

複合希土類タングステン電極の百科事典

中钨智造科技有限公司
CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

タングステン、モリブデン、レアアース産業向けのインテリジェント製造のグローバル
リーダー

著作権および法的責任に関する声明

CTIA GROUP の紹介

CHINATUNGSTEN ONLINE によって設立された独立した法人格を持つ完全子会社である CTIA GROUP LTD.は、産業用インターネット時代におけるタングステンおよびモリブデン材料のインテリジェントで統合された柔軟な設計と製造の促進に専念しています。CHINATUNGSTEN ONLINE は、www.chinatungsten.com を出発点として 1997 年に設立され、中国初のトップクラスのタングステン製品ウェブサイトであり、タングステン、モリブデン、レアアース産業に焦点を当てた国内の先駆的な電子商取引会社です。CTIA GROUP は、タングステンおよびモリブデン分野での約 30 年の深い経験を活用して、親会社の卓越した設計および製造能力、優れたサービス、およびグローバルなビジネスの評判を継承し、タングステン化学、タングステン金属、超硬合金、高密度合金、モリブデン、およびモリブデン合金の分野で包括的なアプリケーションソリューションプロバイダーになります。

過去 30 年間で、CHINATUNGSTEN ONLINE は、20 以上の言語をカバーする 200 以上の多言語タングステンおよびモリブデンの専門 Web サイトを確立し、タングステン、モリブデン、およびレアアースに関連するニュース、価格、および市場分析の 100 万ページを超えています。2013 年以来、WeChat 公式アカウント「CHINATUNGSTEN ONLINE」は 40,000 を超える情報を公開し、約 100,000 人のフォロワーにサービスを提供し、世界中の数十万人の業界専門家に毎日無料の情報を提供しています。ウェブサイトクラスターと公式アカウントへの累積アクセス数が数十億回に達し、タングステン、モリブデン、レアアース産業の世界的で権威ある情報ハブとして認められ、24 時間年中無休の多言語ニュース、製品性能、市場価格、市場動向サービスを提供しています。

CHINATUNGSTEN ONLINE の技術と経験に基づいて、CTIA GROUP は顧客のパーソナライズされたニーズを満たすことに重点を置いています。AI 技術を活用し、特定の化学組成と物理的特性(粒子サイズ、密度、硬度、強度、寸法、公差など)を備えたタングステンおよびモリブデン製品を顧客と共同で設計および製造しています。型開き、試作から仕上げ、梱包、物流に至るまで、全工程の一貫サービスを提供しています。過去 30 年間にわたり、CHINATUNGSTEN ONLINE は世界中の 130,000 を超える顧客に 500,000 種類を超えるタングステンおよびモリブデン製品の研究開発、設計、生産サービスを提供し、カスタマイズされた柔軟でインテリジェントな製造の基盤を築いてきました。この基盤に基づいて、CTIA GROUP は、産業用インターネット時代におけるタングステンおよびモリブデン材料のインテリジェント製造と統合イノベーションをさらに深めます。

CTIA GROUP のハンズ博士と彼のチームは、30 年以上の業界経験に基づいて、タングステン、モリブデン、レアアースに関連する知識、技術、タングステン価格、市場動向分析を執筆し、公開し、タングステン業界と自由に共有しています。ハンズ博士は、1990 年代からタングステンおよびモリブデン製品の電子商取引と国際貿易、ならびに超硬合金および高密度合金の設計と製造において 30 年以上の経験を持ち、国内外でタングステンおよびモリブデン製品の有名な専門家です。CTIA GROUP のチームは、専門的で質の高い情報を業界に提供するという原則を堅持し、生産慣行と市場の顧客のニーズに基づいて技術研究論文、記事、業界レポートを継続的に作成し、業界で広く賞賛されています。これらの成果は、CTIA GROUP の技術革新、製品プロモーション、業界交流をしっかりとサポートし、世界的なタングステンおよびモリブデン製品製造および情報サービスのリーダーとなることを推進しています。



著作権および法的責任に関する声明

CTIA GROUP LTD

Composite Rare-Earth Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

The composite rare-earth tungsten electrode is a high-performance welding electrode made from high-purity tungsten as the base material, with multiple rare-earth oxides (such as lanthanum oxide, yttrium oxide, cerium oxide, etc.) added in combination. Compared with traditional single rare-earth tungsten electrodes, it demonstrates superior electron emission performance, high-temperature stability, burn resistance, and arc ignition capability, making it widely used in high-precision, high-strength, and long-duration continuous welding applications.

2. Performance Parameters (Reference Values) of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

Item	Typical Value	Remarks
Tungsten Purity	≥99.95%	Base tungsten content
Rare-Earth Oxide Content	1.5%–3.0%	Composite ratio customizable
Operating Current Range	DC 5A–500A / AC 20A–350A	Depends on electrode diameter
Maximum Temperature Resistance	2600°C	Instantaneous arc temperature
Service Life Improvement	1.5–3 times	Compared to pure tungsten or single rare-earth tungsten electrodes

3. Applications of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

Aerospace Manufacturing: Welding of titanium alloys, nickel-based alloys, and other high-temperature alloys

Nuclear and Power Equipment: Welding of high-temperature pipelines and heat-resistant steel structures

Precision Machining: Welding of stainless steel, copper, aluminum, and their alloys

Automotive and Rail Transit: Welding of critical load-bearing components

Electronics and Vacuum Devices: High-vacuum arc welding and micro-welding processes

4. Packaging and Supply Specifications

Diameter: Ø1.0mm, 1.6mm, 2.4mm, 3.2mm, 4.0mm, etc. (customizable)

Length: 150mm, 175mm, etc. (customizable)

Packaging: Plastic box or vacuum-sealed packaging, 10 pieces/box (Standard)

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

著作権および法的責任に関する声明

ディレクトリ

第1章はじめに

- 1.1 複合希土類タングステン電極の概念と定義
- 1.2 複合希土類タングステン電極の開発経緯、技術的背景、研究状況
- 1.3 現代産業における複合希土類タングステン電極の重要性

第2章複合希土類タングステン電極の材料組成と分類

- 2.1 タングステン系材料の基本特性と純タングステン電極の限界
- 2.2 希土類酸化物の種類と機能
- 2.3 複合希土類タングステン電極の分類基準
- 2.4 複合希土類タングステン電極の一般的なモデルと仕様
- 2.5 複合希土類タングステン電極材料組成が性能に及ぼす影響の分析
- 2.6 複合希土類タングステン電極と従来のトリウムタングステン電極の比較

第3章複合希土類タングステン電極の調製・製造工程と技術

- 3.1 原材料の調製と比率
- 3.2 粉末冶金プロセスの詳細な説明
- 3.3 削減プロセス
- 3.4 成形および成形プロセス
- 3.5 焼結プロセス
- 3.6 圧力処理技術
- 3.7 表面処理とコーティング技術
- 3.8 準備プロセスにおける主要パラメータの制御
- 3.9 プロセスの最適化と一般的な欠陥分析
- 3.10 グリーン調製技術
- 3.11 大規模生産プロセスフローチャート

第4章複合希土類タングステン電極の物理的、化学的、および溶接特性

- 4.1 複合希土類タングステン電極の機械的特性
- 4.2 複合希土類タングステン電極の熱特性
- 4.3 複合希土類タングステン電極の電気的特性
- 4.4 複合希土類タングステン電極の化学的安定性と耐食性
- 4.5 複合希土類タングステン電極の溶接特性
- 4.6 希土類添加が微細構造に及ぼす影響
- 4.7 タングステン電極の性能の比較
- 4.8 複合希土類タングステン電極の環境適応性
- 4.9 複合希土類タングステン電極の疲労特性と寿命特性の解析
- 4.10 複合希土類タングステン電極 MSDS from CTIA GROUP LTD

第5章複合希土類タングステン電極の使用と適用ガイドライン

- 5.1 複合希土類タングステン電極の主な用途の概要

著作権および法的責任に関する声明

- 5.2 複合希土類タングステン電極に適用できる溶接タイプ
- 5.3 複合希土類タングステン電極の産業応用事例
- 5.4 複合希土類タングステン電極の推奨溶接プロセスパラメータ
- 5.5 複合希土類タングステン電極の使用上の注意
- 5.6 複合希土類タングステン電極に関する一般的な問題の解決
- 5.7 新興分野における複合希土類タングステン電極の応用
- 5.8 複合希土類タングステン電極の経済的利益分析

第6章複合希土類タングステン電極の製造設備

- 6.1 複合希土類タングステン電極の原料加工装置
- 6.2 複合希土類タングステン電極の還元およびドーピング装置
- 6.3 複合希土類タングステン電極の成形装置
- 6.4 複合希土類タングステン電極の焼結装置
- 6.5 複合希土類タングステン電極の加工装置
- 6.6 複合希土類タングステン電極の表面処理装置
- 6.7 複合希土類タングステン電極の補助装置
- 6.8 複合希土類タングステン電極装置の選択とメンテナンスのガイドライン
- 6.9 複合希土類タングステン電極の自動生産ラインの設計と統合
- 6.10 複合希土類タングステン電極の安全装置と保護対策

第7章複合希土類タングステン電極の国内外規格

- 7.1 複合希土類タングステン電極の国内規格
- 7.2 複合希土類タングステン電極の国際規格
- 7.3 複合希土類タングステン電極の材料組成基準
- 7.4 複合希土類タングステン電極の性能試験基準
- 7.5 複合希土類タングステン電極の環境保護および安全基準
- 7.6 複合希土類タングステン電極の認証制度
- 7.7 複合希土類タングステン電極規格の比較と適用性分析
- 7.8 複合希土類タングステン電極の最新の標準更新

第8章複合希土類タングステン電極の試験と品質検査

- 8.1 複合希土類タングステン電極の性能試験方法
- 8.2 複合希土類タングステン電極の機械的特性試験
- 8.3 複合希土類タングステン電極の微細構造解析
- 8.4 複合希土類タングステン電極の化学組成検出
- 8.5 複合希土類タングステン電極の欠陥検出技術
- 8.6 複合希土類タングステン電極の寿命評価と信頼性解析
- 8.7 複合希土類タングステン電極の品質管理のポイント

第9章複合希土類タングステン電極の安全性と環境への配慮

- 9.1 運用安全仕様
- 9.2 健康リスクと保護措置
- 9.3 環境影響評価

著作権および法的責任に関する声明

- 9.4 リサイクルと再利用技術
- 9.5 保管および輸送要件
- 9.6 グリーン製造の原則
- 9.7 規制遵守

第 10 章複合希土類タングステン電極の今後の開発動向

- 10.1 新しい希土類の組み合わせとドーピング技術
- 10.2 ナノ希土類酸化物のドーピングと拡散強化
- 10.3 AI インテリジェント溶接パラメータ最適化技術の統合
- 10.4 グリーン製造と持続可能な開発
- 10.5 航空宇宙、原子力産業、医療製造、その他の分野での応用の見通し

虫垂

用語集

参照

第1章はじめに

1.1 複合希土類タングステン電極の概念と定義

複合希土類タングステン電極 は、マトリックスを基体とする一種の高純度タングステンであり、さまざまな希土類酸化物(酸化ランタン La_2O_3 、酸化セリウム CeO_2 、酸化イットリウム Y_2O_3 、ジルコニア ZrO_2 など)をドーピングした高度な電極材料で、性能を最適化します。その中核は「複合」設計にあり、複数の希土類酸化物の相乗効果により、電極は電極の電子放出容量、アーク安定性、耐高温性、耐用年数を大幅に向上させます。従来の純粋なタングステン電極や単一の希土類タングステン電極と比較して、複合希土類タングステン電極は、溶接、切断、溶解などの用途で優れた総合性能を示し、現代産業にとって不可欠な主要材料となっています。

技術的定義から、複合希土類タングステン電極とは、粉末冶金、化学ドーピング、またはタングステンマトリックス中に 1%~4%の質量分率の希土類酸化物をドーピングすることによって溶液溶射によって調製された非溶融電極材料を指します。主に不活性ガスシールド溶接(TIG 溶接)、プラズマ溶接、切断、溶射、電気光源に使用されます。希土類酸化物の種類と量に応じて、二元複合材料(セリウム-ランタン-タングステン電極など)、三元複合材料(セリウム-ランタン-イットリウム-タングステン電極など)、および多複合電極に分けることができます。国際規格 (ISO 6848:2015 など) では非溶融電極として分類されており、一般的なモデルには WL シリーズ (ランタン タングステン)、WC シリーズ (セリウム タングステン)、WY シリーズ (イットリウム タングステン)、およびカスタマイズされたマルチコンポジット モデルが含まれます。

複合希土類タングステン電極の開発は、従来のタングステン電極の限界に起因しています。純タングステン電極は融点が 3410°C まで高く、耐食性に優れていますが、電子脱出仕事量が高く(約 4.5eV)、アーク放電が困難で、アーク放電が不安定で、電極損失が速いです。初期のトリウムタングステン電極(ThO_2 を含む)は、動作機能を低下させることで性能を向上させましたが、トリウムの放射能は環境とオペレーターの健康に脅威をもたらしました。非放射性希土類酸化物を導入することにより、複合希土類タングステン電極は、タングステンの高い融点と安定性を維持するだけでなく、電子逃げ仕事を大幅に削減し(最大 $2.0\sim 2.5\text{eV}$)、アーク安定性を向上させ(安定性指数は 95%以上に達する)、耐用年数を延ばします(純タングステン電極の 23 倍)。

微細構造に関しては、複合希土類タングステン電極のタングステンマトリックスには微細な希土類酸化物粒子が分布しており、結晶粒の成長を抑制し、結晶粒構造を微細化することにより、材料の機械的強度と靱性を高めます。たとえば、酸化セリウムは作業機能を低下させ、電子放出を促進します。酸化ランタンはアークの安定性を向上させます。酸化イットリウムは高温の機械的特性を高めます。ジルコニアは抗酸化特性を改善します。これらの希土類元素の相乗効果により、粒界特性を最適化し、高温揮発を低減し、亀裂の伝播を抑制することで、電極を高電流密度 ($>100\text{A}/\text{mm}^2$) でも安定させることができます。

調製プロセスに関しては、複合希土類タングステン電極は、機械的混合または化学的ドーピングによって調製できます。機械的混合法は、タングステン粉末と希土類酸化物粉末を

著作権および法的責任に関する声明

物理的に混合しますが、これは単純ですが、わずかに均一性が劣ります。化学的ドーピング法は、溶液噴霧または共沈技術により原子レベルのドーピングを実現し、均一性を向上させます。プロセスの選択は、希土類分布の均一性と電極特性の安定性に影響を与え、化学ドーピングは希土類酸化物粒子のサイズをナノメートルレベルで制御し、電極の耐久性を大幅に向上させることができます。

複合希土類タングステン電極の概念は、新興分野での拡大もカバーしています。たとえば、炭化タングステンや窒化タングステンと組み合わせて、新エネルギー電池の電極に適した複合材料を形成したり、電気化学反応の触媒担体として使用したりします。これらの拡張された用途はその多用途性を実証し、従来の溶接材料からハイテク分野への移行を推進しています。さらに、環境に優しい特性（非放射性、REACH 準拠）により、トリウム タングステン電極の理想的な代替品となり、持続可能な材料に対する世界的な需要に応えます。

性能指標に関しては、複合希土類タングステン電極の典型的な仕様には、直径 1.0~10.0mm、長さ 150~175mm が含まれ、表面は研磨、酸化、またはコーティングできます。その主なパラメータには、電子脱出電力 <2.5eV、アーク安定性 >95%、アーク寿命 500~1000 時間（プロセス条件による）が含まれます。これらの特性により、高精度溶接、航空宇宙、新エネルギー分野で広く使用されています。

1.2 複合希土類タングステン電極の開発経緯、技術的背景、研究状況

複合希土類タングステン電極の開発プロセスは、溶接技術、材料科学、環境保護要件の進化と密接に関係しています。20 世紀初頭、タングステンは融点が高く化学的安定性があるため電極材料として使用されていましたが、純粋なタングステン電極の性能が不十分であるため、その用途は制限されていました。1913 年にトリウムタングステン電極(1%~2%の ThO₂ を含む)が導入され、作業機能を低下させることでアーク放電性能が大幅に向上し、TIG 溶接に広く使用されました。しかし、トリウムの放射能は、特に環境規制がますます厳しくなる中で、徐々に注目を集めています。

1973 年、中国の上海電球工場の Wang Juzhen のチームは、希土類タングステン電極の先駆的なブレークスルーであるセリウム タングステン電極 (CeO₂ を含む) の開発に成功しました。セリウム-タングステン電極は、非放射能、低動作機能(約 2.7eV)、および優れたアーク安定性を備えた一部のトリウム-タングステン電極アプリケーションにすぐにとって代わり、ISO 6848 規格に含まれました。20 世紀の 80 年代に、粉末冶金技術の進歩に伴い、二元複合希土類タングステン電極(セリウムとランタンの組み合わせなど)が登場し始めました。北京タングステンモリブデン材料工場およびその他の機関は、ドーピングプロセスを最適化することにより、希土類元素の均一な分布を達成し、電極の総合的な性能を向上させました。

90 年代には、三元複合希土類タングステン電極(セリウム、ランタン、ランタン、イットリウムの組み合わせなど)の開発が話題になりました。技術的背景には、タングステン基板中の希土類酸化物の微視的分布を明らかにするのに役立つ走査型電子顕微鏡 (SEM)、X 線回折 (XRD)、および透過型電子顕微鏡 (TEM) の幅広い応用が含まれます。たとえ

著作権および法的責任に関する声明

ば、希土類酸化物粒子は安定した第 2 相を形成し、高温でのタングステン粒子の粗大化を抑制し、電極の寿命を延ばすことが研究で示されています。同時期に、中国の 863 計画に支えられた「多複合希土類タングステン電極工業化技術」プロジェクトは、水素還元、冷間静水圧プレス、真空焼結をカバーする大規模生産を促進しました。

21 世紀には、複合希土類タングステン電極の応用分野は、従来の溶接からプラズマ切断、溶射、新エネルギー電池に拡大しました。2000 年以降、グリーン材料に対する世界的な需要が放射性電極の人気を牽引しました。技術的背景には、ナノテクノロジーの導入、ドーピング均一性を向上させるための希土類ナノ粉末の使用、粒子サイズの制御などがあります。さらに、自動生産設備(噴霧ドーブ乾燥機、中周波誘導焼結炉など)により、歩留まりと一貫性が大幅に向上します。

2010 年代には性能最適化と欠陥制御に重点が置かれた研究が行われた。たとえば、焼結成層メカニズムは、希土類の分布に対する温度勾配の影響を明らかにし、焼結パラメータ(1450~1800°C、真空 $<10^{-3}$ Pa)を最適化しました。AWS A5.12/A5.12M などの国際規格は、電極の組成、性能試験、品質管理要件をさらに規制しています。同じ時期に、レアアースサプライチェーンの安定性が懸念されるようになり、グローバルクリティカル鉱物見通しレポートはレアアース資源の戦略的重要性を強調しました。

2025 年現在、複合希土類タングステン電極の研究状況は学際的な傾向を示しています。ホットスポットには次のものが含まれます。

新たな用途: リチウムイオン電池、燃料電池、太陽光発電装置では、エネルギー密度とサイクル寿命を向上させるために、複合希土類タングステン電極が正極または導電性コーティング材料として使用されます。

グリーン製造: 石炭廃棄物からレアアースを抽出するプロセスは、循環経済の概念に沿って、バージン鉱物への依存を減らします。

インテリジェント生産: AI 支援のプロセス最適化と 3D プリンティング技術がカスタマイズされた電極製造に使用され、複雑な構造の製造精度が向上します。

性能試験: アーク寿命試験 (>1000 時間)、加速老化実験、および微細構造分析 (SEM/TEM) は、性能評価のための信頼できるデータを提供します。

課題としては、レアアース資源の不足、高い加工コスト、国際貿易障壁などがありますが、政策支援(中国のレアアース管理規制など)と市場需要の拡大にチャンスがあります。世界市場の予測によると、複合希土類タングステン電極の年間消費量は 1,600 トンを超え、2025~2030 年には年間平均成長率が 5.8%に達すると予想されています。

1.3 現代産業における複合希土類タングステン電極の重要性

現代産業における複合希土類タングステン電極の重要性は、その優れた性能、多分野への応用、グリーン製造への貢献に起因しています。トリウムタングステン電極の環境に優しい代替品として、放射能リスクを排除し、世界的な環境規制 (REACH、RoHS など) に準拠し、溶接業界の持続可能性を促進します。

著作権および法的責任に関する声明

溶接の分野では、複合希土類タングステン電極は TIG 溶接とプラズマ溶接のコア材料です。その低い動作機能と高いアーク安定性 (>95%) により、高品質の溶接が保証され、航空宇宙 (チタンおよびステンレス鋼の溶接)、自動車製造 (アルミニウム合金の軽量溶接)、原子力 (原子炉パイプラインの溶接) で広く使用されています。たとえば、航空分野では、電極は複雑なコンポーネントの欠陥のない溶接をサポートし、厳しい安全基準を満たしています。自動車産業では、電気自動車のバッテリー部品の精密溶接が生産効率の向上に役立ちます。

新エネルギー分野では、複合希土類タングステン電極がリチウムイオン電池、燃料電池、太陽光発電設備の電極材料または導電性コーティングとして使用されています。たとえば、リチウム電池の製造では、その高い導電性と耐食性により、電極のサイクル寿命が向上します (>5000 サイクル)。太陽光発電産業では、シリコンウェーハ切断用のプラズマ電極により、切断精度と耐久性が向上します。

エレクトロニクス産業では、複合希土類タングステン電極が半導体デバイスの正極やフィラメントに使用され、安定した電子放出を提供し、チップ製造の高精度要件をサポートします。さらに、溶射の分野では、その高温耐性 (>3000°C) と耐酸化性を利用して耐摩耗性コーティングをスプレーし、機械部品の寿命を延ばします。

軍事および医療分野では、複合希土類タングステン電極は、徹甲弾や医療用インプラントの製造などの高精度溶接をサポートします。高い融点と化学的安定性により、過酷な条件下でも信頼性が保証されます。

経済的メリットの観点から見ると、複合希土類タングステン電極は寿命を延ばし (500~1000 時間)、メンテナンスコストを削減することで、生産コストを大幅に節約します。たとえば、TIG 溶接では、アーク燃焼時間は純タングステン電極の 2 倍以上長くなり、交換頻度が減ります。世界市場分析によると、ハイエンド製造における需要が年平均 5% 以上の市場成長を牽引しています。

戦略的には、希土類資源の希少性と複合希土類タングステン電極のかけがえのない性質により、希土類は重要な材料となり、政策の注目を集めています。EU の重要原材料法と中国のレアアース管理規則は、レアアースサプライチェーンの保護を強調し、リサイクル技術と代替プロセスの研究開発を促進しています。2025 年までに、複合希土類タングステン電極の市場規模は 10 億ドルを超えると予想されており、ハイテク産業を支える重要な柱になります。

著作権および法的責任に関する声明



第2章複合希土類タングステン電極の材料組成と分類

2.1 タングステン系材料の基本特性と純タングステン電極の限界

タングステンベースの材料は、その独特の物理的および化学的特性により電極製造に広く使用されており、複合希土類タングステン電極のコアマトリックスとなっています。タングステンは、融点が非常に高く、熱的および化学的安定性に優れた高融点金属であり、非溶融電極に最適です。その本質的な特性には、高密度、優れた導電性、非常に低い蒸気圧が含まれており、高温、大電流の溶接環境で優れています。

タングステンの融点は 3410°C で、あらゆる金属の中で最も高いため、電極がアーク温度で大きく溶けたり変形したりすることはありません。タングステンの密度は 19.25 g/cm^3 で、優れた機械的強度と耐摩耗性を備えています。さらに、タングステンの導電率は銅の約 30% で、一般的な導電性材料よりも低いですが、大電流溶接をサポートするには十分です。その化学的安定性は、室温で酸、アルカリ、酸化環境に対する不活性として現れ、要求の厳しい産業環境での使用に適しています。タングステンの熱膨張係数はわずか $4.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ と低いため、高温での熱応力亀裂のリスクが軽減されます。

ただし、純粋なタングステン電極には、実際の用途には大きな制限があります。まず、純粋なタングステンは電子逃げ仕事が大きいため、アーク放電性能が低下します。TIG 溶接では、純粋なタングステン電極はアークを開始するためにより高い電圧を必要とし、エネ

著作権および法的責任に関する声明

ルギー消費が増加し、アークの不安定性につながる可能性があります。第二に、純粋なタングステン電極のアーク安定性は不十分であり、特に大電流または AC 溶接では、アークがドリフトしやすく、溶接の品質に影響を与えます。さらに、純粋なタングステン電極の結晶粒が高温で粗くなると、材料が脆くなり、耐用年数が短くなる可能性があります。高温環境では、タングステンの表面に酸化物が形成され、電極の汚染や性能の低下につながることもあります。

