

耐切創性タングステン百科事典

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

Global Leader in Intelligent Manufacturing for Tungsten, Molybdenum, and Rare Earth Industries

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

CTIA GROUP の紹介

CTIA GROUP LTD は、CHINATUNGSTEN ONLINE が設立した独立法人格を持つ完全子会社であり、産業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化、統合化、柔軟な設計と製造を推進することに注力しています。CHINATUNGSTEN ONLINE は 1997 年に設立され、中国初のタングステン製品のトップサイトである WWW.CHINATUNGSTEN.COM を起点として、タングステン、モリブデン、希土類産業に特化した中国初の電子商取引企業です。CTIA GROUP は、タングステンおよびモリブデン分野における 30 年近くの深い経験を活かし、親会社の優れた設計・製造能力、優れたサービス、グローバルなビジネス評判を継承し、タングステン化学品、タングステン金属、超硬合金、高密度合金、モリブデン、モリブデン合金の分野における総合的なアプリケーションソリューションプロバイダーとなっています。

過去 30 年間、CHINATUNGSTEN ONLINE は 20 以上の言語に対応する 200 以上の多言語タングステン・モリブデン専門ウェブサイト構築し、タングステン、モリブデン、希土類に関するニュース、価格、市場分析ページが 100 万ページ以上に達しています。2013 年以降、WECHAT 公式アカウント「CHINATUNGSTEN ONLINE」は 4 万件以上の情報を公開し、約 10 万人のフォロワーにサービスを提供し、世界中の数十万の業界関係者に毎日無料の情報を提供しています。ウェブサイト群と公式アカウントの累計アクセス数は数十億回に達し、タングステン、モリブデン、希土類産業のグローバルで権威ある情報ハブとして認知されており、24 時間 365 日、多言語でのニュース、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 の技術と経験を基に、CTIA GROUP は顧客の個別ニーズに応えることに重点を置き、AI 技術を活用して、特定の化学組成や物理的特性（粒径、密度、硬度、強度、寸法、公差など）を持つタングステン・モリブデン製品を顧客と共同で設計・製造し、金型開設、試作、仕上げ、包装、物流に至るまでの全工程統合サービスを提供します。過去 30 年間、CHINATUNGSTEN ONLINE は世界 130,000 社以上の顧客に 50 万種類以上のタングステン・モリブデン製品の研究開発、設計、製造サービスを提供し、カスタマイズ、柔軟、インテリジェントな製造の基盤を築きました。この基盤を頼りに、CTIA GROUP は産業インターネット時代におけるタングステン・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化させています。

CTIA GROUP のハンス博士とそのチームは、30 年以上の業界経験を基に、タングステン、モリブデン、希土類に関する知識、技術、タングステン価格、市場動向分析を執筆し、タングステン業界と無料で共有しています。ハンス博士は 1990 年代から 30 年以上にわたり、タングステン・モリブデン製品の電子商取引と国際貿易、超硬合金および高密度合金の設計・製造に携わってきた経験を持ち、国内外で著名なタングステン・モリブデン製品の専門家です。業界に専門的で高品質な情報を提供するという原則を堅持し、CTIA GROUP のチームは生産実践と市場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執筆し、業界内で広く評価されています。これらの成果は、CTIA GROUP の技術革新、製品プロモーション、業界交流に強固なサポートを提供し、グローバルなタングステン・モリブデン製品製造および情報サービスの分野で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

ディレクトリ

第1章 インTRODクシヨンと概要

- 1.1 はじめに
 - 1.1.1 耐切創性タングステンワイヤーの定義と重要性
 - 1.1.2 本の目的と対象読者
- 1.2 切断に強いタングステンワイヤーの歴史的発展
 - 1.2.1 タングステンフィラメントの発見と早期応用
 - 1.2.2 耐切断性タングステンワイヤー技術の進化
 - 1.2.3 主要なマイルストーンと技術的ブレークスルー

第2章 耐切創性タングステンフィラメント材料の科学的根拠

- 2.1 タングステンフィラメントの基本特性
 - 2.1.1 タングステンフィラメントの物性
 - 2.1.2 タングステンフィラメントの化学的性質
 - 2.1.3 タングステンフィラメントの機械的性質
- 2.2 切断に強いタングステンワイヤーの構成と構造
 - 2.2.1 純タングステン線と合金タングステン線の違い
 - 2.2.2 微細構造と結晶構造
 - 2.2.3 ドーピングと合金化が性能に及ぼす影響
- 2.3 耐切創性タングステンワイヤーと他の材料との比較
 - 2.3.1 タングステン線、鋼線、炭素繊維などの性能比較
 - 2.3.2 特定の用途における耐切創性タングステンワイヤーの利点

第3章 CTIA GROUP 切削抵抗性タングステンワイヤー製造プロセス

- 3.1 原材料の選択
 - 3.1.1 タングステン鉱石の精製と精製
 - 3.1.2 ドーピング要素の選択と機能
- 3.2 タングステンワイヤーの製造工程
 - 3.2.1 粉末冶金
 - 3.2.2 伸線プロセスと設備
 - 3.2.3 熱処理と焼鈍プロセス
- 3.3 切断に強いタングステンワイヤーの品質管理そしてテスト
 - 3.3.1 生産工程における品質管理
 - 3.3.2 完成したタングステンワイヤーの試験基準と方法

第4章 切断に対するタングステンワイヤー抵抗の性能とテスト

- 4.1 切断に強いタングステンワイヤーの機械的特性のテスト
 - 4.1.1 引張強度と破壊靱性
 - 4.1.2 硬さ試験
 - 4.1.3 疲労性能と耐久性

著作権および法的責任に関する声明

4.2 耐切削性、タングステン線、耐摩耗性、耐食性

4.2.1 摩耗メカニズムと試験方法

4.2.2 腐食性環境下での性能評価

4.3 タングステンワイヤー切断の高温耐性

4.3.1 熱安定性と耐酸化性

4.3.2 高温での機械的特性の変化

第5章 タングステンワイヤーの切断抵抗関連規格

5.1 国際規格

5.1.1 ISO 規格

5.1.2 ASTM およびその他の国際規格

5.2 中国の国家基準と業界規範

5.2.1 GB/T 標準

5.2.2 業界の規範と認証

5.3 切断に強いタングステンワイヤーの標準的な要約表

5.4 規格の適用と見通し

第6章 耐切削性タングステンワイヤーの応用

6.1 ワイヤーカット

6.1.1 電火花線切断(EDM)

6.1.1.1 EDM で中心的な役割を果たす耐切削性タングステンワイヤー

6.1.1.2 高精度金型製造の利点

6.1.1.3 複雑な形状の金属部品の加工ケース

6.1.2 ダイヤモンドワイヤーソー切断

6.1.2.1 ダイヤモンドワイヤーソーの基材としてのタングステンワイヤー

6.1.2.2 半導体ウェーハおよび太陽電池シリコンウェーハの高精度切断

6.1.2.3 石材や陶磁器などの硬質材料の切削加工

6.2 高温環境下の機能部品

6.2.1 高温炉の発熱体

6.2.1.1 真空または不活性ガス炉でのタングステンワイヤーの適用

6.2.1.2 高温焼鈍および焼結時の耐久性

6.2.2 溶射および溶接サポート

6.2.2.1 プラズマ溶射におけるタングステンフィラメント部品

6.2.2.2 タングステン不活性ガスシールド溶接(TIG 溶接)の電極線。

6.2.3 航空宇宙高温部品

6.2.3.1 ロケットエンジンノズルのタングステンワイヤー補強

6.2.3.2 電気スラスタのタングステンワイヤーカソード

6.3 電子のおよび電気的アプリケーション

6.3.1 電子線・X線装置

6.3.1.1 電子顕微鏡、X線管のタングステンフィラメント

著作権および法的責任に関する声明

- 6.3.1.2 電子ビーム溶接における高温源
- 6.3.2 真空装置
 - 6.3.2.1 真空蒸着のタングステンワイヤー蒸着ポート
 - 6.3.2.2 質量分析計のタングステンフィラメント源
- 6.3.3 照明とディスプレイ
 - 6.3.3.1 高輝度放電ランプ(HID ランプ)のタングステン電極。
 - 6.3.3.2 白熱灯およびハロゲンランプのタングステンフィラメント
- 6.4 医療および科学機器
 - 6.4.1 手術器具
 - 6.4.1.1 電気外科におけるタングステン電極
 - 6.4.1.2 低侵襲手術における高精度切断ライン
 - 6.4.2 分析機器
 - 6.4.2.1 質量分析計のタングステンワイヤー検出器
 - 6.4.2.2 熱重量分析装置の高温タングステンワイヤーサンプルホルダー
 - 6.4.3 生物医学研究
 - 6.4.3.1 セルエレクトロポレーションにおけるタングステン電極
 - 6.4.3.2 神経科学における微小電極アレイ
- 6.5 工業生産および加工サポート
 - 6.5.1 テキスタイルと紙
 - 6.5.1.1 繊維機械の耐摩耗性タングステンワイヤーガイド
 - 6.5.1.2 抄紙機のタングステンワイヤーアクセサリ
 - 6.5.2 食品加工
 - 6.5.2.1 食品切断ラインの耐食性タングステンワイヤー
 - 6.5.2.2 高温ベーキング装置のタングステンワイヤー発熱体
 - 6.5.3 ガラス・セラミック加工
 - 6.5.3.1 ガラス切断における高強度タングステン線
 - 6.5.3.2 セラミック基板を切断および穿孔するためのタングステンワイヤー
- 6.6 エネルギーと環境保護
 - 6.6.1 原子力エネルギー
 - 6.6.1.1 原子炉のタングステンワイヤー制御部品
 - 6.6.1.2 放射線遮蔽におけるタングステン金網
 - 6.6.2 再生可能エネルギー
 - 6.6.2.1 太陽電池の製造におけるタングステンワイヤー切断
 - 6.6.2.2 風力タービンの耐摩耗性タングステンワイヤー部品
 - 6.6.3 廃棄物処理
 - 6.6.3.1 高温焼却炉のタングステン線発熱体
 - 6.6.3.2 廃水処理における電解タングステン電極
- 6.7 国防と安全保障
 - 6.7.1 徹甲材
 - 6.7.1.1 タングステン強化複合装甲

著作権および法的責任に関する声明

- 6.7.1.1 タングステンベースの徹甲弾
- 6.7.2 センシングと検出
 - 6.7.2.1 高温センサーのタングステンワイヤーエレメント
 - 6.7.2.2 爆発物探知装置のタングステンワイヤートリガー
- 6.7.3 通信機器
 - 6.7.3.1 軍用通信アンテナの高温タングステン線
 - 6.7.3.2 衛星通信におけるタングステン反射ネット

第7章 耐切創性タングステンワイヤーの高度なトピックと将来の動向

- 7.1 ナノテクノロジーとタングステンフィラメント
 - 7.1.1 ナノスケールタングステンワイヤーの調製と特性
 - 7.1.2 潜在的なアプリケーションと課題
- 7.2 複合材料とコーティング技術
 - 7.2.1 タングステンワイヤー強化複合材料
 - 7.2.2 表面コーティングの性能向上
- 7.3 将来のトレンド
 - 7.3.1 新規タングステンフィラメント材料の研究開発
 - 7.3.2 持続可能性と環境への配慮
 - 7.3.3 学際的応用の探求

第8章 耐切創性タングステンワイヤーのケーススタディと実践ガイドライン

- 8.1 耐切創性タングステンワイヤーの実用化事例
 - 8.1.1 耐切創性タングステンワイヤーの成功した適用の業界事例
 - 8.1.2 失敗と教訓
- 8.2 耐切創性タングステンワイヤーの選択と使用に関するガイドライン
 - 8.2.1 適切な耐切創性タングステンワイヤーの選び方
 - 8.2.2 設置、保守、安全上の注意

第九章 付録

- 9.1 用語集
- 9.2 リファレンス

第1章 インTRODクシヨンと概要

1.1 はじめに

高性能エンジニアリング材料として、耐切創性タングステンワイヤーは、そのユニークな物理的および化学的特性により、現代の産業および科学研究分野で重要な位置を占めています。これは、材料科学と工学の交差点の一例であるだけでなく、複数の業界に重要なサポートを提供しています。

1.1.1 耐切創性タングステンワイヤーの定義と重要性

耐切創タングステンワイヤーは、タングステン(W、原子番号 74)を主成分とした細いワイヤーで、ドーピングまたは合金化プロセスによって最適化され、超高引張強度(最大 4000MPa 以上)、優れた耐摩耗性、高温安定性(融点約 3422°C)を備えています。通常、ミクロンからミリメートルの直径で、極端な機械的ストレスと熱負荷に耐えることができるため、高温環境での精密切断や機能的なアプリケーションに最適です。通常のタングステンワイヤーと比較して、耐切断性タングステンワイヤーは、ワイヤーEDMの電極ワイヤーやダイヤモンドワイヤーソーの高強度基板などの切断用途の性能を最適化するように設計されています。

その重要性は多面的です。製造業では、半導体ウェーハのダイシングのように、サブミクロン公差(1 μ m 以下)を実現できるなど、耐切創性タングステン線の高耐久性により、加工精度と加工効率が大幅に向上しています。その高温耐性と耐酸化性により、航空宇宙産業(ロケットノズル補強材など)やエレクトロニクス産業(X線管フィラメントなど)でかけがえのないものとなっています。さらに、タングステンの高密度(19.25 g/cm³)と耐食性は、防衛(徹甲材など)やエネルギー分野(原子炉部品など)での使用の可能性をさらに広げます。材料科学と工学技術の交差点における代表的な成果として、タングステンワイヤーは現代技術の進歩を促進し、複雑な工学的問題を解決するための重要なツールとなっています。

1.1.2 本の目的と対象読者

この本の目的は、耐切断性タングステンワイヤーの科学的原理、製造プロセス、性能テスト、および幅広い用途を包括的かつ体系的に紹介し、既存の文献におけるこの専門資料の体系的な研究のギャップを埋めることです。本書は、最新の学術研究結果と産業の実務経験を統合して、耐切断性タングステンワイヤーの技術的状况を整理するだけでなく、その将来の開発の方向性を楽しみにし、材料の革新とアプリケーション拡大を促進するための理論的支援と実践的なガイダンスを提供します。

対象読者には、材料科学、機械工学、製造技術に従事する学者やエンジニア、特に高性能材料設計、プロセス最適化、アプリケーション開発に注力する人々が含まれます。同時に、この本は、半導体製造、航空宇宙、医療機器の熟練した人々や、先端材料に関心のある大学生や大学院生など、関連業界の実務家も対象としています。読者が理論的な洞察

著作権および法的責任に関する声明

を求めている場合でも、実用的な解決策を求めている場合でも、本書は、学界や産業界でブレークスルーを起こすのに役立つ、権威ある有益なコンテンツを提供することを目指しています。

1.2 切断に強いタングステンワイヤーの歴史的発展

耐切断性タングステンワイヤーの進化は、タングステンベースの材料の技術開発の縮図であり、初期の金属発見から最新の高性能アプリケーションまで、技術革新の複数の段階を経てきました。このプロセスは、それが基本的な材料から現代産業の主要な構成要素にどのように成長したかを明らかにしています。

1.2.1 タングステンフィラメントの発見と早期応用

タングステンの発見は 18 世紀末にさかのぼる。1781 年、スウェーデンの化学者 Carl Wilhelm Scheele はタングステン酸鉍を分析して初めてタングステン元素の存在を推測し、その後 1783 年、スペインの兄弟 Juan José Elhuyar と Fausto Elhuyar はタングステン鉍石から金属タングステンを分離することに成功した。しかし、当時の冶金技術の限界により、タングステンの工業応用は 19 世紀末になってようやく実現された。

タングステンワイヤの初期応用は 20 世紀初頭から始まった。1904 年、ハンガリーの科学者 Justus von Liebig と Hans Kuzel はタングステンワイヤの製造技術を開発し、粉末冶金と糸引き技術を通じて細いタングステンワイヤを生産し、初めて白熱灯フィラメントに応用した。タングステンの高融点と導電率（抵抗率約 $5.6\mu\Omega\cdot\text{cm}$ ）は、炭素フィラメントの急速な置換を可能にし、照明産業の標準材料となっている。1909 年、米国ゼネラル・エレクトリック（General Electric）の William D. Coolidge はタングステンワイヤの生産技術をさらに改善し、延性タングステンの引張方法を採用し、電子管と加熱素子に応用を拡大させた。この段階のタングステンワイヤは純粋なタングステンを主とし、延性は限られているが（破断伸びは通常 5% 未満）、高性能材料としての基礎を築いている。

1.2.2 耐切断性タングステンワイヤー技術の進化

産業技術の発展に伴い、特により高い強度と耐久性を必要とするアプリケーションにおいて、純粋なタングステンワイヤの限界が明らかになっています。20 世紀初頭、ドーピング技術の導入により、タングステンワイヤーの性能が大幅に向上しました。1913 年、米国ゼネラル・エレクトリック・カンパニーは、カリウムの微視的な分布を制御することにより、高温のたるみ防止性能を向上させるために、最初にタングステンフィラメントにカリウム(K)をドーピングしました、このプロセスはもともと白熱灯フィラメントの寿命を延ばすために使用されていましたが、耐切断性タングステンフィラメントの開発のための技術的基礎を提供しました。その後、タングステン-レニウム(W-Re)合金の研究開発により、タングステンワイヤーの靱性と高温安定性がさらに向上し、より広範な用途への道が開かれました。

特殊材料としての耐切断性タングステンワイヤーの概念は、20 世紀半ばに形作られました。1950 年代、放電加工(EDM)技術の台頭により、高強度で耐摩耗性のある電極線の需

著作権および法的責任に関する声明

要が増し、耐切断性タングステン線は従来のフィラメント製造プロセスと区別され始めました。複雑な絞り加工と熱処理のステップが生産工程に追加され、微細な直径での高い引張強度と表面品質を確保します。20世紀の70年代までに、ダイヤモンドワイヤーソー技術の商品化は、ダイヤモンド粒子の基板として使用され、半導体および太陽光発電産業で広く使用されていた耐切断性タングステンワイヤーの開発をさらに促進しました。この進化の段階は、耐切断性タングステンワイヤーが汎用材料から特殊な高性能ワイヤーに変わったことを反映しています。

1.2.3 主要なマイルストーンと技術的ブレークスルー

耐切断性タングステンワイヤーの歴史の中で、いくつかの重要なマイルストーンと技術的なブレークスルーがその現代的な形を形作ってきました。1927年、極細タングステン線（直径0.01mm未満）の伸線技術が成熟し、絞り金型精度の向上（公差0.5 μ m）とアニール工程の最適化（1200°C~1500°Cの温度制御）により、高精度加工 \pm 傑出した加工が可能になりました。1950年代には、タングステン-レニウム合金の工業生産により、タングステンワイヤーの高温強度（最大3000MPa以上）と耐疲労性が大幅に向上し、航空宇宙（ロケットエンジン部品など）や電子産業（X線管など）で新たな用途を獲得しました。

