовых электродов делает их более выгодными в атомной промышленности, и они лучше работают с точки зрения безопасности и защиты окружающей среды, чем торированные вольфрамовые электроды (содержащие радиоактивный оксид тория). Стремительное развитие атомной промышленности открывает широкие перспективы для применения чистых вольфрамовых электродов.

4.4 Ограничения приложения

Хотя чистые вольфрамовые электроды широко используются в различных областях, их эксплуатационные ограничения ограничивают их использование в определенных сценариях. Ниже анализируются его недостатки с двух аспектов: сварка постоянным током и износ электродов и срок службы.

4.4.1 Недостатки сварки постоянным током (DC).

Основным ограничением чистых вольфрамовых электродов при сварке постоянным током (DC) является их высокая электронная работа (около 4,52 эВ), что приводит к затрудненному зарождению дуги и нестабильности дуги. При положительном соединении постоянным током (DCSP) электрод в качестве катода должен излучать большое количество электронов, а высокая работа по утечке электронов заставляет дугу начинаться при более высоком напряжении, что подвержено скачкам или прерываниям дуги. При обратной полярности постоянного тока (DCRP) электрод в качестве анода подвергается более высокой тепловой нагрузке, что может привести к перегреву и быстрому расходу.

Напротив, электроды, легированные оксидами редкоземельных элементов (например, цериевые вольфрамовые и лантановые вольфрамовые электроды), имеют меньшую работу ускорения электронов (около 2,7-3,2 эВ) и обладают лучшими характеристиками инициирования дуги и стабильностью дуги при сварке постоянным током. Таким образом, применение чистых вольфрамовых электродов в сварке постоянным током в основном ограничено сценариями с низкими потребностями, такими как слаботочная сварка или временный ремонт, в то время как при высокоточной или высокоэффективной сварке постоянным током в основном используются легированные электроды. Чтобы устранить это ограничение, производительность инициирования дуги может быть улучшена за счет оптимизации сварочного оборудования (например, высокочастотного зажигания дуги) или регулировки угла в верхней части электрода, но эффект ограничен.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

4.4.2 Износ электродов и проблемы со сроком службы

Еще одним серьезным ограничением чистых вольфрамовых электродов является износ электродов и проблемы со сроком службы. При сварке большим током (>200 А) или длительной непрерывной сварке высокая конечная температура чистого вольфрамового электрода из-за высокой электронной работы ускоряет испарение и потери материала при горении, что проявляется в постепенном укорочении длины электрода и изменении морфологии конца. При сварке переменным током образование полусферических концов частично замедляет износ, но скорость износа остается высокой при высоких частотах или при нестабильных токах.

Кроме того, загрязнение поверхности электродов (например, оксидами, маслом) или неправильное обращение (например, контакт электродов с расплавленной ванной) может еще больше усугубить износ и снизить стабильность дуги. Чтобы продлить срок службы электрода, электродную часть необходимо регулярно полировать, чтобы поддерживать ее чистоту и правильную форму конца. Однако частое шлифование увеличивает эксплуатационные расходы и время, особенно при автоматизированной сварке, что может повлиять на производительность. Напротив, легированные электроды, такие как лантановые вольфрамовые электроды, обычно имеют более длительный срок службы из-за более низкого расхода и более стабильной морфологии конца.

Чтобы преодолеть проблемы износа и срока службы, производительность может быть повышена за счет оптимизации параметров сварки (например, снижения тока, повышения газозащиты), улучшения процессов производства электродов (например, измельчение зерна) или разработки новых материалов электродов. Однако эти усовершенствования могут привести к увеличению затрат и потребовать компромисса между производительностью и экономичностью.



Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Глава 5 Производственное оборудование для электродов из чистого вольфрама

Производство чистых вольфрамовых электродов (WP-электродов) включает в себя сложную технологическую цепочку от обработки сырья до проверки готовой продукции, каждая из которых требует специализированного оборудования для обеспечения качества продукции и эффективности производства. Производственное оборудование охватывает обработку сырья, порошковую металлургию, обработку под давлением, обработку поверхности, тестирование и контроль качества, а также автоматизацию и интеллектуальные системы. Это оборудование должно обладать высокой точностью, высокой надежностью, высокой термостойкостью и коррозионной стойкостью, чтобы соответствовать высоким температурам плавления и высокой твердости вольфрама. В этой главе будут подробно рассмотрены различные типы оборудования, используемого в производстве чистых вольфрамовых электродов, а также проанализированы их функции, характеристики и тенденции технологического развития.

5.1 Оборудование для обработки сырья для чистого вольфрамового электрода

Транспортировка сырья является первым этапом в производстве чистых вольфрамовых электродов, который включает в себя процесс преобразования вольфрамовой руды в вольфрамовый порошок высокой чистоты, что требует использования специального оборудования для дробления, измельчения и химической очистки. Это оборудование должно быть эффективным, стабильным и экологически чистым, чтобы соответствовать требованиям к производству вольфрамового порошка высокой чистоты.

5.1.1 Оборудование для дробления и измельчения вольфрамовой руды

Вольфрамовая руда (например, вольфрамит или шеелит) добывается в шахте, а затем измельчается и измельчается для получения мелких частиц, пригодных для обогащения. Дробильно-измельчительное оборудование в основном включает в себя следующие типы:

Щековая дробилка: используется для первичного дробления, дробления крупных кусков вольфрамовой руды (размером до 1-2 м) на частицы размером 50-100 мм. Щековая дробилка измельчает руду за счет экструзии подвижной щеки и неподвижной щеки, а оборудование должно использовать высокопрочные износостойкие материалы (например, марганцевую сталь), чтобы справиться с высокой твердостью вольфрамовой руды. Современные щековые дробилки оснащены гидравлической системой регулировки, которая позволяет точно контролировать размер выгружаемых частиц и повышать эффективность дробления.

Конусная дробилка: используется для среднего и мелкого дробления, дальнейшего дробления руды после первичного дробления до 5-20 мм. Конусная дробилка обеспечивает непрерывное дробление за счет экструзионного действия вращающегося конуса и неподвижного конуса и подходит для работы с рудами высокой твердости. Его преимуществами являются большая степень дробления и высокая производительность, что подходит для крупномасштабной переработки вольфрамовой руды.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Шаровая мельница: используется для измельчения, измельчения измельченной руды в мелкий порошок размером 0,1-1 мм при подготовке к обогащению. Шаровая мельница измельчает материалы за счет столкновений и трения между стальными шарами и рудой, а футеровка изготавливается из износостойкой керамики или стали с высоким содержанием хрома для продления срока службы. Шаровые мельницы с мокрым подачей часто используются для измельчения вольфрамовой руды, что снижает загрязнение пылью и повышает эффективность измельчения за счет добавления водной среды.

Вибрационный грохот: используется для сортировки, отсеивания минерального порошка с однородным размером частиц. Вибрационное сито разделяет материалы с различными размерами частиц с помощью высокочастотной вибрации, чтобы гарантировать постоянство размера частиц минерального порошка, поступающего в процесс обогащения. Современные вибрационные грохоты оснащены многослойными ситами, которые позволяют осуществлять многоступенчатую сортировку и повышать эффективность переработки полезных ископаемых.

Эти установки должны быть оснащены системой обеспыливания для снижения загрязнения пылью и автоматизированной системой управления для оптимизации рабочих параметров, таких как давление дробления, время измельчения и частота грохочения. В последние годы интеллектуальное дробильное оборудование постепенно становится популярным, а мониторинг в режиме реального времени и диагностика неисправностей с помощью датчиков и ПЛК (программируемых логических контроллеров) повысили эффективность и безопасность производства.

5.1.2 Оборудование для химической очистки

Химическая очистка — это процесс преобразования вольфрамового концентрата в триоксид вольфрама высокой чистоты (WO_3) или вольфрамовую кислоту (H_2WO_4), который включает в себя такие этапы, как растворение, фильтрация, осаждение и сушка. Обычно используемое оборудование включает в себя:

Реакционный котел: используется для реакции вольфрамового концентрата с гидроксидом натрия или карбонатом натрия с получением раствора вольфрамата натрия. Реакторы должны быть изготовлены из коррозионностойких материалов, таких как нержавеющая сталь или эмаль, чтобы выдерживать высокие температуры, давление и сильные щелочные среды. Современные реакторы оснащены системами перемешивания и устройствами контроля температуры для обеспечения равномерных и эффективных реакций.

Фильтр: используется для удаления нерастворимых примесей (таких как силикаты, соединения железа) в растворе. Вакуумные фильтры или фильтр-прессы обычно используются для обеспечения чистоты раствора за счет многоступенчатой фильтрации. Фильтр должен быть оснащен коррозионностойкой фильтровальной тканью и автоматизированной системой очистки, чтобы продлить срок службы и сократить ручное

обращение.

Отстойник: используется для преобразования раствора вольфрамата натрия в осадок вольфрамовой кислоты в результате реакции подкисления. Отстойники должны быть оснащены точным контролем pH и перемешиванием, чтобы обеспечить однородность и чистоту осажденных частиц. В некотором передовом оборудовании используются онлайн-мониторы pH для регулировки количества добавляемой кислоты в режиме реального времени.

Сушильный шкаф: используется для сушки осадков вольфрамовой кислоты или триоксида вольфрама, приготовления сухих промежуточных продуктов. Сушильные шкафы обычно нагреваются электрическим или газом и должны иметь равномерное температурное поле и защиту от инертного газа для предотвращения окисления материала. Современные сушильные шкафы оснащены вакуумными системами, которые позволяют сушить при более низких температурах и снижают энергопотребление.

Оборудование для химической очистки должно строго контролировать технологические параметры (такие как температура, давление, концентрация раствора), чтобы гарантировать, что чистота триоксида вольфрама достигает более 99,95%. Кроме того, оборудование для очистки сточных вод, такое как нейтрализационные баки и отстойники, является неотъемлемой частью процесса очистки вольфрамсодержащих отходов жидкостей, что соответствует экологическим требованиям.

5.2 Оборудование для порошковой металлургии для чистого вольфрамового электрода

Порошковая металлургия является основным процессом производства чистых вольфрамовых электродов, включающим прессование вольфрамового порошка, спекание и термическую обработку, для которой требуется высокоточное, устойчивое к высоким температурам оборудование для обеспечения плотности и производительности сырого тела.

5.2.1 Прессы

Пресс используется для прессования вольфрамового порошка высокой чистоты в сырое тело с определенной формой и прочностью, а обычное оборудование включает в себя:

Холодный изостатический пресс: Равномерное давление (100-300 МПа) прикладывается к вольфрамовому порошку жидкой средой высокого давления (например, водой или маслом) для получения сырого тела с равномерной плотностью. В холодных изостатических прессах используются гибкие формы (например, резиновые или полиуретановые формы) и они подходят для производства больших или сложных форм. Оборудование должно быть оснащено насосами высокого давления и системами уплотнения для обеспечения стабильного давления и безопасной работы. Современные холодные изостатические прессы оснащены автоматизированными системами загрузки и разгрузки для повышения эффективности производства.

Формовочная машина: одностороннее давление подается на вольфрамовый порошок через стальную матрицу, которая подходит для производства небольших партий или простой формы сырых тел. В формовочной машине должна использоваться высокопрочная форма (например, из твердого сплава), чтобы выдерживать высокую твердость вольфрамового порошка. Оборудование обычно оснащается системой гидравлического или механического привода, позволяющей точно контролировать усилие прессования (50-200 МПа) и скорость прессования.

Пресс должен быть оснащен устройством для наполнения порошка и системой распыления связующего для обеспечения однородности вольфрамового порошка и прочности формовки сырого тела. Кроме того, контроль пыли в процессе прессования имеет решающее значение и требует установки системы всасывания отрицательного давления для защиты рабочей среды.

5.2.2 Печи для спекания

Печь для спекания используется для нагрева прессованного сырого тела до 2000-2800°C, так что частицы вольфрамового порошка объединяются в сырое тело высокой плотности. К наиболее часто используемым печам для спекания относятся:

Вакуумная печь для спекания: спекание в вакуумной среде (10^{-3} - 10^{-5} Па) во избежание окисления вольфрамового корпуса. В вакуумной печи для спекания используются молибденовые или графитовые нагревательные элементы, и она имеет высокую однородность температурного поля, что подходит для производства электродов высокой чистоты. Оборудование оснащено многоступенчатым вакуумным насосом и системой охлаждения для быстрого выхода на высокий вакуум и контроля скорости охлаждения.

Печь для спекания водорода: спекание под защитой водорода высокой чистоты, водород позволяет уменьшить остаточные оксиды и улучшить чистоту зеленого тела. Печи для спекания водорода должны быть оснащены системами циркуляции и очистки газов для обеспечения чистоты водорода ($\geq 99,999\%$) и предотвращения утечек. В современных печах для спекания используется технология среднечастотного индукционного нагрева для быстрого нагрева и снижения энергопотребления.

Печь для спекания должна быть оснащена точной системой контроля температуры (например, инфракрасным термометром) и устройством контроля атмосферы, чтобы обеспечить стабильность процесса спекания и качество сырого тела. В последние годы в производстве высокопроизводительных вольфрамовых электродов все чаще используются разгрузочные печи плазменного спекания (СЭС), которые используют электрические импульсы для быстрого нагрева, чтобы сократить время спекания и измельчить зерна.

5.2.3 Вакуумные печи для термообработки

Вакуумная печь для термообработки используется для термической обработки и отжига спеченного сырого тела, устранения внутренних напряжений и улучшения микроструктуры.

Особенности включают в себя:

Высокотемпературная вакуумная среда: температура термообработки составляет 1200-1800 °С, а степень вакуума составляет 10^{-3} - 10^{-4} Па для предотвращения окисления зеленого тела. В корпусе печи используются молибденовые или вольфрамовые нагревательные элементы, а также система водяного охлаждения для защиты конструкции печи.

Точное регулирование температуры: термопары и ПИД-регуляторы достигают точности температуры $\pm 5^{\circ}\text{C}$ для обеспечения стабильных результатов термообработки. Часть передового оборудования оснащена многоступенчатыми программами контроля температуры, которые позволяют реализовывать сложные процессы термообработки.

Защита от инертного газа: Некоторые печи для термообработки поддерживают защиту от аргона или азота для конкретных технологических потребностей. Система циркуляции газа повышает тепловой КПД и снижает расход газа.

Вакуумные печи для термообработки требуют регулярного обслуживания нагревательных элементов и вакуумных систем для обеспечения длительной стабильной работы. Интеллектуальная печь для термообработки контролирует температуру заготовки и распределение напряжений в режиме реального времени с помощью датчиков для оптимизации параметров термообработки.

5.3 Оборудование для обработки под давлением чистого вольфрамового электрода

Обработка давлением является ключевым этапом в переработке спеченных сырых тел в электродные прутки, включающий в себя такие процессы, как ковка, прокатка и волочение проволоки, что требует использования высокотемпературного и высокопрочного технологического оборудования.

5.3.1 Кузнечные машины

Ковочная машина используется для деформации тела спеченной заготовки при высокой температуре (1500-1800°C) для изготовления заготовки стержня или пластины. Обычно используемое оборудование включает в себя:

Гидравлическая ковочная машина: высокое давление (1000-5000 кН) подается на гидравлическую систему для постепенной деформации сырого тела. Оборудование должно быть оснащено высокотемпературной нагревательной печью и системой водородной защиты для предотвращения окисления сырого тела. Гидравлическая ковочная машина подходит для производства крупногабаритных заготовок с высокой точностью деформации.

Пневматический молоток: Головка молота приводится в движение пневматикой для быстрого воздействия на заготовку, которая подходит дляковки заготовок малого и среднего размера. Пневматический молот гибок в эксплуатации, но величина деформации должна

контролироваться вручную, что подходит для мелкосерийного производства.

Ковочная машина должна быть оснащена высокопрочной матрицей и системой смазки для уменьшения трения между корпусом и штампом. Современные ковочные машины оснащены автоматической системой управления, которая может регулировать силу и температуруковки в режиме реального времени для повышения эффективности производства.

5.3.2 Прокатные станы

Прокатные станы используются для дальнейшей переработки кованных заготовок в тонкие прутки или проволоку, а обычное оборудование включает в себя:

Стан горячей прокатки: заготовки раскатываются в прутки диаметром 5-20 мм многократными проходами при температуре 1000-1500°C. На станах горячей прокатки используются карбид вольфрама или керамические валки, чтобы выдерживать высокую твердость вольфрама. Оборудование оснащено нагревательной печью и системой охлаждения для обеспечения температуры прокатки и качества поверхности.

Стан холодной прокатки: используется для чистовой прокатки для дальнейшего улучшения точности размеров и чистоты поверхности прутка. Станы холодной прокатки должны быть оснащены высокоточными валками и системами смазки для снижения деформационного упрочнения.

Прокатный стан требует регулярного технического обслуживания валков и приводной системы для обеспечения долгосрочной стабильности работы. На автоматизированных прокатных станах используются датчики для контроля усилий прокатки и размеров прутков для повышения стабильности обработки.

5.3.3 Волочильные машины

Волочильные станки используются для растяжения прокатанного прутка в электродные заготовки диаметром 0,5-6,4 мм, общее оборудование включает в себя:

Машина для волочения проволоки с одной матрицей: растягивает стержень один за другим через одну форму, которая подходит для мелкосерийного производства. Оборудование должно быть оснащено твердосплавными или алмазными штампами, чтобы выдерживать высокую твердость и трение вольфрама.

Машина непрерывного волочения проволоки: непрерывное вытягивание через несколько матриц для повышения эффективности производства. Машина непрерывного волочения проволоки оснащена системой смазки (например, графитовой эмульсией или дисульфидом молибдена) и устройством отжига для снижения риска обрыва проволоки.