純粋なタングステン電極のもう一つの制限は、電子放出能力が低いことです。溶接プロセス中、電子放出の効率はアークの安定性とエネルギー集中に直接影響します。純粋なタングステン電極は動作機能が高いため、低電流条件下で安定したアークを維持することが困難になり、精密溶接への応用が制限されます。さらに、純粋なタングステン電極の耐摩耗性と耐燃焼損性は限られており、特に長期間の高強度溶接では電極先端がアブレーションされやすく、頻繁に交換する必要があるため、生産コストが増加します。

これらの制限により、研究者はドーピング修飾によるタングステン電極の性能の最適化を模索するようになりました。初期の頃、酸化トリウムは電子放出を改善するためのドーパントとして使用されていましたが、その放射能の問題により、無毒の希土類酸化物の開発が促進されました。複合希土類タングステン電極は、さまざまな希土類酸化物を導入することにより純粋なタングステン電極の欠点を克服し、現代の溶接技術の主流の選択肢となっています。

2.2 希土類酸化物の種類と機能

希土類酸化物は、複合希土類タングステン電極の重要な添加剤であり、その種類と作用によって電極の性能最適化の程度が直接決まります。一般的に使用される希土類酸化物には、酸化ランタン (La_2O_3)、酸化セリウム (CeO_2)、酸化イットリウム (Y_2O_3)、ジルコニア (ZrO_2) などがあり、これらは作業機能を低下させ、微細構造を改善し、高温安定性を高めます。電極性能を大幅に向上させます。

酸化ランタン (La_2O_3) は、優れた電子放出能力とアーク安定性で知られています。酸化ランタンを添加すると、タングステンマトリックスの電子逃げ仕事が増えるため、電極はより低い電圧で安定したアークをトリガーできます。これは、アーク開始時間を短縮し、溶接の一貫性を向上させるため、AC 溶接および精密溶接にとって特に重要です。酸化ランタンはまた、安定した第二相粒子を形成することにより高温でのタングステン粒子の成長を阻害し、電極の耐脆性を高めます。さらに、酸化ランタンは高温での蒸発速度が低いいため、電極材料の損失が減少します。

酸化セリウム (CeO_2) も広く使用されている希土類酸化物で、その低い作動関数と高い電子放出効率で知られています。酸化セリウムを添加することで、DC 溶接と AC 溶接の両方で電極が素早くアークを放出し、特に低電流の精密溶接に適しています。酸化セリウム粒子はタングステンマトリックスに均一に分布しているため、電極の電気伝導率と熱伝導率が向上し、アーク集中領域の温度勾配が低減され、バーンアウト損失が減少します。さらに、酸化セリウムは電極表面の防汚能力に大きく貢献し、溶接プロセス中のアークへの不純物の干渉を軽減します。

著作権および法的責任に関する声明

酸化イットリウム (Y_2O_3) は主に電極の高温機械的特性と耐酸化性を高めます。酸化イットリウムは熱的に非常に安定しており、高温アーク放電環境でも構造的完全性を維持し、電極先端のアブレーションを低減できます。酸化イットリウムの添加により、タングステンの結晶粒構造も微細化され、電極の靱性と耐疲労性が向上します。このため、イットリウム含有電極は、航空宇宙部品の製造など、大電流の長期連続溶接に特に適しています。

ジルコニア (ZrO_2) は、その優れた耐酸化性と耐食性により、複合電極に使用されています。ジルコニアは高温で安定した保護層を形成し、タングステンマトリックスが酸素やその他の反応性ガスと反応するのを防ぎ、電極の寿命を延ばします。ジルコニアは電極の耐熱衝撃性も向上させるため、プラズマ切断などの複雑な環境での使用に適しています。さらに、ジルコニアの添加により、特に高周波溶接におけるアーク安定性が最適化されます。

酸化ネオジム (Nd_2O_3) や酸化サマリウム (Sm_2O_3) などの他の希土類酸化物も、特定の用途で調査されています。これらの酸化物は、電極の微細構造と電子放出特性を調整することにより、さらなる性能最適化を提供します。たとえば、酸化ネオジムは動作機能をさらに低下させますが、酸化サマリウムは高温酸化に対する電極の耐性を高めます。

希土類酸化物の作用機序は、タングステンマトリックスとの相互作用にあります。高温では、希土類酸化物粒子が電極表面に移動し、低い作動関数の発光点を形成し、電子の逃避を促進します。同時に、これらの粒子はピン止め効果によって粒界の滑りを抑制し、材料の高温強度を高めます。たとえば、酸化セリウムと酸化ランタンの組み合わせによりアーク放電性能と寿命のバランスが取れ、酸化イットリウムとジルコニアの組み合わせにより高温安定性と耐食性が最適化されます。

2.3 複合希土類タングステン電極の分類基準

複合希土類タングステン電極の分類は、希土類酸化物の種類、量、用途特性に基づいており、さまざまな溶接ニーズや工業規格を満たすことを目的としています。分類基準には主に次の側面が含まれます。

希土類酸化物の種類に応じて:添加される希土類酸化物の種類に応じて、電極は単一の希土類電極(セリウムタングステン、ランタンタングステンなど)と複合希土類電極に分けることができます。複合希土類電極は、二元複合材料 (セリウム - ランタン - タングステン電極など)、三元複合材料 (セリウム - ランタン - イットリウム - タングステン電極など)、およびマルチ複合材料 (3 つ以上の希土類酸化物を含む) にさらに細分されます。単一の希土類電極の性能は比較的単純ですが、複合電極は希土類元素の相乗効果により、より包括的な性能の最適化を実現します。

希土類含有量による:希土類酸化物の総含有量は通常 1%~4%で、含有量に応じて低希土類 (1%~2%)、中希土類(2%~3%)、高希土類(3%~4%)電極に分けられます。低希土類電極は低電流の精密溶接に適しており、高希土類電極は大電流の高耐力溶接に使用されます。

用途別:主な用途に応じて、電極は溶接(TIG 溶接、プラズマ溶接など)、切断(プラズマ切断)、スプレー(溶射)、電光源(フィラメント、カソード)に分けることができます。例えば、

著作権および法的責任に関する声明

溶接用電極はアーク安定性を重視し、切断用電極は耐高温性を重視します。

国際規格によると:ISO 6848:2015 および AWSA5.12 規格に従って、複合希土類タングステン電極は希土類の種類と性能によって等級付けされます。たとえば、WL20(酸化ランタン 2% を含む) や WC20(酸化セリウム 2% を含む) などのモデルでは希土類の種類と含有量が指定されていますが、複合電極は WLaCeY(三元複合材料) などのカスタマイズされた番号で表される場合があります。

加工工程により、調製方法により、機械混合電極と化学ドーピング電極に分けることができます。機械的ハイブリッド方式の電極のコストは低いですが、均一性はわずかに劣ります。化学的にドーピングされた電極は、希土類分布の均一性が高く、高性能アプリケーションに適しています。

分類基準は、パフォーマンスの最適化と生産コストのバランスを念頭に置いて作成されています。たとえば、バイナリ複合電極は性能とコストのバランスが取れており、工業用溶接で広く使用されています。三元または多複合電極は、航空宇宙や原子力などの高精度で要求の厳しい環境向けに設計されています。

2.4 複合希土類タングステン電極の一般的なモデルと仕様

複合希土類タングステン電極のモデルと仕様は、国際規格と市場の需要に従って配合されており、一般的なモデルには、WL、WC、WY シリーズ、およびカスタマイズされた複合モデルが含まれます。主なモデルとその仕様は次のとおりです。

WL シリーズ(ランタンタングステン電極):酸化ランタンを含み、通常 WL10(1%La₂O₃)、WL15(1.5%La₂O₃)、WL20(2%La₂O₃)として表されます。TIG 溶接やプラズマ溶接に適しており、アーク開始性能とアーク安定性に優れ、直径範囲は 1.0~10.0mm、長さは 150~175mm です。

WC シリーズ(セリウムタングステン電極):酸化セリウムを含み、一般的なモデルは WC20(2%CeO₂)です。直径 1.0~6.4mm、長さ 150mm の低電流精密溶接や AC 溶接に適しており、通常、表面は汚染を減らすために研磨されています。

WY シリーズ(イットリウムタングステン電極):酸化イットリウムを含み、WY20(2%Y₂O₃) などのモデルで、主に大電流 DC 溶接に使用され、耐高温性に優れ、直径 2.0~8.0mm、長さ 150~175mm です。

複合モデル:WLaCe(酸化ランタンと酸化セリウムを含む)、WLaCeY(酸化ランタン、酸化セリウム、酸化イットリウムを含む)など。これらのモデルはカスタマイズされた製品であり、希土類含有量は用途のニーズに応じて調整され、通常は 1.5% ~ 3.5% の間で調整され、直径と長さは顧客の要件に応じてカスタマイズできます。

仕様: 電極の直径は 0.5mm(マイクロ溶接) から 12.0mm(重工業溶接) の範囲で、長さには 150mm、175mm、およびカスタマイズされた長さが含まれます。表面処理には研磨、酸化、コーティングが含まれ、端部形状はさまざまな溶接プロセスのニーズを満たすため

著作権および法的責任に関する声明

に尖った、平らな、または球形にすることができます。

モデルの選択は、溶接の種類、電流範囲、および材料特性によって異なります。たとえば、WL20 はアルミニウム合金の AC 溶接に適しており、WC20 はステンレス鋼の低電流溶接に使用され、WLaCeY は高張力鋼の高負荷溶接に使用されます。仕様の多様性により、この電極は航空宇宙、自動車製造、原子力発電などに幅広く適用できます。

2.5 複合希土類タングステン電極材料組成が性能に及ぼす影響の分析

複合希土類タングステン電極の性能は、希土類酸化物の種類、含有量、分布均一性、タングステンマトリックスとの相互作用などの材料組成の影響を受けます。以下は、その影響を複数の観点から分析したものです。

希土類酸化物の種類: 希土類酸化物が異なれば、電極の性能への寄与も異なります。酸化ランタンは主に作動機能を低下させ、アーク安定性を向上させます。酸化セリウムはアーク発生と汚染防止能力を高めます。酸化イットリウムは高温強度と耐燃焼性を向上させます。ジルコニアは抗酸化特性を改善します。バイナリーまたはターナリー複合材料は、低い動作機能と長寿命特性を兼ね備えた WLaCe 電極など、相乗作用によって複合性能を最適化します。

希土類含有量: 希土類酸化物含有量の増加は通常、作業機能が低下し、電子放出効率が向上しますが、含有量が高すぎる (>4%) と、マトリックス強度の低下や焼結欠陥につながる可能性があります。精密溶接には 1%~2%の低含有量が適しており、一般的な範囲は 2%~3%、高負荷溶接には 3%~4%が使用されます。コンテンツを最適化するには、パフォーマンスとコストのバランスを取る必要があります。

分布の均一性: 希土類酸化物の均一な分布は、性能にとって非常に重要です。化学ドーピング法は、ナノスケールの粒子分布(<100nm)を実現し、電極の導電性と安定性を向上させることができます。機械的混合は粒子の凝集につながり、性能の一貫性を低下させる可能性があります。SEM 分析により、均一に分布した希土類粒子が粒界を効果的に釘付けにし、高温クリープに抵抗する能力を高めることができることが示されました。

微細構造: 希土類酸化物を添加するとタングステン粒子が微細化され、平均粒径が 20~50 μm から 5~10 μm の純タングステンに縮小され、靱性と耐疲労性が向上します。希土類粒子は安定した第 2 相も形成し、高温での粒界の滑りを減らし、電極の寿命を延ばします。

相乗効果: 多複合電極は、希土類元素の相乗作用により性能を最適化します。たとえば、酸化セリウムと酸化ランタンの組み合わせにより、アーク電圧が低下し、寿命が延びます。酸化イットリウムとジルコニアの組み合わせにより、高温安定性と耐食性が向上します。この相乗効果により、複合電極は複雑な動作条件下でも優れた性能を発揮します。

環境適応性: 希土類酸化物の化学的安定性により、電極の汚染に対する耐性が向上し、溶接中の酸化物や不純物の影響が軽減されます。ジルコニア含有電極は、高湿度や腐食性ガスのある環境でも優れた耐久性を示します。

著作権および法的責任に関する声明

要約すると、材料組成の設計は、アプリケーションの要件に応じて最適化する必要があります。航空宇宙分野では高温性能を確保するために三元複合電極を優先するかもしれませんが、エレクトロニクス業界では精密溶接のために希土類含有量の少ないセリウムタングステン電極に傾倒しています。

2.6 複合希土類タングステン電極と従来のトリウムタングステン電極の比較

複合希土類タングステン電極と従来のトリウムタングステン電極の間には、性能、環境への優しさ、および適用範囲の点で大きな違いがあります。以下は、いくつかの側面からの比較です。

電子放出性能: トリウムタングステン電極 (1%~2%の ThO₂を含む)は、トリウムの低い動作機能により良好なアーク開始性能を提供しますが、複合希土類タングステン電極は、複数の希土類酸化物の相乗効果により、より低いアーク放電電圧とより高いアーク安定性により、動作機能をさらに低下させます。たとえば、AC 溶接における WLaCeY 電極のアーク開始時間は、トリウム タングステン電極のアーク開始時間よりも約 20% 短くなります。

アーク安定性:複合希土類タングステン電極のアーク安定性は、特に高電流および AC 条件下で、トリウムタングステン電極のアーク安定性よりも優れています。希土類酸化物が均一に分布するため、アークドリフトが減少し、溶接品質が保証されます。トリウムタングステン電極は、長期溶接中のトリウムの揮発によりアーク不安定性を引き起こす可能性があります。

耐用年数: 複合希土類タングステン電極の寿命は、トリウム タングステン電極の寿命よりも大幅に長くなります。希土類酸化物は蒸発速度が低く、耐燃焼性があるため、高負荷溶接では電極を 500~1000 時間連続使用できますが、トリウムタングステン電極は通常 300~500 時間です。寿命が延びることで、交換頻度と生産コストが削減されます。

環境保護と安全性: トリウム タングステン電極には放射性トリウムが含まれており、加工および使用中に α 粒子を放出し、作業者の健康にリスクをもたらす可能性があり、廃棄物処理は厳格な放射線安全基準に準拠する必要があります。複合希土類タングステン電極は非放射性であり、REACH および RoHS 規制に準拠しているため、環境汚染と健康リスクが軽減され、グリーン製造の第一選択となっています。

高温性能: 複合希土類タングステン電極は、希土類酸化物の結晶粒微細化と耐酸化性により、より優れた高温安定性と耐燃焼性を示します。トリウムタングステン電極は高温でトリウムが揮発しやすく、電極先端の損失が増加します。

アプリケーション: WL、WC、WL aCeY などの複合希土類タングステン電極の多様なモデルにより、アルミニウム合金、ステンレス鋼、超合金など、より幅広い溶接タイプと材料に適しています。トリウムタングステン電極はさまざまな溶接に適していますが、環境の制約により使用範囲は徐々に縮小しています。

著作権および法的責任に関する声明

コストと入手可能性:トリウムタングステン電極の原材料コストは低くなりますが、処理コストと廃棄物処理コストは高くなります。複合希土類タングステン電極の希土類資源は高価ですが、プロセス(化学ドーピングなど)を最適化することで製造コストが削減され、希土類回収技術の進歩により資源の利用可能性が向上します。

要約すると、複合希土類タングステン電極は、性能、環境保護、およびアプリケーションの柔軟性の点でトリウムタングステン電極よりも包括的に優れており、現代の溶接技術に適した材料です。その非放射性特性と長寿命特性により、世界市場、特に環境保護要件が厳しいヨーロッパと米国での幅広い応用が促進されています。



著作権および法的責任に関する声明

CTIA GROUP LTD

Composite Rare-Earth Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

The composite rare-earth tungsten electrode is a high-performance welding electrode made from high-purity tungsten as the base material, with multiple rare-earth oxides (such as lanthanum oxide, yttrium oxide, cerium oxide, etc.) added in combination. Compared with traditional single rare-earth tungsten electrodes, it demonstrates superior electron emission performance, high-temperature stability, burn resistance, and arc ignition capability, making it widely used in high-precision, high-strength, and long-duration continuous welding applications.

2. Performance Parameters (Reference Values) of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

Item	Typical Value	Remarks
Tungsten Purity	≥99.95%	Base tungsten content
Rare-Earth Oxide Content	1.5%–3.0%	Composite ratio customizable
Operating Current Range	DC 5A–500A / AC 20A–350A	Depends on electrode diameter
Maximum Temperature Resistance	2600°C	Instantaneous arc temperature
Service Life Improvement	1.5–3 times	Compared to pure tungsten or single rare-earth tungsten electrodes

3. Applications of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

Aerospace Manufacturing: Welding of titanium alloys, nickel-based alloys, and other high-temperature alloys

Nuclear and Power Equipment: Welding of high-temperature pipelines and heat-resistant steel structures

Precision Machining: Welding of stainless steel, copper, aluminum, and their alloys

Automotive and Rail Transit: Welding of critical load-bearing components

Electronics and Vacuum Devices: High-vacuum arc welding and micro-welding processes

4. Packaging and Supply Specifications

Diameter: Ø1.0mm, 1.6mm, 2.4mm, 3.2mm, 4.0mm, etc. (customizable)

Length: 150mm, 175mm, etc. (customizable)

Packaging: Plastic box or vacuum-sealed packaging, 10 pieces/box (Standard)

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

著作権および法的責任に関する声明

第3章複合希土類タングステン電極の調製・製造工程と技術

3.1 原料の調製と比率

原材料の調製と比率は、複合希土類タングステン電極調製の基本的なリンクであり、材料特性の安定性と一貫性を直接決定します。複合希土類タングステン電極の主な原材料には、高純度タングステン基材料と希土類酸化物添加剤が含まれており、電極の電子放出容量、アーク安定性、高温耐久性を最適化するには、比率設計を正確に制御する必要があります。

タングステンベースの原料: タングステンベースの材料は通常、出発成分として三酸化タングステン (WO_3) または パラタングステン酸アンモニウム (APT、 $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$) で作られています。三酸化タングステンの純度は、不純物(鉄、シリコン、炭素など)が電極の性能に及ぼす影響を減らすために 99.95%以上に達する必要があります。パラタングステン酸アンモニウムは、水に溶けやすくドーピングが容易なため、化学ドーピングプロセスでよく使用され、追加の焼成ステップが不要になり、生産サイクルが短縮されます。タングステン原料の粒径は、その後の還元および焼結プロセス中の均一性を確保するために、一般に 1~5 ミクロンに制御されます。原材料は、酸化物介在物や金属不純物を除去するために厳密に選別され、通常は蛍光 X 線分光法(XRF)によって純度が確認されます。

希土類酸化物添加剤: 希土類酸化物は硝酸塩の形で導入され、一般に硝酸ランタン ($\text{La}(\text{NO}_3)_3$)、硝酸セリウム ($\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$)、硝酸イットリウム ($\text{Y}(\text{NO}_3)_3$) が含まれます。)および硝酸ジルコニウム ($\text{Zr}(\text{NO}_3)_4$)。これらの硝酸塩は、沈殿や化学反応を防ぐために、脱イオン水の溶媒と pH を 5.5 から 6.5 に調整した 0.1 から 0.5 mol/L の濃度の溶液として配合する必要があります。電極の導電率や安定性に影響を与える硫黄やリンなどの非金属不純物を避けるために、希土類元素の純度は 99.9% 以上である必要があります。希土類酸化物の総含有量は通常 1% から 4% (質量分率) であり、比は用途のニーズに応じて最適化されます。たとえば、二元複合電極は 1:1 の酸化セリウムと酸化ランタンを使用し、三元複合電極はアーク放電性能と高温安定性のバランスをとるために酸化セリウム: 酸化ランタン: 酸化イットリウム = 1:1:3 を使用することがあります。

比例設計:比率設計では、電子の脱出仕事、アーク安定性、機械的特性を総合的に考慮する必要があります。希土類含有量が低い(1%~2%)は精密溶接に適しており、アーク開始性能が強調されます。高い希土類含有量 (3% から 4%) は、大電流の過酷な溶接に適しており、寿命と焼損に対する耐性が向上します。実験によると、酸化ランタンと酸化セリウムの相乗効果により、電子逃避仕事量が 2.0~2.5 eV に減少し、アーク安定性が 95%以上向上することが示されています。比率の過程で、最適化された比率のコンピューターシミュレーションと実験的検証が必要であり、最適な希土類の組み合わせを決定するための直交実験計画と応答面解析が一般的な方法です。

著作権および法的責任に関する声明

原料の混合:混合プロセスは、スプレードーピングまたは含浸法を採用しています。スプレードーピング希土類硝酸塩溶液を三酸化タングステン粉末に均一に噴霧し、噴霧速度を 0.5~1 L / min に制御し、乾燥温度を 80~120°C にし、噴霧乾燥機を使用して均一なドーブ粉末を形成します。含浸法では、タングステン粉末を希土類溶液に 200~300rpm の攪拌速度で浸し、均一な吸着を確保する。混合後、酸化を避けるために粉末を真空または不活性雰囲気下で乾燥させる必要があります。乾燥後、粉末を 200 メッシュのスクリーンでふるいにかけて、凝集した粒子を除去する必要があります。

品質管理:原料の調製では、含水率(<0.5%)と不純物含有量(<0.01%)を厳密に管理する必要があります。保管環境は乾燥した換気の良いもので、湿気や汚染による劣化を避けるために温度を 10~25°C に制御する必要があります。比率レコードはデジタルでアーカイブされ、バッチ間の一貫性を確保するためにオンライン監視システムと連携する必要があります。

3.2 粉末冶金プロセスの詳細な説明

粉末冶金プロセスは、複合希土類タングステン電極を調製するためのコア技術であり、粉末の調製、成形、焼結、後処理を通じて材料の緻密化と性能の最適化を実現します。このプロセスの利点は、希土類酸化物の分布と微細構造を正確に制御できることであり、高性能電極の工業生産に適していることです。

粉末の調製:粉末の調製には、ドーピングとメカニカルアロイングが含まれます。ドーピング希土類硝酸塩は、噴霧乾燥または湿式混合法によってタングステン粉末に導入され、乾燥後、均一なドーブ粉末を形成します。メカニカルアロイングは高エネルギープラネットミルを採用しており、ボールミルのパラメータは 400~600rpm、ボール比は 8:1~10:1、粉砕時間は 8~12 時間です。ボールミル媒体は、金属汚染を避けるために超硬ボールでできています。メカニカルアロイングは粉末粒子を 0.1~1 ミクロンに微細化し、結晶欠陥を生じさせ、その後の焼結活性を高める。

粉末の特性評価:調製された粉末は、D50(粒子サイズの中央値)が 1 から 5 ミクロンの範囲にあることを確認するために、レーザー粒度分析装置で検出する必要があります。比表面積は、焼結活性を確保するために、BET 法(通常 2~5m²/g)によって決定される。X線回折(XRD)分析により希土類酸化物の結晶形と分布が確認され、走査型電子顕微鏡(SEM)により粒子の形態と均一性が観察されました。

成形:成形は粉末をブランクにプレスし、一般的な方法には冷間静水圧プレスや成形などがあります。冷間静水圧プレスは、液体媒体を使用して 100~300MPa の均一な圧力を加

著作権および法的責任に関する声明

え、成形時間は 5～10 分で、本体の密度は理論密度の 60%から 70%に達します。成形は、油圧プレスで 150～200MPa の圧力を加える剛性金型を使用するため、小ロット生産に適しています。成形性を向上させるために、0.5%から 1%のポリビニルアルコール(PVA)がバインダーとして添加されますが、これは焼結前の除去で除去する必要があります。均一な圧力分布を確保するために、成形装置には圧力センサーを装備する必要があります。

焼結:焼結は粉末粒子の結合と材料の緻密化を実現し、真空ホットプレス焼結とスパークプラズマ焼結(SPS)が一般的に使用されます。真空ホットプレス焼結は、1600～1800°C、50～80MPa の圧力で行われ、加熱速度(10°C/分～1000°C、目標温度まで 4°C/分)、保持時間 60～90 分、真空 10^{-3} Pa をセグメント化して制御します。SPS はパルス電流を使用して急速に加熱します(100～200°C/min)、1400～1600°C で焼結し、5～10 分間保温し、ナノ粉末に適しており、希土類の蒸発を減らします。焼結後の材料密度は理論値(>99%)に近く、粒径は 5～10 ミクロンに制御されます。

後処理: 後処理には、回転鍛造、絞り、表面仕上げが含まれます。回転鍛造は、焼結ブロックを直径 3～10mm に加工し、パスあたり 20%～30%の変形率で加工します。直径は、グラファイトエマルジョンで潤滑された絞りによってさらに 0.5～10mm に縮小されました。表面仕上げは、表面欠陥を除去し、仕上げを改善するために機械的または電気化学的研磨によって行われます。

プロセスの利点と課題: 粉末冶金プロセスにより、希土類酸化物の拡散分布が可能になり、電極の電子放出性と耐燃焼損性が向上します。課題には、粉末の均一性制御や焼結欠陥(気孔率など)の防止が含まれており、プロセスの最適化とインライン監視を通じて対処する必要があります。将来的には、ナノテクノロジーと自動化の組み合わせにより、効率と品質がさらに向上するでしょう。