20世紀の70年代には、ワイヤーEDM技術の普及は、切断に強いタングステンワイヤーのアプリケーションの分水嶺となりました。EDM電極線として、タングステン線は優れた放電安定性（最大10⁶A/m²の電流密度）と耐摩耗性を示し、金型製作と精密部品加工に革命を起こします。21世紀には、ナノテクノロジーと表面工学の進歩により、ナノスケールのタングステンワイヤー（直径20~50nm程度）の調製や耐摩耗性コーティング（窒化タングステンコーティングなど）の適用など、耐切断性タングステンワイヤーに新たなブレークスルーがもたらされました。これらのマイルストーンは、耐切断性タングステンワイヤーの機能範囲を拡大するだけでなく、材料科学と産業ニーズとの密接な相互作用を反映して、ハイテク分野での中核的な地位を強化します。



著作権および法的責任に関する声明

第2章 耐切創性タングステンフィラメント材料の科学的根拠

2.1 タングステンフィラメントの基本特性

タングステンワイヤーの性能は、タングステンのユニークな特性に由来し、その高融点、高密度、優れた機械的強度は、極端な環境での耐切断性タングステンワイヤーの適用の基礎を築きます。このセクションでは、タングステンフィラメントの基本的な特性について、物理的、化学的、機械的という3つの側面から説明します。

2.1.1 タングステンフィラメントの物性

タングステン(W、原子番号74)は、体心立方体(BCC)構造を持ち、融点が3422°Cと極めて高い遷移金属で、全純金属の中で第1位にランクされています。沸点は約5555°Cで、優れた熱安定性を示します。タングステンの密度は19.25g/cm³で、金やウランと同程度であり、高品質の密度を必要とする用途で有利です。

タングステンフィラメントの熱伝導率は173W/(m·K)(室温)で、電気伝導率は比較的low、抵抗率は5.6μΩ·cm(20°C)で、温度が上昇するにつれて増加します(2000°Cで約45μΩ·cm)。熱膨張係数が低い(室温で4.5×10⁻⁶ K⁻¹)ため、高温での寸法安定性に貢献します。これらの物理的特性により、タングステンフィラメントは、耐切断性ワイヤーや高温発熱体などの高温および高精度環境で優れたものになります。

表 2.1.1 タングステンワイヤーの物性

属性	数値	所見
融点	3422°C	純金属の中で最も高い
沸点	5555°C	優れた熱安定性
密度	19.25 グラム/cm ³	金とウランに近い
熱伝導率	173 W/(m·K)	室温で
比抵抗	5.6 μΩ·cm (20°C)	2000°C 時升至 45 μΩ·cm
熱膨張係数	4.5×10 ⁻⁶ K ⁻¹	強力な寸法安定性

2.1.2 タングステンフィラメントの化学的性質

タングステンは室温で高い化学的安定性を持ち、ほとんどの酸(塩酸、硫酸など)および塩基に対して良好な耐食性を示します。ただし、高温(>400°C)、タングステンは酸素と反応することで容易に形成されます三酸化タングステン(WO₃)この酸化物は800°C程度で昇華し始め、材料ロスの原因となります。したがって、高温用途では、タングステンフィラメントは、酸化を防ぐために真空または不活性ガス(アルゴン、窒素など)でよく使用されます。

タングステンはハロゲン(フッ素、塩素など)に対する耐性が低く、高温で揮発性ハロゲン化合物(WF₆など)を形成する可能性があります。さらに、タングステンは高温で炭素と反応して炭化タングステン(WC)を形成し、耐切断性タングステンワイヤーの表面改質に応用

著作権および法的責任に関する声明

できる可能性があります。これらの化学的性質は、タングステンフィラメントの環境適応性と特定の条件下でのその制限を決定します。

表 2.1.2 タングステンフィラメントの化学的性質

反応条件	特性	製品またはエフェクト
室温	酸およびアルカリ腐食に強い	高い化学的安定性
高温 (>400°C)	酸素と反応する	WO ₃ が生成され、800°Cで昇華します
高温ハロゲン環境	揮発性ハロゲン化物の形成	WF ₆ など、抵抗が弱い
高温炭素環境	炭化タングステン(WC)の生成	表面改質に使用できます

2.1.3 タングステンフィラメントの機械的性質

タングステンワイヤーの機械的特性は、耐切断性材料としての主要な利点です。純粋なタングステンの引張強度は、室温で約 550~1000MPa であり、直径と加工プロセスに応じて、伸線後に 3000~4000MPa まで増加させることができます。タングステンはピッカースケールで高い硬度(約 350~450 HV)を持っていますが、延性が低く、通常は破断点伸びが 5%未満で、多少の脆性を示します。

高温(>1000°C)では、タングステンの強度は徐々に低下しますが、ドーピングまたは合金化(カリウムドーピングやタングステン-レニウム合金)、その高温強度と耐疲労性が大幅に向上しています。例えば、タングステン-レニウム合金の引張強度は、2000°Cで 500MPa 以上に維持することができます。これらの機械的特性により、タングステンワイヤは高い応力と摩耗に耐えることができ、耐切断性アプリケーションに最適です。

表 2.1.3 タングステンフィラメントの機械的特性

属性	数値	条件または備考
引張強度	550-1000MPa の	純タングステン、室温
	3000-4000 MPa の	伸線後
	500MPa(2000°C)	タングステン-レニウム合金
硬度	350-450 馬力	ピッカースケール
破断点伸び	<5%	柔軟性が低い

2.2 切断に強いタングステンワイヤーの構成と構造

タングステンワイヤーの切断抵抗の性能は、タングステン自体だけでなく、その組成と微細構造にも依存します。このセクションでは、純タングステンワイヤーと合金タングステンワイヤーの違いを分析し、その微細構造について説明し、ドーピングと合金化の役割を明らかにします。

2.2.1 純タングステン線と合金タングステン線の違い

純粋なタングステンワイヤーは、99.95%以上のタングステンで構成され、最も高い融点と密度を持っていますが、その高温たるみ抵抗と延性が悪く、高温で再結晶しやすいため、結晶粒の成長と強度の損失につながります。対照的に、合金タングステンワイヤーは、

著作権および法的責任に関する声明

他の要素を追加することでパフォーマンスを最適化します。例えば、タングステン-レニウム合金(W-Re、レニウム含有量 3%-26%)は、靱性と高温強度を向上させ、航空宇宙部品で一般的に使用されています。タングステンモリブデン合金(W-Mo)は耐食性が向上しており、特定の化学環境に適しています。

耐切断性タングステンワイヤーは、通常、強度と加工性のバランスをとるためにドーブまたは軽く合金化されています。純粋なタングステンワイヤーは、合金タングステンワイヤーは、組成調整を通じて高負荷や極端な条件のニーズにより適していますが、精密切断での適用性は限られています。

表 2.2.1 純タングステンワイヤーと合金タングステンワイヤーの比較

種類	ざいりょう	利	制限
純粋なタングステンフィラメント	>99.95%W	高融点、高密度	延性が低く、高温での再結晶
タングステン-レニウム合金	W + 3%-26% レニウム	高靱性、高温強度	コストは高くなります
タングステン-モリブデン合金	W+Mo	耐食性の向上	強度はタングステン-レニウム合金の強度よりもわずかに低くなっています

2.2.2 微細構造と結晶構造

タングステンフィラメントの微細構造は、製造プロセスによって大きく影響されます。純粋なタングステンは、格子定数が 3.165 Å の体心立方体(BCC)結晶構造を持っています。延伸プロセス中に、タングステンフィラメントは、通常 0.1~10µm のサイズの細長い繊維状粒子を形成し、引張方向に配置されます。この繊維構造により、引張強度が向上しますが、異方性も増加します。

ドーブされたタングステンフィラメント(例えば、カリウムを含む)は、高温で安定した微細なカリウム液胞(直径約 10~100nm)を形成し、粒界に分布して結晶粒の成長と再結晶を阻害し、それによって高温安定性を向上させます。合金タングステンワイヤーの微細構造は、添加された元素、例えば、タングステン - レニウム合金中のレニウムの溶液強化は、結晶格子を歪め、材料の靱性を高める。これらの構造特性は、耐切断性タングステンワイヤーの性能と耐用年数に直接影響します。

表 2.2.2 タングステンフィラメントの微細構造特性

種類	結晶構造	穀物の特性	特別な構造
純粋なタングステンフィラメント	BCC、3.165 Å	繊維状,0.1-10 µm	特別な構造はありません
ドーブタングステンワイヤー(カリウム)	BCC の	繊維性	カリウム液胞、10-100 nm
タングステン-レニウム合金	BCC の	穀物を洗練する	ラティスディストーション(溶液強化)

著作権および法的責任に関する声明

2.2.3 ドーピングと合金化が性能に及ぼす影響

ドーピングと合金化は、切断に耐性のあるタングステンワイヤーの性能を向上させるための重要な手段です。カリウムドーピング(含有量 0.01%-0.05%)は、カリウムの泡を形成することにより粒界の移動を抑制するため、タングステンフィラメントは 2000°C 以上でも高いたるみ防止能力を維持し、高温切断や発熱体によく使用されます。シリコンとアルミニウムのドーピング(微量)により、表面硬度と耐摩耗性が向上し、摩耗が激しいアプリケーションに適しています。

合金化では、レニウム(3%-26%)の添加により、粒子の溶液強化と精製により靱性と引張強度が向上し、タングステン-レニウム合金の強度は 2500°C で 700MPa に達することができます。また、トリウム(Th)やランタン(La)をドーピング(1%-2%)すると、電子放出性能を向上させることができ、電極線に適しています。これらの変更により、耐切断性タングステンワイヤは特定のアプリケーションのニーズを満たすことができます。

表 2.2.3 ドーピングと合金化の性能への影響

要素	コンテンツ	主な役割	アプリケーション例
カリウム(K)	0.01%-0.05%	たるみ防止と再結晶の抑制	高温切断、発熱体
硅 (Si)、铝 (Al)	跡	硬度と耐摩耗性を向上させます	耐摩耗性カuttingワイヤー
铈(再)	3%-26%	靱性と高温強度の向上	航空宇宙部品
钍 (Th)、镧 (La)	1%-2%	電子放出性能の向上	EDM 電極線

2.3 耐切削性タングステンワイヤーと他の材料との比較

切断に強いタングステンワイヤーのユニークな特性は、群衆からそれを際立たせます。このセクションでは、タングステンワイヤーの特性を鋼線や炭素繊維などの一般的な材料と比較し、特定のアプリケーションでの利点を分析します。

2.3.1 タングステン線、鋼線、炭素繊維などの性能比較

鋼線と比較して、タングステン線は引張強度(高張力鋼の 2000MPa に対して 4000MPa)と融点(鋼の約 1500°C に対して 3422°C)ですが、延性は低くなります(<5%対鋼の 20%~30%)。鋼線は室温で処理が容易で、タングステン線は高温と応力でより優れた性能を発揮します。

炭素繊維は比強度が非常に高い(引張強度約 3500MPa、密度 1.8g/cm³)ため、タングステン線よりもはるかに軽量ですが、耐熱性が劣る(約 500°C で分解し始める)ため、高温切断には使用できません。タングステンワイヤーの導電率も炭素繊維の導電率よりも優れているため、EDM で有利です。

銅線(引張強度約 200-400MPa、融点 1085°C)と比べると、タングステン線は強度や耐熱性では大きく進んでいますが、導電率がやや劣ります(銅抵抗率 1.7μΩ・cm)。これらの違

著作権および法的責任に関する声明

いが材料の使用を決定します。

表 2.3.1 タングステンフィラメントと他の材料との特性の比較

材料	引張強度(MPa)	融点(°C)	密度(g/cm³)	抵抗率 (μΩ・cm)	延性
タングステン	4000	3422	19.25	5.6	<5%
高強度鋼	2000	~1500	7.8	~15	20%-30%
カーボンファイバー	3500	~500 (分解)	1.8	ノンコンダクター	高い
銅線	200-400	1085	8.96	1.7	>30%

2.3.2 特定の用途における耐切創性タングステンワイヤーの利点

ワイヤーEDM では、切断に抵抗するタングステンワイヤーの高強度と耐摩耗性により、高電流密度と放電摩耗に耐えることができ、切断精度は銅線や鋼線よりも優れています。ダイヤモンドワイヤーソーでは、タングステンワイヤーの基板としての耐久性が鋼線をはるかに超えており、半導体ウェーハや石材の切断の安定性を確保しています。

高温環境(航空宇宙ノズル、温度>2000°C など)では、タングステンワイヤーは炭素繊維や鋼線を凌駕し、熱安定性が材料として選択されます。その高密度はまた、装甲貫通コアなどの防衛分野でかけがえのない品質上の利点を提供します。これらの特性により、耐切創性タングステンワイヤーは、高精度、高温、高負荷のアプリケーション向けに独自の位置付けをしています。

表 2.3.2 耐切創性タングステンワイヤーのアプリケーションの利点

アプリケーション・シナリオ	重要なニーズ	タングステンワイヤーの利点	対照的な材料の制限
EDM ワイヤー切断	高い強度と耐摩耗性	耐電流密度:10 ⁶ A/m ²	銅線は強度が低く、鋼線はすぐに摩耗します
ダイヤモンドワイヤーソー	耐久性	高強度基板	鋼線は寿命が短い
高温部品 (>2000°C)	熱安定性	融点 3422°C	炭素繊維が分解され、鋼が溶けます
徹甲弾コア	高密度	19.25 グラム/cm ³	鋼は密度が低い



著作権および法的責任に関する声明

第3章 CTIA GROUP 切削抵抗性タングステンワイヤー製造プロセス

3.1 原材料の選択

CTIA GROUP の耐切断性タングステンワイヤー製造は、高品質の原材料の選択から始まり、その性能はタングステンの純度とドーピング元素の最適な比率に依存します。タングステン鉱石の精製と精製、およびドーピング元素の選択と作用は、このプロセスの中心にあります。

3.1.1 タングステン鉱石の精製と精製

CTIA GROUP は高品質を選択黄鉄酸タングステン(Fe、 $MnWO_4$)そして Scheelite ($CaWO_4$)を主原料としています。抽出は鉱石採掘から始まり、露天掘りまたは地下で得られ、その後、重力、磁気、浮選などの選鉱プロセスを通じて廃石からタングステン鉱物を分離し、治具や重媒体分離器などの選鉱装置を使用して効率的な分離を確保します。化学抽出は、鉱石を炭酸ナトリウム(Na_2CO_3)または水酸化ナトリウム($NaOH$)を 800-1000°C で反応させたタングステン酸ナトリウム(Na_2WO_4)、または塩酸(HCl)または硫酸(H_2SO_4)による酸浸出タングステンへの浸出。

精製プロセスは、不純物(モリブデン、リン、ヒ素など)を除去するための多段階の沈殿とろ過によって生成されます。パラタングステン酸アンモニウム (APT、 $(NH_4)_{10}(H_2W_{12}O_{42}) \cdot 4H_2O$)。APTは 600-800°C で焼成され、次のように変換されます。三酸化タングステン(WO_3)その後、水素還元炉(900-1100°C、 H_2 流量 20-50m³/h)で製造されます。高純度タングステン粉末(純度>99.97%、粒子サイズ 1~3μm)。このプロセスは、高純度の原材料に対する CTIA GROUP の厳格な要件を反映しており、耐切断性タングステンワイヤーのための高品質の基本材料を提供します。

表 3.1.1 タングステン鉱石の精製および精製プロセス

ステップ	方法/条件	積	主要なパラメータ
選鉱	重力、磁気、浮遊	タングステンミネラル濃縮物	治具、ヘビー・メディア
化学的抽出	碱熔法, 800-1000°C	Na_2WO_4	Na_2CO_3 或 $NaOH$
	酸浸出法	タングステン酸	HCl 或 H_2SO_4
浄化	沈殿物、濾過	APT の	Mo、P、As は削除されました
焼成	600-800°C	WO_3 (ウオ ₃)	-
水素削減	900-1100°C	タングステンパウダー (>99.97%)	H_2 流量 20-50 m ³ /h

3.1.2 ドーピング要素の選択と機能

切削抵抗性タングステンワイヤーの高性能要件に従って、CTIA GROUP は、その特性を最適化するためにドーピング要素を選択します。カリウム(K、0.01%-0.03%)は、カリウムバブル(直径 10-50nm)を形成することにより高温再結晶を阻害し、耐たるみ性を向上させるため、高温切断シナリオに適しています。シリコン(Si)とアルミニウム(Al、含有量<0.005%)は、表面硬度と耐摩耗性を向上させ、高精度の切断に適しています。レニウ

著作権および法的責任に関する声明

ム(Re、5%-20%)は、航空宇宙用途のニーズを満たすために韌性と高温強度を向上させるための溶液強化によって強化されます。トリウム(Th、1%-1.5%)またはランタン(La、1%-1.5%)は、電子放出を最適化し、放電加工(EDM)ワイヤに使用されます。

ドーパンは、タングステン粉末調製段階で高精度の混合装置(遊星ミルなど)によって添加され、均一な分布を確保します。このプロセスは、材料特性を正確に制御する CTIA GROUP の能力を反映しています。

表 3.1.2 ドーピング元素とその影響

要素	コンテンツ	機能	アプリケーション・シナリオ
カリウム(K)	0.01%-0.03%	再結晶を抑制し、たるみを防ぎます	ワイヤーの高温切断
シリコン(Si)	<0.005%	硬度と耐摩耗性を向上させます	耐摩耗切断ワイヤ
アルミニウム(Al)	<0.005%	表面特性の向上	高精度な切断
铼(Re)	5%-20%	韌性と高温強度の向上	航空宇宙部品
钍(Th)	1%-1.5%	電子放出性能の向上	EDM 電極線
镧 (The)	1%-1.5%	排出性能と耐久性の向上	高性能電極

3.2 タングステンワイヤーの製造工程

CTIA GROUP のタングステンワイヤー製造プロセスは、高精度と高性能に向けられており、切断に耐性のあるタングステンワイヤーの厳しい要件を満たしています。粉末冶金、伸線、熱処理、表面処理、プロセスの最適化が、このプロセスの主要なリンクを形成します。

3.2.1 粉末冶金

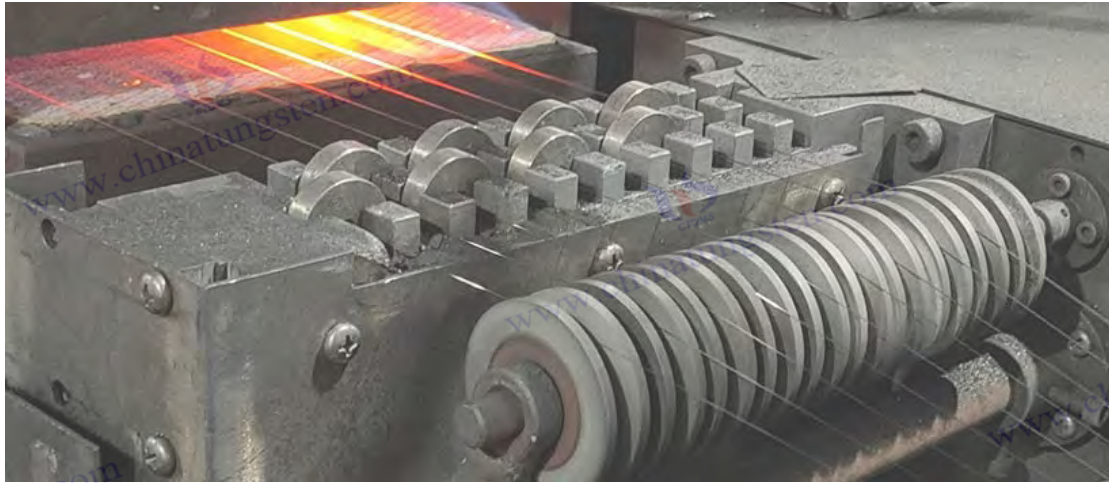
CTIA GROUP は、粉末冶金法を使用してタングステン粉末(粒子サイズ)を変換します(1~3μm)。タングステンロッド。タングステン粉末は、高速ミキサーでバインダー(ポリビニルアルコールなど)と混合され、その後、500~600MPaの精密油圧プレスを使用してバー(直径 8~15mm、長さ 150~300mm)にプレスされます。水素雰囲気(1000-1200°C、1-2 時間)で予備焼結を行い、バインダーを除去し、予備的な緻密化を行います。完全焼結は、高温焼結炉(2300-2500°C、H₂流量 40-60m³/h、5-6 時間)、バー密度理論値の 95%-97%。