Волочильные машины должны точно контролировать скорость и температуру растяжения

(800-1200°C), чтобы избежать трещин или дефектов поверхности. Современные волочильные машины управляются серводвигателями и ПЛК для достижения высокоточного вытягивания.

5.4 Оборудование для обработки поверхности чистого вольфрамового электрода

Оборудование для обработки поверхности используется для улучшения качества поверхности и распознавания электродов, включая очистку, полировку и маркировку головки покрытия.

5.4.1 Уборочное оборудование

Очистительное оборудование используется для удаления масла, оксидов и загрязнений с поверхности электрода, обычно используемое оборудование включает в себя:

Ультразвуковой очиститель: Удаление мелких поверхностных частиц с помощью высокочастотной ультразвуковой вибрации (20-40 кГц), обычно в щелочном растворе или чистой воде. Оборудование должно быть оснащено системой очистки с несколькими баками, которая поддерживает многоступенчатую очистку и промывку.

Химическая чистящая ванна: Использует разбавленные кислоты (например, разбавленную азотную кислоту) или щелочные растворы (например, гидроксид натрия) для удаления оксидного слоя. Резервуар для очистки должен быть изготовлен из коррозионностойкого материала (например, ПТФЭ) и оснащен системой перемешивания и подогрева.

Очистное оборудование должно быть оснащено системой очистки сточных вод для восстановления вольфрамсодержащей жидкости в соответствии с требованиями охраны окружающей среды. Автоматизированная линия очистки может осуществлять непрерывную очистку и повышать эффективность.

5.4.2 Полировальные машины

Полировальные машины используются для улучшения качества поверхности электродов, а обычное оборудование включает в себя:

Механическая полировальная машина: Поверхностные царапины удаляются с помощью шлифовального круга или полировальной салфетки с шероховатостью поверхности до Ra 0,2-0,4 мкм. Оборудование должно быть оснащено многоступенчатой полировальной головкой для поддержки грубой полировки и тонкой полировки.

Электрохимическая полировальная машина: сглаживает поверхность с помощью электролиза, улучшая отделку и коррозионную стойкость. Электрохимическая полировальная машина должна быть оснащена стабильным источником питания и системой циркуляции электролита для обеспечения равномерной полировки.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Полировальная машина должна регулярно менять полировальную среду и проверять состав электролита для поддержания качества полировки. Автоматизированное полировальное оборудование точно управляется с помощью робота-манипулятора.

5.4.3 Аппликаторное оборудование

Аппликатор используется для нанесения зеленой метки на один конец электрода и соответствует стандартам AWS A5.12 и ISO 6848. Обычно используемое оборудование включает в себя:

Автоматическая распылительная машина: зеленая краска на водной основе равномерно наносится на электрод через пистолет-распылитель. Машина оснащена системой точного позиционирования для обеспечения равномерной толщины покрытия (около 0,1-0,2 мм).

Сушильный шкаф: используется для отверждения покрытий, температура контролируется на уровне 100-150°C, с помощью циркуляции горячего воздуха или инфракрасного нагрева. Сушильная печь должна иметь быстрый нагрев и равномерное температурное поле, чтобы обеспечить адгезию покрытия.

Аппликаторное оборудование нуждается в регулярной очистке форсунок и проверке качества краски, чтобы избежать дефектов покрытия. Интеллектуальное оборудование для нанесения покрытий может автоматически регулировать положение распыления с помощью системы визуального распознавания.

5.5 Оборудование для испытаний и контроля качества чистого вольфрамового электрода

Оборудование для тестирования и контроля качества используется для того, чтобы убедиться, что химический состав, микроструктура и физические свойства электродов соответствуют стандартам, охватывающим испытания сырья, полуфабрикатов и готовой продукции.

5.5.1 Анализаторы химического состава

Анализаторы химического состава используются для проверки чистоты и содержания примесей в вольфрамовом порошке и электродах, а обычно используемое оборудование включает в себя:

Спектрометр с индуктивно связанной плазмой (ICP-OES): спектроскопия элементов анализируется путем возбуждения образца плазмой, а содержание вольфрама и примесей (таких как железо, никель, кислород) может быть обнаружено с точностью до ppm. Оборудование должно быть оснащено системой подачи газа высокой чистоты и пробоподготовки.

Рентгенофлуоресцентный анализатор (РФА): возбуждение образца рентгеновскими лучами для анализа флуоресцентного спектра, подходит для быстрого неразрушающего контроля.

Оборудование XRF отличается высокой портативностью и подходит для анализа в режиме реального времени в производственном цехе.

Анализаторы химического состава необходимо регулярно калибровать для обеспечения точности обнаружения. Интеллектуальный анализатор может автоматически создавать аналитические отчеты для повышения эффективности обнаружения.

5.5.2 Оборудование для анализа микроструктуры

Оборудование для анализа микроструктуры используется для определения размера зерна, дефектов и однородности микроструктуры электродов, а обычно используемое оборудование включает в себя:

Оптическая микроскопия: используется для наблюдения за зернистой структурой и микроскопическими дефектами поперечного сечения электрода с увеличением 50-1000х. Оборудование должно быть оснащено программным обеспечением для анализа изображений для количественной оценки размера зерна и распределения дефектов.

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ): сканирование образцов электронными пучками для анализа топографии поверхности и микроструктуры с нанометровым разрешением. СЭМ часто оснащаются энергодисперсионным спектрометром (ЭЦП) для анализа локальных химических составов.

Оборудование для анализа микроструктуры требует регулярного обслуживания источника электронного пучка и вакуумной системы для обеспечения качества изображения. Современное оборудование позволяет проводить 3D-реконструкцию и глубокий анализ внутренней структуры электрода.

5.5.3 Оборудование для испытания физических характеристик

Оборудование для тестирования физических характеристик используется для проверки плотности, твердости, проводимости и допусков по размерам электродов, обычно используемое оборудование включает в себя:

Тестер плотности: Плотность электродов измеряется по принципу Архимеда, чтобы убедиться, что теоретическая плотность (19,3 г/см³) составляет более 95%. Оборудование должно быть оснащено высокоточными весами и термостатическим резервуаром для воды.

Твердомер: твердомер по Виккерсу или Бринеллю используется для измерения твердости электрода (HV 350-450). Оборудование должно быть оснащено алмазным индентором и высокоточной системой нагрузки.

Тестер электропроводности: оценивает проводимость электродов путем измерения удельного

сопротивления электродов методом четырех зондов. Оборудование должно быть оснащено источником постоянного тока и микровольтметром для обеспечения точности измерений.

Измерительный прибор: Лазерный дальномер или измерительный прибор для измерения изображений используется для определения диаметра электрода ($\pm 0,05$ мм) и допуска по длине. Прибор поддерживает бесконтактное измерение и подходит для требований к высокой точности.

Оборудование для тестирования физических характеристик необходимо регулярно калибровать для обеспечения надежности данных. Автоматизированная испытательная система может реализовать многопараметрическое синхронное обнаружение и повысить эффективность.

5.6 Автоматизация и интеллектуальное оборудование для чистого вольфрамового электрода

Автоматизация и интеллектуальное оборудование является важным направлением модернизации производства чистых вольфрамовых электродов, которое повышает эффективность производства и стабильность качества за счет интеграции датчиков, систем управления и технологий анализа данных.

5.6.1 Применение автоматизированных производственных линий

Автоматизированная производственная линия объединяет дробление, прессование, спекание, обработку и обработку поверхности, а также осуществляет непрерывное производство с помощью роботов, конвейерных лент и автоматических систем управления. В состав ключевого оборудования входят:

Автоматическая система зарядки: используется для автоматического наполнения и прессования вольфрамового порошка, оснащена роботизированным манипулятором и тензодатчиком для обеспечения равномерности и точности зарядки.

Линия непрерывного спекания: сырое тело непрерывно подается в печь для спекания через конвейерную ленту и оснащено многоступенчатой системой контроля температуры для достижения эффективного спекания. Система поддерживает онлайн-мониторинг температуры тела и атмосферы заготовки.

Автоматическая обрабатывающая линия: интегрированное оборудование для ковки, прокатки и волочения проволоки, непрерывная обработка через управление ПЛК. Система оснащена устройством визуального распознавания для определения размера заготовки и дефектов поверхности.

Автоматизированные производственные линии снижают операционные ошибки и риски для безопасности за счет сокращения ручного вмешательства и повышения эффективности

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

производства. Некоторые передовые производственные линии поддерживают модульную конструкцию, которая позволяет гибко регулировать технологический процесс в соответствии с производственными потребностями.

5.6.2 Интеллектуальная система мониторинга

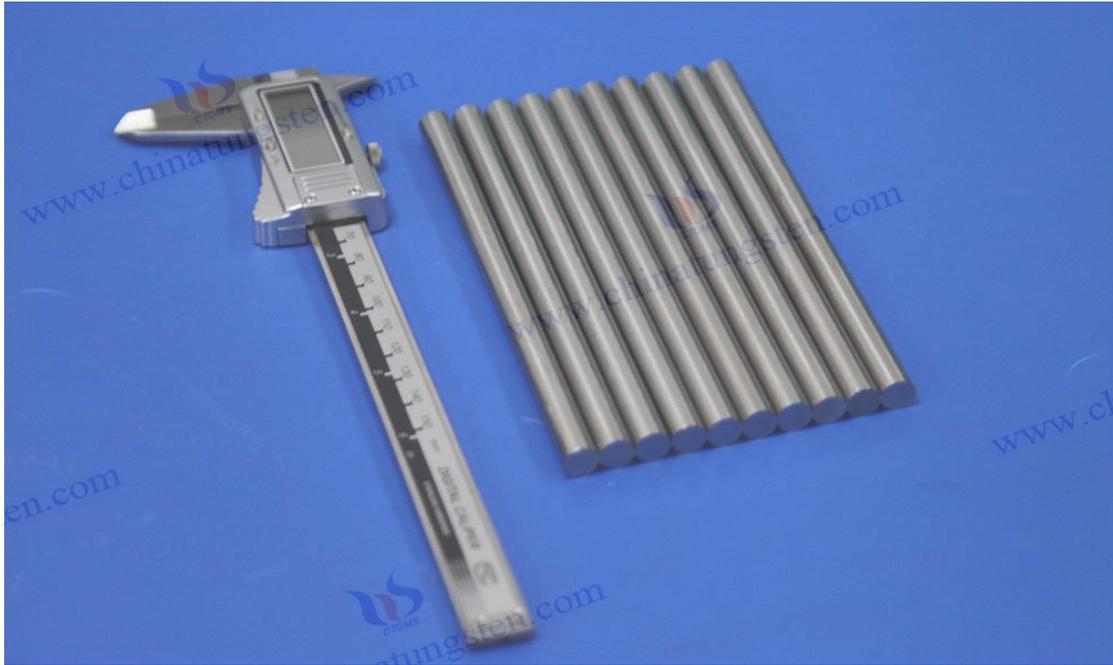
Интеллектуальная система мониторинга отслеживает параметры производственного процесса в режиме реального времени с помощью датчиков, интернета вещей и технологии анализа больших данных для повышения эффективности контроля качества и обслуживания оборудования. Ключевые технологии включают в себя:

Датчики оперативного мониторинга: в том числе датчики температуры, датчики давления и газоанализаторы, мониторинг температуры агломерационной печи в режиме реального времени, натяжения волочильной машины и состава защитной атмосферы. Данные передаются в центральную систему управления через интернет вещей.

Система диагностики неисправностей: анализирует данные о работе оборудования с помощью алгоритмов машинного обучения, прогнозирует потенциальные отказы и предоставляет рекомендации по техническому обслуживанию. Система сокращает время простоя оборудования и повышает непрерывность производства.

Система прослеживаемости качества: записывайте производственные параметры и данные испытаний каждой партии электродов, а также создавайте базу данных прослеживаемости. Система поддерживает технологию штрих-кодов или RFID, что удобно для управления качеством и запросов клиентов.

Интеллектуальная система мониторинга обеспечивает обратную связь с оператором в режиме реального времени через платформу визуализации данных (например, систему SCADA), поддерживая удаленный мониторинг и оптимизированное принятие решений. В будущем, с развитием технологии Индустрии 4.0, интеллектуальная система мониторинга будет еще больше интегрировать искусственный интеллект и облачные вычисления для реализации интеллектуального управления всем процессом.



Чистые вольфрамовые электроды от CTIA GROUP LTD

Глава 6 Отечественные и зарубежные стандарты на электроды из чистого вольфрама

Поскольку он является важным материалом для аргодуговой сварки вольфрама (сварка TIG), производительность и качество чистого вольфрамового электрода (электрода WP) напрямую влияют на сварочный эффект. Для обеспечения стабильности продукции и доступности на рынке во всем мире был разработан ряд стандартов, охватывающих химический состав, допуски по размерам, требования к производительности и методы испытаний. Эти стандарты формулируются международными организациями, национальными институтами и отраслевыми ассоциациями, формируя относительно полную нормативную систему. В этой главе мы подробно обсудим международные стандарты, китайские национальные стандарты и другие национальные стандарты для чистых вольфрамовых электродов, проанализируем их различия и посмотрим на тенденции развития стандартов.

6.1 Международные стандарты на чистый вольфрамовый электрод

Международные стандарты представляют собой единую спецификацию для глобальной торговли и применения чистых вольфрамовых электродов и в основном разрабатываются Американским обществом сварки (AWS), Международной организацией по стандартизации (ISO) и Европейским комитетом по стандартизации (CEN). Ниже основное внимание уделяется стандартам AWS A5.12, ISO 6848 и EN 26848.

6.1.1 AWS A5.12 (стандарт Американского института сварки)

AWS A5.12 — это стандарт вольфрамовых электродов, разработанный Американским обществом сварки, полное название — «Спецификация вольфрамовых и оксидных

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

дисперсных вольфрамовых электродов для дуговой сварки и резки», а последняя версия — AWS A5.12/A5.12M:2009. Этот стандарт широко используется в сварочной промышленности Северной Америки и во всем мире, охватывая классификацию, химический состав, размер и требования к характеристикам чистых вольфрамовых электродов и других легированных электродов.

Для чистых вольфрамовых электродов (код EWP, помечен зеленым цветом) AWS A5.12 требует, чтобы содержание вольфрама $\geq 99,5\%$ и следовых примесей (например, железа, никеля, кислорода). Поверхность электрода должна быть гладкой, без трещин, пористости или включений, а концы должны быть помечены зеленым цветом для легкой идентификации. В стандарте указан диапазон диаметров (0,5-6,4 мм) и длина (75-610 мм) электродов, с допусками, отвечающими требованиям прецизионного изготовления. Кроме того, AWS A5.12 содержит четкие правила упаковки и маркировки электродов, требующие маркировки номера партии, спецификации и информации о производителе для обеспечения прослеживаемости.

В AWS A5.12 особое внимание уделяется сварочным характеристикам электродов, и рекомендуется, чтобы чистые вольфрамовые электроды в основном использовались для сварки переменным током (AC), особенно подходящей для сварки алюминия, магния и их сплавов. Стандарт не определяет методы испытаний на стабильность дуги или расход электродов, но требует, чтобы производители предоставляли данные о производительности для справки пользователя. Этот стандарт является авторитетным на рынке Северной Америки, и многие международные производители также выпускают чистые вольфрамовые электроды в соответствии с его требованиями.

6.1.2 ISO 6848 (Международная организация по стандартизации)

ISO 6848 — это стандарт вольфрамовых электродов, сформулированный Международной организацией по стандартизации, полное название — «Дуговая сварка и резка — Неплавящие вольфрамовые электроды — Классификация», а последняя версия — ISO 6848:2015. Этот стандарт применим к мировой сварочной промышленности с целью унификации классификации, маркировки и требований к эксплуатационным характеристикам вольфрамовых электродов, а также содействия международной торговле и техническому обмену.

Стандарт ISO 6848 классифицирует электроды из чистого вольфрама как WP (зеленая маркировка) и требует содержания вольфрама $\geq 99,5\%$ и строгого контроля примесей. В стандарте подробно прописывается химический состав, допуск на размеры и качество поверхности электрода, требуется, чтобы на поверхности электрода не было явных дефектов, а марка покрытия должна быть износостойкой и не влиять на производительность сварки. Диаметр электродов варьируется от 0,5 до 10 мм, а длина обычно составляет от 50 до 175 мм, а конкретные размеры могут быть настроены в соответствии с потребностями пользователя. Стандарт ISO 6848 также требует, чтобы электроды были очищены и высушены перед упаковкой, чтобы предотвратить загрязнение или окисление.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Как и AWS A5.12, ISO 6848 рекомендует использовать чистые вольфрамовые электроды для сварки переменным током из-за их превосходного эффекта «катодной очистки» при сварке алюминиевых и магниевых сплавов. Стандарт содержит краткое описание метода эксплуатационных характеристик электрода, таких как эффективность зарождения дуги и стабильность дуги, которые должны быть оценены в стандартных условиях сварки, но не указывает конкретные параметры испытания. Благодаря своему международному характеру, ISO 6848 широко используется в Европе, Азии и Африке и является важным эталоном для мировой торговли вольфрамовыми электродами.

6.1.3 EN 26848 (европейский стандарт)

EN 26848 — это стандарт вольфрамовых электродов, разработанный Европейским комитетом по стандартизации (CEN), который в высшей степени соответствует ISO 6848, а полное название — «Сварочные материалы — вольфрамовые электроды для дуговой сварки в среде инертного газа и для плазменной сварки». Стандарт в основном используется в странах-членах ЕС, и последняя версия обновлена в соответствии со стандартом ISO 6848:2015.