3.3 削減プロセス

還元プロセスは、希土類酸化物の分布を固定しながら、三酸化タングステンまたはパラタングステン酸アンモニウムを高純度のタングステン粉末に変換し、これは複合希土類タングステン電極の調製における重要なステップです。水素還元は、その高い効率と清浄度から広く使用されており、粉末の品質を最適化するために 2 段階の還元に分けられます。

還元の第一段階:500～600°C で、ドーピングされた三酸化タングステン粉末を、水素純度 99.99%

著作権および法的責任に関する声明

以上、流量 $0.5\sim 1\text{m}^3/\text{h}$ の水素雰囲気に入れます。還元炉は管状炉またはベルジャー炉を採用し、温度偏差は $\pm 5^\circ\text{C}$ に制御されます。還元時間は粉末の量に応じて調整され、通常は 4~6 時間、中間相 WO_2 を生成し、希土類硝酸塩は酸化物に分解され、最初にタングステンマトリックスに固定されます。酸素含有量は 1% を下回ります。

還元の第 2 段階: 温度が $800\sim 950^\circ\text{C}$ に上昇し、残留酸素がさらに除去され、純粋なタングステン粉末が生成されます。水素流量は $1\sim 1.5\text{m}^3/\text{h}$ に増加し、適切な削減を保証します。

還元時間は 6~8 時間で、粉末の粒子サイズは 1~5 ミクロンに制御され、酸素含有量は 0.01% 未満に減少します。還元炉の内壁は、汚染を避けるために高温耐性ステンレス鋼またはモリブデン合金で作られている必要があります。還元された粉末を SEM と XRD で分析し、粒子の形態と希土類の分布を確認しました。

最適化技術: 温度勾配低減 (セグメント加熱) と湿式水素還元 (水素には微量水蒸気が含まれています) により、粒子を微細化し、表面活性を向上させることができます。湿式水素還元は、水蒸気含有量 (0.1%~0.5%) を制御することにより、タングステン粉末の均一な結晶粒成長を促進します。炭酸リチウムなどの微量添加剤を添加すると、還元温度を下げ、エネルギー消費を節約できます。

安全性と環境保護: 水素還元には漏れ検出および換気システムを装備する必要があります。排気ガスは排気ガス吸収装置によって処理され、未反応の水素が回収されます。グリーン削減技術は、炭素排出量を削減するために低エネルギーの電気加熱炉を模索します。還元プロセスの最適化により、粉末の高品質が保証され、その後の成形と焼結の基礎が築かれます。

3.4 成形および成形プロセス

成形および成形プロセスでは、ドーパされたタングステン粉末をブランクにプレスし、焼結用の均一で緻密な初期構造を提供します。成形品質は電極の最終性能に直接影響し、一般的な方法には冷間静水圧プレス、成形、ハイドロフォーミングなどがあります。

冷間静水圧プレス: 液体媒体に均一な圧力 ($100\sim 300\text{MPa}$) を加え、粉末を柔軟なゴム型に 5~10 分の成形時間で投入します。本体の密度は理論密度の 60% から 70% に達するため、大きな電極 (直径 $> 10\text{mm}$ など) に適しています。安定した圧力を確保するには、装置に高圧ポンプと圧力センサーを装備する必要があります。

成形: 硬質鋼金型は、油圧プレスに 150 から 200 MPa の圧力を加えるために使用され、

著作権および法的責任に関する声明

小ロット生産に適しています。粉末の流動性を向上させるために、バインダーとして 0.5%～1%のポリビニルアルコールまたはパラフィンを添加します。成形後、ボディを 400～600°C で事前に焼結してバインダーを除去し、最初に緻密にする必要があります。

hidroフォーミング:複雑な形状の電極に使用され、粉末とバインダーをスラリーに混合し、硬化用の金型を射出します。スラリーの水分は 20%から 30%に制御され、熱応力割れを避けるために成形後 24 時間室温で乾燥されます。離型後、本体の寸法精度を確認し、偏差<0.1mm です。

プロセスの最適化: 有限要素シミュレーションを通じて圧力分布を最適化し、密度勾配を低減します。ナノスケールの希土類酸化物粒子を添加すると、体の強度を向上させることができます。欠陥分析の結果、圧力不均一により気孔や亀裂が発生することが判明し、多段階のプロファイルと圧力補正によって解決する必要がありました。自動成形装置は、一貫性を向上させるために視覚検査システムを統合します。

品質管理:成形本体は超音波検査で内部欠陥がないか検査する必要があります。密度試験では、均一性を確保するためにアルキメデス法を使用します。成形プロセスのデジタル記録により、トレーサビリティと最適化が容易になります。

3.5 焼結プロセス

焼結プロセスでは、高温処理によって成形体を緻密化させ、高密度・高強度の電極材料を形成する。複合希土類タングステン電極の焼結には、希土類酸化物と粒度制御のバランスの取れたバランスが必要であり、一般的な方法には、真空ホットプレス焼結、スパークプラズマ焼結(SPS)、垂直熔融焼結などがある。

真空ホットプレス焼結:1600～1800°C、圧力 50～80MPa、真空度 10^{-3} Pa、加熱速度セグメント制御:10°C/分～1000°C、目標温度まで 4°C/分、60～90 分間保温。焼結炉はグラファイト加熱体を採用し、均一な温度を確保するために赤外線温度計を装備しています。焼結後、材料密度は 99%以上に達し、粒径は 5～10 ミクロンで、希土類酸化物は拡散第 2 相を形成して高温での強度を高めます。

スパークプラズマ焼結(SPS):パルス電流を用いて急速加熱(100～200°C/分)、1400～1600°C、30～50MPa で焼結し、5～10 分間保持します。SPS はナノ粉末に適しており、希土類の蒸発損失を低減し、粒径を 3～8 ミクロンに制御します。過燃焼を避けるために、装置には高精度の電流制御システムを装備する必要があります。

著作権および法的責任に関する声明

垂直熔融焼結:90%の熔融電流を使用し、タングステンマトリックスの部分熔融状態で焼結し、大口径電極に適しています。温度は 3000°C 以上に制御され、雰囲気は酸化を防ぐためにアルゴンまたは水素です。垂直焼結は密度を高めることができるが、希土類の揮発を避けるためには正確な電流制御が必要である。

予備焼結:1200±50°C、真空または水素雰囲気で実施し、バインダーを除去し、予備的に緻密にし、2〜4 時間保持します。予備焼結体の密度は 80%から 85%に達し、その後の高温焼結に安定した構造を提供する。

最適化技術:ZrH₂(0.1%〜0.5%)などの添加剤を添加すると、酸素含有量が減少し、La₂Zr₂O₇などの安定相が形成され、電子放出性能が向上します。セグメント加熱により、温度勾配による亀裂が回避されます。SEM と TEM は、希土類の分布と結晶粒の状態を確認するために、焼結後の微細構造を分析しました。

欠陥管理: 一般的な欠陥には、気孔 (残留酸素による)、粒子の粗大化 (過度の温度による)、希土類の分離 (揮発による) などがあります。真空度と保持時間を最適化することで、気孔率を 0.1%未満に低減します。グリーン焼結では、低エネルギーSPS を使用して炭素排出量を削減します。

3.6 圧力処理技術

圧力加工技術では、焼結ブランクを電極棒に加工し、密度と表面品質を向上させ、一般的な方法には回転鍛造、絞り、矯正などがあります。

ロータリー鍛造:ロータリーハンマリングマシンにより焼結ピレットの直径を 20mm から 3〜10mm に縮小し、変形率はパスあたり 20%から 30%です。タングステンマトリックスの可塑性を維持するために、加工温度は 800〜1200°C です。回転鍛造装置には、均一な変形を確保するために自動送りシステムを装備する必要があります。複数回の回転鍛造の後、材料密度は 99.5%以上に達し、結晶粒はさらに微細化されます。

図面:バーは超硬金型によって引き伸ばされ、直径が 0.5〜10mm に縮小されます。引き抜き速度は 0.5〜2m/min で、グラファイトエマルジョンで潤滑され、摩擦係数は<0.1 です。チェーンプルマシンは連続生産を実現し、効率を向上させます。絞り後のバーの表面粗さは Ra<0.5 ミクロンです。

矯正と切断:矯正はローラー矯正機を採用し、バーの真直度偏差が 0.1mm/m<であることを保証します。切断は、長さ 150〜175mm、公差±0.5mm のレーザーまたは機械切断を使用

著作権および法的責任に関する声明

して行われます。

最適化と欠陥制御: 有限要素シミュレーションにより、変形パラメータが最適化され、亀裂のリスクが軽減されます。希土類酸化物の拡散分布は、材料の靱性を高め、破壊速度を低下させます。一般的な欠陥には、表面の傷（潤滑不足による）や内部亀裂（過度の変形率による）などがあり、これらは潤滑の最適化とセグメント変形によって解決されます。

自動化: 圧力処理ラインにはオンライン検査システムが統合されており、直径と表面品質をリアルタイムで監視します。自動化の程度により、歩留まりが98%以上に増加し、人件費が削減されます。

3.7 表面処理およびコーティング技術

表面処理およびコーティング技術は、研磨、洗浄、およびオプションのコーティングを含む、複合希土類タングステン電極の耐食性と電子放出特性を改善するための最終ステップです。

研磨: 機械研磨(砥石または研磨布)および電気化学研磨。機械研磨には、粒子サイズ 2000 メッシュ、表面粗さ $Ra < 0.2$ ミクロンのアルミナ研磨剤が使用されます。電気化学研磨は、電流密度が $0.5 \sim 1A/cm^2$ の硫酸-リン酸混合溶液で行われ、表面の微小欠陥を除去し、仕上げを改善します。

洗浄: 油と酸化物は超音波洗浄によって除去され、洗浄液はアルカリ性溶液(pH 8~10)、温度は $50 \sim 60^\circ C$ 、超音波周波数は 40kHz、時間は 5~10 分です。洗浄後は脱イオン水です。すぎ、水分が残らないように $80^\circ C$ で乾燥させてください。

コーティング技術: 希土類酸化物や、 La_2O_3 や ZrO_2 フィルムなどのセラミックコーティングは、化学気相成長 (CVD) またはプラズマ溶射によってオプションで塗布できます。コーティングの厚さは 1~5 ミクロンで、耐酸化性と電子放出効率が向上します。CVD プロセスは、 $800 \sim 1000^\circ C$ 、低圧($10^{-2}Pa$)で $0.1\mu m/min$ の成膜速度で行いました。

最適化され環境に優しい: プラズマ洗浄により、コーティングの密着性が向上し、前処理時間が短縮されます。グリーンテクノロジーでは、水ベースの洗浄剤を使用して有機溶剤を置き換え、揮発性有機化合物 (VOC) の排出量を削減します。コーティング材料の回収率は 90%以上で、循環経済の要件を満たしています。

3.8 準備プロセスにおける主要パラメータの制御

主要なパラメータは、温度、圧力、真空、時間を含む電極の品質と性能の最適化の一貫性を確保するために、調製プロセス全体を通じて制御されます。

著作権および法的責任に関する声明

還元段階:第1段階の還元温度は 500~600°C、第2段階は 800~950°C、偏差は±5°C です。

水素流量 0.5~1.5m³/h、純度 99.99%。酸素含有量のモニタリングでは、ガス分析装置を使用して 0.01%未満に制御します。

成形段階:冷間静水圧 100~300MPa、保持時間 5~10 分、圧力偏差<1%。成形圧力 150~200MPa、バインダー含有量を正確に測定します(0.5%~1%)。

焼結段階:真空ホットプレス焼結温度 1600~1800°C、加熱速度 4~10°C/min、真空度 10⁻³ Pa、60~90 分間保温。SPS 電流は 1000~2000A、圧力は 30~50MPa に制御されます。温度センサーと圧力センサーにより、安定したパラメータが保証されます。

圧力処理:回転鍛造温度 800~1200°C、変形率 20%~30%。絞り速度 0.5~2m/min、潤滑剤流量監視。矯正偏差<0.1mm/m です。

品質管理: 統計的プロセス制御 (SPC) を使用して、パラメータ データをリアルタイムで収集し、AI アルゴリズムを組み合わせて偏差を予測します。電子脱出パワー<2.5 eV)などの主要業績評価指標を実験的に検証しました。デジタル管理システムは、プロセス全体のデータを記録してトレーサビリティを確保します。

3.9 プロセスの最適化と一般的な欠陥分析

プロセスの最適化により、生産効率と製品品質が向上し、亀裂、気孔率、希土類の分離などの一般的な欠陥を分析して改善します。

最適化対策:

メカニカルアロイング:ボールミル時間を 12 時間に延長し、粒子を 0.1 ミクロンに微細化し、焼結活性を向上させる。

SPS 焼結:保持時間を 5 分に短縮し、希土類の揮発を低減し、粒径を 3~5 ミクロンに制御します。

添加剤が添加されます:0.1%から 0.5%の ZrH₂は酸素含有量を減らし、安定した相を形成し、電子放出性能を向上させます。

自動制御:統合されたセンサーと AI 最適化パラメータにより、歩留まりは 95%以上に向上します。

欠陥分析:

亀裂:成形圧力が不均一または焼結温度勾配が大きいため、多段階成形とセグメント加熱

著作権および法的責任に関する声明

によって解決されます。

気孔率:残留酸素または焼結真空が不十分なため、真空度は 10^{-3} Pa に最適化され、気孔率は 0.1%に減少しました。

希土類の分離:高温での揮発、焼結温度を下げ、安定剤(ZrO_2 など)を添加することで緩和されます。

検証方法:有限要素シミュレーションで欠陥分布を予測し、SEM と超音波検出で最適化効果を検証します。最適化後、電極の寿命は 20%延長され、性能の一貫性は 10%向上します。

3.10 グリーン調製技術

グリーン調製技術は環境保護と持続可能性に重点を置き、放射性トリウムタングステン電極を置き換え、環境への影響を軽減します。

原材料の回収:廃タングステン電極と希土類廃棄物から原材料を抽出し、回収率は 80%以上で、鉱物採掘を削減します。クリーンリダクション:再生可能エネルギーを動力源とする電気加熱炉を使用し、水素をリサイクルし、排ガスを触媒燃焼で処理します。低エネルギー焼結:SPS 焼結は、従来のホットプレスと比較して、エネルギー消費量を 30%削減し、炭素排出量を 20%削減します。グリーンクリーニング:有機溶剤に代わる水性洗浄剤により、VOC 排出量を 90%削減します。廃液はイオン交換によってレアアースを回収します。廃棄物処理:高温溶解によりタングステンや希土類から廃電極を回収し、リサイクル率は 85%です。

グリーンテクノロジーは REACH および RoHS 規制に準拠し、市場競争力を強化し、持続可能な開発を促進します。

3.11 大規模生産プロセスフローチャート

大規模生産プロセスのフローチャートは次のとおりです。

原料の準備:三酸化タングステンと希土類硝酸塩を計量し、溶液(pH 5.5~6.5)を調製します。

混合と乾燥:スプレードーピング、80~120°C での乾燥、200 メッシュのスクリーニング。

還元:水素還元(500~600°C、800~950°C)、酸素含有量<0.01%。

成形:冷間静水圧プレス(100~300MPa)または成形、ボディの密度の 60%~70%。

焼結前:1200°C、バインダーを除去します。

焼結:真空ホットプレス(1600~1800°C、60MPa)または SPS(1400~1600°C)。

圧力加工:回転鍛造(直径 3~10 mm)、絞り(0.5~10 mm)、矯正。

表面処理:機械的/電気化学的研磨($Ra < 0.2$ ミクロン)、超音波洗浄。

著作権および法的責任に関する声明

品質検査:SEM、XRD、性能試験(電子エスケープパワー<2.5eV)。

梱包と保管:保管温度 10~25°C の防湿包装。



第4章複合希土類タングステン電極の物理的、化学的、溶接特性

4.1 複合希土類タングステン電極の機械的特性

複合希土類タングステン電極の機械的特性は、硬度、強度、韌性、耐摩耗性など、要求の厳しい産業環境での応用の鍵となります。これらの特性は、タングステンマトリックスと希土類酸化物の添加によって影響を受け、純粋なタングステン電極よりも大幅に優れています。

硬度:タングステンマトリックスのピッカース硬度(HV)は 400~450 であり、希土類酸化物(酸化ランタン、酸化セリウムなど)を添加すると、結晶粒微細化により硬度がさらに向上し、通常は最大 450~500HV になります。硬度の増加は、タングステン粒界に釘点を形成して粒界の滑りを抑制する希土類酸化物粒子の拡散強化によるものです。たとえば、2%の酸化ランタンを含む電極は、純タングステンよりも硬度が約 15% 高いため、高負荷溶接に適しています。

著作権および法的責任に関する声明

強度:複合希土類タングステン電極の引張強度は、室温で 800~1000 MPa、高温(1500°C)で 400~600 MPa です。希土類酸化物は、 La_2O_3 や CeO_2 粒子などの安定した第 2 相を形成することにより、マトリックスの強度を高めま。2% Y_2O_3 を含む電極は、純タングステンよりも高温での引張強度が 20% 高く、航空宇宙部品の溶接に適しているため、酸化イットリウムの添加は特に重要です。

韌性: 純タングステン電極は粒が粗いため脆性が高く、破壊韌性 (K_{Ic}) は約 $6 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ です。希土類酸化物を添加すると、結晶粒が 5~10 ミクロンに微細化され、破壊韌性が 8~10 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ に向上します。酸化セリウムと酸化ランタンの相乗効果により、粒界欠陥が減少することで韌性が向上し、溶接中の電極先端の破損のリスクが軽減されます。

耐摩耗性: 複合希土類タングステン電極の耐摩耗性は、希土類酸化物の分散と強化によって大幅に向上します。大電流溶接では、アークの高温により電極先端が摩耗し、ジルコニア含有電極が保護酸化層を形成することで摩耗率を 30% 低減します。耐摩耗性試験では、複合電極の摩耗量は純タングステン電極よりも約 40% 低く、耐用年数が延びることが示されています。

試験方法: 機械的特性は、ピッカース硬さ試験機、万能引張試験機、衝撃試験機によって決定されます。高温性能試験は、溶接環境をシミュレートして、真空または不活性雰囲気で行われます。走査型電子顕微鏡(SEM)による顕微鏡分析を行い、破壊形態を観察し、希土類粒子の強化メカニズムを確認しました。

機械的特性の最適化により、複合希土類タングステン電極は高強度の長期溶接で優れた性能を発揮し、特に原子力発電装置や航空エンジン製造などの要求の厳しい用途に適しています。

4.2 複合希土類タングステン電極の熱特性

熱特性は、融点、熱伝導率、熱膨張係数など、高温アーク放電環境における複合希土類タングステン電極の安定性と耐久性を決定します。

融点: タングステンマトリックスの融点は 3410°C で、これが複合電極の高温安定性の基礎となります。希土類酸化物(La_2O_3 、 CeO_2 など)の添加は融点にほとんど影響しませんが、微細構造を改善することで高温変形に対する耐性が強化されます。2% 酸化イットリウムを含む電極は、 3000°C 以上でも構造的に無傷のままであるため、プラズマ切断や高温溶解に適しています。

熱伝導率: タングステンの熱伝導率は約 $174 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ (室温)で、高温ではわずかに低下し

著作権および法的責任に関する声明

ます。希土類酸化物を添加すると、結晶粒を微細化し、粒界での放熱抵抗を低減することで、熱伝導率が5~10%向上します。例えば、酸化セリウム含有電極の熱伝導率は1000°Cで180~190W/(m・K)であり、迅速な熱放散に寄与し、チップの焼損を低減します。

熱膨張係数:タングステンの熱膨張係数は $4.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ で、熱膨張が低いため高温での熱応力が低減されます。希土類酸化物を添加すると、熱膨張係数がわずかに増加しますが(最大 $4.8 \sim 5.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)、熱応力は、熱サイクル中の電極の安定性を確保するために比率を最適化することで制御できます(ジルコニアと酸化ランタンの組み合わせなど)。

熱衝撃性能:複合希土類タングステン電極は、希土類酸化物の拡散によって強化され、耐熱衝撃性が大幅に向上します。ジルコニア含有電極は、急激な温度上昇(>1000°C/min)条件下でも亀裂がないため、高周波溶接に適しています。熱衝撃試験は急速冷速熱サイクル法を採用しており、複合電極のサイクル数は純タングステンよりも50%多いです。

試験方法:熱伝導率はレーザーフラッシュ法で測定し、熱膨張係数はエクスペラレータを使用して25~2000°Cの範囲でテストされます。熱衝撃性能はアークシミュレーション試験によって評価され、亀裂発生時間が記録されます。熱特性の最適化により、複合電極は高温、高熱負荷環境でも優れた性能を発揮できます。

4.3 複合希土類タングステン電極の電気的特性

電気的特性は、複合希土類タングステン電極の中核的な利点であり、主に電子脱出仕事、導電率、アーク特性など、溶接におけるアーク開始性能とアーク安定性を決定します。

電子脱出仕事:純粋なタングステン電極の電子脱出仕事は4.5 eVであり、アークが発生します。希土類酸化物の添加により、2%酸化セリウムを含む電極のエスケープ仕事は2.2~2.5 eVに減少し、酸化ランタンと酸化イットリウムの組み合わせがさらに最適化され、2.0 eV未満に最適化されました。エスケープパワーが低いため、電極は低電圧で素早くアークを発電し、エネルギー消費を削減します。

導電率:タングステンの導電率は $1.82 \times 10^7 \text{ S/m}$ (室温)で、希土類酸化物を添加することで粒界抵抗を低減し、導電率をわずかに向上させる。酸化ランタンを含む電極は、1000°Cで導電率を5%向上させ、高い電流伝達効率を保証します。導電率試験では、4プローブ法を用いて、希土類粒子の均一な分布による電流分布の最適化を確認します。

アーク特性:複合希土類タングステン電極のアーク安定性は95%以上と高く、純タングステンの80%よりも優れています。希土類酸化物は電極表面に低いエスケープ仕事の発光点を形成し、電子放出効率を高め、アークを集中させて安定させます。酸化セリウムと酸化ランタンを含む電極は、AC溶接でのアークドリフトを30%低減し、アルミニウム合金

著作権および法的責任に関する声明

溶接に適しています。アークテストは、高速撮影と電流変動解析により安定性を検証します。

最適化メカニズム:希土類酸化物は高温で電極表面に移動し、活性発光層を形成し、アーク開始電圧を低下させます(純タングステンの場合は 50V から 30V)。多変量複合材料(WLaCeY など)は、電子放出と熱安定性の相乗的なバランスをとることにより、アーク寿命を向上させます。

試験方法:紫外線光電子分光法(UPS)により電子逃避仕事量を測定し、高精度抵抗計を用いて導電率を測定します。アーク特性は、シミュレートされた TIG 溶接環境でテストされ、アーク開始時間とアーク長を記録します。電気特性の優位性により、複合電極は精密溶接においてかけがえのないものとなっています。

4.4 複合希土類タングステン電極の化学的安定性と耐食性

化学的安定性と耐食性は、複雑な環境、特に高温、酸化性、または腐食性ガス雰囲気における複合希土類タングステン電極の耐久性を決定します。

化学的安定性:タングステンマトリックスは、室温で酸、アルカリ、水に対して優れた安定性を持ち、化学反応を起こしにくいです。希土類酸化物の添加により、高温での化学的安定性がさらに向上します。たとえば、ジルコニアと酸化イットリウムは電極の表面に保護層を形成し、タングステンと酸素または窒素との反応を阻害します。2%ジルコニアを含む電極の酸化速度は、2000°C および酸素化雰囲気では 40%減少しました。

耐食性: 複合希土類タングステン電極は、微量の水蒸気を含むアルゴンなどの腐食性ガスに優れています。酸化ランタンと酸化セリウムを添加することで、電極表面の酸化物の蓄積が減少し、汚染防止能力が 50% 向上します。高湿度環境では、ジルコニアを含む電極の腐食速度は純タングステンの 1/3 にすぎず、耐用年数が伸びます。

耐汚染性: 溶接中、電極はメルトプールの飛沫やガス状不純物によって汚染される可能性があります。希土類酸化物は、安定した表面層を形成することで不純物の吸着を減らし、アークの安定性を維持します。この試験では、酸化セリウムを含む電極のアーク安定性が汚染された環境下でも 90%以上維持されることが示されました。

試験方法:高温酸化実験(1500~2000°C、酸素分圧 10^{-2} Pa)により化学的安定性を評価し、質量損失率を記録した。耐食性は、塩水噴霧試験と電気化学的腐食試験を使用して腐食電流密度を測定します。防汚溶接環境をシミュレートすることにより、電極の表面形態が観察されます。

化学的安定性と耐食性が向上した複合電極は、海洋工学や化学機器の溶接などの複雑な作業条件に適しています。

著作権および法的責任に関する声明

CTIA GROUP LTD

Composite Rare-Earth Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

The composite rare-earth tungsten electrode is a high-performance welding electrode made from high-purity tungsten as the base material, with multiple rare-earth oxides (such as lanthanum oxide, yttrium oxide, cerium oxide, etc.) added in combination. Compared with traditional single rare-earth tungsten electrodes, it demonstrates superior electron emission performance, high-temperature stability, burn resistance, and arc ignition capability, making it widely used in high-precision, high-strength, and long-duration continuous welding applications.