ドーパされた元素は、噴霧乾燥技術によって混合段階に添加され、微視的な均質性を確保します。このプロセスは、その後の伸線のための高強度、高延性バーベースを提供します。

表 3.2.1 粉末冶金プロセスパラメータ

ステップ	条件	目的	主要なパラメータ
混ぜる	タングステンパウダー+バインダー	一律	粒子サイズ 1~3μm
抑える	500-600MPa の	フォーミングバー	直径 8-15 ミリメートル
焼結済み	1000-1200°C、H ₂	接着剤の除去	1-2 時間
完全焼結	2300-2500°C、H ₂	緻密化	密度 95%-97%、5-6 時間

著作権および法的責任に関する声明



3.2.2 伸線プロセスと設備

伸線は、Chinatungsten Intelligence によって行われた切断に耐性のあるタングステンワイヤーの製造におけるコアステップです。タングステンの高い硬度(ピッカース硬度 400-450 HV)とタングステンの脆性は、ストレッチの複数のパスで直径を徐々に縮小(ミリメートルから 15 μ m)する必要があり、パスごとに直径が 10%~15%減少します。各ストレッチの後に水素またはアルゴン(1300-1500°C、10-20 秒)でアニーリングを行い、延性を回復し、ストレスを軽減します。

CTIA GROUP は、シングルモード伸線機(粗線引き、1-5 mm)とマルチモード連続伸線機(細線、< 0.3 mm)を採用し、高精度ダイヤモンドダイス(公差 $\pm 0.3\mu$ m)または超合金ダイス(粗引きステージ)を装備しています。延伸速度は 5~15m/min で、グラファイトエマルジョン潤滑剤を使用すると摩擦が減少します。耐切削性タングステンフィラメントは、引き抜き力(<40N)、ダイ摩耗、ワイヤ温度(<250°C)を監視する必要があります。最適化対策には、2~3 パスごとのアニーリングと、直径の一貫性を確保するためのレーザーキャリパー(公差 $\pm 0.1\mu$ m)が含まれます。次のリストは、CTIA GROUP の一般的に使用される伸線装置を示しています。

表 3.2.2a 描画プロセスパラメータ

パラメーター	範囲	機能	設備・条件
直径の減少	ミリメートルから 15 μ m	ステップバイステップの成形	パスごとに 10%-15%の減少
アニーリング温度	1300-1500°C	延性の回復	H ₂ またはアルゴン、10~20 秒
描画速度	5-15 m/分	品質管理	シングルモード/マルチモード伸線機
金型精度	公差 $\pm 0.3\mu$ m	表面品質の確保	ダイヤモンドまたは超硬ダイ
絞り力	<40N	破損を避ける	インライン力変換器
潤滑剤	グラファイトミルク	摩擦の低減	-

著作権および法的責任に関する声明

表 3.2.2b 伸線装置一覧

デバイスの名前	機能の説明	適用可能なフェーズ
シングルモードタングステンワイヤー一次延伸機	粗径タングステンロッド(1-5 mm)の取り扱い、一次成形	荒引き
マルチモードタングステンワイヤー細線延伸機	極細線(<0.3mm)のマルチパス連続延伸	セラ
超精密ダイヤモンドモード	高精度ストレッチング(公差±0.3μm)により、表面品質を最適化	フィラメント成形
耐摩耗性の高い超硬金型	荒引き用の高い耐摩耗性(>1mm)	粗い図面、中図面
絞り力のリアルタイム監視	ドローイングフォース(<40N)をリアルタイムに監視し、破損を防止	一杯
高精度レーザーノギス	正確な直径測定(公差±0.1μm)により、一貫性を確保	セラ
グラフィートエマルジョン自動噴霧システム	潤滑剤を均一に塗布して、摩擦と熱を減らします	一杯

3.2.3 熱処理と焼鈍プロセス

熱処理は、切断に強いタングステンワイヤーの性能を最適化します。アニーリングは、1300~1800°Cの水素雰囲気中で5~15秒(フィラメント)または1分間(粗フィラメント)で行われ、応力を緩和し、結晶粒組織を調整します。エージング処理(1600-2000°C、15-30分)により、微細構造がさらに安定し、高温での強度が向上します。

ドーパントタングステンフィラメントの熱処理は、カリウム気泡(10-50 nm)のサイズを制御する必要があります。CTIA GROUPは、酸化抵抗を確保するために高精度の管状炉(H₂酸素含有量<5 ppm)を使用しています。このプロセスは、タングステンワイヤーの耐久性と切断性能に直接影響します。

表 3.2.3 熱処理プロセスパラメータ

種類	温度	目的	条件
アニーリング	1300-1800°C	ストレスリリーフと穀物調整	H ₂ 雰囲気、5秒-1分
即時性	1600-2000°C	構造を安定させ、高温での強度を向上させる	H ₂ 雰囲気、15-30分

3.2.4 表面処理と後処理

CTIA GROUPは、表面処理を通じてタングステンワイヤーの耐摩耗性と耐食性を向上させます。電解研磨(NaOH溶液、電流密度60-100A/m²)により、Ra<0.05μmの仕上がりで微小欠陥を除去します。高い耐摩耗性を実現するために、炭化タングステン(WC)コーティング(厚さ2~4μm)をCVD技術で蒸着します。

後処理には、仕様の一貫性を確保するための精密切断(長さ公差±0.3 mm)と自動巻き(張力15-25 N)が含まれます。これらのステップは、タングステンフィラメントの有用性を高めます。

著作権および法的責任に関する声明

表 3.2.4 表面処理と後処理パラメータ

芸	条件	目的	主要なパラメータ
電解研磨	NaOH、60-100 A/m ²	表面仕上げの改善	Ra<0.05μm
コーティング(CVD)	WC、2-4 μm	硬度と耐摩耗性の向上	-
実り	長さ公差±0.3 mm	仕様の一貫性	精密切断機
巻き	テンション 15-25 N	持ち運びや使用が簡単	巻線機

3.2.5 切断に強いタングステンワイヤーのプロセス最適化

CTIA GROUP は、切削抵抗のプロセスを最適化します。カリウムドーピング率は 0.02%±0.002%の精度で、伸線パスの数は 25~35 倍に増加し、±0.1μm の直径公差を確保します。熱処理は、勾配温度の上昇(1300°C~1800°C)を使用して、穀物の安定性を向上させます。

さらに、スパークプラズマ焼結法(SPS、2300°C、60MPa)を使用して、バーの密度を高め(>98%)、内部欠陥を減らします。これらの最適化により、耐切断性タングステンワイヤーの強度と信頼性が大幅に向上します。

表 3.2.5 切断に強いタングステンワイヤーのプロセス最適化

最適化対策	条件	目的	影響
ドーピング比調整	カリウム 0.02%±0.002%	強度と延性のバランス	たるみ防止リフティング
ブラシパスの数が増えます	25-35 パス	直径の均一性の向上	公差 ± 0.1 μm
温度勾配熱処理	1300-1800°C	穀物安定性の向上	高温での強度の向上
スパークプラズマ焼結	2300°C,60 MPa	欠陥を減らす	密度>98%

3.3 切断に強いタングステン ワイヤーの品質管理そしてテスト

CTIA GROUP の品質管理は、タングステンワイヤーの切断抵抗の高水準を確保するために、全生産プロセスを通じて実行されます。生産プロセス中の監視と完成品のテスト方法が連携して、製品の品質を確保します。

3.3.1 生産工程における品質管理

タングステン粉末の粒径(1-3μm)と純度(>99.97%)をレーザー粒度分析と ICP 分光法で確認しました。焼結は、温度(±5°C)と H₂流量(40-60m³/h)を制御します。ドローイングは、顕微鏡と力変換器を使用して、ドローイングフォース(<40N)と表面品質(亀裂なし)を監視します。これらの対策により、中間製品の安定性を確保しています。

表 3.3.1 生産プロセスの品質管理

タッシュ	監視パラメータ	ターゲット	検出方法
タングステン粉末	粒径 1-3μm,>99.97%	均一性と純度を確保する	レーザー粒度、ICP 分光法
焼結	2300-2500°C、40-60m ³ /h	欠陥がなく、高密度化	温度計、流量計
ドローイング	絞り力<40N	表面に亀裂はありません	力変換器、顕微鏡

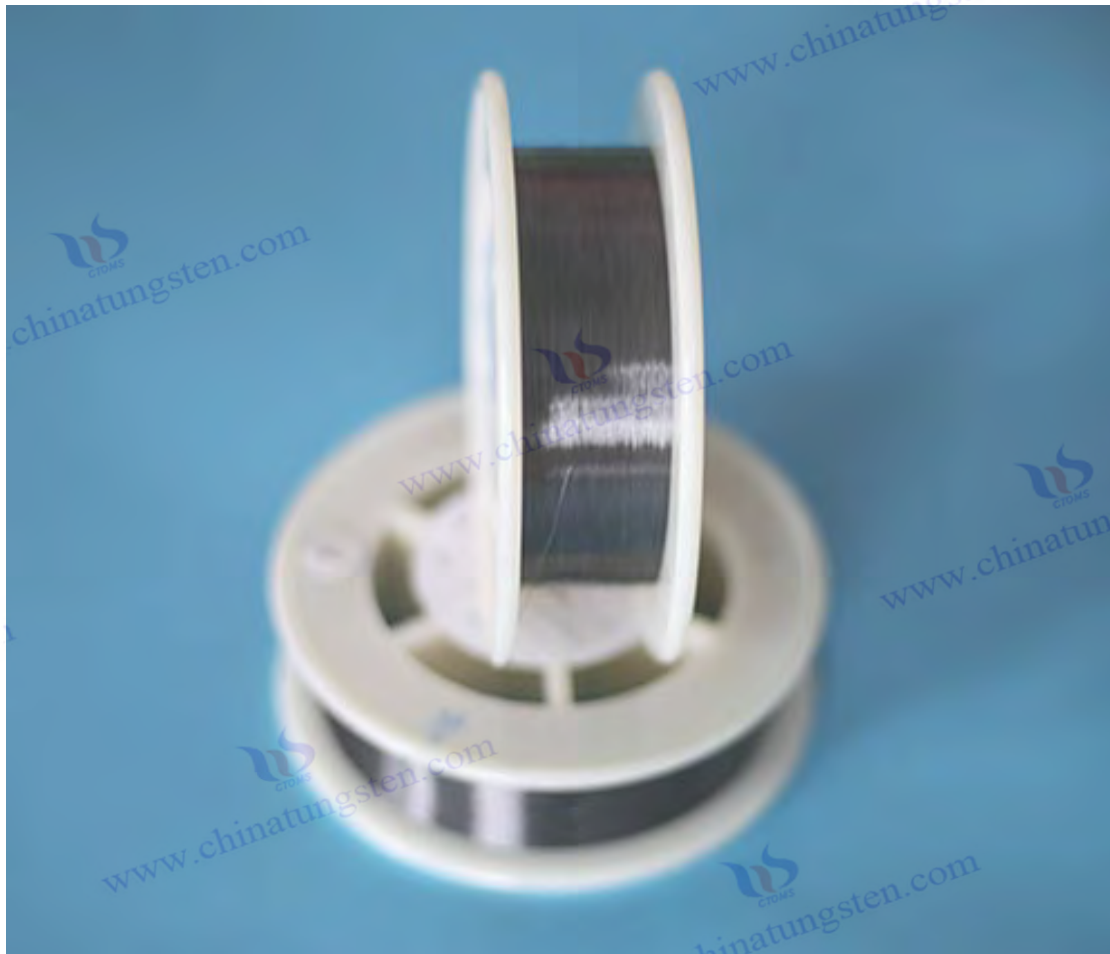
著作権および法的責任に関する声明

3.3.2 完成したタングステンワイヤーの試験基準と方法

完成品は、化学組成(ICP スペクトル、純度>99.97%)、機械的特性(引張強度 3500-4500 MPa、硬度 400-450 HV)、寸法精度(公差±0.5μm、レーザーキャリパー)、および表面品質(亀裂なし、SEM 検査)についてテストされました。耐切削性は摩耗試験(摩耗率<0.05mm³/N·m)により検証されています。これらの規格は、タングステンフィラメントがハイエンドアプリケーションのニーズを満たすことを保証します。

表 3.3.2 完成品の試験基準と方法

テスト項目	標準	方式	ターゲット
化学組成	純度>99.97%	ICP 分光法	不純物含有量の確認
引張強度	3500-4500 メガパスカル	引張試験	強度は標準に達しています
硬度	400-450 馬力	ピッカース硬さ試験	耐摩耗性
寸法精度	公差 ±0.5 μm	レーザーノギス	一貫性
表面	亀裂なし	無し	使用の信頼性
耐切削性	磨損率<0.05 mm ³ /N·m	摩耗試験	切断耐久性



著作権および法的責任に関する声明

CTIA GROUP LTD Cut-Resistant Tungsten Wire Introduction

1. Overview of CTIA GROUP LTD Cut-Resistant Tungsten Wire

Cut-Resistant Tungsten Wire is a high-performance industrial material made from high-purity tungsten powder through advanced powder metallurgy and precision wire-drawing processes. With outstanding high strength, wear resistance, and high-temperature stability, it is widely used in photovoltaic, semiconductor, aerospace, and electronic equipment industries. It excels particularly in high-precision wire-cutting applications.

3. Production Process of CTIA GROUP LTD Cut-Resistant Tungsten Wire

Raw Material Selection: Uses high-purity tungsten powder.

Powder Metallurgy: High-temperature sintering and multiple forging processes produce dense tungsten rod billets.

Precision Wire Drawing: Multi-stage wire drawing with diamond dies ensures high-precision dimensional control.

Heat Treatment: Optimized grain structure through precise annealing processes enhances tungsten wire toughness and strength.

Surface Treatment: Electrolytic polishing technology ensures a defect-free, highly smooth tungsten wire surface.

4. CTIA GROUP LTD Cut-Resistant Tungsten Wire Specifications

Item	Standard
Diameter (μm)	15-35 (Customizable)
Density (g/cm^3)	19.3
Tensile Strength (N/mm^2)	3600-4000
Vickers Hardness (HV)	800-850
Elongation	1%-3%
Tensile Force (N)	0.67-3.65

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com Tel.: +86 592 5129595, 5129696

For more information on cut-resistant tungsten wire, please visit website: www.tungsten.com.cn.

For market updates and real-time information, scan the following QR code to follow our WeChat official account: "chinatungsten".



著作権および法的責任に関する声明

第4章切断に対するタングステンワイヤー抵抗の性能とテスト

4.1 切断に強いタングステンワイヤーの機械的特性のテスト

耐切削性タングステンワイヤーの機械的特性は、高ストレス環境で優れたサポートを提供します。引張強度と破壊靱性、硬度、疲労特性、耐久性は、その機械的性能を測定するための主要な指標です。

4.1.1 引張強度と破壊靱性

引張強度は、タングステン線が引張荷重に耐える能力を反映しており、通常、細線伸線プロセスと熱処理によって最適化され、通常の鋼線(約 2000MPa)を大幅に超える3000~4500MPaに達します。試験は、万能材料試験機(ASTM E8 規格による負荷率 0.5 mm/min)で実施され、サンプル直径は 20 μ m から 300 μ m の範囲で、破断点伸びは 2%~5%に維持され、バランスの取れた靱性を示しました。

破壊靱性(K_{IC})は、5~10 MPa·m^(1/2)の典型的な値を持つ片面ノッチ引張試験(SEN3B)によって決定されます。カリウムやレニウムなどのドーピング元素は、微細構造(カリウム気泡の形成や溶液強化など)を操作することにより、粒界での亀裂伝播を効果的に抑制し、高応力切断シナリオでのタングステンワイヤーの信頼性を確保できます。

表 4.1.1 引張強度と破壊靱性試験

パラメーター	数値	テスト方法:	パフォーマンス上の利点
引張強度	3000-4500 MPa の	ASTM E8、引張試験	優れた耐荷重性
破断点伸び	2%-5%	万能試験機	バランスの取れた展性
破壊靱性 (K _{IC})	5-10 MPa·m ^(1/2)	SEN3B テスト	クラック伝播に対する優れた耐性

4.1.2 硬さ試験

硬度は、摩耗や変形に対する耐切断性タングステンワイヤーの基本的な特性です。ブラシをかけられ、表面処理されたタングステンフィラメント(コーティングなど)は、通常、ピッカース硬度(HV)が 350~450 HV で、ピッカース硬さ試験機によって決定されます(荷重 500 g、インデント時間 10 秒、ISO 6507 に準拠)。粒度が精錬されるにつれて硬度が増し、フィラメント(<50 μ m)は上限の 450HV に近づくことができます。

この特性により、タングステンワイヤーはセラミックスやシリコンウェーハなどの硬質材料を切断する際に優れた耐久性と安定性を発揮します。

表 4.1.2 硬さ試験

パラメーター	数値	テスト方法:	パフォーマンス上の利点
ピッカース硬度	350-450 馬力	ISO 6507、載荷 500 g	耐摩耗性に優れています
硬度の変化	直径が小さくなると上昇します	微小硬度計	フィラメントの高強度ニーズに適応

著作権および法的責任に関する声明

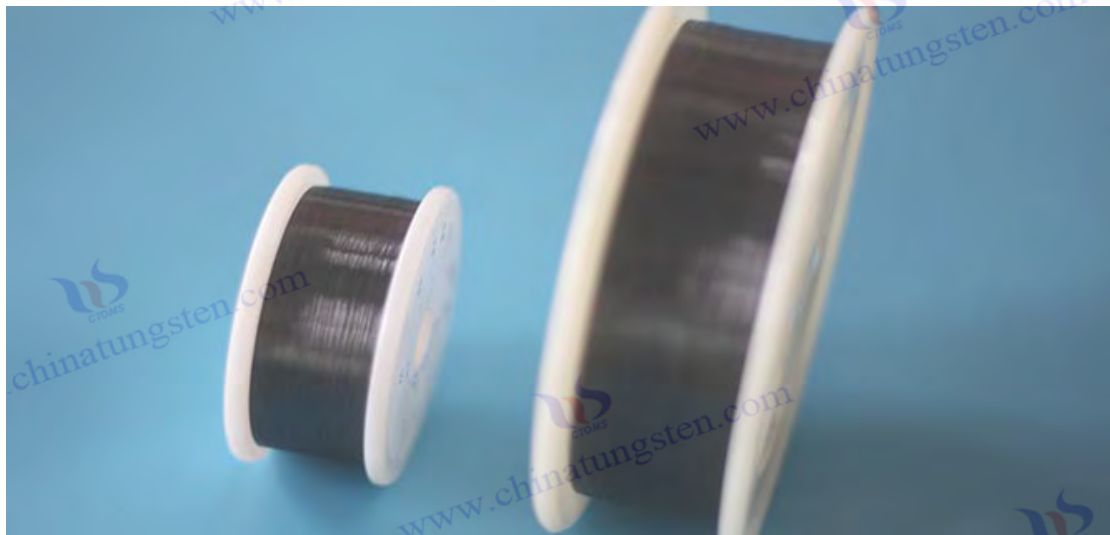
4.1.3 疲労性能と耐久性

疲労特性は、繰り返し負荷下でのタングステンフィラメントの耐久性を反映しています。疲労限界は通常 1200~1800MPa で、回転曲げ疲労試験(周波数 50Hz、ASTM E466 による応力比 0.1)により、サイクル数は最大 10^7 サイクルにすることができます。 レニウムやその他の元素をドーピングすると、マイクロクラックの発生を減らし、溶液強化を通じて疲労寿命を延ばすことができます。