Стандарт EN 26848 требует того же химического состава, что и ISO 6848 для чистых вольфрамовых электродов (WP, зеленая маркировка), с содержанием вольфрама $\geq 99,5\%$ и контролируемые примеси на следовых уровнях. Стандарт содержит требования к размеру, качеству поверхности и маркировке электродов в соответствии с ISO 6848, подчеркивая однородность и чистоту электродов. Стандарт EN 26848 также рекомендует хранить и транспортировать электроды, требуя использования влагостойкой, ударопрочной упаковки для защиты характеристик электродов.

Что касается областей применения, стандарт EN 26848 рекомендует использовать чистые вольфрамовые электроды для сварки переменным током TIG и плазменной сварки, особенно в автомобильной, аэрокосмической и судостроительной промышленности в Европе. Стандарт подробно не описывает методы испытаний производительности, но требует от производителей предоставления технических паспортов, описывающих сценарии применения и рекомендации по эксплуатации датчиков. Внедрение стандарта EN 26848 способствовало стандартизации европейской сварочной промышленности и применению чистых вольфрамовых электродов в области высокоточного производства.

6.2 Китайский национальный стандарт для чистого вольфрамового электрода

Являясь крупнейшим в мире производителем вольфрама и вольфрамовых электродов, Китай сформулировал ряд национальных стандартов и отраслевых стандартов для регулирования производства и применения чистых вольфрамовых электродов. Среди них GB/T 4190 является основным стандартом, а соответствующие отраслевые стандарты дополняют конкретные требования.

6.2.1 GB/T 4190 (стандарт вольфрамовых электродов)

GB/T 4190 — это китайский национальный стандарт, полное название — «Электроды из

вольфрама и вольфрамовых сплавов для сварки неплавкими электродами TIG», а последняя версия — GB/T 4190-2017. Этот стандарт применим к вольфрамовым электродам для сварки TIG и плазменной сварки, охватывая классификацию, химический состав, размер и требования к рабочим характеристикам чистых вольфрамовых электродов и других легированных электродов.

Для чистых вольфрамовых электродов (код WP) GB/T 4190 требуется содержание вольфрама $\geq 99,5\%$, а содержание примесей (таких как железо, кремний, углерод) должно контролироваться на следовых уровнях для обеспечения чистоты и сварочных характеристик электрода. Поверхность электрода должна быть гладкой, без трещин, оксидных слоев или масляных пятен, а торцы должны быть помечены зеленой маркировкой, в соответствии с международной практикой. Стандарт определяет диаметр (0,5-6,0 мм) и длину (50-300 мм) электрода для соблюдения допусков, необходимых для прецизионной обработки. Упаковка требует, чтобы электроды были упакованы в пластиковые или металлические коробки со спецификациями, номерами партий и датами производства.

GB/T 4190 рекомендует использовать чистые вольфрамовые электроды для сварки переменным током, особенно при сварке алюминия, магния и их сплавов. Стандарт содержит краткие положения по эксплуатационным испытаниям, таким как стабильность дуги, которая должна быть оценена с помощью имитационных сварочных испытаний, и расход электродов, который должен измеряться при стандартных токах. GB/T 4190 также требует, чтобы производители предоставляли сертификат качества, в котором указан химический состав и эксплуатационные характеристики электрода. Этот стандарт является обязательным на китайском рынке и является основной основой для производства и применения вольфрамовых электродов в Китае.

6.2.2 Соответствующие отраслевые стандарты

В дополнение к стандарту GB/T 4190 Китай также разработал ряд отраслевых стандартов, дополняющих спецификации для чистых вольфрамовых электродов в конкретных областях. Например:

YS/T 626-2018 «Вольфрамовый электрод»: разработан в цветной металлургии, подробно определяет химический состав, допуск на размеры и качество поверхности вольфрамового электрода, подходит для аэрокосмической и электронной промышленности. Этот стандарт предъявляет более строгие требования к содержанию примесей в чистых вольфрамовых электродах, что подходит для высокоточной сварки.

JB/T 12839-2016 «Технические условия на вольфрамовые электроды для сварки»: сформулирован Министерством машиностроительной промышленности, уделяя особое внимание производительности сварки и методам испытаний вольфрамовых электродов. Этот стандарт требует, чтобы чистые вольфрамовые электроды обладали хорошими характеристиками инициирования дуги и стабильностью дуги при сварке переменным током, что подходит для судостроения и сварки сосудов под давлением.

QJ 2088-2005 "Вольфрамовые электроды для аэрокосмической промышленности": разработан Министерством аэрокосмической промышленности, специально разработан для высоконадежной сварки в аэрокосмической отрасли. Стандарт требует чрезвычайно высокой чистоты, зернистой структуры и точности размеров чистых вольфрамовых электродов для обеспечения их работы в экстремальных условиях.

Эти отраслевые стандарты дополняют GB/T 4190, охватывая различные сценарии от общего производства до высокотехнологичных приложений, и способствуют развитию стандартизации в индустрии вольфрамовых электродов в Китае.

6.3 Другие национальные стандарты на чистый вольфрамовый электрод

В дополнение к международным стандартам и китайским стандартам, стандарты вольфрамовых электродов также были разработаны в других странах для удовлетворения потребностей местного рынка. Далее основное внимание уделяется японскому стандарту JIS Z 3233 и немецкому стандарту DIN EN ISO 6848.

6.3.1 JIS Z 3233 (Японский промышленный стандарт)

JIS Z 3233 — это японский промышленный стандарт, полное название — «Вольфрамовые электроды для дуговой сварки в среде инертного газа в защитном газе», а последняя версия — JIS Z 3233:2017. Этот стандарт применим к вольфрамовым электродам для сварки TIG, которые широко используются в автомобилестроении, электронике и прецизионном машиностроении в Японии.

JIS Z 3233 классифицирует чистые вольфрамовые электроды как WP, требующие содержания вольфрама $\geq 99,5\%$ и строгого контроля примесей. Поверхность электрода должна быть чистой и без дефектов, а торцы должны быть помечены зеленым цветом. Стандарт определяет диаметр (0,5-6,0 мм) и длину (50-200 мм) электродов с допусками, соответствующими ISO 6848. JIS Z 3233 рекомендует использовать чистые вольфрамовые электроды для сварки переменным током, особенно в алюминиевых и магниевых сплавах.

По сравнению с международными стандартами, JIS Z 3233 предъявляет более высокие требования к качеству поверхности электродов, и он должен быть без каких-либо видимых дефектов, чтобы удовлетворить потребности японской обрабатывающей промышленности в высокоточной обработке. Стандарт также предъявляет особые требования к упаковке и хранению электродов, такие как использование влагонепроницаемой упаковки и хранение в сухой среде. JIS Z 3233 имеет важное влияние на японском рынке, и многие японские производители сварочного оборудования разрабатывают свою продукцию в соответствии с его требованиями.

6.3.2 DIN EN ISO 6848 (немецкий стандарт)

DIN EN ISO 6848 является локализованной версией международного стандарта ISO 6848, принятого в Германии, опубликованного Немецким институтом стандартизации (DIN) в

соответствии со стандартом ISO 6848:2015. Стандарт широко используется в Германии и Центральной Европе, особенно в автомобильной, аэрокосмической и тяжелой промышленности.

Стандарт DIN EN ISO 6848 предъявляет те же требования к химическому составу, размерам и эксплуатационным характеристикам электродов из чистого вольфрама (WP, отмечен зеленым цветом), что и ISO 6848, подчеркивая высокую чистоту и качество поверхности электродов. Чистые вольфрамовые электроды рекомендуются для сварки переменным током TIG в стандартной комплектации и подходят для сварки алюминия, магния и их сплавов. Стандарт DIN EN ISO 6848 также требует от производителей предоставления подробной технической документации, включая анализ химического состава электродов и данные о сварочных свойствах.

Являясь производственным центром в Европе, Германия предъявляет чрезвычайно высокие требования к качеству сварочных материалов. Внедрение стандарта DIN EN ISO 6848 привело к стандартизации вольфрамовых электродов на немецком рынке, особенно в высокотехнологичном производстве (например, Mercedes-Benz и BMW).

6.4 Сравнение стандартов и отличия чистого вольфрамового электрода

Несмотря на то, что отечественные и зарубежные стандарты имеют высокую степень согласованности в классификации и применении чистых вольфрамовых электродов, существуют небольшие различия в химическом составе, допусках по размерам и методах эксплуатационных испытаний. Ниже приведен сравнительный анализ с трех аспектов.

6.4.1 Требования к химическому составу

Требования к химическому составу чистых вольфрамовых электродов в основном одинаковы в каждом стандарте, а содержание вольфрама должно быть $\geq 99,5\%$, но диапазон контроля примесей немного отличается. Например:

AWS A5.12: Не существует четкого верхнего предела общего количества примесей, таких как железо, никель, кремний и т. д., но примеси должны не влиять на производительность сварки. В стандарте больше внимания уделяется практическому применению электрода.

ISO 6848 и EN 26848: Указывает, что примеси (например, железо, углерод, кислород) должны составлять менее 0,05% для каждого элемента и 0,5% от общего количества \leq обеспечения высокой чистоты и стабильности дуги электрода.

GB/T 4190: Контроль примесей более строгий, и индивидуальное содержание железа, кремния, углерода и других элементов должно быть менее 0,03%, а содержание кислорода должно быть менее 0,02%, что подходит для высокоточной сварки.

JIS Z 3233: Требования к примесям аналогичны ISO 6848, но имеют более строгие требования к содержанию кислорода ($\leq 0,015\%$) для удовлетворения потребностей японской электронной

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

промышленности.

Эти различия отражают акцент страны на сценариях сварки и потребностях отрасли. ISO 6848 и GB/T 4190 уделяют больше внимания контролю чистоты и подходят для высокотехнологичного производства; AWS A5.12 является более гибким и адаптируемым к широкому спектру приложений.

6.4.2 Размеры и допуски

Диапазон размеров и требования к допускам электрода относительно одинаковы в разных стандартах, но конкретные детали отличаются:

Диапазон диаметров: AWS A5.12 и ISO 6848 поддерживают 0,5-10 мм, GB/T 4190 и JIS Z 3233 ограничены 0,5-6,0 мм, что отражает основные потребности различных рынков.

Допуски: AWS A5.12 допускает допуски по диаметру от $\pm 0,05$ мм (малый диаметр) до $\pm 0,13$ мм (большой диаметр); ISO 6848 и GB/T 4190 имеют более строгие требования и унифицированы до $\pm 0,05$ мм; JIS Z 3233 имеет допуск $\pm 0,03$ мм для электродов малого диаметра ($< 2,0$ мм), что отражает акцент Японии на прецизионное производство.

Длина: AWS A5.12 поддерживает крупногабаритное сварочное оборудование длиной до 610 мм для рынка Северной Америки; ISO 6848 и GB/T 4190 в основном относятся к 50-300 мм, которые подходят для общего оборудования; JIS Z 3233 в основном имеет толщину 50-200 мм, что подходит для небольшой прецизионной сварки.

Эти различия связаны со сварочным оборудованием и технологическими особенностями разных стран. Например, прецизионная сварка в Японии, как правило, отдает предпочтение коротким электродам малого диаметра, в то время как длинные электроды большого диаметра чаще используются в крупномасштабной промышленной сварке в Северной Америке.

6.4.3 Методы тестирования производительности

Еще одно различие между методом тестирования производительности заключается в стандарте, и каждый стандарт имеет разные степени спецификации для тестирования:

AWS A5.12: методы тестирования на производительность зарождения дуги, стабильность дуги или расход электродов не указаны, требуются только данные о производительности от производителя. Испытания в значительной степени опираются на отраслевые методы, такие как имитация сварки при стандартных токах.

Стандарты ISO 6848 и EN 26848: Характеристики зарождения дуги и стабильность дуги рекомендуется проводить в стандартных условиях сварки, но подробные параметры испытаний не приводятся. При сварке переменным током проводится проверка расхода

электродов, при этом регистрируется потеря длины в единицу времени.

GB/T 4190: Определяет более подробные методы испытаний, такие как производительность зарождения дуги при токе 50-150 А, стабильность дуги при колебании напряжения дуги и расход электродов при сварке переменным током 200 А.

jis Z 3233: Метод испытаний аналогичен ISO 6848, но требует, чтобы характеристики инициации дуги проводились при низких токах (<50 А) для удовлетворения потребностей электронной промышленности.

Эти различия отражают акцент каждой страны на производительности сварки. GB/T 4190 и jis Z 3233 имеют более строгие требования к испытаниям и подходят для высокоточных применений; AWS A5.12 более прагматичен и более гибок в тестировании.

6.5 Тенденции развития стандарта чистого вольфрамового электрода

С трансформацией и модернизацией мировой обрабатывающей промышленности, а также повышением осведомленности об окружающей среде, стандарты чистых вольфрамовых электродов развиваются в направлении повышения производительности, безопасности и экологичности. Ниже приведена информация о будущих тенденциях с двух точек зрения: требования к окружающей среде и безопасности, а также стандарты высоких эксплуатационных характеристик электродов.

6.5.1 Требования к окружающей среде и безопасности

Охрана окружающей среды и безопасность являются основными движущими силами при разработке стандартов на вольфрамовые электроды. Традиционные торий-вольфрамовые электроды постепенно ограничиваются из-за их радиоактивного оксида тория (ThO_2), а чистые вольфрамовые электроды являются экологически чистыми альтернативами, поскольку они не радиоактивны. В дальнейшем стандарт еще больше усилит следующие требования:

Безвредные материалы: Стандарт будет строго ограничивать содержание потенциально вредных примесей (например, свинца, кадмия) в электродах и способствовать использованию нетоксичных покрытий (например, зеленой маркерной краски на водной основе) для снижения загрязнения окружающей среды.

Охрана окружающей среды производственного процесса: Стандарт может вводить экологические требования в производственный процесс, такие как снижение потребления энергии, сокращение сточных вод и выбросов выхлопных газов, а также содействие переработке отходов. Будущие редакции ISO 6848 и GB/T 4190 могут относиться к ISO 14001 (Система экологического менеджмента).

Маркировка безопасности: Стандарт улучшит характеристики упаковки и маркировки

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

электродов, требуя четкой маркировки рекомендаций по нерадиоактивному и безопасному использованию для облегчения идентификации и эксплуатации пользователями. В AWS A5.12 стали требоваться подробные паспорта безопасности (SDS).

Повышение требований к охране окружающей среды и безопасности будет способствовать применению чистых вольфрамовых электродов в экологически чистом производстве, особенно в регионах со строгими экологическими нормами, таких как Европейский Союз и Китай.

6.5.2 Стандарты высокоэффективных электродов

С быстрым развитием аэрокосмической, новой энергетики и полупроводниковой промышленности требования к характеристикам вольфрамовых электродов постоянно растут. Будущие стандарты будут сосредоточены на следующих направлениях:

Требования к высокой чистоте: Стандарт может увеличить требование к содержанию вольфрама до 99,99% и еще больше снизить содержание примесей для удовлетворения требований сверхвысокой чистоты в полупроводниковой и атомной промышленности.

Стандартизация эксплуатационных испытаний: В стандарте будут разработаны более подробные методы испытаний, такие как характеристики зарождения дуги, которые должны быть протестированы в диапазоне многоточных токов (10-300 А), стабильность дуги, которая должна быть количественно определена с помощью высокочастотного анализатора дуги, и расход электродов, который должен быть оценен в различных условиях сварки.

Совместимость новых материалов: Стандарт может быть расширен на новые электроды на основе вольфрама (например, нанокристаллические вольфрамовые электроды), чтобы определить их химический состав, зернистую структуру и требования к эксплуатационным характеристикам для удовлетворения потребностей высокопроизводительной сварки.

Интеллектуальное применение: Стандарт может содержать требования, совместимые с интеллектуальным сварочным оборудованием, такие как размер и качество поверхности электрода, которые должны быть адаптированы к автоматизированному сварочному роботу для повышения эффективности производства.

Разработка стандартов для высокопроизводительных электродов будет способствовать применению чистых вольфрамовых электродов в высокотехнологичных производственных областях и в то же время будет способствовать инновациям в производственных процессах, таких как приготовление ультратонкого вольфрамового порошка и технология быстрого спекания.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности



чистый вольфрамовый электрод от CTIA GROUP LTD

Глава 7 Методы и технологии обнаружения чистого вольфрамового электрода

Испытание качества чистых вольфрамовых электродов (WP-электродов) является ключевой частью обеспечения их производительности и надежности, включая оценку химического состава, физических свойств, микроструктуры, сварочных свойств, а также экологических характеристик и безопасности. Методы обнаружения должны включать в себя высокоточные приборы и стандартизированные процедуры, чтобы соответствовать требованиям международных стандартов (например, AWS A5.12, ISO 6848) и китайских национальных стандартов (например, GB/T 4190). В этой главе будут подробно рассмотрены методы и методы обнаружения чистых вольфрамовых электродов, включая определение химического состава, испытание физических свойств, анализ микроструктуры, испытание сварных характеристик, испытание окружающей среды и безопасности, а также калибровку и стандартизацию испытательного оборудования.

7.1 Определение химического состава чистого вольфрамового электрода

Тестирование химического состава является основным средством оценки чистоты и содержания примесей в чистых вольфрамовых электродах, гарантируя, что содержание вольфрама составляет $\geq 99,5\%$, а примеси (например, железо, никель, кислород) находятся в контролируемом диапазоне. К распространенным методам относятся спектроскопия, рентгенофлуоресцентный анализ и химическое титрование.

7.1.1 Спектроскопический анализ (ИСП-ОЭС)

Опико-эмиссионная спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ИСП-ОЭС) – это высокоточный метод определения химического состава чистых вольфрамовых электродов,

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

который широко используется в лабораториях и на производственных площадках. ICP-OES возбуждает атомы образца высокотемпературной плазмой (около 8000-10 000°C) для получения спектра излучения определенной длины волны для анализа содержания вольфрама и примесей.