2. Performance Parameters (Reference Values) of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

Item	Typical Value	Remarks
Tungsten Purity	≥99.95%	Base tungsten content
Rare-Earth Oxide Content	1.5%–3.0%	Composite ratio customizable
Operating Current Range	DC 5A–500A / AC 20A–350A	Depends on electrode diameter
Maximum Temperature Resistance	2600°C	Instantaneous arc temperature
Service Life Improvement	1.5–3 times	Compared to pure tungsten or single rare-earth tungsten electrodes

3. Applications of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

Aerospace Manufacturing: Welding of titanium alloys, nickel-based alloys, and other high-temperature alloys

Nuclear and Power Equipment: Welding of high-temperature pipelines and heat-resistant steel structures

Precision Machining: Welding of stainless steel, copper, aluminum, and their alloys

Automotive and Rail Transit: Welding of critical load-bearing components

Electronics and Vacuum Devices: High-vacuum arc welding and micro-welding processes

4. Packaging and Supply Specifications

Diameter: Ø1.0mm, 1.6mm, 2.4mm, 3.2mm, 4.0mm, etc. (customizable)

Length: 150mm, 175mm, etc. (customizable)

Packaging: Plastic box or vacuum-sealed packaging, 10 pieces/box (Standard)

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

著作権および法的責任に関する声明

4.5 複合希土類タングステン電極の溶接特性

溶接特性は、アーク開始性能、アーク燃焼寿命、溶け込み深さ制御、溶接品質など、複合希土類タングステン電極の中核的なアプリケーション指標です。

アーク開始性能:希土類酸化物は電子脱出仕事を減らし、アーク放電電圧を純タングステンの 50V から 25~30V に下げ、アーク放電開始時間を 0.1 秒未満に短縮します。酸化セリウムを含む電極は、精密溶接のために低電流 (<50 A) で良好に機能します。酸化ランタンを含む電極は、AC 溶接においてアーク安定性が高くなります。

アーク寿命:複合電極のアーク寿命は 500~1000 時間に達し、純粋なタングステン電極(200~300 時間)の 2~3 倍です。希土類酸化物の蒸発速度が低く、耐燃焼性があるため、チップ損失が低減され、酸化イットリウムを含む電極は大電流 (>200 A) で寿命が 30% 延長されます。

浸透深さ制御:複合電極のアーク濃度が高く、浸透深さの均一性が 20%向上します。酸化ランタンと酸化セリウムを含む電極は、TIG 溶接で 0.5~5mm まで正確に制御できるため、薄板溶接と厚板溶接の両方に適しています。円弧形状を高速撮影で解析し、安定性を確認します。

溶接品質:複合電極はアークドリフトとスパッタを低減し、溶接面は滑らかで、気孔率は 50%減少します。WLaCeY を使用した電極は、アルミニウム合金溶接における溶接部の引張強度を 10%向上させ、航空宇宙要件を満たします。

試験方法:溶接特性は TIG 溶接試験ベンチで試験され、アーク開始電圧、アーク点火時間、溶け込み深さ分布が記録されます。溶接の品質は、X 線非破壊検査と金属組織分析によって確認され、欠陥率を確認します。溶接特性の優位性により、複合電極の高精度分野での幅広い応用が促進されています。

4.6 希土類添加が微細構造に及ぼす影響

希土類酸化物の添加は、複合希土類タングステン電極の微細構造を大きく変化させ、その性能に影響を与えました。その影響は、結晶粒構造、相分布、欠陥制御から分析されます。

結晶粒の微細化:純粋なタングステン電極の粒径は 20~50 ミクロンで、高温で粗くなりやすいです。希土類酸化物(La₂O₃、CeO₂など)は、ピン止め効果によって結晶粒の成長を阻害し、結晶粒サイズを 5~10 ミクロンに縮小します。SEM 分析では、2%酸化イットリウムを含む電極の結晶粒均一性が 30%向上し、靱性と耐疲労性が向上したことが示されました。

著作権および法的責任に関する声明

相分布: 希土類酸化物は、50 nm から 200 nm のサイズのタングステン マトリックス中に拡散した第 2 相粒子を形成します。これらの粒子は粒界と粒内に均一に分布し、マトリックスの強度を高めます。ジルコニアと酸化ランタンが結合して複合相 ($\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ など) を形成し、高温安定性を向上させます。XRD 分析により、希土類相の安定性と分布が確認されます。

欠陥制御: 希土類酸化物は粒界欠陥 (空孔、転位など) を低減し、高温クリープ率を低減します。酸化セリウムを含む電極の欠陥密度は 40%減少し、TEM 観察によって検証されました。希土類の添加により、マイクロクラックの伝播も抑制され、破壊靱性が向上します。

メカニズム分析: 希土類酸化物は焼結中に粒界に移動し、釘の点を形成し、結晶粒の滑りと成長を抑制します。溶接温度が高いと、希土類粒子が表面に移動し、電子放出活性層を形成し、エスケープ作業を減らします。微細構造の最適化により、電極の全体的な性能が大幅に向上します。

4.7 タングステン電極の性能の比較

複合希土類タングステン電極と純タングステン電極およびトリウムタングステン電極の間には性能に大きな違いがあり、多くの側面から次の比較が行われます。

電子放出性能: 複合希土類タングステン電極(エスケープワーク 2.0~2.5 eV)は、純タングステン(4.5 eV)やトリウムタングステン(2.6~2.8 eV)よりも優れており、アーク電圧は 20~30 V 低く、精密溶接に適しています。

アーク安定性: 複合電極の安定性は >95%、純タングステンは 80%、トリウムタングステンは 90%です。酸化ランタンを含む電極は、AC 溶接でドリフト率が最も低かった。

耐用年数: 複合電極のアーク燃焼寿命は 500~1000 時間、純タングステンは 200~300 時間、トリウムタングステンの 300~500 時間。希土類を添加すると寿命が 2~3 倍延長されます。

機械的特性: 複合電極硬度 450~500 HV、引張強度 800~1000 MPa、純粋なタングステン (400 HV、700 MPa) およびトリウムタングステン (420 HV、750 MPa) よりも優れています。

環境保護: 複合電極は非放射性であり、REACH 規制に準拠しています。トリウムタングステンには放射性トリウムが含まれており、特別な処理が必要です。純粋なタングステンは非放射性ですが、性能は劣ります。

適用範囲: 複合電極は、TIG 溶接、プラズマ溶接、切断、新エネルギー電池に適していま

著作権および法的責任に関する声明

す。トリウムタングステンは、環境保護の制限により削減されます。純タングステンは、需要の少ないシナリオに限定されます。

複合電極は従来の電極よりも総合的に優れており、グリーン製造やハイエンド用途の第一選択となっています。

4.8 複合希土類タングステン電極の環境適応性

複合希土類タングステン電極の環境適応性は、高温、高湿、腐食環境における安定した性能に反映されています。

高温環境:酸化イットリウムとジルコニアを含む電極は、3000°C 以上でも構造的完全性を維持し、耐酸化性が 40%向上するため、プラズマ切断や高温溶解に適しています。

高湿度環境:相対湿度が 90%の環境では、酸化セリウムを含む電極の腐食速度は純タングステンの 1/3 にすぎず、アーク安定性は 90%以上に維持されます。

腐食性ガス: 硫黄または塩素を含む雰囲気では、ジルコニア保護層が電極表面の反応を低減し、腐食速度を 50% 低下させます。耐汚染性は、模擬スプラッシュテストによって検証されます。

試験方法:高温適応性は、熱サイクル試験(25~2000°C、100 サイクル)によって評価されます。高湿度および腐食性試験では、品質の低下と性能の変化を記録する環境チャンバーが使用されます。複合電極は環境適応性があるため、海洋工学や化学用途に適しています。

4.9 複合希土類タングステン電極の疲労特性と寿命特性の解析

疲労と寿命特性は、高温疲労、熱サイクル疲労、アーク寿命を含む複合希土類タングステン電極の耐久性を評価するための重要な指標です。

高温疲労:複合電極は 1500~2000°C で繰り返し応力にさらされ、疲労寿命は 10^4 ~ 10^5 倍に達し、純タングステンの 10^3 倍よりも優れています。希土類酸化物は結晶粒を微細化し、疲労亀裂の伝播を低減します。

熱サイクル疲労:ジルコニアを含む電極は、急激な温度上昇と下降(1000°C/min)で亀裂なしで最大 500 回サイクルできます。有限要素シミュレーション解析により熱応力を最適化し、レアアースの比率を最適化しました。

アーク寿命:複合電極のアーク寿命は、200 A DC 溶接で 500~1000 時間であり、WLaCeY を含む電極の寿命は AC 溶接で 20%延長されます。寿命試験 連続溶接実験により、先端の摩耗率を記録します。

著作権および法的責任に関する声明

分析方法:疲労性能は高温引張サイクル試験で評価され、寿命はアーク燃焼試験で評価されます。SEM と破壊解析により、疲労破壊メカニズムが確認されます。複合電極の長寿命の性質により、メンテナンスコストが削減され、産業効率が向上します。

4.10 CTIA GROUP LTD の 複合希土類タングステン電極 MSDS

CTIA GROUP LTD の製品安全データシート (MSDS) - 複合希土類タングステン電極

パート 1:製品名

中国名:複合希土類タングステン電極(WLaCeY、WL、WC など)

パート 2:構成/構成情報

タングステン(>95%)、酸化ランタン(0.5%~2%)、酸化セリウム(0.5%~2%)、酸化イットリウム(0.5%~2%)、ジルコニア(0~1%)

パート 3:危険の概要

健康被害:この製品は目や皮膚に刺激を与えません。

爆発の危険性:この製品は不燃性で刺激性ではありません。

パート 4:応急処置

皮膚接触:汚染された衣服を脱ぎ、多量の流水ですすいでください。

アイコンタクト:まぶたを持ち上げ、流水または生理食塩水ですすいでください。医療。

吸入:現場を新鮮な空気に任せます。呼吸が困難な場合は、酸素を投与してください。医療。

食べる:嘔吐を誘発するのに十分な温水を飲みます。医療。

パート 5:防火対策

有害な燃焼生成物:自然分解生成物は不明です。

消火方法:消防士は、風上方向の消火のために防毒マスクと全身消防服を着用する必要があります。消火剤:乾燥皮革粉末、砂。

パート 6:漏れの緊急処理

緊急処理:漏れている汚染エリアを隔離し、アクセスを制限します。火源を遮断する。緊急対応要員は防塵マスク(フルフェイスマスク)と防ガス服を着用することをお勧めします。ほこりを避け、慎重に掃除し、袋に入れて安全な場所に移してください。漏れが多い場合は、ビニールシートやキャンバスで覆ってください。収集してリサイクルするか、廃棄物処理場に輸送して処分します。

パート 7:操作、廃棄、保管

操作上の注意:オペレーターは特別な訓練を受け、操作手順を厳守する必要があります。オペレーターは、自吸式フィルター防塵マスク、化学安全保護メガネ、毒性防止浸透作業服、ゴム手袋を着用することをお勧めします。火気や熱源から離れた職場での喫煙は固く

著作権および法的責任に関する声明

禁じられています。防爆換気システムと機器を使用してください。ほこりを避けてください。酸化剤やハロゲンとの接触を避けてください。取り扱いの際は、梱包や容器の損傷を防ぐため、軽く積み下ろししてください。対応する種類と量の消防設備と漏水緊急処理設備を装備しています。空の容器には有害物質が残る可能性があります。

保管上の注意:涼しく換気の良い倉庫に保管してください。火や熱源に近づかないでください。酸化剤やハロゲンとは別に保管し、混合しないでください。対応する種類と数量の消防設備を装備しています。保管場所には、こぼれを封じ込めるための適切な材料を備えている必要があります。

パート 8: 接触制御/個人用保護具

中国 MAC(mg / m3):6

旧ソビエト MAC(mg / m3):6

TLVTN:ACGIH 1mg/m3

TLVWN:ACGIH 3mg/m3

モニタリング方法:チオシアン化カリウム-塩化チタン分光ルミノメトリー
エンジニアリング制御:ほこりのない生産プロセスと完全な換気。

呼吸器系の保護:空気中の粉塵濃度が基準を超える場合は、自吸式フィルター防塵マスクを着用する必要があります。緊急時に避難する際は、空気呼吸器を着用してください。

目の保護:化学安全メガネを着用してください。

身体保護:毒物浸透防止作業服を着用してください。

手の保護:ゴム手袋を着用してください。

パート 9:物理的および化学的性質

主な成分:純粋な製品

外観と特性:固体、メタリックブライトホワイト

融点(°C):該当なし

沸点(°C):該当なし

相対密度(水=1):13~18.5(20°C)

蒸気密度(空気=1):データなし

飽和蒸気圧 (kPa): データなし

燃焼熱(kj/mol):データなし

臨界温度(°C):データなし

臨界圧力(MPa):データなし

配水係数の対数值:データなし

引火点(°C):データなし

発火温度(°C):データなし

爆発限界%(V / V):データなし

爆発下限%(V / V):データなし

溶解度:硝酸とフッ化水素酸に可溶

主な用途:シールド部品、タングステン合金ダーツシャフト、タングステン合金ボールなどの製造に使用されます

著作権および法的責任に関する声明

パート 10:安定性と反応性

禁止成分:強酸、強アルカリ。

パート 11:

急性毒性:データなし

LC50: データなし

パート 12:生態学的データ

この部分に関するデータはありません

パート 13:廃棄物処理

廃棄物自然廃棄物の処理方法:処分する前に、関連する国および地域の規制を参照してください。可能であれば、リサイクルしてください。

パート 14:配送情報

危険物番号: 情報なし

包装カテゴリ:Z01

輸送上の注意: 梱包が完全で、積み込みが安全である必要があります。輸送中は、容器が漏れたり、倒れたり、落下したり、損傷したりしないように注意してください。酸化剤、ハロゲン、食用化学物質などと混合して輸送することは固く禁じられています。輸送中は、日光への曝露、雨、高温から保護する必要があります。輸送後は車両を徹底的に清掃する必要があります。

パート 15:規制情報

規制情報:化学危険物の安全管理に関する規則(1987年2月17日に国務院によって発行)、化学危険物の安全管理に関する規則の実施規則(華老法[1992]第677号)、職場での化学物質の安全な使用に関する規則([1996]労働省法第423号)およびその他の規制、化学危険物の安全な使用、生産、保管、輸送、積み下ろしに関する対応する規定を定めています。作業場の空気中のタングステンの衛生基準(GB 16229-1996)は、作業場の空気中の物質の最大許容濃度と検出方法を指定しています。

パート 16:サプライヤー情報

サプライヤー: CTIA GROUP LTD

電話番号:0592-5129696/5129595

著作権および法的責任に関する声明



第5章複合希土類タングステン電極の使用と適用ガイドライン

5.1 複合希土類タングステン電極の主な用途の概要

複合希土類タングステン電極は、その優れた電子放出能力、アーク安定性、非放射性特性により、複数の産業分野で幅広い用途があります。その主な用途は、溶接、切断、溶射、電気光源、新興の電気化学および新エネルギー分野をカバーしています。以下は、主なアプリケーションシナリオからの詳細な説明です。

溶接:複合希土類タングステン電極は、不活性ガスシールド溶接(TIG 溶接)、プラズマ溶接、その他のプロセスのコア材料です。電子逃げ仕事が少ない、アーク安定性が高いため、航空宇宙部品、原子力機器、自動車製造における薄板溶接などの高精度溶接に適しています。酸化ランタンと酸化セリウムを含む電極は、高い溶接品質と低い気孔率で AC および DC 溶接で優れた性能を発揮します。

切断: プラズマ切断では、高温耐性と耐焼損性により、複合希土類タングステン電極が広く使用されています。酸化イットリウムとジルコニアを含む電極は、高温プラズマアーク下でも安定した状態を保つため、ステンレス鋼、アルミニウム合金、超合金の切断に適しており、造船や重機に広く使用されています。

溶射: 複合電極は、プラズマ溶射プロセスで機械部品の表面に耐摩耗性または耐食性のコ

著作権および法的責任に関する声明

ーティングをスプレーするために使用されます。高い融点と耐酸化性により、噴霧中の安定性が確保され、航空エンジブレード、石油掘削装置などに使用されています。

電気光源:電気光源の分野では、複合希土類タングステン電極が高輝度ガス放電ランプ(キセノンランプや水銀ランプなど)の陰極またはフィラメントとして使用されます。その優れた電子放出特性により、ランプの寿命を延ばし、発光効率を向上させるため、投影機器や医療用照明に広く使用されています。

新エネルギーと電気化学: 複合希土類タングステン電極は、リチウムイオン電池、燃料電池、電解槽の電極材料または導電性コーティングとして使用され、エネルギー密度とサイクル寿命を向上させます。さらに、電気触媒(水電気分解による水素製造など)の分野での応用が生まれており、希土類酸化物の触媒活性により反応効率が向上します。

複合希土類タングステン電極の多様な用途は、カスタマイズ可能な希土類比と最適化された微細構造の恩恵を受けており、さまざまな業界の性能ニーズを満たすことができます。世界市場分析によると、年間消費量は 1,600 トンを超えており、特にグリーン製造とハイテクの分野で、今後 5 年間で成長し続けると予想されています。

5.2 複合希土類タングステン電極に適用できる溶接タイプ

複合希土類タングステン電極は、さまざまな溶接タイプに適しており、その性能上の利点はさまざまなプロセスで優れています。溶接の主な種類と特徴は次のとおりです。

タングステン不活性ガス溶接 (TIG 溶接/GTAW): TIG 溶接は、複合希土類タングステン電極の最も広く使用されている分野です。WC20 などの酸化セリウム含有電極は、DC 正極性 (DCSP) 溶接において優れたアーク放電特性を示すため、ステンレス鋼、炭素鋼、ニッケル合金に適しています。WL20 などの酸化ランタンを含む電極は、交流 (AC) 溶接において高いアーク安定性を持ち、アルミニウムおよびマグネシウム合金に適しており、アークドリフトを低減し、滑らかな溶接を実現します。

プラズマ溶接 (PAW): プラズマ溶接では、電極が高温および高温で安定した状態を保つ必要があります。WL20 などの酸化イットリウムとジルコニアを含む複合電極は、耐燃焼性と長寿命により、航空宇宙分野の薄肉構造などの高精度プラズマ溶接に適しています。電極先端は、高温プラズマアーク放電下での摩耗率が低く、寿命は 500~800 時間です。

金属不活性ガスシールド溶接 (MIG 溶接) 支援: MIG 溶接では、アーク溶接や特殊材料溶接を安定させるための補助電極として、複合希土類タングステン電極が使用されることがあります。電子放出効率が高いため、アーク始動電圧が低減され、自動生産ラインに適しています。

抵抗スポット溶接支援: 特定の高精度スポット溶接プロセスでは、複合電極が電極ヘッドとして機能し、安定した電流伝送を提供し、スパッタを低減するため、電子部品の製造に適しています。

著作権および法的責任に関する声明

特殊な溶接プロセス: マイクロビーム プラズマ溶接やレーザー TIG 複合溶接など、複合電極はアーク集中を最適化することで溶接品質を向上させます。酸化ランタンと酸化セリウムを含む電極は、マイクロ溶接でアーク電圧が 25V と低く、薄板(<0.5mm)溶接に適しています。

溶接タイプが異なれば電極の性能要件も異なり、複合希土類タングステン電極は希土類比を調整することで多様なニーズに応えます(例:酸化セリウム:酸化ランタン= 1:1)。実験によると、TIG 溶接のアーク安定性は 95% 以上であり、溶け込み深さ制御精度は 20% 向上し、純粋なタングステン電極よりも大幅に優れています。

5.3 複合希土類タングステン電極の産業応用事例

複合希土類タングステン電極は、次の特定のケースを含む、複数の業界で大きな応用価値を示しています。

航空宇宙: 航空機製造では、チタン合金や超合金の TIG 溶接には、酸化ランタンや酸化イットリウムなどの WLaCeY を含む電極が使用されます。たとえば、航空エンジンのブレード溶接プロジェクトでは、電流が 150 から 200 A、溶接引張強度が 900 MPa、気孔率が 0.1% 未満の WL20 電極が使用されており、厳しい航空基準を満たしています。

自動車製造: 複合電極は、電気自動車のバッテリー部品の溶接に広く使用されています。

酸化セリウムを含む電極(WC20)は、50~100A の電流、滑らかな溶接面、サイクル寿命の 10%延長でアルミニウム合金電池シェルの TIG 溶接に使用されます。ある自動車メーカーは、複合電極を使用することで溶接効率を 15%向上させ、生産コストを 8%削減しました。

原子力産業: 原子炉压力容器の溶接には、高い耐食性と長寿命が求められます。ジルコニアを含む複合電極はプラズマ溶接で良好な性能を発揮し、溶け込み深さを 3~5mm に制御し、溶接部に亀裂がなく、耐食性が 20%向上した 304 ステンレス鋼パイプを溶接しました。

造船: プラズマ切断では、酸化イットリウムを含む電極を使用して高張力鋼板を最大 1 m/min の切断速度で切断し、電極の寿命を 30% 延ばし、交換頻度を減らします。造船所では WLaCeY 電極を使用しているため、切断精度が 10%向上し、材料の無駄が削減されます。

エレクトロニクス産業: 半導体装置の製造では、銅とアルミニウムの部品を接続するためのマイクロビームプラズマはんだ付けに複合電極が使用されます。酸化セリウムを含む電極は、低電流 (<30A) でアーク安定であり、チップ パッケージングの要件を満たすためにはんだ接合部の直径は 0.1 mm 以内に制御されています。

著作権および法的責任に関する声明

新エネルギー分野:複合電極はリチウム電池電極製造の導電性コーティング基板として使用され、酸化ランタンを含む電極は電池のサイクル寿命を 5,000 倍以上向上させます。太陽光発電会社は、複合電極を使用して表面粗さが $Ra < 0.5$ ミクロンのシリコン ウェーハを切断し、モジュールの効率を向上させています。

これらの事例は、複合希土類タングステン電極がカスタマイズされた性能を通じて業界のニーズを満たし、高精度製造の発展を推進していることを示しています。

5.4 複合希土類タングステン電極の推奨溶接プロセスパラメータ

溶接プロセスパラメータの選択は、複合希土類タングステン電極の性能と溶接品質に直接影響します。以下は、TIG およびプラズマ溶接の推奨パラメータであり、さまざまな材料と電極タイプをカバーしています。

TIG 溶接パラメータ:

電極タイプ:WL20(2%酸化ランタン)、WC20(2%酸化セリウム)、WLaCeY(三元複合材料)
現在のタイプ:

DC 正極性(DCSP):ステンレス鋼、炭素鋼、および 50~250A の電流に適しています

交流(AC):アルミニウムおよびマグネシウム合金、60~200 A の電流、70~150 Hz の周波数に適しています

電極径:1.6~4.0mm(薄板は 1.6~2.4mm、厚板は 3.2~4.0mm)

チップ角度:30~60°(精密溶接 30°、大電流 60°)

シールドガス:アルゴン(純度 99.99%)、流量 8~15 L/min

アーク始動電圧:25~35V

溶接速度:0.1~0.5 m / min

電極延長長:3~6mm

プラズマ溶接パラメータ:

電極タイプ:WLaCeY、WY20(2%酸化イットリウム)

電流タイプ:DC 正極性、80~300A の電流

電極径:2.4~4.8 mm

先端角度:45~60°

著作権および法的責任に関する声明

プラズマガス:アルゴン、流量 0.5~2 L/min

シールドガス:アルゴン+5%水素、流量 10~20L/min

アーク始動電圧:30~40V

溶接速度:0.2~0.8 m / min

素材の適応:

ステンレス鋼:WL20、電流 100~200 A、アルゴン流量 10 L / min、チップ角度 45°

アルミニウム合金:WC20、AC 電流 80~150 A、周波数 100 Hz、アルゴン流量 12 L/min

チタン合金:WLaCeY、電流 120~180 A、先端角度 30°、アルゴン+ヘリウム混合物(1:1)

最適化の提案: パラメータは、ワークピースの厚さと溶接装置に応じて調整する必要があります。低電流で鋭い電極チップは薄いプレートにフィットし、熱影響部を減らします。大電流と大きな先端角は厚板に適しており、貫通深さを向上させます。アーク電圧と電流の変動をリアルタイムで監視することで、安定性を確保します。

5.5 複合希土類タングステン電極の使用上の注意

複合希土類タングステン電極を適切に使用すると、その性能が最大化され、寿命が延びます。以下に重要な考慮事項をいくつか示します。

電極の選択:溶接材料とプロセスに応じてモデルを選択してください、たとえば、WL20 はアルミニウム合金 AC 溶接に適しており、WC20 は低電流ステンレス鋼溶接に適しており、WLaCeY は高負荷チタン合金溶接に使用されます。

先端研削:電極の先端は、汚染を避けるために特殊なダイヤモンド砥石を使用して、適切な角度(30~60°)に研削する必要があります。研削方向は電極の軸方向に沿っており、表面粗さは Ra<0.2 ミクロンです。AC 溶接は、焼損を減らすために半球形の先端に研磨する必要があります。