耐久性試験は、実際の切削条件(EDM 放電サイクルなど)をシミュレートし、直径とドーピング含有量に応じて 300~600 時間の寿命範囲を示し、長期間の高負荷運転に適しています。

表 4.1.3 疲労性能と耐久性試験

パラメーター	数値	テスト方法:	パフォーマンス上の利点
疲労限界	1200-1800 MPa の	ASTM E466.50 Hz	優れたサイクル耐久性
耐用年数	300-600 時間	切削条件のシミュレーション	長期にわたる運用安定性



4.2 耐切削性、タングステン線、耐摩耗性、耐食性

耐摩耗性と耐食性は、研磨剤および化学的攻撃環境でのタングステンワイヤーの性能を決定し、その信頼性の重要な保証です。

4.2.1 摩耗メカニズムと試験方法

タングステンワイヤーの摩耗は、特に硬い材料を切断する際の研磨摩耗と接着摩耗によるものです。ピンディスク摩擦摩耗試験(ASTM G99 による負荷 10 N、速度 200 rpm)は、摩耗率が $0.05\sim 0.1 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ であり、鋼線(約 $0.2\sim 0.3 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$)よりもはるかに低いことを示しています。表面コーティング(炭化タングステン、WC、厚さ $1\sim 5\mu\text{m}$ など)により、摩耗深さが $<1\mu\text{m}/1000\text{m}$ に減少します。

著作権および法的責任に関する声明

摩耗メカニズムの研究は、粒子の微細化とコーティング保護が効果的に材料の脱落と表面の付着を減らし、高摩擦条件下でのタングステンワイヤーの耐久性を向上させることができることを示しています。

表 4.2.1 摩耗性能試験

パラメーター	数値	テスト方法:	パフォーマンス上の利点
摩耗率	0.05-0.1 mm ³ /N · m	ASTM G99、ピンディスクテスト	優れた耐摩耗性
摩耗の深さ	<1 μm/1000 m	サーフェスプロファイラー	大幅に長い耐用年数

4.2.2 腐食性環境下での性能評価

耐食性試験は、中性塩水噴霧(5%NaCl、35°C、ASTM B117 に準拠)および酸性環境(pH 2、H₂SO₄溶液)で実施されます。塩水噴霧中のコーティングされていないタングステンワイヤーの 72 時間の重量損失率は約 0.2~0.5 mg /cm²ですが、表面処理(窒化タングステン、WN、厚さ 1~3μm など)のタングステンワイヤーの重量損失率は<0.1 mg /cm²に減少します。酸性環境では、腐食速度は 0.02~0.05 mm /年の範囲で、未処理のサンプル(0.1~0.2 mm /年)よりも優れています。

この性能により、濡れた環境や化学的に攻撃的な環境でも安定性を維持できるため、医療機器や産業用途に適しています。

表 4.2.2 耐食性試験

パラメーター	数値	テスト方法:	パフォーマンス上の利点
塩水噴霧の減量率	<0.1 mg/cm ² (72 時間)	ASTM B117,5%NaCl	優れた耐食性
酸腐食率	0.02-0.05 mm/年	pH 2、H ₂ SO ₄ 浸漬	優れた化学的安定性

4.3 タングステンワイヤー切断の高温耐性

切断に強いタングステンワイヤーの高温性能は、極端な条件下での使用の基礎を築きます。熱安定性と耐酸化性、および高温の機械的特性の変化は、その高温性能を評価するための重要な基礎です。

4.3.1 熱安定性と耐酸化性

熱安定性試験は、真空または不活性雰囲気(Ar、10⁻⁵ Pa)で行われ、タングステンフィラメントは通常、結晶粒の成長と再結晶を阻害するカリウムなどのドーパント元素のおかげで、2500°C で 100 時間の運転後に強度が 15%未満失われます。耐酸化性は高温暴露試験(1000°C、空気)によって評価され、コーティングされていないタングステンフィラメントの重量損失率は、WO₃の揮発の形成により約 5-10 mg /cm²/h でしたが、コーティングされたタングステンフィラメント(WN、1-3μm など)の重量損失率は<0.5-1 mg /cm²/h に減少しました。

これらの特性により、高温炉や航空宇宙部品で優れた性能を発揮します。

著作権および法的責任に関する声明

表 4.3.1 熱安定性と耐酸化性試験

パラメーター	数値	テスト方法:	パフォーマンス上の利点
高温での強度低下	<15%(2500°C、100 時間)	真空高温試験	優れた熱安定性
抗酸化物質の減量率	<0.5-1 mg/cm ² /h (1000°C)	空気暴露試験	優れた抗酸化能力

4.3.2 高温での機械的特性の変化

高温の機械的特性は、引張試験(1000-2000°C、Ar 雰囲気、ASTM E21 規格に準拠)によって決定されます。レニウムをドーパしたタングステンワイヤー(3%-26%)の引張強度は、2000°C で 500-700MPa に維持され、純粋なタングステンワイヤー(約 300-400MPa)よりも有利です。硬度は 1500°C で 300-400HV に低下しますが、それでも高温切断の要求に対処するのに十分です。

高温クリープ試験(1800°C、50MPa)では、クリープ速度が 10°C 未満であることが示され、結晶粒安定化処理(グラジエント熱処理など)により、さらに変形が低減され、高温での構造健全性が確保されました。

表 4.3.2 高温機械的特性試験

パラメーター	数値	テスト方法:	パフォーマンス上の利点
高温引張強度	500-700 MPa (2000°C)	ASTM E21、拉伸試験	優れた強度保持力
高温硬度	300-400 HV (1500°C)	高温硬度計	長持ちする耐久性
クリープ率	<10 ⁻⁶ s ⁻¹ (1800°C)	クリープ試験	優れた耐変形性



著作権および法的責任に関する声明

第5章 タングステンワイヤーの切断抵抗関連規格

高性能材料として、耐切断性タングステンワイヤーの製造、品質管理、および適用は、一貫した性能、業界のコンプライアンス、および市場競争力を確保するために、一連の国際および国内基準に従う必要があります。この章では、国際標準化機構(ISO)、米国材料試験協会(ASTM)、中国国家規格(GB/T)、および業界固有の仕様をカバーする、耐切削性タングステンワイヤーに関連する標準システムを体系的にレビューし、タングステンワイヤー業界での役割とアプリケーションについて詳しく説明します。

5.1 国際規格

国際規格は、品質管理システム、材料性能試験、環境安全性、およびアプリケーション固有の要件をカバーする、耐切削性タングステンワイヤーの国際貿易、技術交換、品質管理のための統一されたフレームワークを提供します。

5.1.1 ISO 規格

ISO 規格は、タングステンワイヤーの製造で広く使用されており、品質、環境、安全性、性能のテストをカバーしています。

• ISO9001:2015 認証取得

日本語名:品質マネジメントシステム

中文名称: 质量管理体系

英文名称: 品質マネジメントシステム

発売/改訂年:2015 年

適用範囲:生産プロセス管理

特定の要件:企業は、生産プロセスを追跡できるように、原材料の調達から完成品の配送までの全プロセス管理システムを確立する必要があります。タングステンフィラメントの製造業者は年次監査に合格する必要があります。認証費用は約 20~500,000 円で、サイクルは 6~12 ヶ月です。

アプリケーションシナリオ:ヨーロッパおよび北米市場に輸出される耐切削性タングステンワイヤーには、通常、顧客の信頼を高めるために ISO9001 認証が添付されています。

• ISO14001:2015 認証取得

日本語名:環境マネジメントシステム

中文名称: 环境管理体系

英文名称: 環境マネジメントシステム

発売/改訂年:2015 年

適用範囲:環境保護要件

特定の要件:グリーン生産を促進するために、企業は、二酸化炭素排出量をタングステンワイヤーのトンあたり 500kg 未満に制御し、廃水の重金属含有量を 0.1 mg / L<する

著作権および法的責任に関する声明

必要があるなど、焼結および伸線プロセスでの排気ガスを監視し、削減する必要があります。

アプリケーションシナリオ:特に太陽光発電およびエレクトロニクス業界における持続可能性のトレンド。

• **ISO45001:2018 認証取得**

日本語名:労働安全衛生マネジメントシステム

中文名称: 职业健康安全管理体系

英文名称: 労働安全衛生マネジメントシステム

発売/改訂年:2018年

適用範囲:生産安全

特定の要件:高温焼結(2200-2500°C)、伸線、およびその他のリスクの高い操作を標準化し、事故率を30%削減し、安全トレーニングと機器のメンテナンスを定期的に行います。認証料は約10~300,000元です。

アプリケーションシナリオ:労働者の安全を確保し、企業生産の安定性を向上させます。

• **ISO 6892-1:2019 認証取得**

日本語名:金属材料の引張試験

中文名称: 金属材料拉伸试验

英文名称: Metallic Materials - Tensile Testing

発売/改訂年:2019年

適用範囲:機械的特性試験

特定の要件:タングステンワイヤーの引張強度と延性をテストするのに適しており、機械的特性が基準を満たしていることを確認するために、室温と高温(2000°Cなど)で測定する必要があります。タングステンワイヤーの引張強度は2000-2500MPaに達する必要があります。

アプリケーションシナリオ:太陽光発電の切断および航空宇宙分野では、タングステンフィラメントの強度に対する高い要件があります。

• **ISO 22489:2016 認証取得**

日本語名:マイクロビーム分析 - 電子プローブ顕微鏡分析

中文名称: 微束分析 - 电子探针显微分析

英文名称: Microbeam Analysis - Electron Probe Microanalysis

発売/改訂年:2016

適用範囲:成分試験

特定の要件:タングステンフィラメントの表面および内部の微視的組成を検出するには、不純物(酸素、窒素など)を20ppm<する必要があります。

アプリケーションシナリオ:ハイエンドの電子機器および医療アプリケーションでは、一貫した製品品質を確保する必要があります。

• **ISO 10993-1:2018 認証取得**

著作権および法的責任に関する声明

日本語名:医療機器生体適合性評価

中文名称: 医疗器械生物相容性评价

英文名称: Biological Evaluation of Medical Devices

発売/改訂年:2018 年

適用範囲:医療用タングステンワイヤー

特定の要件:医療用被覆タングステンワイヤーの場合、有害物質が放出されないように、毒性、刺激性、アレルギー性を評価する必要があります。 認証料は約 40~800,000 元です。

アプリケーションシナリオ:埋め込み型医療機器に適しています。

• ISO/AWI 規格 24370-2

日本語名:ファインワイヤータングステンワイヤーパート 2(研究中)

中文名称: 细线钨丝第 2 部分（在研）

英文名称: Fine Wire of Tungsten - Part 2 (Under Development)

リリース/改訂年:2026 年予定

適用範囲:ナノタングステンワイヤー

特定の要件:ナノスケールのタングステンワイヤ(直径<1 μ m)の場合、寸法公差 $\pm 0.2\mu$ m、表面仕上げ Ra<0.05 μ m が必要です。

アプリケーションシナリオ:次世代半導体とセンサー。

5.1.2 ASTM およびその他の国際規格

ASTM 規格は、北米市場で広く使用されているタングステンワイヤーの材料特性と製造プロセスの詳細な仕様を提供します。

• ASTM B760-07(2019 修订)

日本語名:タングステンプレート、シート、ホイル

中文名称: 钨板、片和箔

英文名称: Standard Specification for Tungsten Plate, Sheet, and Foil

発売/改訂年:2019 年

適用範囲:純度、性能要件

特定の要件:タングステン材料の純度は>99.95%であり、不純物(Fe や Mo など)の含有量は 50ppm<、これはしばしばタングステンワイヤーの製造に拡張されます。

適用シナリオ:切創抵抗性タングステンワイヤーの生産に適した原材料の品質を確保します。

• ASTM B777-20

日本語名:タングステンベースの高密度合金

中文名称: 钨基高密度合金

英文名称: Standard Specification for Tungsten Base, High-Density Metal

発行年/改訂年:2020 年

適用範囲:複合タングステン線

著作権および法的責任に関する声明

特定の要件:密度>17 g/cm³、引張強度>1500 MPa。

アプリケーションシナリオ:航空宇宙および軍事用途におけるタングステンフィラメント強化複合材料。

• **ASTM E8 / E8M-21**

日本語名:金属材料の引張試験方法

中文名称:金属材料拉伸试验方法

英文名称: Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials

発行年/改訂年:2021年

適用範囲:高温性能

特定の要件:異なる温度でのタングステンワイヤーのひずみ速度と破壊靱性試験が改良され、高温(1000°C)で 0.005%/h のクリープひずみ<が必要で

アプリケーションシナリオ:ガスタービンブレードなどの高温環境。

• **ASTM F1925-17**

日本語名:半導体用タングステン材料の仕様

中文名称:半導体用钨材料规范

英文名称: Standard Specification for Semiconductor Tungsten Materials

発売/改訂年:2017年

適用範囲:半導体切断

特定の要件:純度は>99.999%、直径の一貫性は±0.5µm、抵抗率は<5.0µΩ·cm です。

アプリケーションシナリオ:チップ製造におけるマイクロダイシング。

• **AMS の 7880**

日本語名:タングステンフィラメント高温性能仕様

中文名称:钨丝高温性能规范

英文名称: Tungsten Wire High-Temperature Properties

リリース/改訂年:特定の年は指定されていません

アプリケーション:航空宇宙高温アプリケーション

特定の要件:タングステンワイヤーのクリープ率は 2500°C で<0.01%/h である必要があります、認証期間は 1~2 年で、コストは 50~100 万元です。

アプリケーションシナリオ:ロケットノズルとタービンブレード。

• **JIS H 4461:2002**

日本語名:タングステンワイヤー(日本工業規格)

中文名称:钨丝(日本工业标准)

英文名称: Tungsten Wire (Japanese Industrial Standard)

発売/改訂年:2002

適用範囲:精密機器

特定の要件:表面に亀裂がなく、引張強度>2200MPa です。

アプリケーションシナリオ:ISO 規格を補完する精密機器と照明器具。

著作権および法的責任に関する声明

• EN 10204:2004

日本語名:金属製品検査文書

中文名称: 金属产品检验文件

英文名称: Metallic Products - Types of Inspection Documents

発売/改訂年:2004 年

適用範囲:品質認証

特定の要件:タングステンワイヤーは、品質のトレーサビリティを確保するために、タイプ 3.1 の材料証明書とともに出荷する必要があります。

アプリケーションシナリオ:EU 市場に輸出。

5.2 中国の国家基準と業界規範

地元産業のニーズに基づいて、中国の規格はタングステンフィラメントの原材料、生産、性能試験、および新たなアプリケーションをカバーしています。

5.2.1 GB/T 標準

GB / T 規格は、大規模な生産と品質管理に適した耐切断性タングステンワイヤーの基本仕様を提供します。

• GB / T 3459-2017

日本語名:タングステンパウダー

中文名称: 钨粉

英文名称: Tungsten Powder

発売/改訂年:2017 年

適用範囲:原材料の純度

特定の要件:タングステン粉末の純度は>99.95%で、粒子サイズは 10~50µm です。

適用シナリオ:タングステンワイヤー焼結原料は、製造コスト(RMB 450-1,100 / kg)に直接影響します。

• GB / T 4181-2017

日本語名:タングステンロッド

中文名称: 钨棒

英文名称: Tungsten Bars

発売/改訂年:2017 年

適用範囲:表面品質、純度

特定の要件:酸化物、表面に亀裂、純度>99.95%。

アプリケーションシナリオ:タングステンワイヤーの生産に拡張され、太陽光発電の切断に適しています。

• GB / T 4197-2017

日本語名:タングステンフィラメント

中文名称: 钨丝

著作権および法的責任に関する声明

英文名称: Tungsten Wire

発売/改訂年:2017 年

適用範囲:ワイヤーカット、エレクトロニクス

特定の要件:直径公差 $\pm 1\mu\text{m}$ 、引張強度 2000-2500 MPa、破断点伸び $>2\%$ 。

アプリケーションシナリオ:ワイヤーEDM およびエレクトロニクス業界。

• **GB / T 17492-2019**

日本語名:タングステンおよびタングステン合金の化学分析方法

中文名称: 钨及钨合金化学分析方法

英文名称: Chemical Analysis Methods for Tungsten and Tungsten Alloys

発売/改訂年:2019 年

適用範囲:不純物制御

具体要求: 鉄含量 $<30\text{ ppm}$, 鉛 $<10\text{ ppm}$ 。

アプリケーションシナリオ:高純度アプリケーションにおけるタングステンワイヤの安定性。

• **GB / T 43293-2023**

日本語名:タングステンフィラメント高温性能試験方法

中文名称: 钨丝高温性能测试方法

英文名称: Test Method for High-Temperature Properties of Tungsten Wire

発売/改訂年:2023 年

適用範囲:核融合アプリケーション

特定の要件:耐酸化性とクリープ特性は 2000~2500°C でテストされ、重量損失率は $<0.5\text{ mg/cm}^2/\text{h}$ でした。

アプリケーションシナリオ:核融合装置のタングステンベースのコンポーネント。

• **GB / T 41319-2022**

日本語名:太陽光発電用タングステンワイヤー仕様

中文名称: 光伏用钨丝规范

英文名称: Specification for Tungsten Wire in Photovoltaic Applications

発行年/改訂年:2022 年

適用範囲:太陽光発電切断

具体要求: 直径 20-50 μm ,断丝率 $<0.8\%$,表面粗さ $R_a<0.08\ \mu\text{m}$ 。

アプリケーションシナリオ:太陽光発電シリコンウェーハの切断効率を 10%向上させます。

5.2.2 業界の規範と認証

業界基準は、中国非鉄金属工業協会、軍事産業、原子力産業によって策定され、国家標準規則が補足されています。

YS / T 1356-2020

著作権および法的責任に関する声明

日本語名: タングステンワイヤーの技術条件

中文名称: 钨丝技术条件

英文名称: Technical Conditions for Tungsten Wire

発行年/改訂年: 2020年

適用範囲: 太陽光発電、ガラス加工

特定の要件: 耐摩耗性は>120時間の切断寿命を満たし、表面欠陥の深さ<0.5μmです。

アプリケーションシナリオ: 太陽光発電およびガラス加工。

• GJB の 9001C-2017

日本語名: 軍事製品品質管理システム

中文名称: 军用产品质量管理体系

英文名称: Quality Management System Requirements for Military Products

発売/改訂年: 2017年

適用範囲: 軍사용途

特定の要件: タングステンワイヤーメーカーは厳格な品質管理システムを確立する必要があります。完成品には軍事検査証明書が添付されています。

アプリケーションシナリオ: ミサイルと装甲部品。

5.3 切断に強いタングステンワイヤーの標準的な要約表

参照を容易にするために、次の表は、耐切断性タングステンワイヤーの関連規格の包括的な要約を提供し、英語と中国語の両方での名前、発行/改訂年、適用範囲、および特定の要件を提供します。