Процесс анализа включает в себя подготовку образца, растворение, анализ и обработку данных. Сначала образец электрода разрезают на мелкие кусочки и растворяют в растворе с кислотой, например, в смеси азотной кислоты и фтористоводородной кислоты. После того, как раствор вводится в прибор ICP-OES, он распыляется и возбуждается плазмой, а спектр излучения делится спектрометром и регистрируется детектором. Прибор рассчитывает концентрации элементов по стандартным кривым (на основе стандартных растворов известных концентраций) с пределами обнаружения до ppb (частей на миллиард) и подходит для обнаружения следовых примесей (например, железа, никеля, кремния, углерода).

Преимуществами ИСП-ОЭС являются высокая чувствительность, одновременный анализ нескольких элементов и широкий динамический диапазон, который подходит для жестких требований к вольфрамовым электродам высокой чистоты. Недостатки в том, что образец нужно растворять разрушающим образом, а инструмент стоит дорого. Современные приборы ICP-OES оснащены автоматизированными системами отбора проб и программным обеспечением для обработки данных для повышения эффективности и точности обнаружения.

7.1.2 Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА)

Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) — это метод неразрушающего контроля, используемый для быстрого анализа химического состава чистых вольфрамовых электродов. РФА облучает образец рентгеновскими лучами для возбуждения электронных переходов во внутренних слоях атомов, что приводит к характерной флуоресценции, а также анализирует содержание вольфрама и примесных элементов.

Для тестирования образец электрода помещается непосредственно на предметный столик РФА, что исключает необходимость в сложной подготовке. Прибор испускает высокоэнергетические рентгеновские лучи (например, Rh или W), а флуоресценция, испускаемая атомами образца, собирается детектором и преобразуется в спектр. РФА может обнаруживать широкий спектр элементов, от алюминия (Al) до урана (U), с пределами обнаружения в диапазоне ppm (частей на миллион), что делает его пригодным для быстрого контроля качества на производственной площадке.

Преимущества XRF заключаются в неразрушаемости, скорости (в течение нескольких минут) и простоте в эксплуатации, что делает его пригодным для периодических испытаний. Недостатком является то, что чувствительность ниже, чем у ИСП-ОЭС, а способность обнаружения легких элементов (например, кислорода, углерода) ограничена. Кроме того, поверхностное загрязнение может повлиять на результаты, поэтому важно убедиться, что

поверхность образца чистая. В последние годы портативное рентгенофлуоресцентное оборудование широко используется в полевых испытаниях, что повышает гибкость.

7.1.3 Химическое титрование

Химическое титрование — это традиционный аналитический метод, используемый для определения основного количества вольфрама в вольфрамовом электроде, пригодный для лабораторной валидации или обнаружения при отсутствии высокоточных измерительных приборов. Титрование количественно определяет количество вольфрама в результате химических реакций, обычно с использованием осаждения-титрования вольфрамата.

Процесс тестирования включает в себя растворение образца, осаждение вольфрамовой кислоты и анализ титрования. Сначала образец электрода растворяют в растворе кислоты (например, в смеси соляной кислоты и азотной кислоты) и добавляют гидроксид натрия для получения раствора вольфрамата натрия. Затем вольфрамовую кислоту осаждают путем добавления кислоты, фильтруют и промывают стандартным щелочным раствором (например, NaOH) и рассчитывают содержание вольфрама. Конечная точка титрования обычно определяется с помощью индикатора (например, фенолфталеина) или потенциометрического титратора.

Преимущества химического титрования заключаются в том, что оборудование простое, стоимость невысокая, а также оно подходит для малых и средних предприятий. Недостатком является то, что операция громоздкая, трудоемкая и позволяет обнаружить только основной элемент (вольфрам), и не может проанализировать следовые примеси. Кроме того, ручная обработка может привести к ошибкам, а условия эксперимента необходимо строго контролировать. Современные лаборатории в основном полагаются на ICP-OES или XRF, а химическое титрование используется в качестве дополнительного метода верификации.

7.2 Физические свойства чистого вольфрамового электрода

В ходе испытания физических свойств оцениваются плотность, твердость и проводимость чистых вольфрамовых электродов, чтобы убедиться, что их механические и электрические свойства соответствуют требованиям сварки. К распространенным методам относятся измерение плотности, определение твердости и измерение проводимости.

7.2.1 Измерение плотности

Плотность является важным показателем для измерения предельной плотности чистых вольфрамовых электродов, теоретическая плотность составляет $19,3 \text{ г/см}^3$, а плотность квалифицированных электродов обычно должна достигать 95%-98% теоретической плотности. Измерение плотности основано на принципе Архимеда, который вычисляет плотность путем измерения разницы в массе образца в воздухе и жидкости, обычно в воде или этаноле.

Испытательное оборудование включает в себя высокоточные электронные весы (точность

$\pm 0,0001$ г) и термостатический бак для жидкости. Сначала образец взвешивают на воздухе и регистрируют массу m_1 ; Затем его взвешивают путем погружения в жидкость и записывают массу m_2 . Плотность рассчитывается по формуле: $\rho = m_1 / (m_1 - m_2) \times \rho_0$, где ρ_0 - плотность жидкости. В ходе испытания необходимо убедиться, что поверхность образца чистая и не содержит пузырьков воздуха.

Преимущество измерения плотности заключается в том, что оно простое, точное и подходит как для производственных площадок, так и для лабораторий. Недостатком является то, что форма образца должна быть высокой, а образцы неправильной формы нужно обрабатывать дополнительно. Современные плотномеры оснащены автоматизированными измерительными системами, которые позволяют быстро проводить многосерийные проверки и записывать данные для прослеживаемости.

7.2.2 Определение твердости

Твердость отражает износостойкость и механическую прочность электродов из чистого вольфрама и обычно проверяется с помощью Виккерса (HV) или Бринелля (HB). Твердость чистых вольфрамовых электродов обычно составляет HV 350-450, в зависимости от производственного процесса и структуры зерна.

При тесте на твердость по Виккерсу используется алмазный пирамидальный индентор для приложения нагрузки (обычно 5-10 кг) к поверхности образца, измерения длины диагонали вдавливания и расчета значения твердости. Оборудование включает в себя твердомер по Виккерсу и микроскоп для обеспечения ровности и полировки поверхности образца. При определении твердости по Бринеллю используется твердосплавный шариковый индентор, который подходит для более крупных образцов, но немного менее точен, чем по Виккерсу.

Преимущества определения твердости интуитивно понятны, надежны и отражают качество обработки и долговечность электрода. Недостатком является то, что контрольные точки сильно локализованы, и их необходимо усреднить по нескольким измерениям, чтобы представить общую производительность. Автоматический твердомер автоматически измеряет размер вмятины с помощью программного обеспечения для анализа изображений, что повышает эффективность обнаружения.

7.2.3 Испытание на электропроводность

Тест на проводимость оценивает электрические свойства чистых вольфрамовых электродов, отражающие их способность пропускать ток во время сварки. Проводимость чистых вольфрамовых электродов составляет около 30% IACS (Международный стандарт отожженной меди). Метод с четырьмя зондами обычно используется для измерения удельного сопротивления электрода и последующего расчета проводимости.

Метод с четырьмя зондами использует четыре зонда для контакта с поверхностью образца, при этом постоянный ток подается на два внешних зонда и два внутренних зонда для измерения напряжения. Удельное сопротивление рассчитывается как $\rho = (V/I) \times S/L$, где V —

напряжение, I — ток, S — площадь поперечного сечения образца, а L — расстояние между зондом. Проводимость — это величина, обратная удельному сопротивлению, которое преобразуется в проценты IACS.

Испытательное оборудование включает в себя четырехзондовый тестер, источник постоянного тока и микровольтаметр для обеспечения хорошего контакта зондов и чистоты поверхности образца. Преимуществами метода с четырьмя зондами являются высокая точность, широкий диапазон измерений и пригодность для материалов с высокой проводимостью. Недостатком является то, что форма образца и качество поверхности должны быть высокими. Современные тестеры электропроводности поддерживают автоматический сбор и анализ данных, что делает их пригодными для периодического контроля.

7.3 Анализ микроструктуры чистого вольфрамового электрода

Анализ микроструктуры используется для оценки размера зерна, дефектов и однородности микроструктуры чистых вольфрамовых электродов, отражающих качество и стабильность производительности их производственных процессов. К распространенным методам относятся оптическая микроскопия, анализ с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и анализ размеров зерен.

7.3.1 Наблюдение с помощью световой микроскопии

Оптическая микроскопия используется для наблюдения за зернистой структурой, порами и включениями поперечного сечения электрода с увеличением 50-1000 раз. Процесс тестирования включает в себя подготовку образцов, наблюдение и документирование. Сначала образец электрода разрезают, монтируют, полируют и подвергают коррозии с помощью коррозионного агента, такого как смесь гидроксида натрия и феррицианида калия, чтобы выявить границы зерен. В дальнейшем морфология зерен, распределение дефектов и однородность тканей регистрировались под оптическим микроскопом.

Преимуществами оптических микроскопов являются их низкая стоимость оборудования, простота в эксплуатации, пригодность для быстрого контроля. Недостатком является то, что разрешение ограничено (около 0,2 мкм), что затрудняет наблюдение наноразмерных дефектов. Современные световые микроскопы оснащены программным обеспечением для анализа изображений, которое автоматически определяет границы зерен и генерирует отчеты о тканях.

7.3.2 Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ)

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) сканирует поверхность образца с помощью электронного пучка для получения изображений с высоким разрешением (вплоть до нанометрового разрешения), которые могут быть использованы для анализа микроскопической топографии, особенностей разрушения и дефектов электрода. СЭМ часто оснащаются энергодисперсионным спектрометром (ЭДС) для анализа локального

химического состава.

Для тестирования образцы нарезаются, полируются и покрываются проводящим слоем, таким как золото или углерод, для повышения электропроводности. СЭМ генерирует такие сигналы, как вторичные электроны и обратно рассеянные электроны, за счет взаимодействия электронного пучка с образцом, а также генерирует изображения топографии поверхности или распределения компонентов. СЭМ может обнаруживать микротрещины, пористость и распределение примесей на поверхности электрода для оценки возможности контроля дефектов производственного процесса.

Преимущества SEM заключаются в высоком разрешении, четкой визуализации и глубоком анализе микроструктур. К недостаткам можно отнести дорогостоящее оборудование, сложную пробоподготовку, необходимость работы в высоком вакууме. Современный SEM поддерживает 3D-реконструкцию и автоматизированное сканирование, повышая эффективность анализа.

7.3.3 Анализ размера зерна

Размер зерна является важным параметром, влияющим на механические свойства и сварочные характеристики электрода, а мелкие и однородные зерна могут повысить прочность и ударную вязкость. Анализ размера зерна обычно выполняется в сочетании с оптической микроскопией или СЭМ, где средний размер зерна измеряется программным обеспечением для анализа изображений.

Методы обнаружения включают метод линейного пересечения и метод площади. Метод линейной пересечения вычисляет средний размер зерен путем рисования случайных прямых линий на микроскопическом изображении и подсчета количества точек пересечения границ зерен. При использовании площадного метода подсчитывается распределение по размерам путем измерения площади каждого зерна. Такие стандарты, как ASTM E112, содержат спецификации для размеров зерен, а чистые вольфрамовые электроды обычно имеют размер зерна 10-50 мкм.

Преимущества анализа размера зерна заключаются в количественном, интуитивно понятном и прямом отражении качества процессов спекания и термообработки. Недостатком является то, что для обеспечения репрезентативности требуется большой объем статистических данных. Программное обеспечение для автоматизированного анализа изображений обеспечивает быструю обработку микроскопических изображений, повышая эффективность и точность анализа.

7.4 Испытание сварочных характеристик чистого вольфрамового электрода

В ходе испытания на свариваемость оцениваются характеристики чистых вольфрамовых электродов при фактической сварке, включая эффективность завязывания дуги, стабильность дуги и расход электродов. Эти испытания проводятся в стандартных условиях сварки и

имитируют реальные сценарии применения.

7.4.1 Испытание производительности дуги

Эффективность завязывания дуги отражает сложность инициирования дуги электродом, а чистый вольфрамовый электрод сложнее зажигать дугой при сварке постоянным током (DC) из-за его высокой электронной работы (около 4,52 эВ), но он лучше работает при сварке переменным током (AC). Методы испытаний включают в себя:

Стандартные сварочные испытания: Испытано на стандартном токе (50-150 А), защите от аргона (8-15 л/мин) и подложке из алюминиевого сплава с использованием сварочного оборудования TIG. Чем ниже напряжение дуги и чем меньше время, тем лучше производительность.

Испытание на инициацию высокочастотной дуги: Устройство для инициирования высокочастотной дуги используется для помощи в зарождении дуги для оценки скорости отклика электрода при различных токах. Тест нужно повторить несколько раз, усреднить для уменьшения ошибок.

Контрольное оборудование включает в себя сварочный аппарат TIG, вольтметр и таймер для обеспечения того, чтобы электрод был отшлифован до полусферической формы (сварка переменным током) или конической формы (сварка постоянным током). Преимущество тестирования производительности дугового пуска заключается в том, что оно интуитивно понятно и близко к реальному применению, а недостатком является то, что на результаты в значительной степени влияют оборудование и оператор. Автоматизированная испытательная система может записывать параметры запуска дуги через датчик, что повышает достоверность данных.

7.4.2 Испытание на устойчивость дуги

Стабильность дуги отражает непрерывность и равномерность дуги в процессе сварки, что напрямую влияет на качество сварного шва. Чистый вольфрамовый электрод обладает хорошей стабильностью дуги при сварке переменным током, но он подвержен дрейфу при сварке постоянным током. Методы испытаний включают в себя:

Анализ колебаний напряжения: регистрация колебаний напряжения дуги при стандартных условиях сварки (100-200 А, защита от аргона). Чем меньше колебание напряжения, тем стабильнее будет дуга. Испытательное оборудование включает в себя осциллографы и датчики напряжения.

Визуальное наблюдение: форма дуги регистрируется с помощью высокоскоростной камеры, а длина, форма и дрейф дуги анализируются. Дуга стабилизации должна быть сужающейся без существенных скачков или прерываний.

Оценка качества сварных швов: Макетные платы сварных швов используются для проверки

однородности сварных швов, проплавления и поверхностных дефектов. Стабильная дуга обеспечивает гладкий сварной шов без пор.

Испытание на стабильность дуги требует контроля таких параметров, как подложка, ток и расход газа, чтобы обеспечить сопоставимость результатов. Современные испытательные системы обеспечивают количественную оценку путем анализа изображений дуги и данных о напряжении с помощью искусственного интеллекта.

7.4.3 Испытание нормы расхода электродов

Расход электрода отражает скорость потерь электрода при сварке, а чистый вольфрамовый электрод имеет более высокую норму расхода работы из-за высокого убегания электронов, особенно при высоком токе (>200 А). Методы испытаний включают в себя:

Измерение потери длины: измерение уменьшения длины электрода при стандартных условиях сварки (200 А, сварка переменным током, 30 минут). Норма расхода выражается в мм/ч и обычно составляет 0,1-0,5 мм/ч.

Измерение потери массы: потеря массы в единицу времени рассчитывается путем измерения разницы в массе между электродами до и после сварки с помощью высокоточных весов. Метод потери массы более точен и подходит для лабораторных испытаний.

Анализ морфологии конца: Наблюдайте за морфологией электрода после сварки через микроскоп, чтобы оценить степень потери при горении и испарения. Стабильная морфология кончика, например, полусферическая форма, указывает на низкую норму расхода.

Для определения расхода электродов необходимо контролировать время сварки, ток и угол наклона электрода для получения стабильных результатов. Автоматизированная испытательная система может регистрировать изменения длины и качества электродов в режиме реального времени для повышения эффективности контроля.

7.5 Испытания чистого вольфрамового электрода на окружающую среду и безопасность

Испытания на охрану окружающей среды и безопасность оценивают защиту окружающей среды и безопасность чистых вольфрамовых электродов в процессе производства и использования, уделяя особое внимание испытаниям на радиоактивность и испытаниям на выбросы пыли и выхлопных газов.

7.5.1 Детектирование радиоактивности (сравнение ториев-вольфрамовых электродов)

Чистые вольфрамовые электроды не радиоактивны, что является существенным преимуществом перед торированными вольфрамовыми электродами (содержащими оксид тория, ThO₂). Радиоактивное тестирование используется для проверки безопасности чистых вольфрамовых электродов и сравнения их с торированными вольфрамовыми электродами. Анализы включают в себя:

CTIA GROUP LTD

Pure Tungsten electrode Introduction

1. Overview of Pure Tungsten Electrode

Pure tungsten electrodes are electrode materials made primarily from high-purity tungsten (content $\geq 99.95\%$) through powder metallurgy processes, including pressing, sintering, forging, and precision machining. They contain no rare earth or alloying elements, making them the most basic type of tungsten electrodes. They are widely used in welding and plasma applications that require high temperatures and high current density.

2. Main Applications of Pure Tungsten Electrode

TIG Welding (Tungsten Inert Gas Welding): Especially suitable for DC welding of reactive metals such as magnesium, aluminum, and titanium (using DCEN).

Plasma Cutting and Spraying: Used as electrode materials for high-temperature ion sources.

Electronic Devices: Serves as cathodes or supporting components in vacuum devices such as electron tubes and discharge tubes.

High-Temperature Furnace Electrodes: Used as heating electrodes in resistance furnaces operating in inert atmospheres or vacuum environments.

Scientific Research and Experimental Applications: Involved in high-temperature and high energy-density experiments.