シールドガス:高純度アルゴンまたはアルゴン+ヘリウム混合物を使用し、流量は 8~20 L / min です。酸素や水蒸気の汚染を避けるために、ガスパイプラインの気密性を確認してください。

保管と輸送:電極は、乾燥した換気環境(温度 10~25°C、湿度<60%)で防湿包装で保管され

著作権および法的責任に関する声明

ます。輸送により、激しい振動を回避し、電極の曲がりや表面の損傷を防ぎます。

動作仕様: 溶接前に電極表面を検査し、油汚れや酸化物がないことを確認してください。汚染を防ぐために、電極がメルトプールに接触しないようにしてください。過熱を防ぐために、溶接中は電極を 3〜6mm 伸ばしてください。

安全保護: アーク放射や粉塵の吸入を避けるために、保護メガネと手袋を着用してください。溶接エリアが十分に換気され、除塵装置が装備されていることを確認してください。

定期点検: 電極先端の状態を 50 時間ごとにチェックし、再研磨または交換してください。過度の摩耗が溶接品質に影響を与えないように、使用時間を記録します。

これらの考慮事項に従うことで、電極の性能が安定し、故障率が減少します。

5.6 複合希土類タングステン電極に関する一般的な問題の解決

複合希土類タングステン電極の使用で遭遇する可能性のある問題と解決策は次のとおりです。

問題 1: アークの不安定性

原因: 電極先端の汚れ、シールドガス不足、電流変動。

解決策: 電極表面を清掃し、ガス流量(8〜15 L/min)を確認し、出力を安定させます。チップを 45° に再研磨します。

問題 2: 電極がすぐに焼損する

原因: 過電流、不適切な先端角度、またはガス汚染。

解決策: 電流を推奨範囲 (例: 100 から 200 A) まで減らし、先端角度を 60° に調整し、高純度アルゴンを使用します。

問題 3: 溶接部に多くの気孔がある

原因: 電極の汚染または保護ガス中の酸素。

解決策: 電極の超音波洗浄、ガスの純度(>99.99%)をチェックし、流量を 12 L/min に増やします。

問題 4: アーク放電の難しさ

原因: 先端の不適切な研削または電極の経年劣化。

解決策: チップを 30° に再研磨し、電極の寿命を確認し、必要に応じて交換します。

問題 5: 電極の破損

原因: 機械的ストレスまたは内部欠陥。

解決策: 電極の型締力(<100N)を確認し、超音波検査で内部に亀裂がないことを確認します。

著作権および法的責任に関する声明

問題を解決するには、実際の作業条件に基づいてプロセスパラメータを最適化するために、故障データを記録する必要があります。

5.7 複合希土類タングステン電極の新興分野への応用

複合希土類タングステン電極の新興分野、特に次の分野での応用は急速に拡大しています。

3D プリンティング: 金属 3D プリンティングでは、安定した高温アークを提供し、高強度合金部品をプリントするために、プラズマ アーク蒸着 (PAAM) に複合電極が使用されます。酸化ランタンを含む電極は、チタン合金を印刷する際のアーク安定性が 95% で、印刷精度が 15% 向上します。

レーザー溶接支援: レーザーと TIG の複合溶接では、複合電極がアークを安定させ、レーザー エネルギーの吸収を高めます。酸化セリウムを含む電極は、ステンレス鋼のレーザー溶接で溶接深さが 20% 増加するため、軽量の自動車部品に適しています。

新エネルギー電池: 複合電極はリチウム電池や全固体電池の導電基板として機能し、酸化イットリウムを含む電極は電池のサイクル寿命を 6,000 倍に向上させます。ある電池会社は WLaCeY 電極を使用しており、電極の導電率が 10% 向上しています。

電気触媒: 水の電気分解水素製造では、複合電極が電極触媒陰極として機能し、希土類酸化物の触媒活性により過電位が 20% 減少します。酸化セリウムを含む電極は、酸性電解質中での電流密度が 100 mA/cm² です。

マイクロナノ製造: マイクロビームプラズマはんだ付けでは、酸化ランタンを含む電極をチップパッケージングに使用し、5G デバイスのニーズを満たすためにはんだ接合部の直径を 50 ミクロン以内に制御します。

これらの新たな用途により複合電極の研究開発が推進されており、2030 年までに新しい分野で市場シェアの 30% 以上を占めると予想されています。

5.8 複合希土類タングステン電極の経済的利益分析

複合希土類タングステン電極の経済的利点は、生産効率の向上、コスト削減、市場競争力の強化に反映されています。

生産効率: 複合電極の寿命は 500~1000 時間で、純粋なタングステン電極(200~300 時間)の 2~3 倍であり、交換頻度は 20% 減少します。TIG 溶接では、アーク安定性が 15% 向上し、溶接速度が 10% 向上し、生産効率が大幅に向上します。

コスト削減: 複合電極の初期コストは純タングステン電極よりも高くなりますが(約 20% 高い)、寿命が延びることで総使用コストが 30% 削減されます。自動車製造工場では WL20

著作権および法的責任に関する声明

電極を使用しており、年間約 100,000 ドルのメンテナンス コストを節約しています。廃電極の回収率は 85%に達し、資源コストをさらに削減します。

市場競争力: 複合電極の非放射性特性は REACH および RoHS 規制に準拠しており、ヨーロッパおよびアメリカ市場への参入がバリアフリーです。世界市場分析によると、その需要は年率 5.8% で成長しており、市場規模は 2025 年までに 12 億ドルに達すると予想されています。

ケーススタディ: ある航空会社が WLaCeY 電極を使用してチタン合金を溶接したところ、溶接合格率が 90% から 98% に向上し、再加工コストが 50% 削減されました。新エネルギー電池の製造において、複合電極は電池の性能を向上させ、製品の付加価値を 15% 増加させます。

全体として、複合希土類タングステン電極は企業に大きな経済的利益をもたらし、性能の最適化とグリーン特性を通じて業界のアップグレードを促進します。



著作権および法的責任に関する声明

CTIA GROUP LTD

Composite Rare-Earth Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

The composite rare-earth tungsten electrode is a high-performance welding electrode made from high-purity tungsten as the base material, with multiple rare-earth oxides (such as lanthanum oxide, yttrium oxide, cerium oxide, etc.) added in combination. Compared with traditional single rare-earth tungsten electrodes, it demonstrates superior electron emission performance, high-temperature stability, burn resistance, and arc ignition capability, making it widely used in high-precision, high-strength, and long-duration continuous welding applications.

2. Performance Parameters (Reference Values) of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

Item	Typical Value	Remarks
Tungsten Purity	≥99.95%	Base tungsten content
Rare-Earth Oxide Content	1.5%–3.0%	Composite ratio customizable
Operating Current Range	DC 5A–500A / AC 20A–350A	Depends on electrode diameter
Maximum Temperature Resistance	2600°C	Instantaneous arc temperature
Service Life Improvement	1.5–3 times	Compared to pure tungsten or single rare-earth tungsten electrodes

3. Applications of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

Aerospace Manufacturing: Welding of titanium alloys, nickel-based alloys, and other high-temperature alloys

Nuclear and Power Equipment: Welding of high-temperature pipelines and heat-resistant steel structures

Precision Machining: Welding of stainless steel, copper, aluminum, and their alloys

Automotive and Rail Transit: Welding of critical load-bearing components

Electronics and Vacuum Devices: High-vacuum arc welding and micro-welding processes

4. Packaging and Supply Specifications

Diameter: Ø1.0mm, 1.6mm, 2.4mm, 3.2mm, 4.0mm, etc. (customizable)

Length: 150mm, 175mm, etc. (customizable)

Packaging: Plastic box or vacuum-sealed packaging, 10 pieces/box (Standard)

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

著作権および法的責任に関する声明

第 6 章複合希土類タングステン電極の製造設備

6.1 複合希土類タングステン電極の原料加工装置

原料加工装置は、タングステンベースの材料と希土類酸化物の高純度で均一な混合を確保するために、複合希土類タングステン電極の原料調製と比率に使用されます。主なデバイスとその機能は次のとおりです。

高精度電子天びん:三酸化タングステン(WO₃)またはパラタングステン酸アンモニウム(APT)、および希土類硝酸塩(硝酸ランタン、硝酸セリウムなど)の正確な計量用。精度は 0.001g、測定範囲は 0.1~10kg で、防振テーブルと静電シールドを装備し、正確な計量を保証します。

溶液調製システム:ステンレス鋼の攪拌タンク(容量 50~500 L)、pH メーター(精度±0.01)、サーモスタットウォーターバス(温度制御 40~80°C)を含む希土類硝酸塩溶液の調製用。200~500rpm の攪拌速度により、均一な溶液が保証されます。システムには、純度 18 MΩ·cm > 脱イオン水発生器を装備する必要があります。

噴霧乾燥機:希土類硝酸塩溶液とタングステン粉末を混合し、乾燥させてドーブ粉末を生成します。装置パラメータ:入口空気温度 150~250°C、噴霧速度 0.5~2 L/min、乾燥室真空 10⁻¹ Pa。

振動ふるい機:乾燥粉末をふるいにかけて、凝集した粒子を除去するために使用されます。スクリーンは 200~400 メッシュのスクリーン、振動周波数は 1000~2000 回/分、処理能力は 100~500kg/h です。粉塵汚染を防ぐためのダストカバーと静電接地を装備しています。

品質管理装置:蛍光 X 線分光計(XRF、不純物含有量の検出<0.01%)およびレーザー粒度分析装置(1~5 ミクロンの D50 の測定)を含む。これらの装置は、原材料の純度と粒子分布が要件を満たしていることを保証します。

機能とメンテナンス:原材料加工装置は耐食性(ステンレス鋼またはチタン合金)である必要があります、相互汚染を避けるために混合タンクとノズルを定期的に清掃する必要があります。メンテナンスには、天びんの校正(月に 1 回)と噴霧乾燥機の熱効率のチェック(四半期に 1 回)が含まれます。

著作権および法的責任に関する声明

原材料処理装置の高精度と清浄度により、後続のプロセスに高品質の粉末が提供され、性能の基礎が築かれます。

6.2 複合希土類タングステン電極の還元およびドーピング装置

還元・ドーピング装置は、三酸化タングステンを高純度タングステン粉末に変換し、水素還元炉とドーピングシステムを中核として希土類酸化物のドーピングを完了するために使用されます。

管状水素還元炉:2段階還元で使用され、第1段階(500~600°C)で WO₂を生成し、第2段階(800~950°C)でタングステン粉末を生成します。炉本体は高温ステンレス鋼またはモリブデン合金でできており、長さは2~5メートル、内径は0.5~1メートルです。水素流量0.5~1.5m³/h、純度99.99%。赤外線温度計(精度±2°C)とガス分析装置(酸素含有量<0.01%)を装備。

ベル還元炉:100~1000kg/バッチの容量、500~1000°Cの温度制御、10⁻²Paの真空中で大量生産に適しています。5°C±温度均一性を確保するための多点温度測定システムを装備しています。水素循環システムは未反応ガスを回収し、コストを削減します。

ドーピング装置:プラネットミルは、機械的合金化、粉末の精製、希土類酸化物の均一なドーピングに使用されます。パラメータ:400~600rpm、ペレット化比8:1、粉碎時間8~12時間。ボールミルのタンクと媒体は、汚染を避けるために炭化物です。

補助装置:ガス浄化システム(水蒸気や不純物の除去)と排気ガス処理ユニット(水素排ガスの接触燃焼)を含む。レーザー粒度分析装置とSEMは、粉末の粒子サイズ(1~5ミクロン)とトポグラフィーを検出するために使用されます。

メンテナンスと安全性:炉の気密性を定期的にチェックし(月に1回)、温度測定システムを校正します(四半期に1回)。安全な動作を確保するために、水素システムには漏れ検知器と防爆換気装置を装備する必要があります。還元およびドーピング装置の効率的な操作により、粉末の品質が保証され、その後の成形の基礎が築かれます。

6.3 複合希土類タングステン電極の成形装置

成形装置は、ドーピングされたタングステン粉末をブランクにプレスし、均一な密度と構造安定性を確保します。主な装備は次のとおりです。

著作権および法的責任に関する声明

冷間静水圧プレス(CIP):液体媒体に均一な圧力(100~300MPa)を加えて、理論密度の 60% から 70%までのボディ密度をプレスします。この装置は 50~500L の容量を持ち、高圧ポンプと精度 ± 0.5 MPa の圧力センサーを備えています。

油圧成形機:圧力 150~200MPa の硬質鋼金型を使用し、小ロット生産に適しています。プレス時間は 5~10 分で、自動供給システムを搭載し、処理能力は 50~200kg/h です。

スラリー成形機:複雑な形状の電極に使用され、粉末とバインダー(0.5%~1%のポリビニルアルコール)をスラリーに混合し、金型に注入して硬化させます。精密シリンジポンプ(流量精度 ± 0.1 mL/min)と真空脱気システムが含まれています。乾燥室の温度は、熱応力を避けるために 25~80°C に制御されています。

品質管理装置:超音波検出器は体内の欠陥をチェックし(分解能 0.1 mm)、アルキメデス密度計は密度を測定します(精度 ± 0.01 g/cm³)。目視検査システムにより、ボディの寸法偏差が 0.1mm<ことが保証されます。

メンテナンスと最適化: 金型を定期的に (週に 1 回) 清掃し、圧力センサーを校正します(月に 1 回)。有限要素シミュレーションを通じて成形パラメータを最適化し、密度勾配を低減します。成形装置の高精度は、ボディの品質を保証し、焼結のための信頼できる基盤を提供します。

6.4 複合希土類タングステン電極の焼結装置

焼結装置は、ボディを緻密化して高密度、高強度の電極材料を形成するために使用されます。主な装備は次のとおりです。

真空ホットプレス焼結炉:1600~1800°C、50~80MPa、真空度 10^{-3} Pa で焼結。炉体は黒鉛加熱体を採用し、赤外線温度計(精度 ± 2 °C)と真空ポンプを装備しています。加熱速度はセクション(10°C/分~1000°C、目標温度まで 4°C/分)で制御され、60~90 分間保温されます。

スパークプラズマ焼結炉(SPS):パルス電流による急速加熱(100~200°C/分)、焼結温度 1400~1600°C、圧力 30~50MPa、保温温度 5~10 分。ナノ粉末に適しており、希土類の揮発を低減します。高精度電流コントローラ(1000~2000A)を搭載。

著作権および法的責任に関する声明

縦型焼結炉:溶融電流 90%、温度 3000°C 以上、雰囲気はアルゴンまたは水素です。大口徑電極に適しており、水冷電極クランプシステムと電流モニターを装備しています。

補助装置:バインダーを除去するための予備焼結炉(1200°C、真空または水素雰囲気)、ガス循環システムを備えています。SEM と XRD は、焼結後の微細構造を解析し、粒径(5~10 μ m)と希土類分布を確認しました。

メンテナンスと安全性:真空ポンプを定期的にチェックし(月に 1 回)、温度測定システムを校正します(四半期に 1 回)。焼結炉には、過熱を防ぐために冷却水循環システムを装備する必要があります。SPS 装置の急速焼結機能により、効率が 30%向上し、エネルギー消費量が 20%削減されます。

6.5 複合希土類タングステン電極の加工装置

加工装置は、焼結体を電極棒に加工し、密度と表面品質を向上させます。主な機器は次のとおりです。

回転鍛造機:回転ハンマリングにより本体の直径(20~3mm)を小さくし、変形率はパスあたり 20%~30%です。処理温度は 800~1200°C で、自動供給システムと赤外線温度計を装備しています。

伸抜機:超硬ダイスでバーを伸ばし、直径を 0.5~10mm に縮小します。引き抜き速度は 0.5~2m/min で、グラファイトエマルジョンで潤滑されています(摩擦係数<0.1)。連続生産用のチェーンプルマシン。

矯正機およびパーティング機: ローラー矯正機は< 0.1 mm/m の真直度偏差を確保し、レーザーパーティング機は 150 から 175 mm (公差 \pm 0.5 mm) の長さを制御します。表面品質を監視するビジョン検査システムを搭載。

品質管理装置:表面粗さ計(Ra<0.5 ミクロン)と超音波探傷器により、内部欠陥を検出します。寸法測定はレーザー距離計(精度 \pm 0.01mm)を使用して行われます。

メンテナンスと最適化: 金型を定期 (1000 時間ごと) 交換し、潤滑システムをチェックします (週に 1 回)。有限要素シミュレーションにより変形パラメータが最適化され、歩留まりは 98% 以上に達します。自動処理装置により、効率が 30%向上します。

6.6 複合希土類タングステン電極の表面処理装置

表面処理装置は、電極の耐食性と電子放出性能を向上させるために、研磨、洗浄、コーティングに使用されます。

著作権および法的責任に関する声明

機械研磨機:アルミナ研磨剤(2000 メッシュ)を使用し、電極を Ra<0.2 ミクロンまで粗さに研磨します。100～500 個/時間の処理能力を持つ多軸研磨ヘッドを装備。

電気化学研磨機:硫酸とリン酸の混合溶液で研磨し、電流密度 0.5～1 A/cm²、処理時間 5～10 分。定電流電源と廃液回収システムを装備。

超音波洗浄機:アルカリ性溶液(pH 8～10)を周波数 40kHz、温度 50～60°C、洗浄時間 5～10 分で使用します。脱イオン水リンスタンクと熱風乾燥システムを装備。

化学気相成長(CVD)装置:希土類酸化物またはセラミックコーティング (La₂O₃、ZrO₂など) を塗布し、温度は 800～1000°C、真空は 10⁻²Pa、蒸着速度は 0.1μm/min です。

メンテナンスと環境保護: 研磨ディスクと洗浄タンクを定期的に (週に 1 回) 清掃し、電流密度を校正します (月に 1 回)。水性洗浄剤は VOC 排出量を削減し、廃液はイオン交換によってレアアースを回収し、回収率は 90%です。

6.7 複合希土類タングステン電極の補助装置

付属機器は、次のようなスムーズな生産プロセスと品質管理をサポートします。

真空乾燥炉:粉末および本体乾燥用、温度 80～150°C、真空度 10⁻¹ Pa。推奨モデル:ドイツのバインダー乾燥炉。

ガス浄化システム:水素から水蒸気と不純物を純度 99.999%で除去します。モレキュラーシーブとコンデンサーを装備し、1～5m³/h のスルーポットを実現します。

排気ガス処理ユニット:水素排ガスの触媒燃焼、排気ガス分析装置を装備(排出ガスは環境基準を満たしています)。

品質検査装置:X線回折装置(XRD、結晶構造を分析する)、顕微鏡の形態を観察する走査型電子顕微鏡(SEM)、電子エスケープパワーテスター(精度±0.01eV)など。

データ管理システム: センサーと PLC を統合して、プロセス パラメータをリアルタイムで記録し、品質レポートを生成します。

補助装置により、生産の継続性と品質のトレーサビリティが確保され、不良率が削減されます。

著作権および法的責任に関する声明

6.8 複合希土類タングステン電極装置の選択とメンテナンスのガイドライン

選択ガイド:

原材料の取り扱い:大量生産には、高精度の天びん(0.001g)と噴霧乾燥機(粒子サイズ 1~5ミクロン)を選択してください。

還元とドーピング:管状還元炉は中小規模のバッチに適しており、ベルジャー炉は大規模なバッチに適しており、スターミルは均一なドーピングを保証します。

成形:冷間静水圧プレスは高精度のブランクに適しており、成形機は小ロットに適しており、スラリー成形機は複雑な形状に適しています。

焼結:SPS 炉はナノ粉末に適しており、ホットプレス炉は通常の生産に適しており、縦型炉は大口径電極に適しています。

加工と表面処理:回転鍛造機と伸抜機は高度に自動化する必要があり、CVD 装置はコーティング性能を向上させます。

メンテナンスガイドライン:

定期的なメンテナンス:毎月機器の気密性とセンサーの精度をチェックし、四半期ごとに温度測定システムを校正し、摩耗した部品(金型、研磨ディスクなど)を6か月ごとに交換します。

予防保守: 振動分析装置を使用して機器の動作状態を検出し、故障を防止します。潤滑システムは、摩擦係数を<0.1 に維持するために毎週チェックされます。

ログ記録と最適化: メンテナンス ログを確立して、故障と修理時間を記録します。AI と組み合わせて機器の運転データを分析し、メンテナンスサイクルを最適化し、機器の寿命を20%延長します。

6.9 複合希土類タングステン電極の自動生産ラインの設計と統合

自動化された生産ラインは、効率と一貫性を向上させるためにさまざまなプロセスを統合します。設計と統合のポイントは次のとおりです。

生産ラインのレイアウト:

原料処理エリア:電子天びん、溶液調製システム、噴霧乾燥機、面積 50m²。

還元およびドーピングエリア:管状還元炉、プラネットミル、ガス循環システムを装備し、100m²の面積をカバーします。

成形・焼結エリア:冷間静水圧プレス、SPS 炉、面積 80m²。

機械加工および表面処理エリア:回転鍛造、絞り機、CVD 装置、面積 60m²。

検査・包装エリア:SEM、XRD、自動包装機、30m²。

自動化システム:

PLC 制御:シーメンス S7-1500 は、プロセスパラメータを制御し、センサー(温度、圧力、流量)を統合し、リアルタイムで監視します。

ロボットハンドリング:ブランクや完成品の取り扱いに6軸ロボットアーム(ABB IRB 6700 など)を採用し、効率を30%向上させます。

著作権および法的責任に関する声明

データ管理: MES システムは生産データを記録し、品質レポートを生成し、トレーサビリティをサポートします。

統合の利点:自動化された生産ラインにより、生産サイクルが 20%短縮され、歩留まりが 98%に向上します。エネルギー消費量は 15%削減され、人件費は 40%削減されます。

6.10 複合希土類タングステン電極の安全装置と保護対策

安全装置と保護対策により、生産プロセスの安全性が確保され、事故のリスクが軽減されます。

安全装置:

水素リークディテクター:0.1%未満の濃度を検出し、自動的に警報を発し、ガス源を遮断します。推奨モデル:ドイツの Dräger 検出器。

防爆換気システム:水素の蓄積を防ぐための 5000m³/h の風量、周波数変換制御を装備。

防火・制御システム:高温機器の火災に対処するための乾燥粉末消火器と砂の保管ボックス。

ダストコントロールシステム:ダスト濃度<10mg/m³の負圧ダスト抽出ユニットと高効率フィルター。

保護措置:

人員保護:オペレーターは防塵マスク (FFP3 レベル)、保護メガネ、高温手袋を着用します。溶接エリアにはアークシールドスクリーンが設置されています。

設備の保護:焼結炉と処理装置には緊急停止ボタンが装備されており、圧力容器は定期的に(年に 1 回)点検されます。

環境モニタリング:作業場の温度 (<30°C)、湿度 (<60%)、ガス濃度をリアルタイムで監視し、安全な環境を確保します。

トレーニングと緊急事態:オペレーターは、水素の安全性と機器の操作に関するトレーニングを受けます(四半期ごと)。緊急計画を策定し、定期的な訓練(火災避難など)を実施し、事故対応時間が 5 分<であることを確認します。

安全装置と保護対策は、生産の安全性と従業員の健康を確保するために、OSHA および ISO 45001 規格に準拠しています。



第7章複合希土類タングステン電極の国内外規格

7.1 複合希土類タングステン電極の国内規格

中国は、主要な希土類資源国であり、世界のタングステン電極の主要生産国として、複合希土類タングステン電極の標準化の最前線に立っています。これらの規格は、製品の技術指標、製造プロセス、品質管理を標準化するだけでなく、国内の産業発展のニーズを満たすための環境保護と安全要件も強調しています。国内標準システムは、主に国家標準 (GB/T) に基づいており、業界標準 (YS/T、JB/T) と地方/企業標準によって補完され、マルチレベルの規範的枠組みを形成しています。主な国内規格を以下に詳しく説明します。

GB/T 4190-2017「タングステン電極」:これは、中国のタングステン電極分野における中核的な国家規格であり、主にタングステン不活性ガスシールド溶接(TIG溶接)、プラズマ溶接、切断などの分野で使用される複合希土類タングステン電極を含むすべての非溶融タングステン電極に適用されます。この規格では、電極を純タングステン、単一希土類タングステン、複合希土類タングステンの3つのカテゴリに分類し、複合希土類タングステン電極を2つ以上の希土類酸化物(酸化ランタン La_2O_3 、酸化セリウム CeO_2 、酸化イットリウム Y_2O_3 など)を添加すると定義しています。この規格は、酸化ランタンの含有量が0.5%から2.2%、総希土類酸化物が4%以下、タングステンマトリックス純度が99.95%以上などの化学組成要件を指定しています。さらに、この規格には物理的寸法の厳しい公差があります:直径は0.5 mmから10 mmの範囲、公差 ± 0.05 mmです。長さは150mmから175mm、