表 5.1 耐タングステンワイヤーの切断に関連する規格

標準番号	中国語名	英語名	発行年 / 改訂年	適用範囲	具体的な要件:
ISO 9001:2015	品質マネジメントシステム	Quality Management Systems	2015	生産プロセス管理	プロセス全体の記録とトレーサビリティ
ISO 14001:2015	環境マネジメントシステム	Environmental Management Systems	2015	環境要件	CO ₂ 排放 <500 kg/吨
ISO 45001:2018	労働安全衛生マネジメントシステム	Occupational Health and Safety Management Systems	2018	生産の安全性	事故発生率 30%削減
ISO 6892-1:2019	金属材料の引張試験	Metallic Materials - Tensile Testing	2019	機械的特性試験	引張強度 2000-2500MPa
ISO 22489:2016	マイクロビーム分析 - 電子プローブ顕微鏡分析	Microbeam Analysis - Electron Probe Microanalysis	2016	成分試験	不純物<20ppm
ISO 10993-1:2018	医療機器の生体適合性評価	Biological Evaluation of Medical Devices	2018	医療用タングステンフィラメント	無毒、刺激性

著作権および法的責任に関する声明

ASTM B760-07	タングステンプレート、シート、ホイル	Standard Specification for Tungsten Plate, Sheet, and Foil	2019	純度、性能要件	純度>99.95%、不純物<50ppmです
ASTM B777-20	タングステン基高密度合金	Standard Specification for Tungsten Base, High-Density Metal	2020	複合タングステンワイヤー	密度>17g/cm ³
ASTM E8/E8M-21	金属材料の引張試験方法	Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials	2021	高温性能	蠕変应变 <0.005%/h
ASTM F1925-17	半導体用タングステン材料の仕様	Standard Specification for Semiconductor Tungsten Materials	2017	半導体ダイシング	純度>99.999%、抵抗率<5.0
AMS 7880	タングステンフィラメント高温性能仕様	Tungsten Wire High-Temperature Properties	-	航空宇宙用高温アプリケーション	2500°C 蠕変率 <0.01%/h
JIS H 4461:2002	タングステン	Tungsten Wire (Japanese Industrial Standard)	2002	精密機器	引張強度 >2200MPa
EN 10204:2004	金属製品検査書類	Metallic Products - Types of Inspection Documents	2004	品質の証明	タイプ 3.1 材料証明書が付属
GB/T 3459-2017	タングステン粉末	Tungsten Powder	2017	原材料の純度	純度>99.95% 粒子サイズは 10-50μm です
GB/T 4181-2017	タングステンロッド	Tungsten Bars	2017	表面品質、純度	酸化物フリー、純度>99.95%
GB/T 4197-2017	タングステン	Tungsten Wire	2017	ワイヤー切断、電子工学	引張強度 2000-2500MPa
GB/T 17492-2019	タングステンおよびタングステン合金の化学分析法	Chemical Analysis Methods for Tungsten and Tungsten Alloys	2019	不純物管理	鉄<30ppm、鉛<10ppm
GB/T 43293-2023	タングステンフィラメントの高温性能の試験方法	Test Method for High-Temperature Properties of Tungsten Wire	2023	核融合アプリケーション	失重率 <0.5 mg/cm ² /h
GB/T 41319-2022	太陽光発電用のタングステンフィラメント仕様	Specification for Tungsten Wire in Photovoltaic Applications	2022	太陽光発電の切断	直径 20-50μm、断絲率<0.8%
YS/T 1356-2020	タングステンフィラメントの技術的条件	Technical Conditions for Tungsten Wire	2020	太陽光発電、ガラス加工	切割寿命 >120h 缺陷<0.5μm
GJB 9001C-2017	軍用製品の品質管理システム	Quality Management System Requirements for Military Products	2017	軍事用途	軍事検査証明書が付属

著作権および法的責任に関する声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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

5.4 規格の適用と見通し

これらの規格は、耐切削性タングステンワイヤー業界で複数の役割を果たしています。ISO 9001 と GB/T 4197 は生産の一貫性を確保し、AMS 7880 と ISO 10993 は航空宇宙や医療などのハイエンドのニーズを満たし、EN 10204 と YS/T 1356 は市場の信頼を高めます。将来的には、技術の進歩(3D プリントタングステンフィラメント、ナノスケールアプリケーションなど)と学際的な拡大(量子コンピューティング、深宇宙探査など)により、新しい標準は超微細サイズ制御(直径<0.5 μ m)、低温脆性への耐性、超高真空性能、およびカーボンフットプリント管理に焦点を当てます。

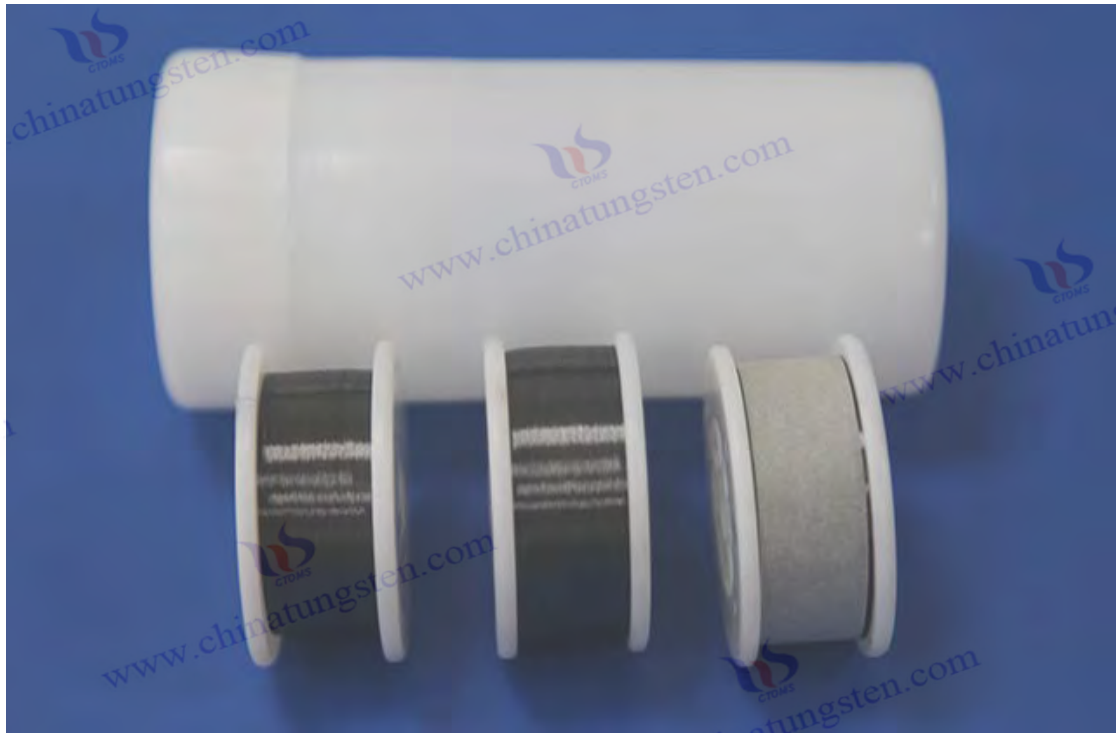
- **将来のトレンド:**

ナノタングステンフィラメントの国際規格は 2027 年に導入される可能性があり、 $\pm 0.1\mu\text{m}$ の直径公差と表面の原子レベルの平滑化が必要であり、量子デバイスへの応用が促進されています。

太陽光発電業界では、ウェーハの損失を減らし、GB / T 41319 の改訂を促進するために、タングステンワイヤー切断効率を 15% 向上させる必要がある場合があります。軍事産業と核融合分野は、耐放射線性と高温安定性にもっと注意を払い、<3% の性能減衰を必要とします。

- **コストとベネフィット:**

認証コスト(2,000 万~120 万元)は生産負担を増加させますが、製品の品質と市場アクセスを改善することで、間接的に手直しコスト(年間約 50~600,000 元)を削減します。規格の国際化とローカリゼーションは、タングステンワイヤー産業の発展をより高い技術レベルと幅広い応用分野に促進します。



著作権および法的責任に関する声明

CTIA GROUP LTD Cut-Resistant Tungsten Wire Introduction

1. Overview of CTIA GROUP LTD Cut-Resistant Tungsten Wire

Cut-Resistant Tungsten Wire is a high-performance industrial material made from high-purity tungsten powder through advanced powder metallurgy and precision wire-drawing processes. With outstanding high strength, wear resistance, and high-temperature stability, it is widely used in photovoltaic, semiconductor, aerospace, and electronic equipment industries. It excels particularly in high-precision wire-cutting applications.

3. Production Process of CTIA GROUP LTD Cut-Resistant Tungsten Wire

Raw Material Selection: Uses high-purity tungsten powder.

Powder Metallurgy: High-temperature sintering and multiple forging processes produce dense tungsten rod billets.

Precision Wire Drawing: Multi-stage wire drawing with diamond dies ensures high-precision dimensional control.

Heat Treatment: Optimized grain structure through precise annealing processes enhances tungsten wire toughness and strength.

Surface Treatment: Electrolytic polishing technology ensures a defect-free, highly smooth tungsten wire surface.

4. CTIA GROUP LTD Cut-Resistant Tungsten Wire Specifications

Item	Standard
Diameter (μm)	15-35 (Customizable)
Density (g/cm^3)	19.3
Tensile Strength (N/mm^2)	3600-4000
Vickers Hardness (HV)	800-850
Elongation	1%-3%
Tensile Force (N)	0.67-3.65

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com Tel.: +86 592 5129595, 5129696

For more information on cut-resistant tungsten wire, please visit website: www.tungsten.com.cn.

For market updates and real-time information, scan the following QR code to follow our WeChat official account: "chinatungsten".



著作権および法的責任に関する声明

第6章 耐切創性タングステンワイヤーの応用

6.1 ワイヤーカット

タングステンワイヤーは、その優れた強度、耐摩耗性、導電性により、ワイヤー切断の分野、特にワイヤーEDMやダイヤモンドワイヤーソーイングで特に優れており、精密製造に欠かせない材料となっています。

6.1.1 電火花線切割(EDM)

6.1.1.1 EDMで中心的な役割を果たす耐切創性タングステンワイヤー

ワイヤー放電加工は、放電を使用して材料をアブレーションし、高硬度の金属や複雑な形状の部品を加工します。電極には耐切創性タングステン線を使用しており、優れた導電性と高温耐性により、高周波パルス放電下でも安定した動作を維持できます。従来の銅線や真鍮線と比較して、タングステン線は放電中に溶けたり壊れたりしにくく、ダイス鋼、チタン合金、超硬合金などの難削材の加工に特に適しています。その小径と高精度により、狭い隙間や鋭いエッジやコーナーなどの最小の特徴も加工することができ、高精度を求める現代の製造業の厳しい要求に応えることができます。

6.1.1.2 高精度金型製造の利点

金型製作では、耐切創性タングステンワイヤーは無敵の利点を示しています。金型業界では、滑らかな加工面と高い幾何学的精度が必要であり、タングステンワイヤーの高い耐久性と安定性により、これらの要件が確実に満たされます。他の電極材料と比較して、タングステンフィラメントは複数の放電サイクルでの損失が非常に少ないため、電極交換による生産中断が減少します。さらに、その表面仕上げは、完成した金型の品質を大幅に向上させることができ、自動車のスタンピング金型、射出成形金型、航空宇宙部品金型の加工によく使用されます。例えば、精密プレス金型の製造では、タングステンワイヤーは複雑な輪郭を切断してダイエッジのシャープネスと一貫性を維持することができ、それによってダイの耐用年数を延ばし、プレス部品の合格率を向上させます。

6.1.1.3 複雑な形状の金属部品の加工ケース

耐切創性タングステンワイヤーは、複雑形状部品の加工に豊富な応用例があります。航空宇宙分野では、タングステンワイヤーを使用してタービンブレードの金型を作成し、機械加工プロセス中の放電パラメータを正確に制御することにより、ブレードルートの複雑な曲面を切断でき、完成品は非常に高精度であり、誤差はミクロンの範囲にとどまります。この高精度加工により、その後の研磨作業の時間を短縮し、全体の効率を約20%向上させます。医療機器の製造では、タングステンフィラメントは、膝関節置換術用の小さな穴やノッチなどの整形外科インプラントの製造に使用されています。放電周波数と電流を最適化することにより、タングステンワイヤーはチタン合金の加工で優れた性能を発揮し、完成品の合格率は98%を超え、スクラップ率を大幅に低減します。これらのケースは、ハイテク分野におけるタングステンワイヤーの柔軟性と信頼性を十分に示しています。

著作権および法的責任に関する声明

6.1.2 ダイヤモンドワイヤーソー切断

6.1.2.1 ダイヤモンドワイヤーソーの基材としてのタングステンワイヤー

ダイヤモンドワイヤーソーは、タングステンワイヤーの表面にダイヤモンド粒子を付着させて作られ、硬い材料を切断するために使用されます。基材として、耐切断性タングステンワイヤーは、高速切断による張力と摩擦に耐えることができ、ダイヤモンド粒子がしっかりと付着し、効果的に機能することを保証します。鋼線基板と比較して、タングステン線の高い靱性と耐食性により、特に湿潤または酸性環境での長期運転でより安定しています。その微細な直径と均一性により、ワイヤーソーは柔軟性が向上し、複雑な形状や極薄の材料を切断できるため、現代の切断技術に欠かせないものとなっています。



6.1.2.2 半導体ウェーハおよび太陽電池シリコンウェーハの高精度切断

半導体および太陽光発電業界では、ダイヤモンドワイヤーソーはタングステンワイヤーを基材として使用し、シリコンウェーハや太陽光発電ウェーハの切断に広く使用されています。ウェーハの厚さは、チップ製造と太陽電池の高性能要件を満たすために、ミクロン範囲で正確に制御する必要があります。タングステンワイヤーの高い耐摩耗性がワイヤーソーを支え、高速運転時の安定性を維持し、切断面は平らで亀裂がありません。例えば、太陽電池の製造では、タングステンワイヤーソーは、多結晶シリコンインゴットをそれぞれ約 150 ミクロンの厚さのウェーハに切断することができ、1 時間あたり 500 個以上の処理能力を持ち、スクラップ率は 5% 未満に減少します。この効率的な切断は、材料の利用を改善するだけでなく、太陽光発電産業の発展を低コストと高効率の方向に促進します。また、半導体ウェーハダイシングでは、タングステンワイヤーソーがウェーハ径 150mm から 300mm へのアップグレードをサポートし、歩留まりを 95% 以上に向上させ、チップ製造を確実なサポートを提供します。

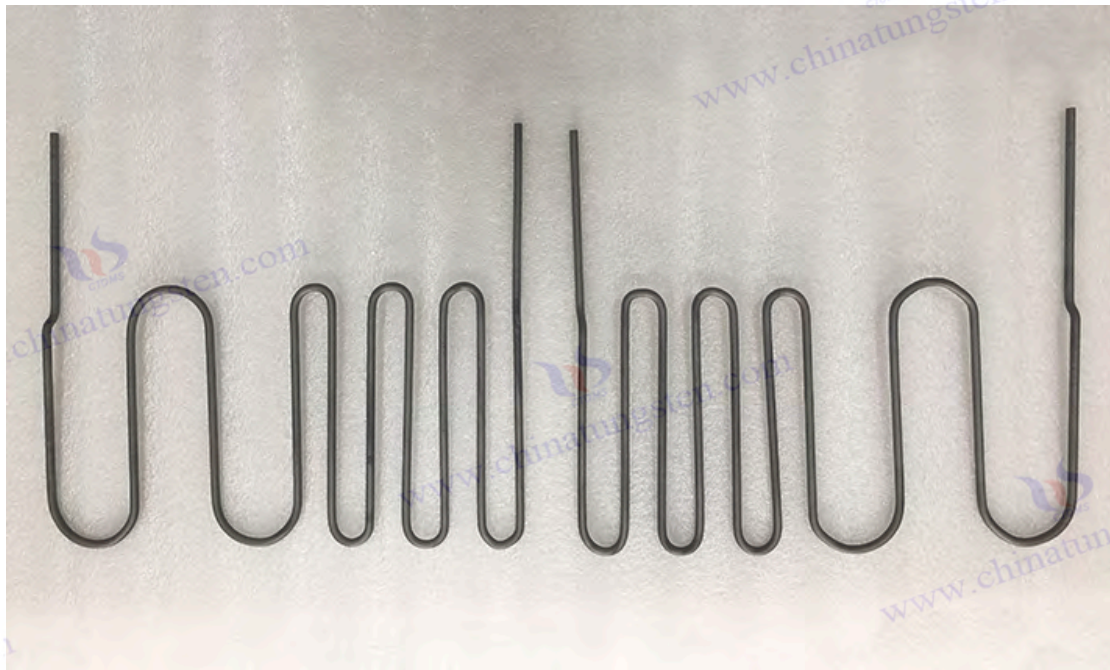
著作権および法的責任に関する声明

6.1.2.3 石材や陶磁器などの硬質材料の切削加工

タングステンダイヤモンドワイヤーソーは、石材やセラミック加工の分野でも欠かせません。大理石、花崗岩、その他の石を切断する場合、タングステンワイヤーの高強度により、ワイヤーソーが高張力で破損しないことが保証され、切断速度は毎分 15~20 メートルに達することができ、完成したプレートの厚さは均一であり、建物の装飾や彫刻産業に適しています。例えば、イタリアのカラーラ大理石鉱山では、タングステンワイヤーソーを使用して大きな石片を採掘・加工しており、1 回の切断面積は 1,000 平方メートルを超え、従来のワイヤーソーよりもはるかに効率的です。セラミック加工では、タングステンワイヤーソーはアルミナや窒化ケイ素などの高硬度材料を切断し、仕上げられたエッジは欠けることなく滑らかであり、これは電子セラミック基板の製造によく使用されます。たとえば、5G 通信機器の製造では、タングステンワイヤーソーは、高周波信号伝送の厳しい要件を満たす直径 0.1mm の基板のマイクロホール処理を完了します。これらの用途は、硬質材料加工におけるタングステンワイヤーの汎用性と効率性を実証しています。

6.2 高温環境下の機能部品

タングステンワイヤーは、その優れた高温特性により、特に高温炉、溶射および溶接、および航空宇宙用途において、極端な条件下での機能部品に最適な材料です。



6.2.1 高温炉の発熱体

6.2.1.1 真空または不活性ガス炉でのタングステンワイヤーの適用

真空または不活性ガス保護を備えた高温炉では、耐切断性タングステンワイヤーが発熱体として機能し、最大 2500°C の極端な温度で安定して動作することができます。その高い熱伝導率は急速な温度上昇をサポートし、半導体ウェーハのアニール、金属焼結、セラミ