3. Basic Data of Pure Tungsten Electrode

Item	Parameter
Chemical Composition (W)	$\geq 99.95\%$
Melting Point	3410°C
Density	19.3 g/cm ³
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Hardness (HV)	340 – 400 HV
Thermal Conductivity	170 W/(m·K)
Operating Current Range	DCEN, depends on diameter and base metal
Electrode Diameter Range	Ø0.5 mm ~ Ø6.4 mm (customizable)
Electrode Length	Standard lengths: 150 mm and 175 mm (customizable)
Applicable Standard	ISO 6848 (Tungsten electrodes for welding)

4. Supply Form and Packaging of Pure Tungsten Electrode

Form: Polished rods, with customized ground tips

Standard Packaging: 10 pieces per plastic box, outer carton with shock-resistant protection

Customization: Dimensions, packaging, and tips can be customized

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Обнаружение гамма-лучей: мощность дозы гамма-излучения (мкЗв/ч) регистрируется путем измерения уровня радиоактивности электрода с помощью счетчика Гейгера или сцинтилляционного детектора. Мощность дозы чистых вольфрамовых электродов должна быть близка к уровню фонового излучения (около 0,1 мкЗв/ч), в то время как торий-вольфрамовые электроды могут достигать 1-10 мкЗв/ч.

Анализ радионуклидов: радионуклиды (например, Th-232, U-238) в электродах анализируются с помощью детектора германия высокой чистоты (HPGe), чтобы убедиться в отсутствии радиоактивных примесей. Обнаружение должно выполняться в экранированном помещении для уменьшения фоновых помех.

Преимущество обнаружения радиоактивности заключается в том, что оно является быстрым и надежным, что гарантирует соответствие электродов стандартам безопасности (например, ISO 6848). Недостатком является то, что оборудование стоит дорого и нуждается в профессиональной эксплуатации. Нерadioактивная природа чистых вольфрамовых электродов делает их еще более выгодными в сценариях с высокими требованиями к окружающей среде и безопасности.

7.5.2 Обнаружение пыли и выбросов выхлопных газов

В процессе шлифования, полировки и спекания при производстве чистых вольфрамовых электродов может образовываться вольфрамовая пыль и выхлопные газы (например, пары оксида вольфрама), поэтому уровни выбросов необходимо проверять на соответствие экологическим нормам. Анализы включают в себя:

Определение концентрации пыли: Концентрация пыли в производственном цехе измеряется с помощью лазерного измерителя пыли или гравиметрического метода, чтобы убедиться, что она ниже предела профессионального воздействия (например, 4 мг/м³ в китайском стандарте). Точка отбора проб должна охватывать участки шлифовки и полировки.

Анализ выхлопных газов: Состав выхлопных газов, выделяемых из печи спекания, определяется газоанализатором (например, инфракрасным спектрометром) для анализа концентрации оксида вольфрама, оксидов азота и летучих органических соединений (ЛОС). Выхлопные газы должны быть удалены после удаления пыли и адсорбционной обработки.

Тестирование сточных вод: вольфрам и другие тяжелые металлы в сточных водах процессов очистки и очистки анализируются с помощью ICP-OES или спектрофотометрии для обеспечения соответствия стандартам сброса (например, China GB 25466-2010).

Обнаружение пыли и выхлопных газов должно проводиться на регулярной основе, а также должна быть оборудована система онлайн-мониторинга для записи данных о выбросах в режиме реального времени. Современное экологическое оборудование, такое как фильтры НЕРА и мокрые скрубберы, позволяет значительно сократить выбросы и соответствовать

требованиям экологичного производства.

7.6 Калибровка и стандартизация испытательного оборудования для чистых вольфрамовых электродов

Калибровка и стандартизация испытательного оборудования является ключом к обеспечению точности и сопоставимости результатов контроля, что напрямую влияет на надежность контроля качества.

7.6.1 Методы калибровки оборудования

Калибровка испытательного оборудования проводится регулярно и в соответствии с международными или национальными стандартами (e.g. ISO/IEC 17025). К распространенным методам калибровки относятся:

Калибровка ICP-OES: Калибровка чувствительности и диапазона линейности прибора путем построения стандартной кривой с использованием многоэлементного стандартного раствора (содержащего известные концентрации вольфрама, железа, никеля и т. д.). Калибровка выполняется еженедельно, и регистрируются калибровочные коэффициенты.

Калибровка XRF: Калибровка интенсивности флуоресценции в зависимости от концентрации элементов с использованием стандартного образца, такого как вольфрамовый блок высокой чистоты. Калибровка выполняется ежемесячно для обеспечения последовательного тестирования.

Калибровка твердомера: размер отступа и нагрузка калибруются с использованием стандартных блоков твердости (например, HV 400) с погрешностью $\pm 2\%$. Калибровка производится ежеквартально.

Калибровка микроскопа: используйте стандартную шкалу для калибровки увеличения и разрешения изображения с погрешностью $\pm 1\%$. Калибровка проводится ежегодно.

Калибровка выполняется специалистом, а дата калибровки, параметры и результаты записываются. Автоматизированная система калибровки может повысить эффективность калибровки за счет управления впрыском и анализом данных стандартных образцов с помощью программного обеспечения.

7.6.2 Международные стандарты испытаний

Вольфрамовые электроды тестируются в соответствии с международными стандартами для обеспечения глобальной сопоставимости результатов. Соответствующие стандарты включают:

ISO 6848:2015: определяет требования к тестированию химического состава и свойств вольфрамовых электродов, а также рекомендует использовать ICP-OES или XRF для

обнаружения компонентов и микроскопического анализа тканей.

AWS A5.12:2009: Требуется проверка химического состава и качества поверхности электродов, рекомендуя неразрушающие методы, такие как XRF, для быстрого анализа.

ASTM E112: Предоставляет стандартный метод измерения размера зерна для анализа микроструктуры.

ISO 14001: Содержит рекомендации по экологическому менеджменту для обнаружения пыли и выхлопных газов с акцентом на контроль и мониторинг выбросов.

Эти стандарты обеспечивают основу для стандартизации методов обнаружения. В будущем международные стандарты тестирования могут еще больше интегрировать технологии искусственного интеллекта и больших данных для разработки более точных спецификаций испытаний.



чистые вольфрамовые электроды от CTIA GROUP LTD

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Глава 8 Анализ преимуществ и недостатков электрода из чистого вольфрама

Являясь традиционным материалом для аргонодуговой сварки вольфрама (сварка TIG), чистый вольфрамовый электрод (WP-электрод) занимает важное место в сварочной промышленности благодаря своим уникальным физическим и химическим свойствам. Однако его область применения и производительность ограничены, особенно по сравнению с легированными вольфрамовыми электродами (такими как цериевые вольфрамовые и лантановые вольфрамовые электроды). В этой главе будут систематически проанализированы преимущества и недостатки чистых вольфрамовых электродов и обсуждены направления их совершенствования, чтобы дать рекомендации по производству и применению.

8.1 Преимущества чистого вольфрамового электрода

Чистые вольфрамовые электроды имеют незаменимую ценность в определенных сценариях благодаря своим экономическим преимуществам, стабильности при высоких температурах и подходят для сварки переменным током. Далее подробно рассматриваются его преимущества с трех аспектов.

8.1.1 Низкая стоимость

Одним из основных преимуществ чистых вольфрамовых электродов является их относительно низкая стоимость производства, что делает их идеальными для сварочных работ с высокими экономическими требованиями. Чистый вольфрамовый электрод изготовлен из вольфрама высокой чистоты ($\geq 99,5\%$) и не легирован оксидами редкоземельных элементов (такими как оксид церия, оксид лантана или оксид тория), что позволяет избежать использования дорогостоящих добавок и сложных составов. Будучи редким металлом с богатыми запасами в мире (на долю Китая приходится около 50% мировых запасов), вольфрам имеет стабильную цепочку поставок сырья и низкие колебания цен. Кроме того, процесс производства чистого вольфрамового электрода (например, порошковая металлургия и обработка под давлением) является высокоразвитым, оборудование отличается высокой универсальностью, а крупносерийное производство еще больше снижает стоимость.

По сравнению с легированными электродами, производство чистых вольфрамовых электродов не требует дополнительной очистки редкоземельных элементов и процессов легирования, что значительно снижает энергопотребление и трудозатраты. Например, цериевые вольфрамовые электроды требуют точного контроля равномерного распределения оксида церия, что усложняет спекание и контроль качества, в то время как процесс производства чистых вольфрамовых электродов значительно упрощается. Благодаря экономичности чистые вольфрамовые электроды широко используются в таких чувствительных к стоимости отраслях, как строительство, судостроение и общая механическая обработка. Кроме того, нерадиоактивная природа чистых вольфрамовых электродов позволяет избежать требований к специальному хранению и утилизации, что еще

больше снижает стоимость использования, и соответствует тенденции «зеленого» производства.

На практике низкая стоимость вольфрамовых электродов делает их пригодными для выполнения больших объемов сварочных работ, таких как алюминиевые навесные стены, автомобильные детали и сосуды под давлением. Несмотря на то, что в некоторых отношениях его производительность не так хороша, как у легированных электродов, чистые вольфрамовые электроды представляют собой экономичный вариант для сценариев сварки переменным током с умеренными требованиями к качеству.

8.1.2 Устойчивость к высоким температурам

Благодаря чрезвычайно высокой температуре плавления (3422 °C) и превосходной стабильности при высоких температурах, чистые вольфрамовые электроды способны сохранять структурную целостность и стабильную работу в суровых условиях сварки. Вольфрам имеет самую высокую температуру плавления среди всех металлов, что позволяет чистым вольфрамовым электродам выдерживать тепловой удар при высоких температурах дуги (около 6000-7000 °C), снижая риск плавления, горения или деформации. Эта особенность гарантирует, что электрод сохраняет стабильную форму конца даже при высоких токах (100-300 А) или при длительных периодах непрерывной сварки, что приводит к длительному сроку службы.

При сварке переменным током чистые вольфрамовые электроды обычно образуют полусферические концы, которые помогают равномерно распределять энергию дуги, снижать локальный перегрев и улучшать качество сварки. Его низкое давление пара (близкое к 0 Па при 3000 °C) еще больше снижает испарение материала при высоких температурах, сохраняя стабильность размеров и постоянство дуги электрода. Кроме того, превосходная теплопроводность чистого вольфрамового электрода (около 173 Вт/м·К) позволяет ему быстро рассеивать тепло дуги и предотвращать размягчение концов или растрескивание, вызванное перегревом.

Высокая термостойкость чистых вольфрамовых электродов делает их идеальными для сварки легких металлов (например, алюминия, магния) и их сплавов, особенно в аэрокосмической, автомобильной и электронной промышленности. Высокая теплопроводность и свойства оксидной пленки алюминиевых сплавов требуют, чтобы электрод оставался стабильным при высоких температурах, и производительность чистых вольфрамовых электродов может удовлетворить эти требования. Кроме того, его химическая стабильность делает его менее восприимчивым к реакции с окружающей средой под защитой инертных газов, таких как аргон или гелий, обеспечивая чистоту сварного шва.

8.1.3 Подходит для сварки переменным током

Превосходные эксплуатационные характеристики чистого вольфрамового электрода при сварке переменным током (AC) являются его наиболее важным преимуществом в

применении, особенно подходящими для сварки легких металлов с оксидными пленками, такими как алюминий, магний и их сплавы. Сварка переменным током обеспечивает динамическое равновесие дуги за счет чередования положительного и отрицательного полупериода переменного тока. Чистый вольфрамовый электрод излучает электроны в течение положительного полупериода (электрод является катодом), генерируя высокотемпературную дугу; Во время отрицательного полупериода (заготовка является катодом) дуга производит эффект «катодной очистки» на оксидную пленку (например, Al_2O_3 , температура плавления около 2050 °C) на поверхности заготовки, эффективно удаляя оксидный слой и образуя чистый сварной шов.

Чистые вольфрамовые электроды образуют стабильные полусферические концы при сварке переменным током, что оптимизирует распределение дуги и передачу энергии, снижая риск смещения или прерывания дуги. Высокая температура плавления и теплопроводность гарантируют, что электрод остается стабильным во время термического циклирования переменных токов, что делает его пригодным для высокочастотной или сильноточной сварки. Кроме того, нерадиоактивная природа чистых вольфрамовых электродов делает их более выгодными в отраслях с высокими требованиями к безопасности (например, в пищевом оборудовании, производстве медицинского оборудования) и в большей степени соответствует экологическим нормам, чем торированные вольфрамовые электроды (содержащие радиоактивный оксид тория).

Применение сварки электродов из чистого вольфрама переменным током охватывает строительную, морскую, аэрокосмическую и автомобильную промышленность. Например, при сварке алюминиевых судовых конструкций чистые вольфрамовые электроды обеспечивают гладкие сварные швы без дефектов, отвечающие требованиям коррозионной стойкости и прочности. В аэрокосмической отрасли прецизионная сварка алюминиевых и магниевых сплавов опирается на стабильную дугу чистых вольфрамовых электродов, что обеспечивает высокую надежность компонентов. В заключение следует отметить, что опыт использования чистых вольфрамовых электродов в сварке переменным током делает их предпочтительным материалом для сварки легких металлов.

8.2 Недостатки чистого вольфрамового электрода

Несмотря на значительные преимущества чистых вольфрамовых электродов, их эксплуатационные характеристики ограничивают их применение в определенных сценариях сварки, особенно при сварке постоянным током и в условиях высокой температуры и высоких нагрузок. Ниже анализируются его недостатки с трех аспектов.

8.2.1 Плохая производительность сварки постоянным током

Производительность чистых вольфрамовых электродов при сварке постоянным током (DC) низкая, в основном из-за высокой работы электронов (около 4,52 эВ), что приводит к затруднению инициирования дуги и нестабильности дуги. При положительном соединении постоянным током (DCSP) электрод должен излучать большое количество электронов в

качестве катода, а работа с большим количеством электронов требует более высокого напряжения дуги, которое не склонно к образованию дуги или скачку дуги. При обратной полярности постоянного тока (DCRP) электрод действует как анод при более высокой тепловой нагрузке, что может привести к перегреву, горению или деформации конца.

Напротив, электроды, легированные оксидами редкоземельных элементов (например, цериево-вольфрамовые электроды, имеют около 2,7-3,0 эВ; Лантановый вольфрамовый электрод, ок. 2,8-3,2 эВ) имеет более низкое пусковое напряжение дуги и более стабильную дугу при сварке постоянным током, а также широко используется при сварке нержавеющей стали, углеродистой стали и никелевых сплавов. Из-за ограничений использования чистых вольфрамовых электродов в сварке постоянным током их применение в основном ограничено сценариями с низким спросом, такими как временный ремонт или сварка слабым током, в то время как легированные электроды в основном используются в высокоточной или высокоэффективной сварке постоянным током.

Чтобы устранить этот недостаток, производительность инициирования дуги может быть улучшена с помощью высокочастотного устройства для зажигания дуги или путем оптимизации угла наклона на конце электрода (например, конуса), но эффект ограничен. Кроме того, нестабильность дуги при сварке постоянным током может привести к неровным сварным швам или увеличению количества дефектов, что ограничивает конкурентоспособность чистых вольфрамовых электродов при высокопроизводительной сварке.

8.2.2 Высокий расход электродов

Вольфрамовые электроды имеют высокую скорость расхода электродов, особенно при высоких тонах (>200 А) или длительной непрерывной сварке, из-за высокого убегания электронов, что приводит к высокой конечной температуре, что ускоряет испарение и потери материала при горении. Расход проявляется в постепенном укорочении длины электрода и изменении морфологии конца, например, с полусферической на неправильную форму, что влияет на стабильность дуги и качество сварного шва.

При сварке переменным током образование полусферических концов частично замедляет расход, но скорость расхода все еще высока при высоких частотах или нестабильных токах. При сварке постоянным током расход еще более значителен, особенно при прямом соединении постоянным током (DCSP), где работа электродов при высокой температуре приводит к быстрой потере материала. Напротив, легированные электроды (например, лантановые вольфрамовые электроды) обычно имеют более низкие показатели расхода, чем чистые вольфрамовые электроды, из-за более низкой работы по убеганию электронов и более стабильной морфологии конца.

Высокий расход увеличивает частоту замены электродов и эксплуатационные расходы, что может привести к перерывам в производстве, особенно при автоматизированной сварке.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Чтобы продлить срок службы электрода, концы необходимо регулярно затачивать для поддержания правильной формы, а параметры сварки (например, сниженный ток, повышенная газозащита) должны быть оптимизированы. Однако частая шлифовка увеличивает трудозатраты и временные затраты, что ограничивает применение чистых вольфрамовых электродов при сварке под высокой нагрузкой.

8.2.3 Сложность при дуге и нестабильной дуге

Затрудненное инициирование дуги и нестабильность дуги являются основными недостатками чистого вольфрамового электрода, которые тесно связаны с его высокой способностью убегать от электронов. При сварке постоянным током высокое напряжение дуги и неустойчивая электронная эмиссия затрудняют зажигание или поддержание дуги, особенно при низких токах (<50 А) или высоких частотах. При сварке переменным током переменный ток переменный ток может частично уменьшить сложность зажигания дуги, но все же требуется более высокое напряжение дуги.

Нестабильность дуги проявляется в виде дрейфа дуги, скачка или прерывания, что влияет на однородность и качество сварного шва. Поверхностное загрязнение (например, оксиды, масла) или неправильная морфология конца (например, чрезмерный износ) могут еще больше усугубить нестабильность, требуя регулярной очистки и шлифовки электрода. Кроме того, чистые вольфрамовые электроды предъявляют высокие требования к сварочному оборудованию, которое должно быть оснащено высокочастотным устройством для зажигания дуги или стабильным источником питания для улучшения характеристик зажигания дуги.

По сравнению с легированными электродами, чистые вольфрамовые электроды имеют плохую стабильность дуги, особенно при сварке постоянным током. Церий-вольфрамовые и лантановые вольфрамовые электроды уменьшают работу электронов за счет легирования оксидами редкоземельных элементов, что значительно улучшает производительность инициации дуги и стабильность дуги, а также подходит для различных сценариев сварки. Этот недостаток чистых вольфрамовых электродов ограничивает их применение в высокоточной и высокоэффективной сварке, что необходимо компенсировать оптимизацией процессов или усовершенствованием оборудования.