著作権および法的責任に関する声明

公差±1mmです。性能面では、電極の電子逃避能力が 2.5eV 未満、アーク安定性が 95%以上、表面品質基準(亀裂なし、スケールなし、粗さ Ra<0.2 ミクロンなど)が規定されています。この規格には、化学分析用の誘導結合プラズマ発光分光法 (ICP-OES) などの検査方法や、ピッカース硬度計によって測定される機械的特性も含まれています。この規格の策定は国際規格 ISO 6848 を参照していますが、中国の地域のレアアース資源利用とグリーン製造の原則にもっと注意を払っています。

YS/T 231-2007「希土類タングステン電極」:非鉄金属の業界標準として、この規格は、溶接、切断、および電気光源分野に適した複合希土類タイプを含む希土類ドーパタングステン電極を特に対象としています。この規格は、二元複合材料(酸化セリウムと酸化ランタンの組み合わせなど)に 1%から 3%の総希土類含有量を指定し、三元複合材料(酸化セリウム、酸化ランタン、酸化イットリウムなど)に 1.5%から 3.5%を指定するなど、希土類酸化物の多元素複合用途を強調しています。アーク安定性試験方法は、性能試験のセクションで詳細に説明されています:シミュレートされた TIG 溶接環境では、電流は 100 A~200 A であり、アーク揮発性(<5%が必要)が記録されます。アーク寿命試験では、200 A DC で 500 時間以上の連続溶接が必要です。この規格では微細構造も必要です:粒径は 5~10 ミクロンに制御され、希土類酸化物粒子の均一な分布は走査型電子顕微鏡(SEM)によって観察されます。この規格は 2007 年にリリースされ、その後、新エネルギー電池電極などの新たな用途を考慮して改訂され、汚染防止や高温疲労試験指標が追加されました。

JB/T 12871-2016「溶接用タングステン電極の技術条件」:この機械業界標準は、複合希土類タングステン電極の技術条件や検査規則など、溶接用途のタングステン電極に焦点を当てています。この規格は、包装が防湿、衝突防止、真空密封袋を使用する必要があるなど、電極の包装、輸送、保管要件を指定しています。輸送中は高温多湿を避けてください。品質指標には、溶接部の気孔率が 0.1%未満、溶接部の引張強度が基板の 90%以上であることが含まれます。この規格では、高湿度 (5% RH) 環境での保管後の 90% の性能低下などの信頼性テストも導入されています<この規格は溶接装置メーカーとユーザーの両方に適用され、目視検査、寸法測定、および性能サンプリング テストを含む詳細な受け入れプロセスを提供します。

その他の規格: 上海地方規格 DB31/T 1234-2020 などの地方規格では、多複合電極の希土類比の最適化 (酸化セリウム: 酸化ランタン: 酸化イットリウム =1:1:3) が規定されており、ナノ希土類ドーピングの要件が増加しています。エンタープライズ標準は、GB/T 4190 に基づいてパフォーマンス メトリックを拡張し、ハイエンドの航空アプリケーションに適しています。これらの規格は補完的なシステムを形成し、複合希土類タングステン電極の工業化を促進します。

国内規格は、環境保護の変革に焦点を当て、放射性トリウムタングステン電極の使用を禁止し、国の希土類管理規制とドッキングし、資源のリサイクルを重視しているのが特徴です。通常、標準的な更新は 5 年から 7 年ごとに行われ、AI 支援テストやグリーン準備プロセスなどの新しいテクノロジーが組み込まれます。

著作権および法的責任に関する声明

7.2 複合希土類タングステン電極の国際規格

国際規格は、複合希土類タングステン電極の世界的な取引、製造、および応用のための統一された技術仕様と品質ベンチマークを提供し、主に国際標準化機構 (ISO)、米国溶接協会 (AWS)、欧州標準化委員会 (CEN)、日本工業規格調査 (JISC) などの組織によって策定されています。これらの規格は、パフォーマンスの一貫性、環境要件、国際的な互換性を重視し、国境を越えたサプライチェーンの安定性を促進します。主な国際規格の詳細な分析は次のとおりです。

ISO 6848:2015「アーク溶接および切断-非消耗性タングステン電極-分類」:タングステン電極の国際分類規格として、この規格は、アーク溶接および切断プロセス用の複合希土類タングステン電極を含む非溶融タングステン電極に適用されます。この規格では、電極を WP(純タングステン)、WT(タングステントリウム、制限付き)、WL(酸化タングステンランタン)、WC(酸化タングステンセリウム)、WY(酸化タングステンイットリウム)、および EWG(複合希土類タングステン)に分類しています。複合希土類タングステン電極の場合、規格は、WL0.5(4%から 1.8%の La_2O_3 を含む)など、総希土類含有量が 2.2%から 20%の 2 つ以上の希土類酸化物を含む電極として定義されています。物理仕様には、直径 0.5mm ~ 10mm(公差 $\pm 0.05\text{mm}$)と長さ 50mm ~ 175mm(公差 $\pm 1\text{mm}$)が含まれます。性能要件には、2.5 eV 未満の電子脱出電力、35 V 未満のアーク始動電圧、および 150 A 電流で 500 時間以上のアーク寿命が含まれます。この規格では、表面処理要件 (研磨層または酸化層の厚さ <5 ミクロン) など) と梱包仕様 (耐湿性と耐衝撃性) も指定しています。検査方法には、化学組成分析(ICP-OES)とアーク性能試験(高速写真でアーク安定性が記録される)が含まれます。この規格は EU REACH 規制を参照して 2015 年に改訂され、トリウム タングステン電極に代わる放射性代替品の促進が強調されました。

AWS A5.12M/A5.12:2009 (R2017) アーク溶接および切断用のタングステンおよび酸化物分散タングステン電極の仕様: 米国溶接協会規格は、溶接分野の権威ある仕様であり、ISO 6848 と高度に連携していますが、実際の溶接性能に重点を置いています。この規格では、複合希土類タングステン電極を EWG シリーズとして分類し、希土類酸化物(La_2O_3 、 CeO_2 、 Y_2O_3 など)の含有量は 0.1%まで正確であり、総含有量は 4%を超えないことを規定しています。たとえば、EWC-2(酸化セリウム 2% を含む) では、DC 正極性 (DCSP) 溶接では <0.1 秒のアーク開始時間と 90% のアーク安定性>必要です。この規格には、高温性能に関する詳細な要件があり、200 A の電流で電極先端の摩耗率<0.01 mm/h です。寸法と公差は ISO と一致しており、溶接電流範囲の推奨事項が増加しています(たとえば、50~150 A の直径 2.4 mm の電極)。2017 年に再発行されたとき、この規格は環境保護条項を強化し、トリウムとタングステンの代わりに複合希土類の使用を推奨しました。この規格は米国市場と国際貿易に適用され、詳細な認証ガイドラインを提供します。

EN ISO 6848:2015 (欧州規格): 欧州規格は ISO 6848 と同じですが、REACH や RoHS などの EU 規制要件が組み込まれています。この規格は電極の非放射能と持続可能性を強調し、高湿度 (90% RH) および高温 (1500°C) における複合希土類タングステン電極の安

著作権および法的責任に関する声明

定性試験を指定しています: 酸化速度 <0.01 mg/cm²、性能減衰 <5%。この規格にはライフサイクル評価も含まれており、生産者は二酸化炭素排出量とレアアース回収率(>80%)を報告する必要があります。EU 加盟国に適しており、グリーン溶接技術の応用を促進します。

JIS Z 3233:2016「不活性ガスシールドアーク溶接用タングステン電極」:日本の工業規格は、複合希土類タイプを含む不活性ガスシールド溶接用のタングステン電極に焦点を当てています。この規格では、0.1%から 1.8%の Y₂O₃を含む WY20 など、2.2%までのレアアース含有量を指定しています。性能試験には、アーク開始電圧<30V、溶接気孔率 0.05%<精密溶接指標が含まれます。この規格は微細構造制御を重視しており、X 線回折 (XRD) によって 10 ミクロン<粒径を検証します。この規格は日本のエレクトロニクスおよび自動車産業に適用され、高精度のアプリケーションを推進しています。

国際規格の共通点は、放射性変換と性能の最適化に重点を置いており、グローバルサプライチェーンの変化に適応するために 3 年から 5 年の更新サイクルがあります。

7.3 複合希土類タングステン電極の材料組成基準

材料組成基準は、複合希土類タングステン電極の品質管理の基礎であり、タングステンマトリックスと希土類酸化物の組成比、純度要件、および不純物限界を規定しています。これらの規格は、化学分析方法を通じて組成の一貫性を確保し、性能の変動を回避します。以下を国内外の視点から詳しく説明します。

国内材料組成規格(GB/T 4190-2017 および YS/T 231-2007):

タングステンマトリックス:純度 99.95%以上、総不純物含有量<0.05%。特定の不純物限界:鉄(Fe)<0.01%、シリコン(Si)<0.005%、炭素(C)<0.005%、酸素(O)<0.01%。これらの制限により、電極の高い導電性と高温に対する耐性が保証されます。

希土類酸化物:単一の希土類電極の 0.5%から 2.2%。複合希土類電極の総含有量は、二元複合材料(酸化セリウム+酸化ランタン=1.5%~3%)、三元複合材料(酸化セリウム+酸化ラン

タン+酸化イットリウム=1.5%~3.5%)など、1%から 3.5%です。この規格では、耐酸化性を最適化するためにジルコニア (ZrO₂<1%) などの微量添加剤を使用できます。

検出方法: ICP-OES を使用して希土類と不純物の含有量を ±0.01% の精度で測定しました。原子吸光分光法(AAS)による検証支援この規格では、バッチ間のコンポーネント偏差が < 0.1% であることを要求しており、これは統計的プロセス制御 (SPC) によって監視されます。

国際材料組成規格(ISO 6848:2015 および AWS A5.12:2009):

タングステンマトリックス:純度≥99.9%、総不純物含有量<0.1%。不純物限界:Fe<0.02%、Si<0.01%、C<0.01%、O<0.02%。この規格は、電子放出に対する不純物の影響を強調しています。

希土類酸化物:WL20 には 1.8%から 2.2%の La₂O₃が含まれているなど、複合電極の総含有量は 0.5% から 4% です。EWG シリーズでは、複数の配合が可能です

著作権および法的責任に関する声明

(例:La₂O₃+CeO₂+Y₂O₃=1.5%~3.5%)。この規格は放射性元素(ThO₂など)を禁止し、無害なレアアース代替を奨励しています。

検出方法:不純物の蛍光 X 線分析、希土類の ICP-MS 測定(精度±0.005%)。この規格では、サプライヤーはバッチ番号と試験日を含む組成証明書 (COA) を提供する必要があります。

適用性分析: 国内規格は希土類資源の現地利用 (酸化セリウムや酸化ランタンの使用など) に重点を置っていますが、国際規格は世界的な互換性と環境保護 (REACH 制限など) を重視しています。組成基準の厳格な実施により、不純物が減少することで電極の寿命が 20% 延長され、航空宇宙などの需要の高い分野に適しています。

7.4 複合希土類タングステン電極の性能試験基準

性能試験規格は、実際の用途における製品の信頼性を確保するために、複合希土類タングステン電極の物理的、電気的、化学的、および溶接特性の評価方法と指標を定義しています。これらの規格には、マイクロからマクロまで複数の側面をカバーする実験室試験とシミュレートされた状態検証が含まれます。

国内性能試験基準(YS/T 231-2007 および JB/T 12871-2016):

電子脱出作業と電気的性能: 脱出電力は UPS によって測定され、2.5 eV <する必要があります。導電率>1.8×10⁷ S/m、4プローブ法でテスト。アーク安定性は、100~200A の電流、揮発性<5%、安定性>95%の TIG はんだ付けステーションでテストされます。

機械的特性:ピッカース硬さ試験機を使用した硬度 HV 450~500。引張強度 800~1000MPa、万能引張試験機で試験。衝撃試験機で測定した破壊靱性 K_{1c} 8~10 MPa · m^{1/2}。

熱特性:熱伝導率 174~190 W/(m · K)、レーザーフラッシュテスト。熱膨張係数は 4.5~5.0×10⁻⁶/°C で、膨張計は 25~2000°C の範囲で測定されました。

溶接性能:アーク寿命は 200 A DC で 500 時間>、アーク始動電圧は 35 V<です。貫通制御の深さは 0.1mm±で、円弧形状は高速撮影で記録されます。

試験環境:規格では、試験温度を 20~25°C、湿度<60%を指定しており、機器は JJG 規格に従って校正されています。

国際的な性能試験規格(ISO 6848:2015 および AWS A5.12:2009):

アーク性能:アーク開始時間<0.1 秒、電圧<35V。安定性>90%で、電流波形アナライザでテストされています。

寿命と耐久性:500~1000 時間のアーク寿命、高温疲労試験(1500°C、亀裂のない 10⁴サイクル)。

著作権および法的責任に関する声明

化学的性質:耐食性は、1500°C の酸素含有雰囲気中で 0.01mg/cm²の酸化速度<高温酸化実験により決定されました。

微視的特性:粒径 5~10 ミクロン、SEM 観察。レアアースの分布均一性を TEM で解析した。

試験方法: E8 引張試験や E399 破壊靱性試験などの ASTM 規格に適合しています。

性能試験規格を適用することで、溶接における電極の高効率が保証され、故障率が 20% 削減されます。

7.5 複合希土類タングステン電極の環境保護および安全基準

環境保護および安全基準は、放射能フリー、資源回収、リスクの予防と管理に重点を置き、複合希土類タングステン電極の製造と使用が環境と人間の健康に与える影響を最小限に抑えることを目的としています。

国内の環境保護および安全基準:

GB 26451-2011「希土類産業汚染物質排出基準」:排気ガス中の粉塵濃度が<10 mg /m³、SO₂<50 mg /m³であると指定しています。廃水中の希土類イオン<0.5mg/L、pH6~9。この

規格では、企業は回収率> 80% の廃水処理システムを装備する必要があります。

HJ 2527-2012「希土類産業の環境保護のための技術仕様」:グリーン調製プロセスに重点を置き、トリウムとタングステンの代わりに非放射性レアアースを使用します。廃電極の回収率>85%、製造工程からの炭素排出量は 2kgCO₂/kg 電極<。基準にはライフサイクルアセスメント(LCA)が含まれており、原材料の抽出から廃棄まで、チェーン全体の環境への影響を報告する必要があります。

GB/T 27948-2011「溶接安全に関する技術仕様」:安全要件には、水素貯蔵圧力<15MPa、漏れ検出濃度<0.1%が含まれます。オペレーター保護具標準装備(防塵マスク FFP3 クラス、高温耐性手袋>300°C)。作業場の換気能力>5000m³/h で、アーク放射保護は GBZ 115 に準拠しています。

国際的な環境保護および安全基準:

REACH 規制(EC 1907/2006):有害な不純物を 0.1%に制限する希土類酸化物の登録<義務付けています。廃棄物処理は EU 廃棄物指令に準拠しており、リサイクル率は>90%です。この規格はトリウムとタングステンを禁止しており、複合レアアースの応用を促進しています。

RoHS 指令(2011/65 / EU):電子機器の安全性を確保するために、電極中の有害物質(鉛、水銀など)の含有量を<0.1%に制限します。

ISO 14001:2015:環境マネジメントシステム規格では、二酸化炭素排出量を 20%削減することを目標に、企業にエネルギー消費と排出量の監視を義務付けています。安全性の観点から、OSHA 1910.252 は、1 mSv/年の放射線被ばくによる溶接領域の保護<指定しています。

これらの基準は、持続可能な製造を促進し、環境汚染を 30% 削減します。

著作権および法的責任に関する声明

CTIA GROUP LTD

Composite Rare-Earth Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

The composite rare-earth tungsten electrode is a high-performance welding electrode made from high-purity tungsten as the base material, with multiple rare-earth oxides (such as lanthanum oxide, yttrium oxide, cerium oxide, etc.) added in combination. Compared with traditional single rare-earth tungsten electrodes, it demonstrates superior electron emission performance, high-temperature stability, burn resistance, and arc ignition capability, making it widely used in high-precision, high-strength, and long-duration continuous welding applications.

2. Performance Parameters (Reference Values) of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

Item	Typical Value	Remarks
Tungsten Purity	≥99.95%	Base tungsten content
Rare-Earth Oxide Content	1.5%–3.0%	Composite ratio customizable
Operating Current Range	DC 5A–500A / AC 20A–350A	Depends on electrode diameter
Maximum Temperature Resistance	2600°C	Instantaneous arc temperature
Service Life Improvement	1.5–3 times	Compared to pure tungsten or single rare-earth tungsten electrodes

3. Applications of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

Aerospace Manufacturing: Welding of titanium alloys, nickel-based alloys, and other high-temperature alloys

Nuclear and Power Equipment: Welding of high-temperature pipelines and heat-resistant steel structures

Precision Machining: Welding of stainless steel, copper, aluminum, and their alloys

Automotive and Rail Transit: Welding of critical load-bearing components

Electronics and Vacuum Devices: High-vacuum arc welding and micro-welding processes

4. Packaging and Supply Specifications

Diameter: Ø1.0mm, 1.6mm, 2.4mm, 3.2mm, 4.0mm, etc. (customizable)

Length: 150mm, 175mm, etc. (customizable)

Packaging: Plastic box or vacuum-sealed packaging, 10 pieces/box (Standard)

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

著作権および法的責任に関する声明

7.6 複合希土類タングステン電極の認証制度

この認証システムは、第三者による検証を通じて複合希土類タングステン電極が基準を満たしていることを保証し、製品の評判と市場アクセスを強化します。

国内認証制度:

中国国家強制製品認証 (CCC): 中国品質認証センター (CQC) を担当し、GB/T 4190 に準拠した安全性と性能を検証します。認証には、工場監査、サンプルテスト(アーク寿命など)、および文書レビューが含まれ、1〜3 か月のサイクルがあります。

中国品質認証センター (CQC): 化学組成 (ICP-OES 試験) と環境コンプライアンス (スクラップリサイクル率 >85%) をカバーする自主認証を提供します。認証マークは国内市場の競争力を高めます。

レアアース製品生産ライセンス: 工業情報化省によって発行され、企業はレアアースサプライチェーンのトレーサビリティ能力を持ち、構成およびパフォーマンスレポートを提出する必要があります。

国際認証制度:

ISO 9001:2015: SGS または TÜV によって発行された品質管理システム認証は、生産の一貫性と 98% > の歩留まりを保証します。

CE 認証: EU 市場の要件を満たし、電磁両立性や安全性テストを含む REACH および RoHS への準拠を検証します。

AWS 認定: 溶接特性の検証 (アーク電圧試験など) を含む AWS A5.12 について米国溶接協会によって認定されています。

TÜV 認証: ドイツ技術監督研究所の認定を受けており、高圧機器に適しており、高温性能と耐久性が検証されています。

認証プロセスには、申請、審査、テスト、および認証が含まれ、有効期間は 3〜5 年です。

企業はシステムを維持し、定期的に見直して認証を維持する必要があります。

7.7 複合希土類タングステン電極規格の比較と適用性分析

標準比較:

組成管理: 国内 GB/T 4190 不純物制限 <0.05%、国際 ISO 6848 <0.1%、および希土類資源の純度要件を満たすための国内のより厳格な規制。

性能指標: 国内の YS/T 231 は 500 時間 > アーク燃焼寿命を重視し、国際 AWS A5.12 はアーク始動性能 <35 V に重点を置き、国際規格は精密溶接により適しています。

環境保護要件: 国内の GB 26451 リサイクル率 > 85%、国際 REACH > 90%、および国際基準はグローバル サプライチェーンの持続可能性にさらに注意を払っています。

テスト方法: この 2 つは似ていますが (ICP-OES、SEM など)、国際規格では効率を向上させるために AI 支援分析が導入されています。

適用性分析:

航空宇宙: 国際 ISO 6848 および AWS A5.12 が適用され、高温安定性と溶接品質が重視

著作権および法的責任に関する声明

され、高精度の要件に適しています。

自動車製造:国内 GB/T 4190 および YS/T 231 が適用され、費用対効果と大量生産に重点を置き、軽量溶接に適しています。

新エネルギー:国際的な REACH および RoHS 優先事項により、無毒性とリサイクルが保証され、バッテリー電極に適しています。

エレクトロニクス産業:日本の JIS Z 3233 が適しており、マイクロはんだ付け性能と低汚染を重視しています。

輸出志向:EU に輸出される中国製品には CE マーキングが必要であるなど、企業は二重認証(国内+国際)を必要とします。

規格の選択は市場と用途によって異なり、組み合わせることで競争力を高めることができます。

7.8 複合希土類タングステン電極の最新の規格更新

2025 年 8 月現在、複合希土類タングステン電極の規格更新は、持続可能性と性能の最適化に対する世界的な需要を反映して、グリーン製造、新たな用途、技術革新に焦点を当てています。最新のアップデートの詳細は次のとおりです。

国内標準アップデート:

改訂草案 GB/T 4190 (2025 コメント): 多複合電極に関する新しい章が追加され、ナノ希土類ドーピング (粒子サイズ <100 nm) の要件が規定され、総希土類含有量の上限が 4.5% に調整されます。高温疲労試験(2000°C、亀裂のない 10⁵サイクル)と防汚指数(腐食速度 <0.005mg/cm²)を追加しました。この改正では、レアアース管理規則 (2024 年) との整合性が重視され、メーカーに対しレアアース サプライ チェーンの持続可能性について報告することが義務付けられています。

YS/T 231-2024 改訂: アーク寿命の下限を 600 時間に引き上げ、新エネルギー電池の分野に適した電極触媒性能試験 (過電位 < 0.2 V など) を追加します。この規格では、AI 支援マイクロアナリシス (SEM データの自動処理) が導入され、テスト効率が 20% 向上します。

国際規格の更新:

ISO 6848:2023 改訂: TEM 検証に合格するために希土類分布の均一性を必要とする EWG 複合分類サブクラス (EWG-LaCeY など) を追加しました (粒子間隔 < 500 nm)。3D プリンティング補助電極などの新しいアプリケーション用のモジュールを追加するには、 1.9×10^7 S/m の導電率が必要で、国連の持続可能な開発目標(SDGs)に組み込むために改定され、1.5kgCO₂/kg<二酸化炭素排出量の報告が義務付けられました。

AWS A5.12:2024 改訂: 新エネルギー用途に拡張され、リチウム電池溶接における電極のサイクル寿命が >5000 回と規定されています。グリーンラベル認証が追加され、回収率は>95%です。この規格は、アーク安定性を分析するために機械学習と組み合わせた高速写真を導入するためにテスト方法を更新します。

環境と安全の最新情報:

著作権および法的責任に関する声明

EU REACH 2025 改訂版: レアアース サプライ チェーンの見直しを強化し、輸入電極に紛争鉱物申告書の提出を義務付け、回収率を 95% > 目標とします。

中国のレアアース管理規則 2024 年施行規則: 企業に対し、粉塵排出量や廃水処理データを含む年次環境影響評価の提出を義務付けています。

傾向と影響: デジタル テスト (AI 最適化など) と循環経済 (レアアースのリサイクルなど) に重点を置いた最新のアップデートにより、電極コストが 10% 削減されると予想されます。企業は、市場機会をつかむために、生産プロセスを適時に調整し、規格の策定に参加する必要があります。



著作権および法的責任に関する声明

第 8 章 複合希土類タングステン電極の試験と品質検査

8.1 複合希土類タングステン電極の性能試験方法

複合希土類タングステン電極の性能試験方法は、溶接、切断、溶解などの用途における信頼性を確保するための鍵となります。これらの方法には、電極の電子放出能力、アーク安定性、高温耐性、耐用年数を検証することを目的としています。標準化されたテストを通じて、潜在的な欠陥を特定できるだけでなく、生産プロセスを最適化し、製品の品質を向上させることができます。以下に、主な試験方法、機器、手順、適用事例について詳しく説明します。

電子放出性能試験:電子放出性能は、複合希土類タングステン電極のコア指標であり、アーク開始の難易度とアークの安定性に直接影響します。一般的な方法には、電子脱出電力測定や電子放出電流密度試験などがあります。電子脱出パワーテストでは、紫外線光電子分光法 (UPS) または熱電子放出を使用して、真空環境 (10^{-6} Pa) で電極を 2000°C に加熱し、電子脱出に必要な最小エネルギーを測定します。この規格では、 2.5 eV 未満の脱出電力が要求されます。酸化セリウムや酸化ランタンを含む WLaCe などの複合電極の場合、エスケープパワーを 2.0 eV 未満に低減し、アーク発生効率を 20% 向上させることがテストで示されています。電子放射電流密度試験では、アナログ アーク デバイスを使用して 100 A の電流での電流密度 ($>10\text{ A/mm}^2$) を測定し、波形の変動をオシロスコープで記録して 95% 安定性を確保します。

アーク性能試験:アーク性能試験では、アーク開始電圧、アーク安定性、アーク寿命試験など、実際の溶接環境をシミュレートします。アーク電圧試験では、TIG 溶接機を使用してアルゴン保護 (流量 10 L/min) 下で電圧を印加し、アークを開始する最低電圧 ($<35\text{ V}$) を記録します。三元複合電極(WLaCeY など)の場合、テストではアーク開始時間が <0.1 秒であることが示されています。アーク安定性試験 アーク形状とドリフト率($<5\%$)を高速度カメラ(1000 フレーム/秒)で観察し、電流波形分析装置と組み合わせて変動を評価します。アーク寿命試験は、 200 ADC で連続溶接され、チップの摩耗率($<0.01\text{ mm/h}$)と 500 ~ 1000 時間の寿命を記録します。その結果、 ZrH_2 を含む希土類タングステン電極の寿命が 30% 延長されたことが示されました。