著作権および法的責任に関する声明

ック硬化などのプロセスで一般的に使用されています。 ニッケルクロム合金などの従来の加熱材料と比較して、タングステンワイヤーの低蒸気圧と耐酸化性により、真空環境での耐久性が向上し、高温揮発による炉環境の汚染を回避できます。例えば、シリコンウェーハ焼鈍炉では、タングステンワイヤー発熱体が数秒で温度を 2000°C 以上に上昇させることができるため、ウェーハの結晶構造を迅速に修復し、チップの性能を向上させることができます。

6.2.1.2 高温焼鈍および焼結時の耐久性

高温焼鈍と焼結の過程で、タングステンワイヤーの耐たるみ抵抗はそのユニークな利点です。カリウムをドーピングして結晶粒の成長を抑制することにより、タングステンフィラメントは長期の高温運転後もその形状を維持でき、熱場の均一性は優れています。この特性は、タングステンワイヤー発熱体が数百時間の連続運転をサポートし、焼結完成品の密度が理論値の 99% に近く、機械的強度と透明性が医療基準を満たしているジルコニア歯科用セラミックスの製造など、セラミック焼結において特に重要です。さらに、金属粉末冶金では、タングステンワイヤー発熱体を使用してタングステン合金部品を焼結し、部品内部に多孔性がなく、航空宇宙の高い信頼性要件を満たします。これらの用途は、高温プロセスにおけるタングステンワイヤの耐久性と安定性を実証しています。

6.2.2 溶射および溶接サポート

6.2.2.1 プラズマ溶射におけるタングステンフィラメント部品

プラズマ溶射では、高温プラズマアークを使用して、耐摩耗性または耐食性のコーティングを堆積し、3000°C を超える局所的な高温に耐えることができる電極または支持体として耐切断性タングステンワイヤーを堆積させます。その耐久性と耐酸化性により、スプレープロセスの継続性が確保され、航空エンジンブレードや工業用金型の表面強化に一般的に使用されています。例えば、タービンブレードの溶射では、タングステンフィラメント部品がセラミックコーティングの堆積をサポートし、コーティングの厚さは 0.2~0.5mm に均一に制御され、ブレードの高温耐食性が 30% 以上向上します。他の材料と比較して、タングステンワイヤーの高い融点と安定性により、部品の交換頻度が減り、製造コストが大幅に削減されます。

6.2.2.2 タングステン不活性ガスシールド溶接(TIG 溶接)の電極線。

TIG 溶接では、耐切削性タングステンワイヤを電極として使用して、ステンレス鋼、アルミニウム合金、チタン合金などの溶接材料に安定した高温アークを提供します。トリウムまたはランタンドープタングステンワイヤーは、アークをより迅速に開始し、電子放出効率を向上させることにより溶接精度を高くします。この特性は、圧力容器や航空宇宙部品の製造において特に重要です。例えば、航空油圧パイプの製造では、タングステンワイヤー電極は最大 10 メートルの長さのシームレス溶接で完成し、溶接強度は母材の 98% に近く、非常に高い欠陥のない率で実現しています。また、海洋産業では、タングステン線電極が厚板ステンレス鋼の溶接をサポートし、溶接部の耐食性は海洋環境のニーズを満たし、要求の厳しい溶接での信頼性を示しています。

著作権および法的責任に関する声明



6.2.3 航空宇宙高温部品

6.2.3.1 ロケットエンジンノズルのタングステンワイヤー補強

ロケットエンジンのノズルは、高温ガス侵食と極端な熱応力に耐える必要があり、タングステンワイヤーは切断に耐性があり、複合材料をドーピングすることによりレニウム元素で強化され、 2000°C を超える優れた機械的特性を維持します。酸化防止コーティングを施すことで、ノズルの寿命がさらに延び、数百回の着火サイクルに耐えることができます。例えば、固体ロケットエンジンでは、タングステン線強化ノズルは複数回の地上試験で亀裂やアブレーションを示さず、スロート径のばらつきも 0.1mm 未満であったため、推力安定性が確保されました。この材料は高い信頼性を備えているため、深宇宙探査ミッションの重要なコンポーネントとなっています。

6.2.3.2 電気スラスタのタングステンワイヤーカソード

ホールスラスタやイオンスラスタなどの電動スラスタでは、耐切削性タングステンフィラメントをカソードとして使用して、効率的な電子放出を提供し、宇宙船の軌道調整と姿勢制御をサポートします。ランタンドープタングステンワイヤーの高い発光効率とイオン衝撃耐性により、 2000°C で 1000 時間以上動作できます。たとえば、静止通信衛星では、タングステンカソードが推進システムを支えて 10,000 回のパルス点火を完了し、推進効率を 15% 向上させ、衛星の軌道上での寿命を延ばします。さらに、深宇宙探査機では、タングステンワイヤーカソードの安定性により、真空環境でのスラスタの長期運転が保証され、惑星探査ミッションの成功裏の実施が促進されます。

6.3 電子および電気的アプリケーション

耐切断性タングステンワイヤは、その電気伝導性、高温性能および安定性のために電子お

著作権および法的責任に関する声明

よび電気分野で好まれており、電子ビーム装置、真空装置および照明システムで広く使用されています。

6.3.1 電子線・X線装置

6.3.1.1 電子顕微鏡、X線管のタングステンフィラメント

電子顕微鏡や X 線管は、電子放出源としてタングステンフィラメントに依存しており、その高い融点と発光効率は理想的な選択肢です。タングステンフィラメントは 2500°C で安定しており、寿命は数千時間であるため、材料科学や医療画像処理で一般的に使用されています。例えば、走査型電子顕微鏡(SEM)では、トリウムをドーピングしたタングステンフィラメントが 10 ナノメートルの分解能でイメージングをサポートし、研究者がナノ材料の表面トポグラフィーを分析するのに役立ちます。X 線管では、タングステンフィラメントが CT スキャン装置に使用されており、強力な X 線透過性と高い画像鮮明さを生み出し、肺疾患の診断に広く使用されており、医療診断の精度を大幅に向上させます。

6.3.1.2 電子ビーム溶接における高温源

電子ビーム溶接は、タングステンフィラメントを使用して高温の電子ビームを生成し、溶接の深さと精度は従来の方法よりもはるかに優れています。タングステンフィラメントの高い安定性により、航空宇宙産業や自動車産業で一般的に使用されている正確な電子ビーム集束が保証されます。例えば、航空エンジンのタービンディスクの製造では、タングステン電子ビームを使用して、溶接深さが最大 50 mm、母材の 95%に近い強度の深部チタン合金板を溶接します。自動車製造では、タングステンワイヤーがアルミニウム合金のボディ部品の溶接をサポートし、溶接シームには多孔性がないため、軽量設計のニーズを満たしています。これらの用途は、高精度溶接におけるタングステンワイヤのかけがえのないものを実証しています。



著作権および法的責任に関する声明

6.3.2 真空装置

6.3.2.1 真空蒸着のタングステンワイヤー蒸着ポート

真空蒸着では、タングステンワイヤー蒸着ポートを使用して金属を蒸発させ、薄膜に蒸着し、光学および電子産業で広く使用されています。タングステンフィラメントの高温耐性と低蒸気圧により、蒸発プロセスにおける高効率とフィルムの均一性が保証されます。例えば、光学レンズコーティングでは、タングステンフィラメント蒸発ポートが反射防止コーティングの複数の層を堆積させ、反射率が1%未満に減少し、レンズの光透過率が向上します。半導体製造では、タングステンフィラメントは銅またはアルミニウムの薄膜形成をサポートし、膜厚の均一性は $\pm 2\%$ に制御され、集積回路の高性能要件を満たしています。これらの特性により、タングステンフィラメントは真空コーティング技術の重要なコンポーネントとなっています。

6.3.2.2 質量分析計のタングステンフィラメント源

質量分析計では、タングステンフィラメントイオン源が分子質量分析のために安定したイオン電流を生成します。その高い温度耐性と放射安定性により、高精度な検出をサポートします。たとえば、環境モニタリングでは、タングステンフィラメントイオン源は、大気中の揮発性有機化合物(VOC)を ppb 感度で分析し、汚染源の特定を支援します。食品安全の分野では、タングステンフィラメントは食品中の残留農薬の検出をサポートし、検出限界は食品安全基準を確保するために ng レベルと同じくらい低くなっています。これらのアプリケーションは、科学研究や工業試験におけるタングステンフィラメントの高い信頼性を実証しています。

6.3.3 照明とディスプレイ

6.3.3.1 高輝度放電ランプ(HID ランプ)のタングステン電極。

キセノンランプなどの高輝度放電ランプは、タングステン電極を使用して高輝度光源を提供し、自動車の照明や投影機器に広く使用されています。タングステン電極は、2000 時間以上の寿命とワットあたり最大 100 ルーメンの明るさで 2000°C で動作することができます。例えば、自動車のヘッドライトでは、タングステン電極が高速起動と安定した光出力をサポートし、夜間の視認性を最大 50% 向上させ、運転の安全性を向上させます。シネマプロジェクターでは、タングステン電極が高輝度光源を提供し、画像の明るさと色再現を確保します。

6.3.3.2 白熱灯およびハロゲンランプのタングステンフィラメント

白熱灯やハロゲンランプの中でも、タングステンフィラメントは高温性能と耐久性に優れています。ハロゲンサイクリング技術は、タングステンの揮発を減らし、フィラメントの寿命を数千時間に延長します。たとえば、ハイエンドのハロゲンランプでは、タングステンフィラメントは 2600°C で動作し、3200K の安定した色温度を持ち、スタジオ照明で広く使用されており、柔らかく連続的な光源を提供します。家庭用白熱灯では、タングステンフィラメントが長時間の照明をサポートし、従来の照明器具の古典的な選択肢に

著作権および法的責任に関する声明

なります。これらの用途は、照明分野におけるタングステンフィラメントの永続的な魅力を示しています。



6.4 医療および科学機器

耐切削性タングステンフィラメントは、その高い精度と安定性で医学および科学研究分野の特別なニーズを満たし、手術器具や分析機器に広く使用されています。

6.4.1 手術器具

6.4.1.1 電気外科におけるタングステン電極

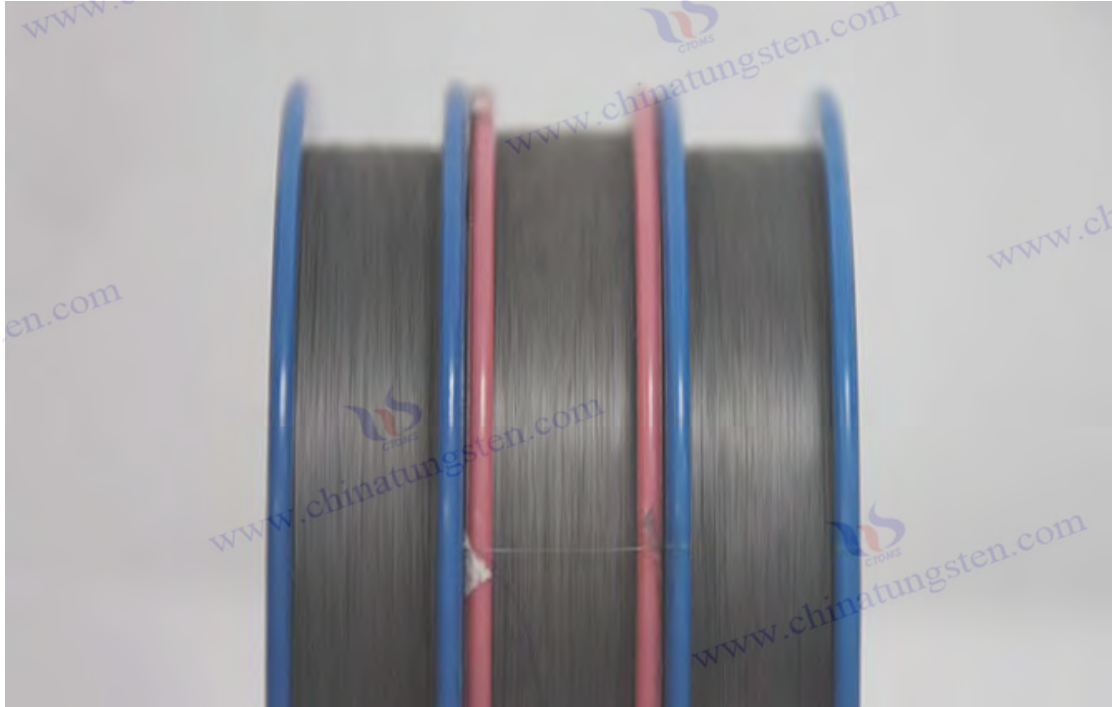
電気外科手術では、組織を切断および凝固させるための電極として、耐切断性タングステンワイヤーが使用されます。その高強度と高温耐性により、腫瘍切除や心臓手術で一般的に使用される正確で効率的な切断プロセスが保証されます。例えば、肝臓がんの切除手術では、タングステン電極は高周波電流で組織分離を完了し、創傷面積を 30% 減少させ、術後の回復時間を 20% 短縮することができます。その高い表面仕上げにより、組織の付着が減少し、手術の安全性が向上します。さらに、タングステン電極は、心臓バイパス手術における微小血管の正確な治療をサポートし、出血のリスクを大幅に低減します。

6.4.1.2 低侵襲手術における高精度切断ライン

低侵襲手術では、タングステンワイヤーを切断線として使用し、脳神経外科や眼科などの高精度な分野に適しています。タングステンフィラメントの微細な直径と耐食性により、複雑な手術に優れています。例えば、白内障手術では、タングステンワイヤー切断ワイヤーを使用して曇ったレンズを分割し、手術時間を 10 分に短縮し、患者の視力回復率は

著作権および法的責任に関する声明

95%以上です。脳神経外科では、タングステンワイヤー切断ラインは、脳組織の小さな切開を最大 0.1mm の精度で完了し、周囲の健康な組織への損傷を回避し、低侵襲技術の重要な補助具になります。



6.4.2 分析機器

6.4.2.1 質量分析計のタングステンワイヤー検出器

質量分析計では、タングステンフィラメント検出器は、その高い耐熱性と高速応答特性により、高精度の分析をサポートします。創薬では、タングステンフィラメント検出器は、ピコグラムレベルまで検出限界を持つ代謝物を分析し、研究者が *in vivo* で薬物代謝経路を特定するのに役立ちます。地質学的研究では、タングステンフィラメントは、岩石中のウラン-鉛比の決定などの同位体分析を 0.01% の精度でサポートし、地球の年齢を決定するための信頼性の高いデータを提供します。その長寿命と高感度により、分析分野の中核コンポーネントとなっています。

6.4.2.2 熱重量分析装置の高温タングステンワイヤーサンプルホルダー

熱重量分析装置では、タングステンワイヤーサンプルホルダーは 2500°C で動作でき、強力な負荷容量と高い質量安定性を備えています。その耐酸化性により、高温試験の精度が保証されます。例えば、ポリマー熱分解研究では、タングステンワイヤーサンプルホルダーが 2000°C まで加熱されるサンプルをサポートし、0.5% 未満のデータ偏差で熱重量曲線を記録し、材料の熱安定性の分析に役立ちます。セラミックスの研究開発では、タングステンワイヤーサンプルホルダーは高温焼結サンプルを運び、完成品の性能試験結果

著作権および法的責任に関する声明

は 98% の理論値と一致しています。

6.4.3 生物医学研究

6.4.3.1 セルエレクトロポレーションにおけるタングステン電極

細胞エレクトロポレーションでは、タングステンワイヤー電極を遺伝子導入に使用し、高電圧パルスで細胞膜を貫通します。その導電性と安定性により、複数の実験が可能です。例えば、CRISPR 遺伝子編集では、タングステンワイヤー電極が細胞膜穿孔を完了し、トランスフェクション効率が 85% と高いため、遺伝子導入の成功率が大幅に向上します。幹細胞研究では、タングステンワイヤー電極が大規模な細胞プロセッシングをサポートし、トランスフェクションの一貫性を 20% 向上させ、再生医療研究のための効率的なツールを提供します。

6.4.3.2 神経科学における微小電極アレイ

神経科学では、タングステン微小電極アレイを使用して、神経信号を高精度かつ低ノイズで記録します。その小さなサイズにより、脳組織に深く浸透し、単一ニューロンの活動を記録できます。例えば、マウスの大脳皮質研究では、タングステンフィラメントアレイが 20% 高い分解能で発火信号を捕捉し、学習と記憶の神経メカニズムを明らかにするのに役立っています。人間のブレインコンピューターインターフェース実験では、タングステンフィラメントアレイが運動皮質信号を記録し、ロボットアームの制御を 90% の精度でサポートし、ニューロリハビリテーション技術の開発を促進しました。



6.5 工業生産および加工サポート

耐切削性タングステンフィラメントは、繊維、食品加工、ガラスセラミックスなどの工業

著作権および法的責任に関する声明

製造における加工効率と部品の耐久性を向上させるために使用されます。

6.5.1 テキスタイルと紙

6.5.1.1 繊維機械の耐摩耗性タングステンワイヤーガイド

繊維機械では、タングステンワイヤーガイドは、その高い硬度と耐摩耗性で繊維の摩擦損失を低減します。高速織機では、タングステンワイヤーガイドは高い表面仕上げで毎分 5000 回転をサポートし、フィラメントの絡まりや破損を防ぎます。たとえば、綿紡績生産ラインでは、タングステンワイヤーガイドの寿命は 1000 時間以上で、故障率は 50% 減少し、生地の平坦性と生産効率が向上します。羊毛業界では、タングステンワイヤーガイドがロービング加工をサポートし、バリを減らし、ハイエンドテキスタイルの品質を向上させます。

6.5.1.2 抄紙機のタングステンワイヤーアクセサリ

抄紙機では、タングステンワイヤー補助部品(ガイドワイヤーリングなど)は、高温多湿の環境で安定して動作でき、耐食性に優れています。高速抄紙機では、タングステンフィラメント部品が紙の平坦性を最大 99% サポートし、摩耗や損傷によるダウンタイムを削減します。例えば、新聞用紙の生産ラインでは、タングステンガイドワイヤーループは、6 ヶ月以上の運転後に性能を維持し、メンテナンスの頻度は 30% 減少します。アート紙の製造では、タングステンフィラメントコンポーネントにより、紙の表面が完璧で、ハイエンド印刷のニーズを満たすことができます。

6.5.2 食品加工

6.5.2.1 食品切断ラインの耐食性タングステンワイヤー

食品加工では、タングステンワイヤー切断ラインは、その耐食性と高精度により、肉、チーズ、野菜の切断に適しています。タングステンフィラメントは、酸性または湿度の高い環境で長期間使用でき、高い切断精度と完成品の強力な一貫性を備えています。たとえば、自動スライサーでは、タングステンワイヤーで毎分 200 個の肉を切断し、厚さが均一で、合格率が 98% 以上であるため、食品加工の効率が向上します。チーズ製造では、タングステンフィラメント切断ラインは、包装と美的ニーズに合わせて複雑な形状を切断し、スクラップ率を最大 10% 削減します。