8.3 Направление усовершенствования чистого вольфрамового электрода

Чтобы преодолеть недостатки чистых вольфрамовых электродов и повысить их конкурентоспособность, исследователи и предприятия изучают пути совершенствования по трем направлениям: оптимизация процессов, исследования легирования и разработка новых электродных материалов. Эти усовершенствования направлены на повышение сварочных характеристик электродов, снижение расхода и расширение области применения.

8.3.1 Оптимизация процессов

Оптимизация технологического процесса — это прямой способ повышения

производительности чистых вольфрамовых электродов, направленный на совершенствование производственного процесса и оптимизацию параметров сварки. Что касается производства, то качество электродов может быть улучшено за счет:

Контроль высокой чистоты: Чистота вольфрамового порошка увеличивается до 99,99% за счет использования передовых технологий очистки, таких как ионный обмен и экстракция растворителем, а влияние примесей на производительность инициации дуги и стабильность дуги снижается. Оптимизируйте процессы восстановления и спекания, уменьшите содержание кислорода (например, $\leq 0,01\%$), а также улучшите проводимость и устойчивость электрода к высоким температурам.

Измельчение зерна: Рост зерна контролируется с помощью методов быстрого спекания (например, плазменного спекания под давлением, SPS) или добавления следовых ингибиторов (например, оксида алюминия) для получения тонкой и однородной структуры зерна (10-20 мкм). Измельчение зерна улучшает твердость и ударную вязкость электрода и снижает норму расхода при высоких температурах.

Улучшение качества поверхности: Улучшите процессы полировки и очистки, уменьшите шероховатость поверхности и уменьшите влияние поверхностных дефектов на стабильность дуги. Автоматическое полировальное оборудование используется для обеспечения однородности поверхности и улучшения сварочных характеристик электрода.

При сварке производительность чистых вольфрамовых электродов может быть улучшена за счет оптимизации параметров и оборудования. Например, форма сигнала тока (например, прямоугольного переменного тока) может быть отрегулирована для снижения напряжения дугового разряда, а скорость потока аргона или гелия в защитном газе (10-20 л/мин) может быть увеличена для повышения стабильности дуги. Кроме того, высокочастотное устройство для иницирования дуги и усовершенствованный сварочный аппарат TIG могут значительно снизить сложность дугового разряда, что подходит для сценариев сварки постоянным током.

Преимущества оптимизации процессов заключаются в низкой стоимости, проверенной технологии и быстром внедрении поверх существующего производства. Недостатком является то, что диапазон улучшения ограничен, и трудно полностью преодолеть фундаментальное ограничение высокого результата работы электронов.

8.3.2 Исследования легирования

Исследования легирования улучшают электрические и механические свойства чистого вольфрама за счет добавления микроэлементов в его матрицу, сохраняя при этом экономические преимущества и нерадиоактивные свойства. Целью легирования является уменьшение работы по выделению электронов, улучшение стабильности дуги и снижение скорости расхода, а общие направления исследований включают в себя:

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Следовое легирование редкоземельными элементами: оксиды редкоземельных элементов (например, оксид лантана, оксид церия) добавляются к чистому вольфраму в низком содержании (<0,5%) для снижения работы электронов (до 4,0-4,2 эВ) и улучшения характеристик инициации дуги и стабильности дуги. Следовое легирование сохраняет экономическое преимущество чистого вольфрама и повышает производительность сварки постоянным током.

Легирование редкоземельными элементами: Изучите добавление оксидов редкоземельных элементов, таких как диоксид циркония (ZrO_2) или оксид иттрия (Y_2O_3), для повышения прочности электрода при высоких температурах и сопротивления ползучести, а также снижения расхода. Эти элементы нерадиоактивны и соответствуют экологическим требованиям.

Композитное легирование: Комбинируйте различные оксиды (например, оксид лантана + диоксид циркония) для сложного легирования для оптимизации комплексных характеристик электрода. Легирование композитных материалов сочетает в себе эффективность зарождения дуги, стабильность дуги и долговечность, что делает его пригодным для сварки под высокими нагрузками.

При исследованиях легирования необходимо точно контролировать распределение и содержание легированных элементов, чтобы избежать колебаний характеристик, вызванных неоднородным легированием. Современные технологии производства (например, плазменное легирование, химическое осаждение из газовой фазы) обеспечивают высокооднородное легирование и улучшенное качество электродов. Тем не менее, легирование может привести к увеличению производственных затрат и сложности процесса, что требует компромисса между повышением производительности и экономическими затратами.

8.3.3 Разработка новых материалов электродов

Разработка новых материалов для электродов направлена на фундаментальное преодоление ограничений чистых вольфрамовых электродов и изучение материалов с меньшим уходом электронов, более высокой прочностью и более широкой применимостью. Его исследовательские интересы включают:

Нанокристаллический вольфрамовый электрод: Нано-вольфрамовый порошок (размер частиц < 100 нм) используется для подготовки электродов, а твердость, ударная вязкость и стабильность дуги улучшаются за счет сверхтонкой зернистой структуры. Электронная работа нанокристаллического вольфрамового электрода немного ниже, чем у традиционного вольфрамового электрода, а производительность иницирования дуги улучшена. Методы быстрого спекания, такие как SPS, являются ключом к реализации нанокристаллических электродов.

Композиты с вольфрамовой матрицей: разработка композитных электродов из вольфрама и

высокопроводящих материалов (таких как медь и графен) в сочетании с высокой температурой плавления вольфрама и отличной проводимостью композитных материалов (>50% IACS) значительно снижает напряжение дуги и расход электродов. Композиты должны решать проблемы межфазного сцепления и стабильности при высоких температурах.

Новые нерадиоактивные электроды: Исследуйте альтернативные материалы, отличные от вольфрама, такие как сплавы на основе молибдена или гафния, в качестве неплавких электродов с низким уровнем утечки электронов. Эти материалы должны обладать высокой температурой плавления (>2000°C) и химической стабильностью, оставаясь при этом недорогими и экологически чистыми.

Преимущество разработки новых материалов заключается в том, что существует большой потенциал для значительного улучшения характеристик электродов и расширения области применения, такой как производство полупроводников, оборудование для ядерного синтеза и сварка сверхвысокопрочных материалов. Недостатки заключаются в том, что цикл НИОКР длительный, стоимость высокая, а продвижение новых материалов должно проходить строгую отраслевую сертификацию и проверку рынка. В будущем разработка новых материалов электродов будет способствовать инновациям в технологии сварки, и необходимо ускорить внедрение технологии в сочетании с сотрудничеством между промышленностью, университетами и научными исследованиями.



Чистый вольфрамовый электрод с острым наконечником

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

CTIA GROUP LTD

Pure Tungsten electrode Introduction

1. Overview of Pure Tungsten Electrode

Pure tungsten electrodes are electrode materials made primarily from high-purity tungsten (content $\geq 99.95\%$) through powder metallurgy processes, including pressing, sintering, forging, and precision machining. They contain no rare earth or alloying elements, making them the most basic type of tungsten electrodes. They are widely used in welding and plasma applications that require high temperatures and high current density.

2. Main Applications of Pure Tungsten Electrode

TIG Welding (Tungsten Inert Gas Welding): Especially suitable for DC welding of reactive metals such as magnesium, aluminum, and titanium (using DCEN).

Plasma Cutting and Spraying: Used as electrode materials for high-temperature ion sources.

Electronic Devices: Serves as cathodes or supporting components in vacuum devices such as electron tubes and discharge tubes.

High-Temperature Furnace Electrodes: Used as heating electrodes in resistance furnaces operating in inert atmospheres or vacuum environments.

Scientific Research and Experimental Applications: Involved in high-temperature and high energy-density experiments.

3. Basic Data of Pure Tungsten Electrode

Item	Parameter
Chemical Composition (W)	$\geq 99.95\%$
Melting Point	3410°C
Density	19.3 g/cm ³
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Hardness (HV)	340 – 400 HV
Thermal Conductivity	170 W/(m·K)
Operating Current Range	DCEN, depends on diameter and base metal
Electrode Diameter Range	Ø0.5 mm ~ Ø6.4 mm (customizable)
Electrode Length	Standard lengths: 150 mm and 175 mm (customizable)
Applicable Standard	ISO 6848 (Tungsten electrodes for welding)

4. Supply Form and Packaging of Pure Tungsten Electrode

Form: Polished rods, with customized ground tips

Standard Packaging: 10 pieces per plastic box, outer carton with shock-resistant protection

Customization: Dimensions, packaging, and tips can be customized

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Глава 9 Рынок и тенденции развития чистых вольфрамовых электродов

Чистый вольфрамовый электрод (WP-электрод) в качестве важного расходного материала для аргонодуговой сварки вольфрама (TIG) занимает важное место в мировой сварочной промышленности. На развитие рынка влияют многочисленные факторы, такие как поставки сырья, технологии производства, требования к защите окружающей среды и международная конкуренция. В этой главе будет проанализирован обзор мирового рынка, текущая ситуация на китайском рынке, тенденции развития технологий и проблемы, с которыми сталкиваются чистые вольфрамовые электроды, а также предоставлен исчерпывающий справочник для практикующих специалистов и исследователей отрасли.

9.1 Обзор мирового рынка вольфрамовых электродов

Мировой рынок чистых вольфрамовых электродов тесно связан с развитием сварочной промышленности, которая широко используется в аэрокосмической, автомобильной, судостроительной и строительной отраслях. Ниже приведен обзор текущего состояния мирового рынка с точки зрения основных стран-производителей, а также размера рынка и спроса.

9.1.1 Основные страны-производители

Мировое производство чистых вольфрамовых электродов сосредоточено в странах с богатыми вольфрамовыми ресурсами и технологически развитыми промышленными державами, в основном включая Китай, США, Германию, Японию и Россию.

Китай: Являясь крупнейшим в мире ресурсом вольфрама (на долю которого приходится около 50% мировых запасов), Китай доминирует в производстве чистых вольфрамовых электродов. Провинции Хунань, Цзянси и Хэнань обладают богатыми ресурсами вольфрамовой руды, образуя полную промышленную цепочку от добычи вольфрамовой руды до производства электродов.

Соединенные Штаты: Соединенные Штаты являются важным производителем чистых вольфрамовых электродов с передовыми производственными технологиями и строгими стандартами качества. Компания специализируется на высокоэффективных вольфрамовых электродах, которые широко используются в аэрокосмической и атомной промышленности. На рынке США доминируют высокотехнологичные приложения, ориентированные на продвижение нерадиоактивных электродов, таких как чистые вольфрамовые и цериевые вольфрамовые электроды.

Германия: Германия известна своим прецизионным производством, производящим высококачественные чистые вольфрамовые электроды для автомобильной, аэрокосмической и машиностроительной промышленности. Компания использует передовые технологии порошковой металлургии и обработки поверхностей для экспорта в Европу и мир в соответствии с DIN EN ISO 6848.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Япония: Производство вольфрамовых электродов в Японии в основном высокоточное и миниатюрное для удовлетворения потребностей электронной, автомобильной и прецизионной машиностроительной промышленности. Компания уделяет внимание качеству поверхности и сварочным характеристикам электрода, а продукция соответствует стандарту JIS Z 3233. На японском рынке существует высокий спрос на электроды малого диаметра (0,5-2,0 мм).

Россия: Россия обладает богатыми ресурсами вольфрамовой руды и низкими производственными затратами, а ее чистые вольфрамовые электроды в основном поставляются на внутренний рынок и рынки Восточной Европы. Предприятия имеют преимущества в производстве недорогих электродов, но их технический уровень и влияние бренда относительно слабы.

Эти страны сформировали конкурентную модель на мировом рынке чистых вольфрамовых электродов, при этом Китай лидирует с точки зрения производства и стоимости, США, Германия и Япония занимают рынок высокого класса с технологиями и услугами, а Россия дополняет рынок низкого класса ресурсными преимуществами.

9.1.2 Объем рынка и спрос

Объем мирового рынка вольфрамовых электродов идет в ногу с ростом сварочной промышленности, что обусловлено производством, строительством инфраструктуры и новыми энергетическими отраслями. Согласно отраслевым данным, объем мирового рынка вольфрамовых электродов в 2024 году составит около 1,5 миллиарда долларов, из которых на чистые вольфрамовые электроды придется около 30-35%, или 4,5-525 миллионов долларов. Ожидается, что объем рынка будет расти со среднегодовым темпом роста (CAGR) 3-5% и достигнет \$6-700 млн к 2030 году, что обусловлено следующими факторами:

Спрос на аэрокосмическую промышленность: растущий спрос на прецизионную сварку алюминиевых и магниевых сплавов в аэрокосмической промышленности стимулирует применение чистых вольфрамовых электродов в сварке переменным током. Например, для производства самолетов Boeing и Airbus требуются высоконадежные сварные швы, а чистые вольфрамовые электроды являются ключевыми расходными материалами.

Развитие автомобильной промышленности: Мировая автомобильная промышленность переходит на легкую автомобильную промышленность, и спрос на сварку алюминиевых сплавов и нержавеющей стали растет. Чистые вольфрамовые электроды широко используются в производстве автомобильных деталей (таких как кузова автомобилей и корпуса аккумуляторов), особенно в области транспортных средств на новых источниках энергии.

Инфраструктура: Строительство инфраструктуры (например, высокоскоростных железных дорог, мостов, зданий) в Азии, Африке и Латинской Америке стимулировало спрос на сварку алюминиевых конструкционных деталей, и чистые вольфрамовые электроды предпочитают

из-за их ценовых преимуществ.

Новая энергетика: Производство солнечных батарей и ветроэнергетического оборудования включает в себя нанесение тонких пленок и склеивание металлов, а спрос на чистые вольфрамовые электроды в качестве мишеней для распыления и сварочных материалов неуклонно растет.

С точки зрения географического распределения, на Азиатско-Тихоокеанский регион (в основном Китай, Индия и Юго-Восточная Азия) приходится около 50% доли мирового рынка, извлекая выгоду из быстрого развития обрабатывающей промышленности и производства с низкой себестоимостью. На Северную Америку и Европу приходится по 20-25%, причем преобладают приложения высокого класса. Ближний Восток и Африка имеют меньшую долю рынка (около 5%), но потенциал спроса становится очевидным по мере ускорения индустриализации.

9.2 Анализ рынка вольфрамовых электродов в Китае

Китай является крупнейшим в мире производителем и потребителем чистых вольфрамовых электродов, и на развитие его рынка влияют преимущества внутренних вольфрамовых ресурсов, модернизация производства и политика защиты окружающей среды. Ниже приводится анализ китайского рынка с двух аспектов: производственные мощности и рыночный спрос, а также области применения.

9.2.1 Внутренние производственные мощности

Мощности по производству чистых вольфрамовых электродов в Китае занимают первое место в мире, опираясь на богатые ресурсы вольфрамовой руды и отточенную производственную цепочку. В 2024 году годовая мощность производства вольфрамовых электродов в Китае составит около 25 000 тонн, из которых на долю чистых вольфрамовых электродов придется около 40%, или 10 000 тонн. Чжучжоу в провинции Хунань, Ганьчжоу в провинции Цзянси и Лоян в провинции Хэнань являются основными производственными базами, образующими полную промышленную цепочку от добычи вольфрамовой руды, подготовки вольфрамового порошка до обработки электродов.

Преимущества производственных мощностей Китая заключаются в низкой стоимости, масштабах и стабильной цепочке поставок. В последние годы отечественные предприятия повысили эффективность производства и качество продукции за счет внедрения передового оборудования (например, вакуумные печи для спекания в Германии и автоматические волоочильные машины в Японии). В то же время некоторые предприятия увеличили инвестиции в НИОКР, разработали ультратонкий вольфрамовый порошок и нанокристаллические электроды, постепенно сократили технологический разрыв со странами Европы и Америки.

Тем не менее, производственные мощности Китая также сталкиваются с экологическим

давлением и избыточными мощностями. Добыча и очистка вольфрама сопряжена с высоким потреблением энергии и сбросом сточных вод, на что распространяются требования Закона об охране окружающей среды и Национального перечня опасных отходов. Избыток производственных мощностей привел к жесткой конкуренции на низком ценовом рынке, а ценовые войны снизили норму прибыли, что побудило предприятия трансформироваться в рынки высокого класса.

9.2.2 Потребности рынка CLP и области спроса

Потребность Китая на рынке чистой электроэнергии составляет около 12 000 тонн, что составляет около 60% внутреннего рынка электроэнергии.

Строительство высокоскоростных железных дорог, мостов и навесных стен привело к росту спроса на сварку из алюминиевых сплавов, а чистая электрическая электроэнергия широко используется в строительной сфере из-за ее экономического преимущества. Например, сварка алюминиевых конструкционных деталей междугородней железной дороги Пекин-Сюньань и сверхвысокого здания Шэньчжэньского залива осуществляется с использованием чистых вольфрамовых электродов.

Автомобилестроение: корпус аккумулятора, кузов и детали из алюминиевого сплава транспортных средств на новых источниках энергии должны быть сварены с высокой точностью, а чистые вольфрамовые электроды занимают важное место в сварке переменного тока. В 2024 году производство автомобилей на новых источниках энергии в Китае превысит 8 миллионов единиц, что приведет к росту спроса на электроды.

Аэрокосмическая промышленность: COMAC (например, самолеты C919) и аэрокосмические программы (например, ракеты серии «Чанчжэн») предъявляют строгие требования к сварке алюминиевых и магниевых сплавов, а чистые вольфрамовые электроды предпочтительны из-за их нерадиоактивных и стабильных характеристик.