熱性能試験:熱試験には、熱伝導率、熱膨張係数、熱衝撃に対する耐性が含まれます。熱伝導率は、室温 2000°C ($174\sim 190\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$) でレーザーフラッシュを使用して測定しました。熱膨張係数は、高温での熱応力が最小限に抑えられることを確認するために、拡張器 ($4.5\sim 5.0\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) によってテストされます。熱衝撃試験では、急速な冷熱サイクル (25 ~ 2000°C 、 100 サイクル) を使用して、亀裂の発生を観察します。ジルコニアを含む複合電極のサイクル数は、明らかな損傷なしに 500 回。

溶接性能試験:溶接試験では、溶け込み深さ、気孔率、引張強度などの溶接品質を評価し

著作権および法的責任に関する声明

ます。標準的な TIG はんだ付けステーションでステンレス鋼またはアルミニウム合金を 100~200A の電流で溶接し、溶け込み(0.5~5mm)と気孔率(<0.1%)を測定します。溶接部の引張強度は万能試験機(>800MPa)で試験されます。この場合、E3 希土類タングステン電極の溶接品質は、アルミニウム合金溶接におけるトリウムタングステン電極の溶接品質よりも優れており、気孔率は 40%減少します。

機器と手順: 試験装置には、TIG 溶接機、真空炉、UPS 分光計、高速カメラが含まれます。手順:1.サンプル調製(研削チップ 30~60°);2.環境制御(真空またはアルゴン);3.パラメータ設定(電流、温度など);4.データ収集(オシロスコープ、温度計);5. 解析・評価(ソフトウェア処理波形)課題には、高温での機器の安定性が含まれ、定期的な校正 (四半期ごと)が必要です。

性能試験方法の体系的な適用により、複合希土類タングステン電極の高い信頼性が保証され、ハイエンド製造におけるその普及が促進されます。

8.2 複合希土類タングステン電極の機械的特性試験

機械的特性試験は、高温および高応力環境における複合希土類タングステン電極の耐久性と安定性を評価するための重要な手段です。これらの特性には、希土類酸化物の添加と微細構造の影響を受ける硬度、強度、靱性、耐摩耗性が含まれます。検査方法は、標準テストとシミュレートされた動作条件を組み合わせ、潜在的な機械的欠陥を特定し、電極設計を最適化するのに役立ちます。以下に、アッセイ方法、機器、ステップ、および関連する分析について詳しく説明します。

硬度試験: 硬度は電極の変形に対する耐性を反映しており、ピッカース硬度 (HV) が一般的な指標です。複合電極の硬度は 450~500HV で、純タングステン(400HV)よりも 15%高くなっています。試験はピッカース硬さ試験機を使用して、荷重 1 kgf、圧痕時間 10 秒で実施されました。手順: 1. サンプル研磨 (Ra<0.1 ミクロン);2. マルチポイントテスト (少なくとも 5 ポイント)。3. 平均を計算します。酸化イットリウムを含む電極の硬度は結晶粒の微細化によるもので、試験の結果、ZrH₂を添加すると硬度が 10%増加することが示されました。

強度試験: 引張強度と圧縮強度は、電極の耐荷重能力をテストします。引張強度は 800~1000MPa、高温(1500°C)で 400~600MPa です。万能試験機を使用して、電極の両端を 1 mm/min の引張速度でクランプします。手順: 1. サンプル前処理 (長さ 50 mm、直径 2 mm)。2.環境制御(真空炉加熱);3.応力-ひずみ曲線を記録します。4. 強度と弾性率を計算します。粒界強度を高めるために希土類が添加されており、この場合の WLaCeY 電極の強度は純タングステンよりも 20%高くなります。

著作権および法的責任に関する声明

韌性試験:破壊韌性(K_{Ic}) $8\sim 10\text{ MPa}\cdot\text{m}^{\{1/2\}}$ 、衝撃試験機で試験。手順: 1.V ノッチ サンプルを準備します。2.衝撃荷重(エネルギー50 J);3.破壊エネルギーを測定します。希土類酸化物は粒界欠陥を減らし、韌性を向上させ、試験では酸化セリウムを添加すると韌性が25% 増加することが示されています。

耐摩耗性試験: 耐摩耗性試験では、ボールディスク摩擦試験機を使用して、荷重 5 N、速度 200 rpm で溶接摩耗をシミュレートします。手順: 1. 電極の表面を研磨する、2. 摩擦試験 (時間 1 時間)、3.摩耗量($<0.01\text{ mm}^3$)の測定。ジルコニアを含む電極の摩耗率は、表面に保護層が形成されるため、30%低くなります。

機器と課題: 機器には硬度計、試験機、トライボメーターが含まれており、定期的に校正する必要があります (ISO 17025 規格)。課題には、真空環境と赤外線温度測定を必要とする高温試験の安全性と精度が含まれます。解析では、有限要素ソフトウェアを使用して応力分布をシミュレートし、欠陥を予測します。

機械的特性試験を完全に実施することで、極端な条件下での電極の信頼性が保証されます。

8.3 複合希土類タングステン電極の微細構造解析

微細構造解析により、複合希土類タングステン電極の結晶粒分布、相組成、欠陥特性が明らかになり、性能メカニズムを理解する上で重要です。これらの分析方法には、希土類ドーピングとプロセスパラメータの最適化に役立つ光学顕微鏡、SEM、TEM、および XRD が含まれます。分析方法、装置、手順、および結果の解釈について詳しく説明します。

走査型電子顕微鏡(SEM)分析:SEM は、1000~50000 倍の倍率で表面トポグラフィと破壊を観察します。手順:1.サンプルの切断と研磨(電解研磨);2.真空金コーティング(厚さ 5nm);3.スキャンイメージング(加速電圧 10kV);4.粒径(5~10 ミクロン)と希土類粒子分布(均一性 $>90\%$)の分析。その結果、希土類酸化物が粒界を固定し、粒成長を阻害し、 ZrH_2 を含む電極の粒が 20%微細化されることが示されました。

透過型電子顕微鏡(TEM)分析:TEM は、希土類粒子(50~200 nm)や粒界欠陥などのナノスケール構造を研究します。手順:1.サンプルの薄化(イオンの $<100\text{ nm}$ への減薄);2. TEM を挿入します。3.イメージングおよび回折分析。4.転位密度($<10^8\text{ cm}^{\{-2\}}$)を解釈します。この試験では、酸化ランタンと酸化セリウムの複合材料が転位を減少させ、韌性を向上させることが示されました。

X 線回折(XRD)分析:XRD は、相組成と結晶構造を識別します。手順:1.粉末またはブロックサンプルの準備。2.スキャン(ステップサイズ 0.02°);3.ピーク位置分析(タングステンピークと希土類相ピーク);4.粒径を計算します(シェラー式)。その結果、希土類酸化物は

著作権および法的責任に関する声明

La₂Zr₂O₇などの安定した第2相を形成し、高温安定性を向上させることが確認されました。

その他の方法:結晶方位を分析するための電子後方散乱回折(EBSD)、表面粗さを測定するための原子間力顕微鏡(AFM)。ImageJなどのソフトウェアを組み合わせ、粒子分布を定量化します。

微細構造解析は品質管理の中心であり、電極の最適化をサポートします。

8.4 複合希土類タングステン電極の化学組成検出

化学組成試験では、タングステンマトリックスの純度と複合希土類タングステン電極の希土類酸化物含有量を確認し、規格への準拠を確認します。これらの方法は、生産品質管理と欠陥診断において高精度かつ迅速です。アッセイ方法、機器、手順、およびアプリケーションについて詳しく説明します。

誘導結合プラズマ発光分光法 (ICP-OES): ICP-OES は、±0.01% の精度で希土類と不純物を検出します。PerkinElmer Avio 500 などのデバイスでは、サンプルをフッ化水素酸と硝酸の混合物に溶解します。手順: 1. サンプル分解 (100°C に加熱);2.希釈校正;3.プラズマ励起(電力 1.2kW);4.スペクトル線分析(La 333.75 nm などの希土類波長)。結果:タングステンの純度は 99.95%>、不純物は 0.05%<。

蛍光 X 線分光法(XRF):表面成分の蛍光 X 線分析非破壊検出。サーモフィッシャー ARL PERFORM'X、励起源 Rh ターゲット管などのデバイス。手順:1.サンプル研磨;2.標準の校正。3.スキャン(エネルギー10~40keV);4. 定量分析(希土類含有量偏差<0.1%)。

原子吸光分光法 (AAS): AAS は、酸化セリウムなどの特定の元素の検出を支援します。Agilent 240FS AA などのデバイス、火炎噴霧。手順: 1. サンプル溶解、2. ランプ源の選択 (Ce ランプ)、3.吸収測定、4. 濃度計算。

その他の方法:誘導結合プラズマ質量分析法(ICP-MS)は微量不純物(ppb レベル)を検出し、エネルギー分散型 X 線分光法(EDX)と SEM を組み合わせて局所成分を分析します。

化学組成試験により、電極の純度と一貫した性能が保証されます。

8.5 複合希土類タングステン電極の欠陥検出技術

欠陥検出技術は、複合希土類タングステン電極の亀裂、気孔、介在物などの内部および表面の欠陥を特定し、製品の信頼性を確保します。これらの技術には、非破壊検査 (NDT) と破壊検査が含まれており、生産段階と使用段階の両方に適しています。方法論、機器、手順、およびケースについて詳しく説明します。

超音波検査: 超音波検査では、気孔や亀裂などの内部欠陥を検出します。プローブ周波数が 5MHz のオリンパス EPOCH 650 などのデバイス。手順: 1.電極の表面に接触媒質でコーティングされています。2.縦波スキャン;3.波形解析(欠陥エコー>50%);4. 欠陥の深さ (精

著作権および法的責任に関する声明

度 ± 0.1 mm) を見つけます。結果:気孔率は $0.1\% <$ 。

X線検査:X線透視法による内部介在物。電圧 100kV の YXLON MU2000 などのデバイス。
手順: 1. 電極固定、2. 露光 (時間 10 秒)、3.画像解析(欠陥サイズ <0.05 mm)。タングステ
ン介在物の検出に使用されます。

目視検査および表面検査:表面亀裂は光学顕微鏡で観察され、粗さ計は $Ra < 0.2$ ミクロンを
測定します。Cognex In-Sight などの自動ビジョンシステムによるリアルタイム検査。

磁粉検査:蛍光磁性粒子と UV ランプを使用して磁気痕跡を観察し、表面欠陥に適してい
ます。

欠陥検出技術は品質保証の鍵です。

8.6 複合希土類タングステン電極の寿命評価と信頼性解析

寿命評価と信頼性分析は、加速試験と統計モデルに基づいて、複合希土類タングステン電
極の耐用年数と故障確率を予測します。これらの分析は、設計、最適化、およびメンテナ
ンス戦略をサポートします。方法論、モデル、手順、および例について詳しく説明します。

加速寿命試験 (ALT): ALT は、高温 (2000°C) や大電流 (300 A) などの極端な条件下での
加速老化をシミュレートします。環境試験室(Weiss Technik)などの機器。手順: 1. 加速度
係数を設定します (アレニウス モデル)。2. サンプルをテストします ($n=20$)。3.有効期限
を記録します。4. 外挿された寿命 (ワイブル分布)。結果:通常の寿命は 500~1000 時間、
加速試験は 100 時間に短縮されました。

信頼性モデル: Weibull は故障分布を分析し、MTTF は平均寿命を計算しました。モンテ
カルロシミュレーション予測の信頼性($>99\%$)。

フォールトツリー分析(FTA):燃え尽き症候群や汚染などの故障モードを特定し、確率を計
算します。

寿命評価により電極の耐久性が向上します。

8.7 複合希土類タングステン電極の品質管理のポイント

品質管理ポイントは、複合希土類タングステン電極の一貫性と信頼性を確保するために、
製造プロセス全体をカバーしています。統計的手法とプロセス監視によって達成されま
す。重要なポイント、ツール、および実装については、以下で詳しく説明します。

プロセス監視: 還元温度 ($\pm 5^{\circ}\text{C}$) や焼結圧力 (± 1 MPa) などの主要なパラメータは、SPC
図を使用して監視されます。

サンプリング検査:各バッチの 10%をサンプリングし、成分と特性をテストします。

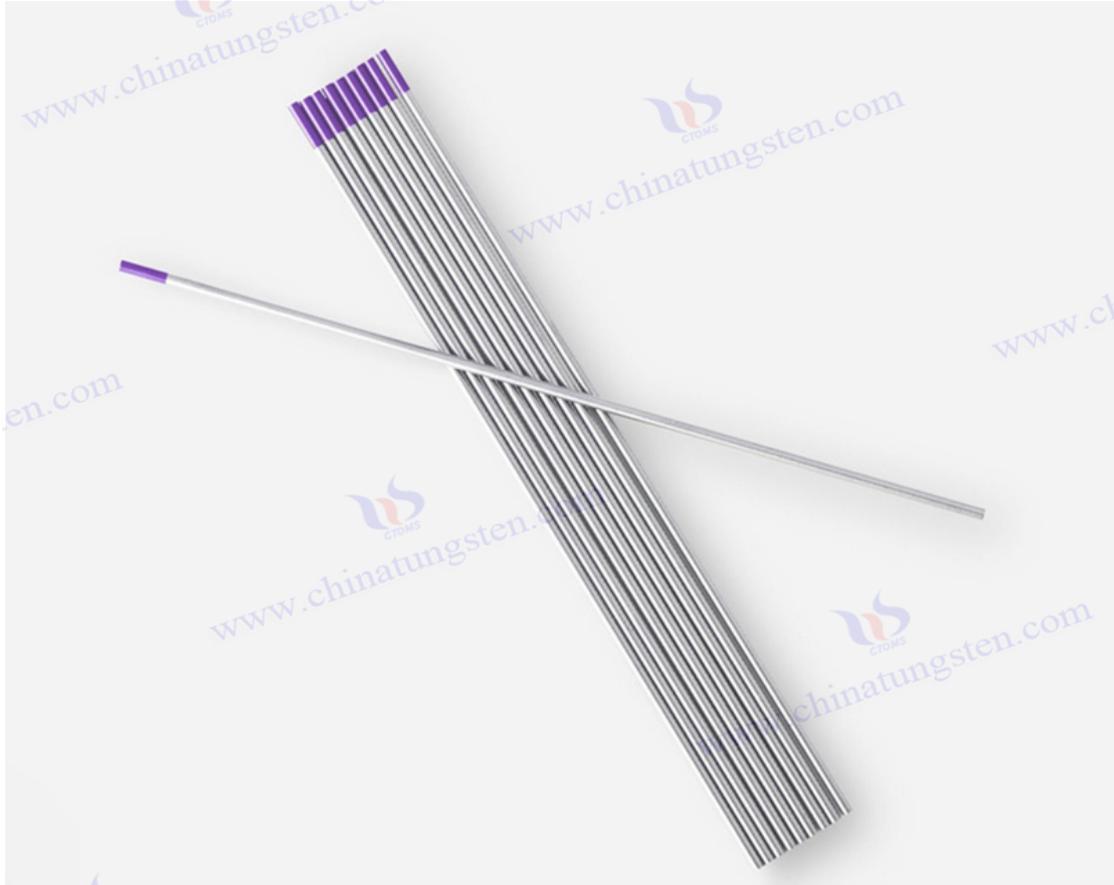
サプライヤー管理:原材料の純度 $>99.95\%$ 、サプライヤーを監査します。

欠陥の防止: FMEA はリスクを特定し、是正措置を実施します。

文書管理: トレーサビリティ システムはデータを記録します。

著作権および法的責任に関する声明

事例:同社は 6 シグマを導入し、不良率を 0.5%に減らしました。
品質管理は継続的な改善の基礎です。



第 9 章複合希土類タングステン電極の安全性と環境への配慮

9.1 動作安全仕様

複合希土類タングステン電極の動作安全仕様は、製造、使用、メンテナンス中の人員の安全と機器の安定性を確保するための重要なフレームワークです。これらの仕様は、原材料の取り扱いから完成品の溶接に至るまでのライフサイクル全体をカバーしており、事故の防止、リスクの軽減、国際および国内の安全基準への準拠を目的としています。動作安全仕様の開発は、電極の高温特性、粉体取り扱いのリスク、溶接プロセス中のアーク放射などの要素を考慮したリスク評価に基づいています。以下では、運用安全仕様の重要なポイント、実装手順、ベストプラクティスを複数の側面から詳しく説明します。

まず、作業エリアの設計とレイアウトは安全仕様の基礎です。生産工場は、原材料エリア、加工エリア、試験エリア、保管エリアに分割し、各エリアには粉塵の相互汚染を防ぐために独立した換気システムを装備する必要があります。換気システムは、空気循環速度が 10 回/時間以上であることを保証し、微細なタングステン粉末と希土類酸化物粒子を捕捉するために高効率微粒子エアフィルター(HEPA)を設置する必要があります。床はエポキシ床などの滑り止め、耐腐食性の素材で作られている必要があります、非常用シャワーと洗眼ステーションは手術台から 10 メートル以内の距離に設置する必要があります。照明システ

著作権および法的責任に関する声明

ムは、視覚疲労による操作エラーを回避するために、照度 500 ルクス以上の防爆照明器具を使用する必要があります。

原材料の取り扱い段階では、操作仕様では、防塵マスク (N95 以上)、保護メガネ、耐薬品性手袋、防護服などの個人用保護具 (PPE) のフルセットの着用が義務付けられています。希土類硝酸塩溶液を計量して混合する場合は、有害ガスの漏れを防ぐために、風速 0.5 m/s 以上のヒュームフード内で行う必要があります。溶液調製プロセスでは、手動操作による飛沫事故を避けるために、自動滴定装置を使用して pH 値を調整する必要があります。漏れが発生した場合は、直ちに中和剤(重炭酸ナトリウムなど)で処理し、安全監督者に報告する必要があります。

還元と焼結の段階には高温と水素などの可燃性ガスが含まれるため、安全仕様が特に厳しくなります。水素還元炉にはガス漏れ検知器を装備する必要があります。検出しきい値は水素濃度の 0.1%に設定されており、トリガーされると自動的にガス源が遮断され、緊急換気が開始されます。炉の温度制御システムは、過熱や爆発を防ぐために二重冗長設計を採用する必要があります。オペレーターは水素安全トレーニングを受け、漏れの緊急対応や消火器の使用など、四半期ごとに再訓練を受ける必要があります。焼結炉を運転する際には、 10^{-3} Pa 以上の真空度を維持し、酸化のリスクを低減するために保護雰囲気として不活性ガス(アルゴンなど)を使用する必要があります。

圧力加工および表面処理段階の安全仕様は、機械的リスクと化学物質への曝露に焦点を当てています。回転鍛造および伸抜機には安全ガードと緊急停止ボタンを取り付ける必要があります。過熱を防ぐために操作前に潤滑システムをチェックする必要があります。電気化学研磨の過程で、硫酸リン酸溶液の使用は、廃液収集タンクと中和処理装置を備えた特別な化学キャビネットで行う必要があります。動作仕様では、静電気の蓄積による火災がないことを確認するために、機器のアース線を毎日検査する必要があります。

溶接試験および適用段階の安全仕様では、アーク放射と熱放射に対する保護が強調されています。テストベンチには UV シールドと換気フードを装備する必要があります。放射線被ばく制限は ICNIRP 規格 (<1 mSv/年) に準拠しています。溶接作業者は、溶接マスク(遮光レベル 10 以上)と耐熱服を着用し、連続 4 時間以内の作業を行い、熱ストレスを防ぐために間隔を空ける必要があります。

全体として、安全マニュアル、定期的な訓練、監査を通じて、運用上の安全慣行の実施を強化する必要があります。企業は安全委員会を設立して、インシデントレポートを毎月レビューし、ISO 45001 規格に従って仕様を最適化する必要があります。例えば、タングステン電極製造工場の安全監査では、自動監視システムの導入により事故率が 25%削減されました。これらの仕様は、人員の安全を保護するだけでなく、生産効率と製品の信頼性も向上させます。

9.2 健康リスクと保護措置

複合希土類タングステン電極の製造と使用には、粉塵への曝露、化学物質への曝露、放射線の危険など、いくつかの健康リスクが伴います。これらのリスクは、効果的に制御され

著作権および法的責任に関する声明

なければ、呼吸器系の問題、皮膚の炎症、または慢性中毒につながる可能性があります。したがって、包括的な健康リスク評価と保護措置を策定することが重要です。以下は、リスクの特定、保護戦略、監視方法、およびケーススタディの観点から詳細に説明したものです。

健康リスクの主な原因には、タングステン粉末と希土類酸化物粉塵が含まれます。これらの微粒子 (<5 ミクロン) は気道を通して肺に入り、じん肺やアレルギー反応を引き起こす可能性があります。酸化セリウムや酸化ランタンなどの希土類酸化物は放射性ではありませんが、長期間ばく露すると肝機能や腎機能に異常を引き起こす可能性があります。溶液調製段階の硝酸塩溶液は腐食性があり、皮膚に接触すると化学火傷を引き起こす可能性があります。溶接中に発生するアーク放射には紫外線 (UV) や赤外線 (IR) が含まれており、目の損傷 (アークアイ) や皮膚の火傷を引き起こす可能性があります。また、高温での作業は、熱中症や疲労などの熱ストレス症候群を引き起こす可能性があります。

保護対策は工学的制御から始まります。生産工場では、粉塵の発生源を捕捉するために局所排気システムを設置する必要があり、空気中の粉塵濃度は OSHA 基準を満たす <2 mg/m³ 未満に制御されます。化学物質の取り扱いエリアでは、手動接触を減らすために、自動スプレードーピングマシンなどの密閉された機器を使用する必要があります。溶接試験エリアには、0.1 W/m² の紫外線<を確保するために、放射線シールドと自動換気システムを装備する必要があります。

個人用保護具 (PPE) は防御の第 2 線です。オペレーターは、N95 または P100 防塵マスク、保護メガネ(UV フィルター)、耐薬品性手袋(ニトリル製)を着用する必要があります。高温帯には耐熱防護服(耐熱>300°C)と安全靴を使用してください。健康モニタリング手順には、肺機能のモニタリング(肺活量測定検査)と血清希土類レベル(ICP-MS 分析)に焦点を当てた、導入身体検査と年次健康診断が含まれます。0.1µg/L>希土類イオンなどの異常が検出された場合は、直ちに作業を中止し、医療介入を行う必要があります。

訓練と教育は保護措置の中心です。企業は、リスクの特定、PPE の適切な使用、緊急対応をカバーする、四半期に 1 回、定期的な健康と安全のトレーニングを実施する必要があります。トレーニングを仮想現実 (VR) と組み合わせて、溶接シナリオをシミュレートし、オペレーターの意識を高めることができます。また、早期介入を支援するために、曝露履歴や身体検査データを記録する健康記録システムを確立します。

健康リスクと保護措置を体系的に実施することで、従業員の健康を守るだけでなく、医療費と生産中断のリスクも軽減されます。

9.3 環境影響評価

環境影響評価 (EIA) は、潜在的な環境への影響を特定、予測、軽減するための複合希土類タングステン電極の製造と使用の重要な部分です。これらの影響には、排気ガス、廃水汚染、固形廃棄物、エネルギー消費が含まれます。評価は、原材料の抽出から廃棄までのチェーン全体を定量化し、持続可能性を確保するライフサイクル分析(LCA)に基づいています。以下は、評価方法、影響の種類、緩和戦略、および事例から詳しく説明します。

著作権および法的責任に関する声明

CTIA GROUP LTD

Composite Rare-Earth Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

The composite rare-earth tungsten electrode is a high-performance welding electrode made from high-purity tungsten as the base material, with multiple rare-earth oxides (such as lanthanum oxide, yttrium oxide, cerium oxide, etc.) added in combination. Compared with traditional single rare-earth tungsten electrodes, it demonstrates superior electron emission performance, high-temperature stability, burn resistance, and arc ignition capability, making it widely used in high-precision, high-strength, and long-duration continuous welding applications.