6.5.2.2 高温ベーキング装置のタングステンワイヤー発熱体

高温ベーキング装置では、タングステンワイヤー発熱体が均一な熱場を提供し、工業規模の食品生産をサポートします。その高い耐熱性は失敗なしで長期操作を保障する。たとえば、パンの生産ラインでは、タングステンフィラメントエレメントは、熱温度偏差が小さく、完成品の一貫した味、および効率が 15% 向上する連続ベーキングをサポートします。食肉成熟プラントでは、タングステンワイヤー発熱体が 2000°C の温度で動作するため、成熟プロセスが加速され、処理時間が 20% 短縮され、食品業界の生産能力が向上します。

著作権および法的責任に関する声明



6.5.3 ガラスおよびセラミック加工

6.5.3.1 ガラス切断における高強度タングステン線

ガラス切断では、厚板や精密加工を支える強度が高いため、耐切断性タングステンワイヤーが光学ガラスや建築用ガラスに一般的に使用されています。タングステンワイヤーは、亀裂のない平らなエッジで厚さ 10mm までのガラスシートを切断することができます。たとえば、携帯電話のスクリーンガラスの製造では、タングステンフィラメントは 1 時間あたり 1,000 個切断され、拒否率は 2% 未満であり、タッチスクリーンの高品質要件を満たしています。建物のカーテンウォールガラスの加工では、タングステンワイヤーが大型ガラスの切断をサポートし、完成品のサイズ偏差が小さいため、設置効率が向上します。

6.5.3.2 セラミック基板を切断および穿孔するためのタングステンワイヤー

セラミック基板の加工では、タングステンワイヤーが高硬度の材料(窒化ケイ素など)を切断し、完成品の滑らかなエッジと長寿命を実現します。エレクトロニクス業界では、タングステンフィラメントはマイクロホール加工されており、例えば、5G セラミック基板の製造では、タングステンフィラメントは高周波信号伝送のニーズを満たすために直径 0.1mm の穴を開けます。航空宇宙用セラミックス部品の製造では、タングステンフィラメントはタービンブレードのセラミックコーティング基板などの複雑な形状の切断をサポートし、完成品は高温耐性と強度を備えており、ハイテクセラミック加工におけるタングステンワイヤーの価値を反映しています。

6.6 エネルギーと環境保護

耐切断性タングステンワイヤーは、原子力エネルギー、再生可能エネルギー、廃棄物処理をカバーし、エネルギーと環境保護の分野での効率的な使用と環境保護をサポートします。

著作権および法的責任に関する声明

6.6.1 原子力エネルギー

6.6.1.1 原子炉のタングステンワイヤー制御部品

原子炉では、タングステンワイヤー制御部品は、その高い耐熱性と耐放射線性のために中性子の流れを調整するために使用されます。タングステンフィラメントは、2500°Cで低強度損失で動作でき、制御精度を保証します。例えば、高速中性子炉では、タングステンフィラメント部品は数年間の連続運転に耐えることができ、中性子流の調節安定性が10%向上し、原子炉の安全性が向上します。高温ガス冷却炉では、タングステンフィラメント部品は放射線と熱ストレスを受け、寿命は5年以上であるため、原子力エネルギー機器の主要な支持部品となっています。

6.6.1.2 放射線遮蔽におけるタングステン金網

タングステンワイヤーメッシュは、高密度で放射線遮蔽に使用され、人員や機器を放射線から保護します。小径のタングステンフィラメントをネット状に編み込んでいるため、軽量でシールド効率が非常に高いです。例えば、核医学機器では、タングステン金網は、従来の鉛シールドと比較して90%以上のシールド率と20%の軽量化で γ 光線をシールドします。核廃棄物の貯蔵では、タングステン金網は放射線漏れを減らし、環境の安全性を確保するための保護層として機能します。



6.6.2 再生可能エネルギー

6.6.2.1 太陽電池の製造におけるタングステンワイヤー切断

太陽電池の製造では、タングステンワイヤー切断シリコンウェーハが太陽光発電産業の効率的な発展を支えています。タングステンワイヤーの高い耐摩耗性により、安定した切断プロセスと高い歩留まりが保証されます。例えば、単結晶シリコンインゴットの切断では、タングステンワイヤーは1時間あたり600枚のウェーハを処理し、正確な厚さ制御と15%のコスト削減を実現しています。薄膜太陽電池の製造では、タングステンワイヤ

著作権および法的責任に関する声明

一切断基板材料は完成品の一貫性を 10%向上させ、再生可能エネルギーの普及と応用を促進します。

6.6.2.2 風力タービンの耐摩耗性タングステンワイヤー部品

風力タービンでは、タングステンフィラメント部品は、特に過酷な環境での耐摩耗性により、長期運転をサポートします。例えば、洋上風力発電所では、ブレード調整機構にタングステン線部品が使用されており、風による砂や塩水噴霧による侵食に耐性があり、寿命は 10 年以上です。陸上風力発電では、タングステン線の部品を減らし、メンテナンス間隔を 5 年に延長することで、風力エネルギー機器の信頼性を向上させています。

6.6.3 廃棄物処理

6.6.3.1 高温焼却炉のタングステン線発熱体

高温焼却炉では、タングステンワイヤー発熱体が効率的な廃棄物処理をサポートします。その高い耐熱性により、徹底的な焼却が保証され、医療廃棄物や産業廃棄物処理に一般的に使用されています。例えば、医療廃棄物の焼却では、タングステンフィラメント素子の動作温度は 2500°C に達し、焼却効率は 90% を超え、汚染物質の排出は 50% 減少します。有害な化学廃棄物の処理では、タングステンフィラメントは連続運転をサポートし、処理能力を 20% 増加させ、環境保護の分野での価値を反映しています。

6.6.3.2 廃水処理における電解タングステン電極

廃水処理では、タングステンワイヤー電極は、重金属や有機汚染物質を除去するための耐食性で電気分解プロセスを支えます。例えば、産業廃水処理では、タングステン線電極は鉛含有廃水を 98% の浄化率と高い電気分解効率で処理します。都市下水処理では、タングステンワイヤー電極がアンモニア態窒素を除去し、長寿命で、処理コストを削減し、水のリサイクルを促進します。

6.7 国防と安全保障

耐切削性タングステンフィラメントは、その高密度と強度により、装甲貫通材料、センシングおよび通信機器をカバーし、防衛およびセキュリティ分野での極端な要求を満たします。

6.7.1 徹甲材

6.7.1.1 タングステン強化複合装甲

タングステンワイヤー強化複合装甲は、その高密度と耐衝撃性により高速発射体に抵抗し、戦車や装甲車両の保護によく使用されます。タングステンフィラメントの高い靱性は、衝撃エネルギーを吸収し、装甲の耐久性を向上させます。例えば、主力戦車の防護では、タングステン複合層は徹甲弾に抵抗し、防護能力を 30% 増加させ、重量を 10% 削減します。軽装甲車両では、タングステンフィラメント補強材が、機動性と安全性のバランスが取れたモジュラー設計を支えています。

著作権および法的責任に関する声明

6.7.1.2 タングステンフィラメントベースの徹甲弾

タングステンワイヤーベースの徹甲弾は、その高い硬度と貫通力で対戦車兵器に使用されています。高密度のタングステンフィラメントは、弾丸コアの運動エネルギーを向上させ、複合装甲を貫通する強力な能力を持っています。たとえば、125 mm 戦車砲では、タングステンコアが 500 mm 鋼板を貫通し、命中率は 90% を超えます。携帯型対戦車兵器では、タングステンワイヤーの弾丸コアが小型化設計をサポートし、貫通力は依然として標準に達しており、現代の戦場で重要な装備となっています。

6.7.2 センシングと検出

6.7.2.1 高温センサーのタングステンワイヤーエレメント

高温センサーでは、タングステンフィラメント素子は、その高温耐性と高速応答特性により、過酷な環境モニタリングをサポートします。たとえば、ミサイルエンジンのテストでは、タングステンワイヤーセンサーがリアルタイムで温度を監視し、応答時間は 0.1 秒未満で高精度です。火山検出では、タングステンフィラメント素子は最大 2000°C の温度に耐え、溶岩温度の変化を記録し、火山活動の予測に役立ちます。これらのアプリケーションは、高信頼性センシングにおけるタングステンフィラメントの価値を実証しています。

6.7.2.2 爆発物探知装置のタングステンワイヤートリガー

爆発物探知装置では、タングステンワイヤートリガーは、その高い強度と安定性で迅速な検出をサポートします。タングステンフィラメントは、タングステントリガーが最大 ppm の感度と 1% 未満の誤警報率で微量の TNT を検出する空港のセキュリティなど、高ストレス下でも性能を維持することができます。戦場環境では、タングステンワイヤーは短いトリガー時間でポータブル検出器をサポートし、検出効率と安全性を向上させます。

6.7.3 通信機器

6.7.3.1 軍用通信アンテナの高温タングステン線

軍用通信アンテナでは、タングステンフィラメントは高温耐性があるため、極端な環境での信号伝送をサポートします。たとえば、砂漠での戦争では、タングステンワイヤーアンテナは 1500°C の温度で動作し、寿命は 5 年以上で、信号ビットエラー率は低くなっています。高高度 UAV では、タングステンワイヤーアンテナが長距離通信をサポートし、風荷重に対する強い耐性を備えているため、ミッションの成功率が保証されます。

6.7.3.2 衛星通信におけるタングステン反射ネット

衛星通信では、タングステン反射メッシュは、その高密度と反射効率で信号品質を向上させます。小径のタングステンフィラメントをウェブ状に編み込んでおり、軽量で優れた性能を発揮します。たとえば、静止衛星では、タングステン反射メッシュは信号ゲインを 10dB 増加させ、高解像度ビデオ伝送をサポートします。深宇宙通信では、タングステン金網が宇宙放射線に耐え、反射率を維持して星間探査ミッションを支援します。

著作権および法的責任に関する声明

表 6.1 耐切創タングステンワイヤーの応用分野の概要

畑	サブフィールド	代表的なアプリケーション	パフォーマンス特性	利
ワイヤーカット加工	放電加工	金型、タービンブレード	高強度、高電気伝導率	高精度と長寿命
	ダイヤモンドワイヤーソー	シリコンウエハース、石	耐摩耗性、良好な靱性	歩留まりが高く、切断面積が大きい
高温機能部品	発熱体	高温炉	高い熱伝導率、たむ防止	熱場が均一で耐久性に優れています
	溶射と溶接	TIG 焊	高融点、高発光効率	溶接部は高品質で長寿命です
	航宇	ロケットノズル	高温での優れた強度	複数の発火に強い
エレクトロニクス&電気	X線付き電子ビーム	X線管	高い排出効率、高温耐性	イメージングは鮮明で、溶接深さは大きいです
	真空装置	蒸発ポート	蒸気圧が低く、均一性が良い	コーティング効率
	照明&ディスプレイ	HID ライト	高輝度、耐食性	長寿命、安定した光出力
医療・研究	手術用ツール	低侵襲手術	高精度、耐食性	低外傷性と高い安全性
	分析機器	質量分析計	高感度と良好な安定性	正確な検出
	生物医学	エレクトロポレーション	電圧は安定しており、寿命が長い	高いトランスフェクション効率
工業生産	テキスタイル&ペーパー	ワイヤーガイド	耐摩耗性、高仕上げ	故障率が低く、平坦性が良好です
	食品加工	カッティングライン	耐酸性、高精度	完成品は一貫しています
	ガラスとセラミック	ガラス切断	高い強度と耐久性	高い処理効率
エネルギーと環境保護	核エネルギー	制御部品	耐放射線性、高密度	長寿命と優れたシールド効果
	再生可能エネルギー	ウェーハ切断	耐摩耗性、高歩留まり	低コスト
	廃棄物処理	焼却炉	高温耐性と高効率	低排出ガス
防衛・安全保障	徹甲材	弾丸コア	高い硬度と強力な浸透性	強力な保護能力
	センシング&検出	高温センサー	高速応答と高精度	高い信頼性
	通信機器	反射ネット	高反射率、高温耐性	信号品質は良好です

著作権および法的責任に関する声明

CTIA GROUP LTD Cut-Resistant Tungsten Wire Introduction

1. Overview of CTIA GROUP LTD Cut-Resistant Tungsten Wire

Cut-Resistant Tungsten Wire is a high-performance industrial material made from high-purity tungsten powder through advanced powder metallurgy and precision wire-drawing processes. With outstanding high strength, wear resistance, and high-temperature stability, it is widely used in photovoltaic, semiconductor, aerospace, and electronic equipment industries. It excels particularly in high-precision wire-cutting applications.

3. Production Process of CTIA GROUP LTD Cut-Resistant Tungsten Wire

Raw Material Selection: Uses high-purity tungsten powder.

Powder Metallurgy: High-temperature sintering and multiple forging processes produce dense tungsten rod billets.

Precision Wire Drawing: Multi-stage wire drawing with diamond dies ensures high-precision dimensional control.

Heat Treatment: Optimized grain structure through precise annealing processes enhances tungsten wire toughness and strength.

Surface Treatment: Electrolytic polishing technology ensures a defect-free, highly smooth tungsten wire surface.

4. CTIA GROUP LTD Cut-Resistant Tungsten Wire Specifications

Item	Standard
Diameter (μm)	15-35 (Customizable)
Density (g/cm^3)	19.3
Tensile Strength (N/mm^2)	3600-4000
Vickers Hardness (HV)	800-850
Elongation	1%-3%
Tensile Force (N)	0.67-3.65

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com Tel.: +86 592 5129595, 5129696

For more information on cut-resistant tungsten wire, please visit website: www.tungsten.com.cn.

For market updates and real-time information, scan the following QR code to follow our WeChat official account: "chinatungsten".

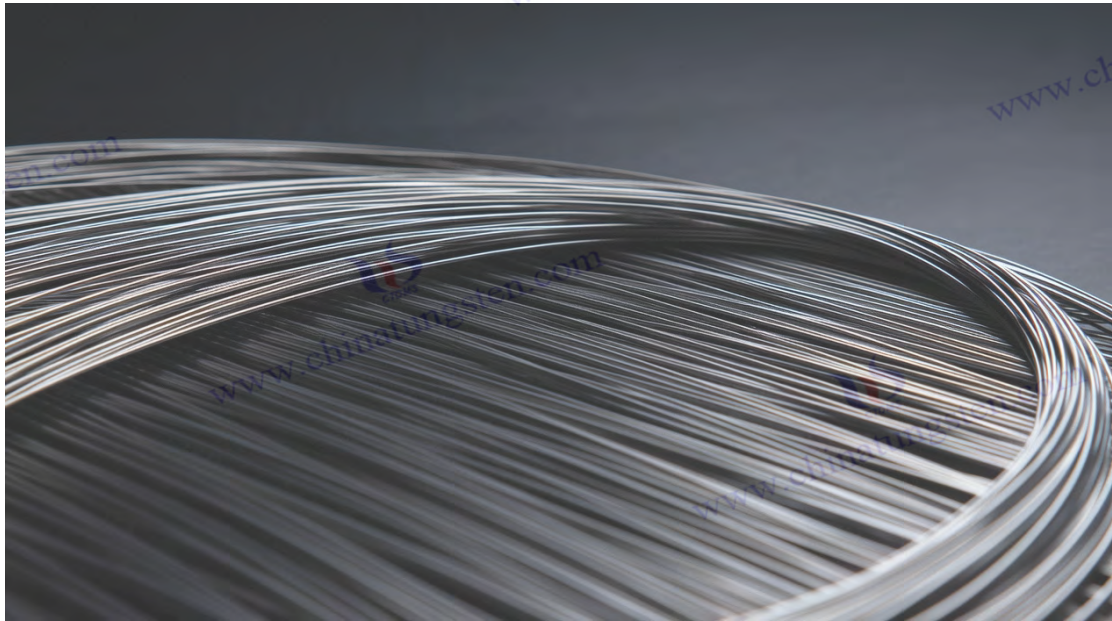


著作権および法的責任に関する声明

第7章 耐切削性タングステンワイヤーの高度なトピックと将来の動向

7.1 ナノテクノロジーとタングステンフィラメント

ナノテクノロジーの急速な発展は、切断抵抗タングステンワイヤーに新たな活力を注入し、ナノスケールのタングステンワイヤーのユニークな特性は、ハイテクの分野で幅広い見通しを示しています。



7.1.1 ナノスケールタングステンワイヤーの調製と特性

ナノスケールのタングステンフィラメントは、直径が 1~100 ナノメートルの範囲のタングステンフィラメントを指し、その調製は主に化学蒸着(CVD)、電気化学蒸着、または高エネルギー球に依存しています。研削や焼きなましなどの先端技術。従来のミクロンスケールのタングステンフィラメントと比較して、ナノタングステンフィラメントは、粒径の大幅な減少、顕微鏡スケールでの優れた電気伝導率と熱伝導率、および柔軟性と耐疲労性の向上により、より高い表面エネルギーと機械的強度を示します。例えば、CVD法で作製したナノタングステンフィラメントの破壊靱性は、ミクロンサイズのタングステンフィラメントに比べて約20%高く、粒界密度の増加と効果的な欠陥制御により、フレキシブル電子デバイスにとって理想的な材料を提供します。タングステン前駆体(WF₆など)の堆積速度とアニーリング温度の正確な制御は、調製プロセス中に重要であり、研究によると、800~1000°Cでのアニーリングは安定した単結晶構造を形成し、高温耐性をさらに向上させることが示されています。しかし、ナノタングステンフィラメントの高い表面活性は、空气中で酸化してWO₃を形成することを容易にし、その貯蔵および使用条件を制限する。

現在の研究では、収量と一貫性を向上させるための調製プロセスの最適化に焦点を当てています。例えば、タングステンナノフィラメントは、プラズマCVD(PECVD)技術を用い

著作権および法的責任に関する声明

で低温(約 600°C)で成膜することができ、エネルギー消費と装置ロスを削減することができます。また、カーボンナノチューブやグラフェンをテンプレートとして導入することで、整然と配置したタングステンワイヤーアレイを作製し、その導電率を約 15%向上させることができ、高性能導体への新たな道を切り開くことができます。最新の X 線回折 (XRD)分析では、 $\langle 110 \rangle$ 配向のタングステンナノフィラメントは、引張試験でより高い延性を示すことが示されており、これはその後のプロセス設計の理論的基礎を提供します。これらの進歩は、ナノタングステンフィラメントの調製技術が徐々に成熟し、その応用のための強固な基盤を築いたことを示しています。

表 7.1 ナノスケールタングステンワイヤーの調製方法と特性の比較

準備方法:	プロセス条件	直径範囲	パフォーマンスの大幅な改善	挑戦
化学気相沉积 (CVD)	WF ₆ 前駆体、800-1000°C でアニール	10-50 nm	破壊靱性が 20% 向上	酸化に敏感で、コストが高い
PECVD の	600°C 極低温蒸着	5-30 nm	電気伝導率が 15% 向上	機器が複雑で歩留まりが低い
電気化学堆積	電解液堆積、室温	20-80 nm	柔軟性の向上	一貫性が悪い
高エネルギーボールミル+アニーリング	機械的に粉碎され、900°C で焼きなまし	50-100 nm	表面エネルギーが増加する	粒子凝集、複雑なプロセス