Судостроение и строительство шельфовых платформ в прибрежных районах включают в себя большое количество сварочных работ из алюминиевых сплавов, и чистые вольфрамовые электроды пользуются стабильным спросом в этих сценариях.

Электроника и новая энергетика: При производстве солнечных батарей и полупроводников постепенно расширяется применение чистых вольфрамовых электродов в качестве мишеней для распыления и сварочных материалов.

Китайский рынок характеризуется разнообразным спектром требований, начиная от недорогой сварки общего назначения и заканчивая высокопроизводительной прецизионной сваркой. Ожидается, что в будущем, с модернизацией обрабатывающей промышленности и продвижением инициативы «Один пояс, один путь», рынок чистых вольфрамовых электродов в Китае продолжит расширяться со среднегодовым темпом роста 3-4%, особенно

в высокотехнологичных приложениях.

9.3 Тенденции развития технологии чистых электрических электродов

Разработка чисто электрических электродов обусловлена высокоэффективной выработкой электроэнергии, экологическими требованиями, а также исследованиями новых материалов и мощности с целью повышения производительности, снижения затрат и соответствия нормативным требованиям. Обсуждаются следующие три аспекта технологических тенденций.

9.3.1 Технологии для эффективного производства электроэнергии

Эффективные производственные технологии направлены на сокращение времени цикла, снижение энергопотребления и повышение качества продукции, а основные технологии включают в себя:

Непрерывное производство: разработайте печь непрерывного спекания и автоматическое оборудование для волочения проволоки для достижения непрерывного производства от прессования до обработки и сокращения производственного цикла на 20%-30%. Например, среднечастотная индукционная печь непрерывного спекания быстро нагревается и улучшает однородность сырого тела.

Интеллектуальное производство: оптимизируйте эффективность работы оборудования за счет мониторинга производственных параметров с помощью промышленного Интернета вещей (IIoT) и датчиков. Интеллектуальное оборудование производственной линии может обнаруживать отклонение плотности и размера сырого тела в режиме реального времени, чтобы снизить процент брака.

Технология быстрого спекания: При газоразрядном плазменном спекании (SPS) используются электрические импульсы для сокращения времени спекания до нескольких минут, измельчения зерна (<10 мкм) и повышения прочности и долговечности электрода. SPS был опробован в производстве высококачественных электродов.

Применение этих технологий будет способствовать повышению эффективности производства, снижению себестоимости единицы продукции и повышению конкурентоспособности на рынке. Однако высокие затраты на оборудование и его обслуживание могут ограничивать его продвижение в МСП.

9.3.2 Экологически безопасные производственные процессы

Экологически чистые процессы находятся в центре внимания при реагировании на нормативное давление и потребности в «зеленом» производстве, а ключевые технологии включают в себя:

Очистка с низким энергопотреблением: Технология ионного обмена и мембранной

сепарации используется для замены традиционной гидрометаллургии и снижения выбросов сточных вод и выхлопных газов. Новое очистное оборудование позволяет улавливать более 90% вольфрамсодержащих отходов жидкости и снижать загрязнение окружающей среды.

Переработка отходов: Создание системы переработки вольфрамовых отходов для восстановления вольфрамового порошка путем высокотемпературного обжига и электролитического восстановления для сокращения отходов ресурсов. Некоторые компании в Китае разработали процессы с коэффициентом переработки 80 процентов.

Нетоксичная замена процесса: Продвижение чистящих средств на водной основе и нетоксичных зеленых красок (таких как краски на акриловой основе) для замены традиционных органических растворителей и свинцовых красок в соответствии с регламентом ЕС REACH и китайскими стандартами RoHS.

Работа на возобновляемых источниках энергии: сокращение углеродного следа за счет использования солнечной или ветровой энергии для питания оборудования для спекания и термической обработки. Пилотные проекты показали, что возобновляемая энергетика позволяет снизить потребление энергии на производстве на 30%.

Продвижение экологически чистых процессов должно обеспечивать баланс между затратами и соблюдением нормативных требований, но с ужесточением правил охраны окружающей среды и повышением осведомленности потребителей об экологии их признание на рынке постепенно растёт.

9.3.3 Исследование и разработка нового вольфрамового электрода

Исследования и разработки новых вольфрамовых электродов направлены на преодоление эксплуатационных ограничений чистых вольфрамовых электродов и удовлетворение потребностей высокопроизводительной сварки, а основные направления включают в себя:

Нанокристаллический вольфрамовый электрод: электрод изготавливается с использованием нановольфрамового порошка для повышения твердости и стабильности дуги за счет ультратонких зерен (<50 нм). Производительность инициации дуги и расход нанoeлектродов лучше, чем у обычных электродов, что делает их пригодными для аэрокосмической и полупроводниковой промышленности.

Микролегированный электрод: Следовое окисление (например, диоксид циркония, оксида иттрия) добавляется к чистому вольфраму для снижения работы выделения электронов (до 4,0-4,2 эВ) и повышения производительности сварки постоянным током. Микролегированный электрод сохраняет экономичность и нерадиоактивные свойства чистого вольфрама.

Композитные электроды на основе вольфрама: Разработка композитных материалов из

вольфрама и графена или углеродных нанотрубок в сочетании с высокой температурой плавления и отличной электропроводностью (>40% IACS) значительно улучшают отверждение и долговечность. Композитный электрод должен решать проблему межфазной стабильности при высоких температурах.

Исследования и разработки новых электродов должны сочетаться с рыночным спросом и производственной целесообразностью, например, стоимость производства наноэлектродов должна быть дополнительно снижена для достижения широкомасштабного применения. В будущем сотрудничество между промышленностью, университетами и научными исследованиями, а также международные технические обмены ускорят процесс индустриализации новых электродов.

9.4 Проблемы поверхностного электричества для чисто электрического электрода

Несмотря на то, что рынок чистых электрических электродов быстро развивается, он сталкивается с множеством проблем, включая колебания цен на сырье, давление со стороны экологических норм и технологическую конкуренцию.

9.4.1 Колебания цен на сырье

На цену вольфрама, как редкого металла, влияют глобальный спрос и предложение, геополитика и политика в области добычи полезных ископаемых. В 2024 году цена на вольфрамовый концентрат будет колебаться от 120 000 до 150 000 юаней за тонну, что повлияет на себестоимость производства чистых вольфрамовых электродов. К основным причинам роста цен можно отнести:

Ограниченность ресурсов: Управление квотами на добычу вольфрама в Китае ограничивает рост предложения.

Экспортный спрос: Растущий спрос на нерадиоактивные электроды в Европе и Соединенных Штатах привел к росту международных цен на вольфрам.

Геополитические риски: геополитические события, такие как российско-украинский конфликт, могут нарушить поставки вольфрама из России.

Колебания цен увеличивают неопределенность производственных затрат, особенно для малых и средних предприятий. Стратегии включают долгосрочные контракты с поставщиками, разработку технологий переработки вольфрамового лома и изучение альтернативных материалов, но волатильность цен на сырье останется основным риском в ближайшей перспективе.

9.4.2 Давление со стороны экологических норм

Производство вольфрамовых электродов сопряжено с высоким потреблением энергии и выбросами загрязняющих веществ, а также подпадает под все более строгие экологические нормы, такие как Закон об охране окружающей среды Китая и Рамочная директива Европейского союза об отходах. К числу проблем относятся:

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Очистка сточных вод: Вольфрамсодержащие сточные воды от очистки и очистки вольфрама должны быть очищены до содержания тяжелых металлов менее 0,01 мг/л, что увеличивает стоимость очистки.

Контроль выхлопных газов: пыль и газ оксид вольфрама, образующиеся при спекании и измельчении, должны быть очищены с помощью высокоэффективной фильтрации и адсорбции, а инвестиции в оборудование высоки.

Ограничения энергопотребления: Цели Китая по «двойному углероду» (достижение пика выбросов углерода и углеродная нейтральность) требуют от предприятий снижения потребления энергии на единицу продукции, а традиционные энергоемкие процессы находятся под угрозой постепенного отказа.

Затраты на соблюдение экологических норм могут вытеснить финансирование НИОКР и повлиять на технологические инновации. Компаниям необходимо сократить затраты на соблюдение нормативных требований за счет «зеленых» процессов и применения возобновляемых источников энергии, обеспечивая при этом государственные субсидии и «зеленую» финансовую поддержку.

9.4.3 Международная конкуренция и технологические барьеры

Рынок чистых электрических электродов отличается высокой конкуренцией, а международная конкуренция и технические барьеры являются основными вызовами:

Барьеры высокого уровня: американские, немецкие и японские компании занимают рынок высокого класса с передовыми технологиями (такими как спекание SPS и нанокристаллическая обработка), а эффект бренда и патенты на технологии ограничивают выход китайских компаний.

Конкуренция на низкоценовом рынке: производители с низкими издержками в таких странах, как Китай, Вьетнам и Индия, участвуют в ценовых войнах на рынках низкого ценового сегмента, а норма прибыли продолжает снижаться.

Технологический разрыв: европейские и американские компании лидируют в области новых материалов электродов (таких как композитные вольфрамовые электроды) и интеллектуального производства, в то время как китайским компаниям все еще необходимо совершить прорыв в основном оборудовании (например, высокоточных волочильных машинах) и высокотехнологичных процессах.

Чтобы справиться с международной конкуренцией, необходимо усилить технологические исследования и разработки, создание бренда и международное сотрудничество. Например, сотрудничая с немецкими компаниями по внедрению передового оборудования или участвуя в разработке международных стандартов, таких как ISO, мы можем возвысить свой голос. Кроме того, дифференцированные конкурентные стратегии (например, индивидуальные

электроды, «зеленая» сертификация) могут помочь компаниям преодолеть рыночные барьеры.



чистые вольфрамовые электроды от CTIA GROUP LTD

Глава 10 Выводы

Чистый вольфрамовый электрод (WP-электрод) играет важную роль в сварке и других отраслях промышленности благодаря своей высокой температуре плавления, экономичности и нерадиоактивным характеристикам. В этой книге систематически излагается процесс подготовки, производственное оборудование, методы испытаний, отечественные и зарубежные стандарты, состояние рынка, преимущества и недостатки чистых вольфрамовых электродов, а также всесторонне демонстрируются его технические характеристики и значение применения. В этой главе будет проведена всесторонняя оценка чистых вольфрамовых электродов, прогноз будущего направления их развития, а также выдвинуты предложения по исследованиям и применению, чтобы обеспечить справочный материал для практикующих специалистов и исследователей отрасли.

10.1 Комплексная оценка чистого вольфрамового электрода

Поскольку это самый ранний тип неплавящегося электрода, используемый при сварке TIG, эксплуатационные характеристики и эксплуатационные характеристики чистого вольфрамового электрода были полностью проверены в многолетней практике. Ниже приведена всесторонняя оценка по четырем аспектам: технические характеристики, сценарии применения, экономичность и защита окружающей среды.

Технические характеристики

Чистый вольфрамовый электрод состоит из вольфрама высокой чистоты ($\geq 99,5\%$), который

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

имеет очень высокую температуру плавления (3422°C), отличную теплопроводность (около 173 Вт/м·К) и низкое давление пара, что позволяет ему сохранять структурную стабильность и конечную морфологическую целостность в условиях высокотемпературной дуги (6000-7000°C). Эти свойства делают его особенно хорошим при сварке переменным током (AC), особенно для сварки легких металлов с оксидными пленками, таких как алюминий, магний и их сплавы. При сварке переменным током чистые вольфрамовые электроды достигают эффекта «катодной очистки» за счет чередующегося действия положительных и отрицательных полуволн, эффективно удаляя оксидный слой (например, Al₂O₃, температура плавления около 2050°C), образуя чистый высококачественный сварной шов.

Тем не менее, высокая электронная работа (около 4,52 эВ) чистых вольфрамовых электродов приводит к их возникновению дуги и нестабильности дуги при сварке постоянным током (DC), что ограничивает их конкурентоспособность при сварке нержавеющей стали, углеродистой стали и других материалов. Кроме того, расход электродов высок, особенно при высоких тисках (>200 А) или при длительной непрерывной сварке, где материал торца летуч, что приводит к сокращению длины и снижению производительности. По сравнению с легированными электродами (такими как цериевые вольфрамовые и лантановые вольфрамовые электроды, электронная работа около 2,7-3,2 эВ) немного уступает в комплексной производительности сварки, но все же имеет незаменимые преимущества в конкретных сценариях.

Высокая плотность (19,3 г/см³), твердость (HV 350-450) и химическая стабильность чистых вольфрамовых электродов делают их идеальными для электродов контактной сварки, электродов плазменной резки, термоэлектронных эмиссионных материалов, мишеней для распыления и противовесов в несварочных условиях. Например, в производстве полупроводников чистые вольфрамовые электроды могут использоваться в качестве мишеней для распыления для формирования высококачественных вольфрамовых пленок; В аэрокосмической отрасли его противовесы высокой плотности используются для оптимизации структурной балансировки. В целом, технические характеристики чистых вольфрамовых электродов превосходны в приложениях, требующих высокой температуры, высокой точности и отсутствия радиоактивности, но их универсальность нуждается в дальнейшем улучшении за счет оптимизации процесса.

Экономный

Одним из существенных преимуществ чистых вольфрамовых электродов является их низкая себестоимость. По сравнению с легированными электродами, чистые вольфрамовые электроды не нуждаются в добавлении оксидов редкоземельных элементов (таких как оксид церия, оксид лантана), что позволяет избежать дорогостоящего сырья и сложных процессов легирования, а также снижает производственные затраты. Мировые ресурсы вольфрама богаты (на долю Китая приходится около 50% запасов), цепочка поставок стабильна, а колебания цен на вольфрамовый концентрат относительно контролируемы (около 12-150 000 юаней/тонну в 2024 году). Кроме того, процесс производства чистых вольфрамовых

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

электродов (например, порошковая металлургия, обработка давлением) был очень зрелым, а крупносерийное производство еще больше снизило себестоимость единицы продукции.

Низкая стоимость чистых вольфрамовых электродов делает их широко привлекательными в чувствительных к стоимости отраслях, таких как строительство, судостроение и общая механическая обработка. Например, чистые вольфрамовые электроды часто используются для сварки алюминиевых навесных стен, конструкций судов и автомобильных деталей, чтобы сбалансировать качество и стоимость. Однако его высокий расход и частые требования к шлифовке увеличивают стоимость использования, особенно при сварке под высоким напряжением, которая требует более частой замены электродов, что косвенно увеличивает эксплуатационные расходы. В целом, чистые вольфрамовые электроды имеют очевидные преимущества в приложениях, чувствительных к стоимости, но в сценариях с высокой производительностью существует компромисс между производительностью и экономичностью.

Экологичность и безопасность

Нерadioактивная природа чистых вольфрамовых электродов заключается в том, что они более радиоактивны, чем торированные вольфрамовые электроды (содержащие радиоактивный оксид тория, ThO_2), обладающие значительными преимуществами. Радиоактивность торий-вольфрамовых электродов (мощность дозы гамма-излучения около 1-10 мкЗв/ч) представляет угрозу безопасности при производстве, хранении и утилизации, в то время как мощность дозы чистых вольфрамовых электродов близка к уровню фонового излучения (около 0,1 мкЗв/ч), что соответствует регламенту ЕС REACH и китайскому стандарту RoHS. Это свойство делает его еще более привлекательным в критически важных для безопасности областях, таких как оборудование для пищевой промышленности, медицинские приборы и аэрокосмическая промышленность.

Тем не менее, нельзя игнорировать вопросы защиты окружающей среды в процессе производства чистых вольфрамовых электродов. Очистка и спекание вольфрамовой руды сопряжены с высоким потреблением энергии, а выбросы сточных вод, таких как жидкости, содержащие вольфрам, отходы и пары оксида вольфрама, должны подвергаться строгой обработке в соответствии с требованиями Закона об охране окружающей среды и других нормативных актов. В последние годы компании снизили свое воздействие на окружающую среду, внедрив такие технологии, как ионный обмен, переработка отходов и возобновляемые источники энергии, такие как солнечная энергия, но стоимость соблюдения требований остается проблемой для малых и средних предприятий. В целом, чистые вольфрамовые электроды имеют неотъемлемые преимущества с точки зрения защиты окружающей среды и безопасности, но производственный процесс нуждается в дальнейшей оптимизации для достижения экологичного производства.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

CTIA GROUP LTD

Pure Tungsten electrode Introduction

1. Overview of Pure Tungsten Electrode

Pure tungsten electrodes are electrode materials made primarily from high-purity tungsten (content $\geq 99.95\%$) through powder metallurgy processes, including pressing, sintering, forging, and precision machining. They contain no rare earth or alloying elements, making them the most basic type of tungsten electrodes. They are widely used in welding and plasma applications that require high temperatures and high current density.

2. Main Applications of Pure Tungsten Electrode

TIG Welding (Tungsten Inert Gas Welding): Especially suitable for DC welding of reactive metals such as magnesium, aluminum, and titanium (using DCEN).

Plasma Cutting and Spraying: Used as electrode materials for high-temperature ion sources.

Electronic Devices: Serves as cathodes or supporting components in vacuum devices such as electron tubes and discharge tubes.

High-Temperature Furnace Electrodes: Used as heating electrodes in resistance furnaces operating in inert atmospheres or vacuum environments.

Scientific Research and Experimental Applications: Involved in high-temperature and high energy-density experiments.