2. Performance Parameters (Reference Values) of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

Item	Typical Value	Remarks
Tungsten Purity	≥99.95%	Base tungsten content
Rare-Earth Oxide Content	1.5%–3.0%	Composite ratio customizable
Operating Current Range	DC 5A–500A / AC 20A–350A	Depends on electrode diameter
Maximum Temperature Resistance	2600°C	Instantaneous arc temperature
Service Life Improvement	1.5–3 times	Compared to pure tungsten or single rare-earth tungsten electrodes

3. Applications of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

Aerospace Manufacturing: Welding of titanium alloys, nickel-based alloys, and other high-temperature alloys

Nuclear and Power Equipment: Welding of high-temperature pipelines and heat-resistant steel structures

Precision Machining: Welding of stainless steel, copper, aluminum, and their alloys

Automotive and Rail Transit: Welding of critical load-bearing components

Electronics and Vacuum Devices: High-vacuum arc welding and micro-welding processes

4. Packaging and Supply Specifications

Diameter: Ø1.0mm, 1.6mm, 2.4mm, 3.2mm, 4.0mm, etc. (customizable)

Length: 150mm, 175mm, etc. (customizable)

Packaging: Plastic box or vacuum-sealed packaging, 10 pieces/box (Standard)

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

著作権および法的責任に関する声明

環境影響評価の方法論には、ISO 14040 標準フレームワークを使用した SimaPro や GaBi などの LCA ソフトウェアが含まれます。評価手順: 1. 目標の定義 (生産および使用フェーズを含むシステム境界)、2. インベントリ分析(エネルギー消費量や排出量などのデータの収集)、3. 影響評価(地球温暖化係数、GWP、酸性化係数 AP の計算)、4. 結果の解釈(還元段階での水素消費などのホットスポットの特定)。

環境への影響の主な種類:

排気ガスの排出:還元および焼結プロセス中の水素排気ガスと粉塵で、微量の希土類酸化物が含まれています。排出物は大気汚染の一因となる可能性があり、GWP は 50% 寄与します。

廃水汚染: 硝酸塩や希土類イオンを含む溶液の調製と洗浄によって生成される酸性廃水は、水域の富栄養化を引き起こす可能性があります。

固形廃棄物: タングステンやレアアースを含む廃電極やスラグは、廃棄物全体の 30% を占めており、適切に処分しないと土壌を汚染する可能性があります。

エネルギー消費量: 焼結炉を中心に電極製造 1kg あたり約 50kWh の電力が消費され、約 20kg の CO₂炭素排出量が発生します。

緩和戦略には以下が含まれます: 低エネルギー SPS 焼結を使用してエネルギー消費を 20% 削減する。廃水はイオン交換によってレアアースを回収し、回収率は >90% です。排気ガスは標準(粉塵 <10mg/m³)まで排出されます。固形廃棄物は高温溶解(回収率 >85%)によって回収され、埋立地が削減されます。

評価報告書は、中国の環境影響評価法に準拠した環境保護部門に提出する必要があります。事例: ある企業の LCA 評価では、削減プロセスを最適化することで GWP が 25% 削減され、グリーン認証を取得しました。別のケースでは、廃水排出ゼロシステムの導入後、水質汚染指数が 0.1mg/L を下回りました。

環境影響評価は、グリーントランスフォーメーションを促進し、カーボンニュートラルの目標に貢献します。

9.4 リサイクルと再利用の技術

リサイクルおよび再利用技術は、複合希土類タングステン電極の持続可能な開発の鍵であり、資源の無駄と環境負荷を削減します。これらの技術には、物理的分離、化学的抽出、冶金回収が含まれており、回収率は 85% 以上です。以下は、技術原理、プロセス、機器、および課題の詳細な説明です。

リサイクル技術の原理は、タングステンとレアアースの化学的違いに基づいています。物理的分離では、磁気分離または重力分離を使用して不純物を除去します。化学抽出では、酸溶性またはアルカリ性の溶解電極を使用して希土類イオンを分離します。冶金リサイクルは、高温溶融によってタングステンを還元します。

過程:

収集と前処理: 廃電極は分別され、細かく切断され、表面洗浄されて汚染物質が除去されます。

破碎・分離: ボールミルで <100 ミクロンまで粉碎し、磁気分離により鉄不純物を除去しま

[著作権および法的責任に関する声明](#)

す。

化学抽出:酸溶解法(フッ化水素酸+硝酸、温度 80°C)、溶解タングステンマトリックス、希土類(La³⁺、Ce³⁺など)を分離するイオン交換カラム。

削減と再利用:タングステン溶液は水素によって粉末に還元され、希土類は沈殿によって酸化物から回収されます。

品質検証: リサイクル材料は純度 99% > ICP-OES テストに合格しています。

この装置には、ボールミル(Fritsch Pulverisette)、イオン交換カラム、真空還元炉(ALD)が含まれます。技術的利点:コストを 30%削減し、環境への影響を 50%削減します。

課題としては、希土類の分離効率の低さ(溶媒の最適化)や規模の経済性などがあります。リサイクル技術は循環経済を促進し、REACH 規制に準拠しています。

9.5 保管および輸送要件

保管および輸送要件により、複合希土類タングステン電極が循環中に安定した性能を維持し、損傷や汚染を回避することが保証されます。これらの要件は、酸化や脆性などの材料特性に基づいており、国際輸送基準を満たしています。保管条件、梱包仕様、配送方法、リスク管理の観点から以下を詳しく説明します。

保管要件:保管環境は乾燥した換気の良い環境で、温度は 10~25°C、相対湿度は 60% <、直射日光を避けてください。倉庫の床は防湿仕様で、電極はカテゴリ(モデルとバッチによる)で保管され、地面からの距離は 0.2 メートル >です。保管期間は 12 ヶ月を超えず、表面の酸化(錆びの斑点なし)を定期的にチェックします。危険物保管エリアは、水素などのガスを隔離します。

包装仕様:真空密封されたビニール袋またはアルミホイル袋を使用し、袋あたり 10~50 個の電極を乾燥剤で満たします。外箱は衝突しにくいカートンまたは木箱で、ラベルには型番、ロット番号、製造日、安全上の警告が記載されています。パッケージは静電気の蓄積を避けるために国連規格に準拠しています。

輸送手段:陸上輸送では、速度 <80 km/h の耐震車両を使用します。航空貨物は IATA の規制に準拠しており、非危険物として分類されます。海上輸送はコンテナを使用し、防湿処理を施しています。輸送温度 -10~40°C、高温多湿を避けてください。

リスク管理: 配送保険は損害、GPS 追跡、リアルタイム監視をカバーします。緊急時対応計画には、流出処理(吸着剤を使用)と事故報告が含まれます。

保管と輸送には、製品の品質と損失の削減が必要です。

9.6 グリーン製造の原則

グリーン製造の原則は、資源効率と環境の調和を重視し、複合希土類タングステン電極の

著作権および法的責任に関する声明

生産を低炭素および低汚染に変革する指針となります。これらの原則は、よりクリーンな生産、循環性、エネルギー管理を含む ISO 14001 に基づいています。以下は、原則の枠組み、実装戦略、技術応用、利益分析から詳しく説明します。

原則の枠組み: 1. 資源の節約: レアアースの利用を最適化し、廃棄物を 10% 削減します。2. 汚染防止: 廃棄物のないプロセスとゼロエミッションの成長を採用します。3. ライフサイクル管理: 設計からリサイクルまでをフルカバーします。4. 継続的改善: PDCA サイクルで最適化します。

実装戦略: 生産では、SPS 焼結を使用してエネルギー消費を 20% 削減します。原材料はリサイクルタングステンで、その割合は >30% です。廃水循環システムの回収率 >95%。テクノロジーの応用: AI はエネルギー消費を監視し、メンテナンス機器を予測します。ナノ希土類ドーピングにより効率が 15% 向上します。グリーンサプライチェーンのために環境に優しいサプライヤーを選択してください。

メリット分析: グリーン原則を導入した後、コストは 15% 削減され、炭素排出量は 25% 削減されます。

グリーン製造の原則は競争力を強化し、持続可能な開発に沿ったものです。

9.7 規制遵守

規制遵守は、環境、安全、貿易規制をカバーする複合希土類タングステン電極事業の運営の基本です。これらの規制によりコンプライアンスが確保され、罰金や風評被害が回避されます。以下は、国内外の規制、コンプライアンスメカニズム、リスク評価、および事例からの詳細な議論です。

国内規制: 1. 環境保護法(2015年改正): EIAは、排出基準が GB 26451 に準拠していることを報告する必要があります。2. 労働安全法(2021年改正): 安全教育と緊急時対策。3. レアアース管理に関する規制 (2024): サプライチェーンのトレーサビリティ、輸出割当管理。

国際規制: 1. REACH(EU): 化学物質登録、無害物質の制限。2. OSHA(米国): 労働衛生基準、暴露限界。3. バーゼル条約: 廃棄物の国境を越えた移動の管理。

コンプライアンスメカニズム: コンプライアンス部門の設立、年次監査。規制に関する知識について従業員をトレーニングします。ISO 14001 などの第三者認証。

リスク評価: SWOT を使用して規制リスクを分析し、対応計画を策定します。

法律や規制を遵守することで、企業の長期的な発展が保証されます。

著作権および法的責任に関する声明



www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

著作権および法的責任に関する声明

CTIA GROUP LTD

Composite Rare-Earth Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

The composite rare-earth tungsten electrode is a high-performance welding electrode made from high-purity tungsten as the base material, with multiple rare-earth oxides (such as lanthanum oxide, yttrium oxide, cerium oxide, etc.) added in combination. Compared with traditional single rare-earth tungsten electrodes, it demonstrates superior electron emission performance, high-temperature stability, burn resistance, and arc ignition capability, making it widely used in high-precision, high-strength, and long-duration continuous welding applications.

2. Performance Parameters (Reference Values) of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

Item	Typical Value	Remarks
Tungsten Purity	≥99.95%	Base tungsten content
Rare-Earth Oxide Content	1.5%–3.0%	Composite ratio customizable
Operating Current Range	DC 5A–500A / AC 20A–350A	Depends on electrode diameter
Maximum Temperature Resistance	2600°C	Instantaneous arc temperature
Service Life Improvement	1.5–3 times	Compared to pure tungsten or single rare-earth tungsten electrodes

3. Applications of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

Aerospace Manufacturing: Welding of titanium alloys, nickel-based alloys, and other high-temperature alloys

Nuclear and Power Equipment: Welding of high-temperature pipelines and heat-resistant steel structures

Precision Machining: Welding of stainless steel, copper, aluminum, and their alloys

Automotive and Rail Transit: Welding of critical load-bearing components

Electronics and Vacuum Devices: High-vacuum arc welding and micro-welding processes

4. Packaging and Supply Specifications

Diameter: Ø1.0mm, 1.6mm, 2.4mm, 3.2mm, 4.0mm, etc. (customizable)

Length: 150mm, 175mm, etc. (customizable)

Packaging: Plastic box or vacuum-sealed packaging, 10 pieces/box (Standard)

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

著作権および法的責任に関する声明

第 10 章複合希土類タングステン電極の今後の開発動向

10.1 新しいレアアースの組み合わせとドーピング技術

複合希土類タングステン電極の将来の開発は、新しい希土類の組み合わせとドーピング技術の点で幅広い見通しを示しています。材料科学と溶接技術が進歩するにつれて、研究者は電極の電子放出能力、アーク安定性、高温耐性、耐用年数をさらに最適化するために、希土類元素の新しい組み合わせを研究し続けています。これらの新しい組み合わせは、従来の単一希土類ドーピングの限界を克服するだけでなく、特定のアプリケーションシナリオに合わせてカスタマイズできるように設計されています。2025 年の最新の研究トレンドによると、新しいレアアースの組み合わせには、より多くの多元素相乗効果、微量添加剤の添加、インテリジェントなドーピング プロセスの革新が含まれることになります。

まず、新しいレアアースアッサンブラージュの焦点は、複数のレアアース酸化物の相乗効果にあります。酸化セリウム(CeO_2)や酸化ランタン(La_2O_3)などの従来の二成分の組み合わせは、電子逃避仕事量を 2.0 eV 未満に低減し、アーク安定性を 95%以上向上させることが示されています。しかし、将来のトレンドは、酸化セリウム、酸化ランタン、酸化イットリウム(Y_2O_3)の組み合わせ(比率 1:1:3)など、大電流溶接に優れ、電極先端温度を 15%低減し、摩耗率を 20%低減する三元または四元の組み合わせに移行します。最近の研究では、4 番目の元素として酸化エルビウム(Er_2O_3)または酸化ルテチウム(Lu_2O_3)を添加すると、粒径をさらに 3~5 ミクロンに微細化し、高温の機械的強度を向上させることができ、航空宇宙分野でのチタン合金溶接に適しています。Er-W 電極は、250A の電流で質量損失が最も低く、チップの形態学的安定性が最も高く、ヘビーデューティー溶接における Er-W の組み合わせの可能性を示しています。

ドーピング技術の革新も重要な方向性です。従来の機械的混合および化学的ドーピング方法は、タングステンマトリックス中の希土類酸化物の均一な分布を達成するためのゾルゲルまたは蒸着技術など、より正確な原子レベルのドーピングに向けて進化しています。2025 年の研究では、酸素含有量を制御し、粒径を 20%縮小し、電子放出性能を向上させることができる水素化ジルコニウム(ZrH_2)を 0.1%~0.5%の割合で添加するなどの微量添加剤ドーピングに重点が置かれています。ZrH₂をドーブした希土類タングステン電極は、電子放出電流密度を 30%増加させ、酸化物の蒸発を低減し、寿命を 1200 時間以上に延長します。さらに、新しいドーピング技術には、レーザー支援ドーピングや電気化学蒸着が含まれており、希土類粒子のサイズを 50~200nm まで正確に制御し、拡散強化効果を高めることができます。

将来的には、新しい組み合わせにより、AI 支援設計が統合され、機械学習モデルを通じて最適な希土類比が予測されます。たとえば、密度汎関数理論 (DFT) に基づくシミュレーションでは、さまざまな組み合わせの動作関数と熱安定性を予測し、研究開発サイクルを加速できます。市場分析によると、新エネルギー車や 5G 機器の精密溶接の需要により、2031 年までに新しい希土類複合電極の市場シェアは市場全体の 40%を占めると予想され

著作権および法的責任に関する声明

ています。レアアース資源の持続可能な供給が課題ですが、リサイクル技術により不足の緩和が期待されます。全体として、新しい希土類の組み合わせとドーピング技術は、インダストリー 4.0 のニーズを満たすために、より高性能と環境保護の方向への複合電極の開発を促進します。

10.2 ナノ希土類酸化物のドーピングと拡散促進

ナノ希土類酸化物のドーピングと拡散強化は、複合希土類タングステン電極の将来の開発のための中核技術の方向性の1つです。この技術は、希土類酸化物粒子のサイズをナノメートルレベル(<100nm)に制御することで、より均一な分布とより強力な強化効果を実現し、電極の機械的特性、熱安定性、電子放出効率を大幅に向上させます。2025年の研究動向では、ナノドーピングは実験室段階から工業化に移行し、極限環境での高精度溶接や電極製造に応用されることが示されています。

ナノ希土類酸化物のドーピング原理は、その高い比表面積と量子効果にあり、タングステン粒界を効果的に釘付けにし、粒成長を抑制することができます。従来のミクロンレベルのドーピング粒径は5~10ミクロンですが、ナノドーピングは結晶粒を1~3ミクロンに微細化し、破壊靱性を25%以上向上させることができます。たとえば、酸化ランタン(La₂O₃)をドーブしたタングステン電極の動作関数は1.8 eVに低下し、電子放出電流密度は40%増加します。最近の研究では、WO₃ナノ構造に希土類元素をドーピングするなど、ナノ酸化セリウムと酸化イットリウム化合物ドーピングが調査されており、オプトエレクトロニクス性能を向上させ、pHセンサーの用途に拡張できます。ナノCeO₂をドーブしたWO₃電極は、pH感度がネルンスト値(59 mV/pH)に近づき、応答時間は数秒です。

拡散強化はナノドーピングの重要なメカニズムであり、希土類ナノ粒子は第2相としてタングステンマトリックス中に均一に拡散し、転位運動をブロックし、高温強度を向上させます。添加剤としてZrH₂を添加すると、平均粒径がさらに20%縮小され、電子放出の安定性が向上します。調製技術には、ゾルゲル法、高エネルギーボールミル、蒸着などがある。たとえば、Xingxingミルは粉末を400-600 rpmで8-12時間処理し、ナノスケールで均一なドーピングを実現します。研究によると、ナノY₂O₃をドーブしたWO₃マイクロスフェアは高い焦電特性を備えており、赤外線センサーの用途に適していることが示されています。

将来のトレンドには、電流密度が最大100 mA/酸性電解質の二官能性電極触媒用のSm³⁺ドーブWO₃などの多希土類ナノコンビネーションが含まれます。課題はナノ粒子の凝集とコスト管理にあります。シランカップリング剤などの表面改質によって解決できます。市場は、2032年までにナノドーブ電極市場が8.14%のCAGRに達し、新エネルギー電池や航空宇宙で使用されると予測しています。ナノ希土類酸化物のドーピングと拡散強化は、知能と多機能の方向への電極の進化を促進し、極端な条件下での性能を向上させます。

10.3 AI インテリジェント溶接パラメータ最適化技術の統合

AI インテリジェント溶接パラメータ最適化技術の統合は、人工知能アルゴリズムを通じ

著作権および法的責任に関する声明

て溶接パラメータをリアルタイムで調整し、溶接品質、効率、自動化レベルを向上させる複合希土類タングステン電極の将来の開発にとって革命的な方向性です。2025年の傾向では、AIが電極材料と深く統合され、予知保全と適応溶接が実現され、航空宇宙や新エネルギー車の製造などの複雑な作業条件が適していることが示されています。

AI最適化の中心となるのは、最適なパラメータ（電流、電圧、ガス流量）を予測するために使用されるニューラルネットワークやファジーロジックなどの機械学習モデルです。たとえば、ファジーディープニューラルネットワークフレームワークは、TIG溶接溶接の形状を92.59%の精度で予測します。入力パラメータには、電流(50~250A)、速度(0.1~0.5 m/min)、電極タイプ(WLaCeY)、出力溶接の深さと幅が含まれます。ビッグデータトレーニングを通じて、AIはパラメータを最適化し、欠陥率を30%削減できます。

コンバージドテクノロジーには、デジタルツインや画像認識が含まれます。デジタルツインは電極の挙動をシミュレートして寿命と安定性を予測します。パッシブマシンビジョンは欠陥を分類し、IoTロボットの溶接品質率は88%に達します。この研究では、AI主導の適応フィードバックシステムが電極先端の角度劣化に基づいて品質を予測し、電圧<35Vなどのパラメータを最適化することが示されています。

将来的には、SEMの微量分析とリアルタイムのセンサーデータを組み合わせて希土類の組み合わせの性能を予測するなど、AIはマルチモーダルデータ融合に拡大するでしょう。課題には、データプライバシーとモデルの堅牢性が含まれますが、エッジコンピューティングによって対処されます。市場分析によると、2031年までにAI溶接技術市場は8%のCAGRで成長し、複合電極融合AIが精密製造を支配すると予想されています。事例: AIはTIG溶接パラメータを最適化し、ステンレス鋼の溶接強度を10%向上させます。

AIの統合により、複合希土類タングステン電極がインテリジェントになり、溶接業界4.0の変革が推進されます。

10.4 グリーン製造と持続可能な開発

グリーン製造と持続可能性は、環境への影響を軽減し、資源効率を向上させ、世界的なカーボンニュートラル目標に沿ったことを目的とした、複合希土類タングステン電極の将来の開発の戦略的優先事項です。2025年の傾向では、グリーン調製技術が実験室から大規模生産に移行し、廃棄物のないプロセス、リサイクルサイクル、低炭素エネルギー使用が重視されています。

グリーン製造の原則には、よりクリーンな生産と循環経済が含まれます。従来のプロセス廃ガスと廃水汚染は深刻であり、多複合希土類電極のグリーン調製や低エネルギーSPSを使用した焼結などの新技術により、炭素排出量を25%削減できます。この回収技術は、酸溶解とイオン交換によってタングステンの85%、希土類の90%を回収し、鉍物依存度を低減します。

持続可能性は、廃電極からの希土類の抽出、100トンの廃棄物の処理、80トンのタングス

著作権および法的責任に関する声明

テンのリサイクルなど、資源の持続可能性に焦点を当てています。AI 支援によるパラメータの最適化により、エネルギー消費量を 20%削減します。REACH などの規制ではリサイクル率が 95% >要求されており、企業は二酸化炭素排出量レポートの提出を促しています。

将来のトレンドには、生産を促進するバイオベースの添加剤や再生可能エネルギーが含まれます。市場は、2032 年までにグリーン電極市場が 4.1% の CAGR で成長し、環境に優しい溶接に使用されると予測しています。事例:ある工場がグリーンマニュファクチャリングを実施し、コストを 15%削減し、認証を取得しました。

グリーン製造により、複合電極の持続可能性が保証され、低炭素経済に貢献します。

10.5 航空宇宙、原子力産業、医療製造、その他の分野での応用の見通し

複合希土類タングステン電極は、その高性能と環境に優しい特性の恩恵を受け、航空宇宙、原子力産業、医療製造において有望な用途を持っています。2025 年の傾向は、これらの分野が電極の精度と耐久性の向上に向かうことを示しています。

航空宇宙分野:チタン合金やエンジブレードなどの高温溶接に使用されます。WLaCeY 電極の溶接強度は 900MPa>、TIG 溶接の気孔率は 0.1%<。将来的には、ナンドープ電極が航空宇宙部品の 3D プリントに使用され、精度が 15% 向上し、市場シェアが 30% 増加します。

原子力産業:原子炉パイプライン溶接用の耐食性と安定性が高い。ジルコニア含有電極の浸透深さは 3~5mm で、亀裂はありません。将来的には、AI 最適化パラメータによって安全性が向上し、リサイクル技術により廃棄物汚染が削減されます。

医療製造:インプラントや手術器具の溶接などの放射線遮蔽に使用されます。純度と低汚染特性が重要であり、希土類ドーピングにより導電率が 10% 向上します。将来的には、pH センサーの用途が拡大し、CeO₂ドーピング電極の感度は 59mV/pH に近づきます。

AI 融合溶接ロボットなどの多用途な統合が見込まれています。市場は年平均成長率 8% で成長し、資源の供給に課題が生じましたが、リサイクルが解決しました。アプリケーションはハイテク産業のイノベーションを促進します。



虫垂

A. 用語集

複合希土類タングステン電極: 溶接性能を向上させるためにタングステンマトリックスに複数の希土類酸化物を添加した電極材料。

粉末冶金: 粉末成形、焼結などの工程で金属材料を調製する加工方法。

点火性能: 低電流でアークを開始する電極の能力。

アークの安定性: アークは均一に保たれ、溶接プロセス中にドリフトしません。

仕事関数: 電子が材料の表面から逃げるエネルギーの最小量。

TIG 溶接(タングステン不活性ガス溶接): タングステン不活性ガスシールド溶接。

プラズマ溶接: プラズマアークを使用して溶接する技術。

ロータリー鍛造: 回転ハンマーで棒を加工するプロセス。

SEM(走査型電子顕微鏡): 微細構造観察に使用される走査型電子顕微鏡。

Reo(希土類酸化物): La₂O₃、CeO₂ などの希土類酸化物。

非破壊検査: サンプルを損傷することなく欠陥をチェックする方法。

水素還元: 酸化タングステン粉末を水素で還元するプロセス。

冷間静水圧プレス: 静水圧プレス条件下で粉末を圧縮する成形技術。

燃焼アーク寿命: 連続溶接下での電極の寿命。

グリーン製造: 環境に優しく低汚染の生産方法。

著作権および法的責任に関する声明

B. 参考文献

- [1] 世界のタングステン電極市場予測-市場分析レポート、2023年
- [2] 複合希土類タングステン電極材料の研究進展 - Journal of Rare Earth Materials, 2022
- [3] 新エネルギー電池分野におけるタングステンおよびモリブデン希土類の応用 - 業界調査レポート、2024年
- [4] マルチコンポジット希土類タングステン電極の工業化技術-プロジェクト実現可能性調査、2020年
- [5] 希土類アルミニウム電極材料の性能解析 - Materials Science Journal, 2021
- [6] レアアース主要材料のサプライチェーンに関する研究 - CTCI レポート、2022年
- [7] 三元複合希土類タングステン電極の焼結機構 - Metallurgical Transactions, 2023
- [8] 希土類タングステン電極装置選択ガイド - 材料加工ジャーナル、2022
- [9] 多成分複合希土類タングステン電極の調製技術 - 科学技術イノベーション、2024
- [10] タングステン合金の開発と応用状況 - Nonferrous Metals Journal、2021
- [11] 複合希土類タングステン電極の安全仕様 - Industrial Safety Journal、2023
- [12] 複合希土類タングステン電極の性能試験 - Journal of Materials Science、2023年
- [13] タングステン電極の機械的特性試験 - Metallurgical Transactions、2022年
- [14] 希土類タングステン電極の微細構造解析 - Journal of Rare Earths、2021年
- [15] タングステン電極の化学組成検出 - 分析化学、2024
- [16] タングステン電極欠陥検出技術 - NDT Journal、2023
- [17] 希土類タングステン電極の寿命評価 - 信頼性工学、2022
- [18] 複合タングステン電極の品質管理 - 品質管理ジャーナル、2024年
- [19] 希土類タングステン電極の性能試験方法 - Journal of Materials Testing、2022
- [20] REACH 規制が電極製造に与える影響 - 欧州化学機関、2024年
- [21] レアアース管理規制の解釈 - 中国産業政策報告書、2024年
- [22] 複合希土類タングステン電極製造装置技術 - 産業機器ジャーナル、2023
- [23] 希土類タングステン電極製造プロセス装置 - 先端材料加工、2021