3. Basic Data of Pure Tungsten Electrode

Item	Parameter
Chemical Composition (W)	$\geq 99.95\%$
Melting Point	3410°C
Density	19.3 g/cm ³
Electrical Conductivity (20°C)	~30% IACS
Hardness (HV)	340 – 400 HV
Thermal Conductivity	170 W/(m·K)
Operating Current Range	DCEN, depends on diameter and base metal
Electrode Diameter Range	Ø0.5 mm ~ Ø6.4 mm (customizable)
Electrode Length	Standard lengths: 150 mm and 175 mm (customizable)
Applicable Standard	ISO 6848 (Tungsten electrodes for welding)

4. Supply Form and Packaging of Pure Tungsten Electrode

Form: Polished rods, with customized ground tips

Standard Packaging: 10 pieces per plastic box, outer carton with shock-resistant protection

Customization: Dimensions, packaging, and tips can be customized

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com; Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Сценарии применения

Сценарии применения чистых вольфрамовых электродов в основном ориентированы на сварку TIG переменным током, особенно подходящие для сварки алюминия, магния и их сплавов, и широко используются в аэрокосмической, автомобильной, судостроительной и строительной отраслях. Например, в аэрокосмической области чистые вольфрамовые электроды используются для сварки фюзеляжей из алюминиевого сплава и деталей из магниевых сплавов самолетов C919; В автомобильной промышленности он играет важную роль при сварке корпусов аккумуляторов для транспортных средств на новых источниках энергии. Кроме того, вольфрамовые электроды также широко используются в несварочных работах, таких как плазменная резка, напыление мишеней и противовесов, что демонстрирует их универсальность.

Тем не менее, его ограничения в сварке постоянным током ограничивают его применение при сварке нержавеющей стали, никелевых сплавов и других материалов, и легированные электроды более выгодны в этих сценариях. Кроме того, быстрый расход и высокие требования к техническому обслуживанию чистых вольфрамовых электродов при сварке под высокой нагрузкой или высокой частотой также ограничивают их конкурентоспособность в автоматизированном производстве. В целом, чистые вольфрамовые электроды обладают уникальными преимуществами при сварке переменным током и в отдельных областях, не связанных со сваркой, но в областях общего назначения и высокопроизводительных областях требуется дальнейшее совершенствование.

10.2 Перспективы дальнейшего развития чистого вольфрамового электрода

С трансформацией и модернизацией мировой обрабатывающей промышленности, развитием новой энергетической отрасли и ужесточением норм по охране окружающей среды, будущее развитие чистых вольфрамовых электродов будет определяться технологическими инновациями, рыночным спросом и политическими рекомендациями. Ниже представлен взгляд на будущие тенденции с трех аспектов: технологический прогресс, расширение рынка и зеленое развитие.

Технологические достижения

Технологический прогресс является ключом к повышению производительности и конкурентоспособности чистых вольфрамовых электродов, и будущие разработки будут сосредоточены на следующих направлениях:

Высокая чистота и оптимизация зерна: благодаря передовым технологиям очистки, таким как ионный обмен и экстракция растворителем, чистота вольфрамового порошка увеличивается до 99,99%, а влияние примесей (таких как кислород и железо) на стабильность дуги снижается. Технологии быстрого спекания, такие как разрядное плазменное спекание (SPS), позволяют измельчать зерна до размера менее 10 мкм, повышать твердость и долговечность электрода, а также снижать расход. Исследования и разработки нанокристаллического вольфрамового электрода еще больше повысят производительность инициации дуги и

стабильность дуги, а также расширят его применение в сварке постоянным током.

Умное производство и автоматизация: промышленный Интернет вещей (IIoT) и сенсорные технологии будут стимулировать интеллектуальную трансформацию производственных линий. Например, интеллектуальные системы, которые контролируют температуру агломерационной печи, натяжение волочильной машины и качество поверхности электродов в режиме реального времени, снижают процент брака и повышают производительность. Популяризация автоматизированных производственных линий (таких как печи непрерывного агломерации, роботизированное полировальное оборудование) позволит сократить производственный цикл на 20-30% и снизить трудозатраты.

Разработка новых материалов: микролегированные электроды (такие как добавление диоксида циркония или оксида иттрия) и композиты с вольфрамовой матрицей (такие как вольфрамо-графеновые композитные электроды) станут горячими точками в исследованиях и разработках. Эти материалы снижают работу выделения электронов (до 4,0-4,2 эВ) и улучшают производительность сварки постоянным током, сохраняя при этом экономичность и нерадиоактивные свойства чистого вольфрама. Индустриализация новых электродов должна решить проблемы контроля стоимости и стабильности процесса, и ожидается, что она достигнет широкомасштабного применения в ближайшие 5-10 лет.

Технологические достижения значительно улучшат характеристики чистых вольфрамовых электродов, что сделает их более конкурентоспособными в высокоточной сварке и сварке с высокой нагрузкой, и в то же время будут способствовать их применению в новых областях, таких как полупроводники и атомная промышленность.

Расширение рынка сбыта

Ожидается, что мировой рынок чистых вольфрамовых электродов будет расти со среднегодовым темпом роста (CAGR) 3%-5%, а к 2030 году ожидается, что объем рынка достигнет 6-700 миллионов долларов. Драйверами расширения рынка являются:

Рост на развивающихся рынках: Быстрый рост производства и строительства инфраструктуры в Азиатско-Тихоокеанском регионе (Китай, Индия, Юго-Восточная Азия) стимулирует спрос на чистые вольфрамовые электроды. Например, проекты высокоскоростных железных дорог в Индии и строительство портов в Юго-Восточной Азии увеличат спрос на сварку из алюминиевых сплавов, а ценовое преимущество чистых вольфрамовых электродов делает их доминирующими на этих рынках.

Новая энергетика и высокотехнологичные отрасли: Спрос на вольфрамовые материалы высокой чистоты в солнечных батареях, ветроэнергетическом оборудовании и производстве полупроводников растет, а чистые вольфрамовые электроды используются в качестве мишеней для распыления и сварочных материалов. Например, осаждение тонких пленок в фотоэлектрической промышленности и производстве аккумуляторов для транспортных

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

средств на новых источниках энергии будет стимулировать спрос на электроды.

Прорыв в высокотехнологичных приложениях: благодаря оптимизации производственного процесса чистые вольфрамовые электроды получают больше возможностей для прецизионной сварки в аэрокосмической и атомной промышленности. Например, спрос на нерадиоактивные высокоэффективные электроды в таких проектах, как Международный термоядерный экспериментальный реактор (ИТЭР), будет способствовать технологической модернизации и расширению рынка чистых вольфрамовых электродов.

Тем не менее, расширение рынка должно иметь дело с конкуренцией и международными торговыми барьерами для легированных электродов. Европейские и американские компании занимают рынок высокого класса благодаря своим технологическим преимуществам, а китайским компаниям необходимо повышать свою конкурентоспособность за счет создания брендов и дифференцированных продуктов, таких как электроды по индивидуальному заказу. Кроме того, инициатива «Один пояс, один путь» (BRI) предоставляет китайским компаниям доступ к рынкам Ближнего Востока, Африки и Латинской Америки, и ей необходимо использовать политические дивиденды для расширения экспорта.

Зеленое развитие

Охрана окружающей среды и устойчивое развитие являются долгосрочными тенденциями в индустрии чистых вольфрамовых электродов, обусловленными глобальной целью «углеродной нейтральности» и экологическими нормами. Будущие направления включают:

Экологически чистый производственный процесс: внедрение технологии очистки с низким энергопотреблением (например, мембранная сепарация) и системы переработки отходов для сокращения выбросов сточных вод и выхлопных газов. Пилотный проект показал, что уровень переработки отходов может достигать 80%, что значительно снижает потери ресурсов. Использование возобновляемых источников энергии (например, солнечной, ветровой) при спекании и термической обработке может сократить выбросы углерода на 30%.

Продвижение нетоксичных материалов: Продвижение зеленых красок на водной основе и нетоксичных чистящих средств для замены традиционных свинецсодержащих красок и органических растворителей в соответствии с правилами ЕС REACH и китайскими стандартами RoHS. Эти материалы снижают загрязнение окружающей среды и риски для здоровья, а также повышают узнаваемость продукции на рынке.

Модель экономики замкнутого цикла: создание системы переработки вольфрамовых электродов, переработка использованных электродов путем высокотемпературного обжига и электролитического восстановления, а также снижение зависимости от первичной вольфрамовой руды. Модель экономики замкнутого цикла позволяет снизить стоимость сырья на 20-30% при одновременном повышении «зеленого» имиджа предприятий.

«Зеленое» развитие не только соответствует нормативным требованиям, но и повышает

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

корпоративную социальную ответственность и конкурентоспособность на рынке. В будущем «зеленые» сертификаты (e.g. ISO 14001) станут пропуском для выхода чистых вольфрамовых электродов на международный рынок.

10.3 Предложения по исследованию и применению чистого вольфрамового электрода

На основе всесторонней оценки и будущих тенденций развития чистого вольфрамового электрода выдвигаются следующие предложения по исследованиям и применению в четырех аспектах: технологические исследования и разработки, оптимизация производства, продвижение приложений и политическая поддержка.

Технологические исследования и разработки

Разработка высокоэффективных электродов: увеличение инвестиций в исследования и разработки нанокристаллических вольфрамовых электродов и микролегированных электродов, а также сокращение работы электронов за счет добавления следовых оксидов (таких как оксид иттрия и диоксид циркония) для повышения производительности сварки постоянным током. Сотрудничество между промышленностью, университетами и научными исследованиями может ускорить лабораторную валидацию и промышленное освоение новых электродов.

Исследования по оптимизации процессов: разработка технологии быстрого спекания и интеллектуального производственного оборудования для уточнения структуры зерна и повышения эффективности производства. Например, технология спекания SPS продвигается для сокращения времени спекания до мельчайшего уровня и снижения энергопотребления. Применение датчиков и технологий искусственного интеллекта позволяет оптимизировать производственные параметры в режиме реального времени.

Модернизация технологии обнаружения: Разработка технологии онлайн-обнаружения (например, лазерно-индуцированной спектроскопии пробоя, LIBS) для проведения анализа химического состава и микроструктуры в режиме реального времени, а также повышения эффективности контроля качества. Создание единой базы данных стандартов тестирования для содействия международному взаимному признанию результатов испытаний.

Оптимизация производства

Автоматизация и интеллект: Продвигайте автоматизированные производственные линии и интеллектуальные системы мониторинга, охватывающие весь процесс от прессования вольфрамового порошка до обработки поверхности. Например, машины непрерывного волочения проволоки и роботизированное полировальное оборудование могут повысить эффективность производства на 15-20%. Платформы анализа данных, такие как системы SCADA, оптимизируют параметры процесса и снижают процент брака.

Внедрение «зеленого» производства: Инвестируйте в экологически чистое оборудование (например, высокоэффективные фильтры, мокрые скрубберы) для очистки

производственных сточных вод и выхлопных газов с целью обеспечения соответствия экологическим нормам. Продвигайте возобновляемые источники энергии, чтобы уменьшить углеродный след. Создание системы переработки отходов для повышения эффективности использования ресурсов.

Управление цепочками поставок: Подписаны долгосрочные контракты с поставщиками вольфрамовой руды для стабилизации цен на сырье. Разработка технологии переработки вольфрамового лома для снижения зависимости от первичной вольфрамовой руды. Усилите цифровое управление цепочкой поставок, отслеживайте запасы и логистику в режиме реального времени, а также повысьте скорость реагирования.

Продвижение приложения

Индивидуальные продукты: В соответствии с потребностями аэрокосмической, автомобильной и новой энергетической отраслей, мы разрабатываем индивидуальные электроды из чистого вольфрама, такие как электроды малого диаметра (0,5-1,0 мм) для электронной промышленности и электроды большого диаметра (4,0-6,4 мм) для судостроения. Специализированные продукты могут повысить конкурентоспособность на рынке.

Экспансия на международный рынок: Воспользуйтесь инициативой «Один пояс, один путь» для выхода на рынки Ближнего Востока, Африки и Латинской Америки для продвижения недорогих и высокоэффективных электродов из чистого вольфрама. Участвуйте в международных выставках (например, Welding Exhibition в Эссене, Германия) и подавайте заявки на получение «зеленой» сертификации (например, ISO 14001) для усиления влияния бренда.

Техническое обучение и поддержка: Предоставьте пользователям обучение оптимизации параметров сварки и использованию электродов для повышения производительности чистых вольфрамовых электродов при сварке постоянным током. Например, для повышения производительности инициирования дуги и стабильности дуги рекомендуется использовать высокочастотное зажигание дуги и переменный ток прямоугольной волны.

Поддержка политики

Руководство по экологической политике: Правительство может ввести политику субсидирования, чтобы стимулировать предприятия к внедрению экологически чистых производственных технологий и возобновляемых источников энергии. Установить более строгие стандарты добычи вольфрама и выбросов для содействия переходу отрасли к «зеленому» производству.

Финансирование технологических исследований и разработок: Создание специального фонда для поддержки исследований и разработок и промышленного производства новых вольфрамовых электродов, таких как нанокристаллические электроды и композитные электроды. Поощрение совместных исследований между промышленностью,

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

университетами и исследованиями для ускорения технологической трансформации.

Международное сотрудничество и разработка стандартов: Участие в пересмотре стандартов ISO и AWS с целью усиления голоса Китая в разработке стандартов вольфрамовых электродов. Содействие международному взаимному признанию результатов испытаний, снижение торговых барьеров и содействие росту экспорта.



чистые вольфрамовые электроды от CTIA GROUP LTD

Приложение

А. Глоссарий

WP-электрод: вольфрамовый электрод с содержанием вольфрама 99,5% ≥, обычно используемый для сварки переменным током, с зеленым цветовым кодом.

Сварка TIG: процесс сварки вольфрамовых электродов под защитой инертного газа.

Рабочая функция: минимальное количество энергии, необходимое для того, чтобы электроны покинули поверхность материала.

Стабильность дуги: способность дуги оставаться непрерывной и равномерной в процессе сварки.

Порошковая металлургия: Технология подготовки материалов путем прессования и спекания металлических порошков.

Оксид редкоземельных элементов: такие как оксид церия, оксид лантана и т. Д., Добавки, используемые для улучшения характеристик вольфрамовых электродов.

Спекание: процесс нагрева частиц порошка до температуры ниже точки плавления для объединения их в плотный материал.

Производительность запуска дуги: Насколько легко электрод может инициировать дугу в начале сварки.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

Глубина проплавления: глубина плавления дуги к материалу заготовки во время сварки.

Термоэлектронная эмиссия: явление, при котором материал испускает электроны при высоких температурах.

Рост зерна: явление увеличения размера зерна при высоких температурах, которое может привести к снижению свойств материала.

AWS A5.12: стандарт вольфрамового электрода, разработанный Американским обществом сварки.

ISO 6848: Стандарт для вольфрамовых электродов, разработанный Международной организацией по стандартизации.

Зеленый наконечник: международная цветовая маркировка электродов из чистого вольфрама.

Сварка постоянным током: процесс сварки с использованием источника постоянного тока.

Сварка переменным током: процесс сварки с использованием энергии переменного тока.

Норма расхода электрода: Скорость, с которой электрод теряется в процессе сварки.

Коэффициент теплового расширения: скорость изменения размеров материала в зависимости от температуры.

Электропроводность: Способность материала проводить электрический ток.

Сопротивление ползучести: способность материала противостоять медленной деформации при высоких температурах.

В. Ссылки

- [1] Обзор производительности и применения чистого вольфрамового электрода. Вольфрамовая промышленность Китая, 2025-01-20.
- [2] Анализ тенденций развития рынка вольфрамовых электродов. Chinatungsten Online Technology Co., Ltd., 2024.
- [3] Прогресс в исследованиях и разработках высокопроизводительных вольфрамовых электродов. Металлические материалы и машиностроение, 2024-11-15.
- [4] Технология «зеленого» производства в вольфрамовой промышленности. Международная ассоциация вольфрама, 2024.
- [5] Исследования материалов и процессов сварки TIG. Технология сварки, 2025-02-10.
- [6] Отчет об анализе мирового рынка вольфрамовых электродов. Вольфрамовая промышленность Китая, 2024-11-30.
- [7] Достижения в области высокоэффективной технологии производства вольфрамовых электродов. Металлические материалы и машиностроение, 2024-10-10.
- [8] Рыночные ресурсы вольфрама и ценовые тенденции. Новости горнодобывающей промышленности Китая, 2024-09-20.
- [9] Преимущества и недостатки чистого вольфрамового электрода. Вольфрамовая промышленность Китая, 2024-12-25.
- [10] Прогресс в исследованиях по усовершенствованию материалов вольфрамовых электродов. Металлические материалы и машиностроение, 2024-11-10.
- [11] Применение композитов с вольфрамовой матрицей в сварке. Материаловедение и инженерия, 2023-12-20.

Заявление об авторских правах и юридической ответственности

- [12] Методы анализа вольфрамовых материалов высокой чистоты. Металлические материалы и машиностроение, 2024-10-15.
- [13] ИСО 6848:2015. Дуговая сварка и резка — Неплавящиеся вольфрамовые электроды — Классификация. Международная организация по стандартизации, 2015.
- [14] AWS A5.12/A5.12M:2009. Технические условия на вольфрамовые и оксидно-дисперсные вольфрамовые электроды для дуговой сварки и резки. Американское общество сварки, 2009.
- [15] ИСО 6848:2015. Дуговая сварка и резка — Неплавящиеся вольфрамовые электроды — Классификация. Международная организация по стандартизации, 2015.
- [16] EN 26848:1991. Сварочные материалы — вольфрамовые электроды для дуговой сварки в среде инертного газа и для плазменной сварки. Европейский комитет по стандартизации, 1991 год.
- [17] GB/T 4190-2017. Электроды из вольфрамовых и вольфрамовых сплавов для аргонодуговой сварки неплавкими электродами. Управление по стандартизации Китайской Народной Республики, 2017.
- [18] JIS Z 3233:2017. Вольфрамовые электроды для дуговой сварки в среде инертного газа. Японский комитет по промышленным стандартам, 2017 г.