7.1.2 潜在的なアプリケーションと課題

ナノスケールのタングステンフィラメントの潜在的な用途は、フレキシブルエレクトロニクス、エネルギー貯蔵、および触媒の分野に及びます。フレキシブルエレクトロニクスでは、ナノタングステンフィラメントをウェアラブルセンサーやフレキシブルディスプレイ用の導電性ネットワークに織り込むことができ、その高い柔軟性により、繰り返し曲げてもデバイスが安定して動作できます。たとえば、スマートファブリックでは、ナノタングステンワイヤ導電層が心拍数と体温をリアルタイムで監視し、応答時間は 1 ミリ秒未満、精度は±0.5%です。エネルギー貯蔵の分野では、ナノタングステンフィラメントの高い表面積により、リチウムイオン電池やスーパーキャパシタの電極材料となり、エネルギー貯蔵密度を 15%~30%増加させ、充電率を 2 倍にすることができます。触媒の分野では、ナノタングステンフィラメントの光触媒性能を使用して水を分割して水素を生成することができ、効率は従来のタングステン材料の 2 倍であり、クリーンエネルギー技術の進歩を促進します。

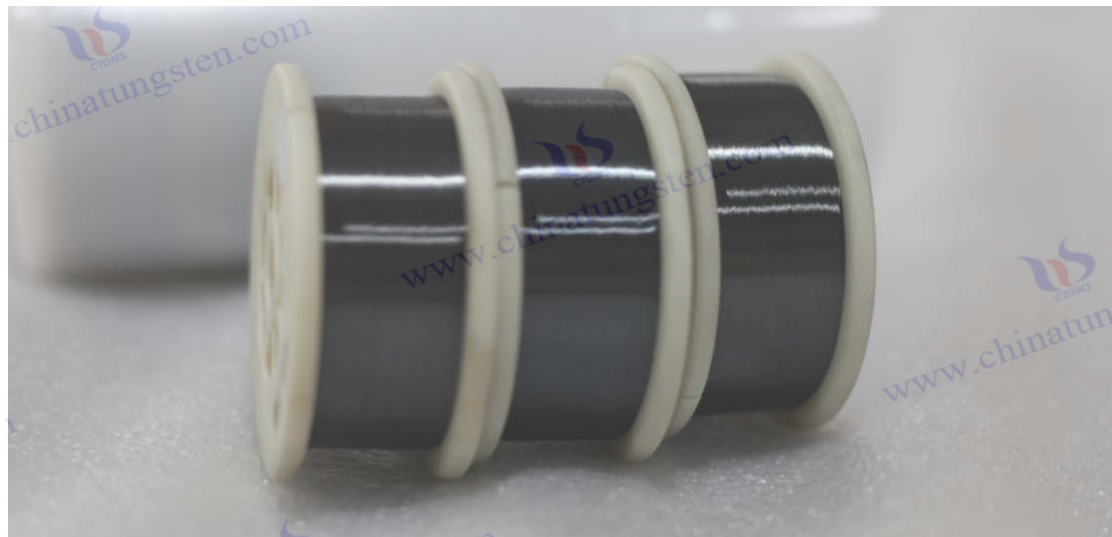
ナノタングステンフィラメントの応用可能性は、生物医学およびナノメカニカルシステムにも反映されています。生物医学分野では、表面修飾タングステンナノフィラメントを薬物送達担体として使用することができ、その高い表面積により、標的がん治療のための化学療法薬など、より多くの薬物分子をロードすることができ、放出効率が約 25%向上します。ナノメカニカルシステムでは、タングステンナノフィラメントは、ナノロボットの小さなロボットアームをサブミクロンの動作精度で駆動するなど、その高い強度と導電性により、マイクロアクチュエータのコアコンポーネントとして使用できます。しかし、

著作権および法的責任に関する声明

課題は依然として大きいです。調製コストは依然として高く、PECVD 装置と前駆体原料のコストは大規模生産を制限します。また、ナノタングステンフィラメントは高温環境や酸化環境下での安定性が不十分であり、耐久性を高めるためには酸化防止コーティングや希土類元素(ランタンなど)のドーピングが必要です。ナノ粒子は吸入や皮膚接触によって人体に毒性を与える可能性があり、最近の研究では表面不動態化によって生体活性が低下することが示唆されているため、環境の安全性も懸念されています。これらの問題は、実験室からのナノタングステンフィラメントの工業化を促進するために、材料設計、プロセス最適化、および安全性評価において段階的に解決する必要があります。

表 7.2 ナノスケールタングステンワイヤーの潜在的なアプリケーションと技術的課題

アプリケーション分野	代表的なアプリケーション	パフォーマンス上の利点	技術的な課題	解決
フレキシブルエレクトロニクス	ウェアラブルセンサー	応答時間 < 1 ミリ秒	高額な準備コスト	PECVD プロセスの最適化
エネルギー貯蔵	リチウムイオン電池用電極	エネルギー貯蔵密度が 15%-30% 増加	高温での安定性が低い	希土類元素をドーピング
触媒	光触媒による水素製造	効率を 2 倍に	酸化感受性	酸化防止コーティング
生物 医学	ドラッグデリバリービークル	リリース効率が 25% 向上	潜在的な毒性	表面パッシベーション
ナノマシンリー	ミニチュアアクチュエータ	サブミクロンの動作精度	一貫性の欠如	テンプレート支援製剤



7.2 複合材料とコーティング技術

複合材料とコーティング技術の進歩により、耐切断性タングステンワイヤーの性能の最適化がサポートされ、過酷な条件下で拡大し続ける幅広いアプリケーションでの使用が可能になりました。

著作権および法的責任に関する声明

7.2.1 タングステンワイヤー強化複合材料

タングステンフィラメント強化複合材料は、耐切断性タングステンワイヤーをセラミック、金属、またはポリマーマトリックスに埋め込むことにより、材料の全体的な特性を大幅に向上させます。 タングステンワイヤーの高い強度と靱性は、マトリックスの脆性または低温限界を効果的に補償します。例えば、タングステンワイヤー補強された陶磁器マトリックスの合成物(CMC)では、タングステンワイヤーは材料の破損の靱性を30%-50%高めるために補強段階として使用され、上部の温度抵抗は2000°Cを越えます。この材料は、ガスタービンブレードの製造など、航空宇宙分野で優れており、高速の空気洗浄や高温応力に耐えることができ、従来のセラミックスの2倍の耐用年数を備えています。金属基複合材料(MMC)では、タングステンワイヤをニッケル基合金またはチタン合金と組み合わせて、耐疲労性が40%高く、重量が10%少ない航空エンジンコネクタなどの高密度で高強度の構造部品を形成します。

製造技術の開発により、タングステンワイヤー複合材料の性能最適化がさらに促進されました。熱間静水圧プレス(HIP)プロセスは、高圧と高温(約200MPa、1800°C)を使用してタングステンワイヤを基板界面にしっかりと結合し、多孔性が1%未満に減少し、材料の信頼性が大幅に向上します。例えば、ロケットノズルでは、タングステンワイヤー強化タングステンマトリックス複合材料は、浸透プロセスを通じて勾配構造を実現し、内層は高温に耐性があり、外層は酸化に耐性があり、全体的な性能はバランスが取れています。しかし、タングステンフィラメントと基板の熱膨張係数の違いにより、界面応力が集中し、マイクロクラックが発生する可能性があります。最近の研究では、モリブデンやニオブなどの遷移層を追加したり、勾配ドーピング設計を採用したりすることで、界面応力を軽減することが提案されています。例えば、タングステン線強化ニッケル基合金では、モリブデン遷移層が界面剥離のリスクを最大30%低減し、高信頼性アプリケーション向けのソリューションを提供します。これらの技術の進歩は、タングステンフィラメント強化複合材料が高性能で幅広い用途に向かっていることを示しています。

表 7.3 タングステンワイヤー強化複合材料のマトリックスタイプと性能改善

基板タイプ	代表的なアプリケーション	パフォーマンスの向上	準備技術	インターフェースを最適化する方法
セラミックベース(CMC)	ガスタービンブレード	破壊靱性が30%~50%向上	ホット静水圧プレス(HIP)	グラジエントドーピング
金属ベース(MMC)	航空用コネクタ	耐疲労性が40%向上	粉末冶金+浸透	モリブデン/ニオブ転移層
ポリマーベース	高温シール	耐熱性は500°Cに向上しています	熱成形	サーフェスのアクティベーション

7.2.2 表面コーティングの性能向上

表面コーティング技術は、タングステンフィラメントの表面に機能層を堆積させることにより、タングステンフィラメントの耐摩耗性、耐食性、耐酸化性を大幅に向上させます。

著作権および法的責任に関する声明

一般的なコーティングには、炭化タングステン(WC)、窒化タングステン(WN)、アルミナ(Al₂O₃)があり、蒸着方法には物理蒸着(PVD)、化学蒸着(CVD)、プラズマ溶射などがあります。例えば、WCコーティングをCVDで蒸着した後、タングステンワイヤーの耐磨耗性は2~3倍に増加し、高摩擦切削工具に適しています。航空宇宙分野では、WNコーティングにより、1000°Cの空気中での酸化重量損失を従来の10分の1に抑え、高温部品の寿命を延ばします。医療分野では、ハイドロキシアパタイトでコーティングされたタングステンフィラメントは、生体適合性が大幅に向上した埋め込み型デバイスに使用できます。

コーティング技術の最近の進歩により、タングステンフィラメントはより機能的になりました。エレクトロニクス分野では、グラフェンコーティングがファンデルワールス力によってタングステンフィラメントの表面に付着し、柔軟性を保ちながら電気伝導率を約20%向上させるため、フレキシブル導体の開発に適しています。研究によると、グラフェンコーティングは熱障壁としても機能し、タングステンフィラメント表面の温度勾配を2000°Cで約15%減少させ、高温寿命を延ばすことができます。オフショアエンジニアリングでは、タングステンフィラメント表面堆積複合コーティング(WN+Niなど)は、深海機器の主要コンポーネントに適した塩水噴霧耐食性を2倍にします。しかし、コーティングの基材への接着強度はまだ最適化する必要があり、高温でのコーティング剥離の問題は完全には解決されていません。最新の研究では、WCの最下層の上にAl₂O₃の最上層を重ねるなどの多層コーティング設計を使用して、界面ストレスバッファリングを通じてスポーリング率を40%削減しています。さらに、コーティングの厚さは1~5μmの範囲で正確に制御する必要があり、太すぎるとタングステンワイヤーの柔軟性が低下し、薄すぎると十分に保護されません。これらの改善により、コーティング技術の発展は信頼性と汎用性の向上に向けて推進されています。

表 7.4 タングステンフィラメントの性能に及ぼす表面コーティングの影響

コーティングの種類	堆積方法	パフォーマンスの向上	アプリケーション分野	技術的な問題
タングステンカーバイド(WC)	CVD 検出器	耐磨耗性は2~3倍に向上します	切削工具	コーティング厚さ制御
窒化タングステン(WN)	PVD ディスプレイ	抗酸化物質の減量率が90%減少	航宇	高温での剥離
グラフェン	ファン・デル・ワールス預金	導電率が20%向上	フレキシブルエレクトロニクス	結合強度が不十分
WN+Al ₂ O ₃ 多层	CVD+PVD シリーズ	はねくれ率を40%削減	高温部品	プロセスは複雑です

7.3 将来のトレンド

耐切断性タングステンワイヤーの将来の開発は、技術革新、環境保護のニーズ、および学際的なアプリケーションの組み合わせによって推進され、印象的な見通しを示しています。

著作権および法的責任に関する声明

7.3.1 新規タングステンフィラメント材料の研究開発

新しいタングステンフィラメント材料の開発は、既存の性能限界を突破し、極端な環境のニーズに適応することを目的としています。ドーピング技術は、希土類元素(ランタン、セリウムなど)または遷移金属(レニウム、モリブデンなど)を添加して高温強度と耐酸化性を向上させることにより、コアの方向性です。その結果、2500°Cでのレニウムドーピングタングステンワイヤーのクリープ率は、純粋なタングステンよりも50%低いことが示され、航空宇宙の高温部品に新たな選択肢を提供します。ナノ構造タングステンフィラメントの開発は、自己組織化技術による多孔質タングステンフィラメントの調製など、より小型で高性能への進化を促進しており、表面積を2~3倍に増やすことで効率的な触媒担体として使用できます。

また、新しい合金タングステン線の研究も加速しています。例えば、タングステン-モリブデン-レニウム三元合金は、タングステンの高い融点、モリブデンの延性、レニウムの耐食性を兼ね備えており、その疲労寿命は純粋なタングステンよりも約60%長く、核融合装置や深宇宙検出器での使用が期待されています。さらに、アディティブマニュファクチャリング(3Dプリンティング)技術の導入は、タングステンフィラメント成形に革命をもたらしました。レーザーパウダーベッドフュージョン(LPBF)技術は、多孔質タングステンワイヤーグリッドなどの複雑なタングステンワイヤー構造を、熱管理システムに適した10%~30%の空隙率で直接印刷できます。現在の研究では、2000°Cで高強度を維持するタングステン-ニオブ-モリブデン-タンタル合金など、複数の元素の相乗作用を通じて包括的な特性を改善できるタングステンベースの高エントロピー合金(HEA)も調査されています。たとえば、3Dプリントされたタングステンフィラメントの原材料コストは、従来の伸線よりも50%高く、その産業用途を促進するには、プロセスの最適化を通じてしきい値を下げる必要があります。

表 7.5 新しいタングステンワイヤー材料の R&D の方向性と性能目標

材料の種類	R&D テクノロジー	目標のパフォーマンス	アプリケーション分野	現在の進捗状況
レニウムドーピングタングステンワイヤー	ドーピング+ドローイング	クリープ率を50%削減	航宇	小ロット生産を実現
ナノポーラスタングステンフィラメント	自己組織化+アニーリング	表面積は2~3倍に増加します	触媒担体	ラボ検証済み
タングステン-モリブデン-レニウム合金	粉末冶金	疲労寿命が60%長くなる	核融合	パフォーマンステストフェーズ
3Dプリントされたタングステンフィラメント構造	レーザーパウダーベッドフュージョン(LPBF)	気孔率 10%-30%	熱管理システム	プロセスの最適化

7.3.2 持続可能性と環境への配慮

持続可能性と環境要件は、タングステンワイヤ技術の開発の方向性に大きく影響しています。タングステンの採掘および精製プロセスは、エネルギー集約的で汚染されており、

著作権および法的責任に関する声明

将来的にはバイオリチングなどのグリーン冶金技術が必要であり、微生物を使用してタングステンを抽出し、化学試薬の使用を減らし、廃水排出量を約 70%削減します。タングステンフィラメントのリサイクルと再利用も焦点となっており、高温製錬または酸溶解プロセスを通じて廃タングステンフィラメントをリサイクルすることにより、資源利用率を 80%以上に高めることができます。例えば、インライン切断プロセスでは、タングステンスクラップワイヤーの回収率は現在わずか 30%であり、研究は、電磁分離と化学精製によって 70%に増加させることができることを示しており、一次タングステン採掘の必要性を大幅に減らすことができます。

生産プロセスにおける炭素排出制御も重要な分野です。再生可能エネルギー源(太陽光、風力など)を使用した充電面および熱処理装置は、二酸化炭素排出量を 40%~50%削減できます。例えば、ヨーロッパのタングステンワイヤー工場では、生産電力の 80%を太陽エネルギーで賄い、年間約 5,000 トンの CO₂排出量を削減しています。アプリケーション面では、放射線リスクを低減し、医療および電子産業の環境基準を満たすために、トリウム含有タングステンワイヤーをランタンドープタングステンワイヤーに置き換えるなど、毒性の低い代替材料を開発する傾向があります。さらに、タングステンフィラメントのライフサイクルアセスメント(LCA)研究では、サプライチェーンを最適化し、耐用年数を延ばすことにより、全体的な環境への影響を最大 30%削減できることが示されています。これらのグリーンテクノロジーの推進には、タングステンワイヤー産業の持続可能な発展を達成するための政策支援と産業協力が必要です。

表 7.6 タングステンフィラメントの持続可能性向上対策と効果

改善	技術的手段	みどころ	実装の難しさ	現在の状況
グリーン冶金	生物学的浸出	排水量を 70%削減	プロセススケール	実験段階
廃棄タングステンワイヤー回収	電磁分離+化学精製	回復率が 70%に増加	コストは高くなります	小規模アプリケーション
再生可能エネルギーの利用	ソーラーパワー	カーボンフットプリントを 40%-50%削減	初期投資が大きい	一部工場で実施
低毒性置換	ランタンドープタングステンワイヤー	放射線リスクの低減	パフォーマンス検証	段階的なロールアウト

7.3.3 学際的応用の探求

耐切断性タングステンワイヤーの学際的な応用は、新興分野での可能性を拡大しています。生物医学分野では、タングステンフィラメントは、一時的な血管ステントの表面修飾による分解性タングステンフィラメントの調製などの組織工学と組み合わせられています。研究によると、タングステンフィラメントの表面にあるポリ乳酸コーティングは、生体内で徐々に分解され、6か月以内に完全に分解され、血管の再生をサポートし、長期的な移植のリスクを減らすことが示されています。量子技術では、超極細タングステンワイヤーを量子コンピューティングデバイスの低温接続用の量子ワイヤーとして使用することができ、その導電性と安定性は 4K 環境で銅ワイヤーよりも優れています。たとえば、量

著作権および法的責任に関する声明

子ビット相互接続では、タングステンワイヤの伝送損失が 20%減少します。

エネルギー分野では、タングステンフィラメントは、国際熱核融合実験炉(ITER)のプラズマ閉じ込め部品など、核融合技術に役立つことが期待されています。タングステンフィラメントの高い融点と耐放射線性により、5000°C のプラズマ衝撃に耐えることができ、最新の実験では、タングステンフィラメント強化タングステンマトリックス複合材料が核融合環境でタングステンワイヤの寿命を 50%延長できることが示されています。スマートマニュファクチャリングでは、タングステンフィラメントをセンサーと統合して、摩耗状態をリアルタイムで監視することで処理パラメータを調整する適応型切削工具を開発し、効率を約 20%向上させます。たとえば、航空宇宙部品の機械加工では、適応型タングステンワイヤ切削工具が材料の硬度に応じてライン速度を動的に調整し、ワイヤの破損率を 30%削減します。さらに、宇宙探査では、タングステンフィラメントは、火星着陸船などの惑星探査機の熱保護システムに使用することができ、その高密度で高温耐性が極端な環境での構造的完全性をサポートします。これらの学際的なアプリケーションには、タングステンフィラメント技術を新たな高みに押し上げるために、材料科学、物理学、工学を深く統合する必要があります。

表 7.7 タングステンフィラメントの学際的な応用分野と主要な特性

アプリケーション分野	代表的なアプリケーション	主なパフォーマンス	技術的なニーズ	開発段階
生物 医学	生分解性ステント	6 ヶ月で分解	生体適合性	実験室での研究
量子技術	量子ワイヤ	低温損失を 20%削減	超極細サイズ	予備検証
核融合	プラズマ閉じ込め部品	50%長寿命	耐放射線性	実験的試験
スマートマニュファクチャリング	適応型切削工具	20%効率化	センサーの統合	プロトタイプ開発
宇宙探査	熱保護システム	高密度と高温耐性	構造の最適化	概念設計



著作権および法的責任に関する声明

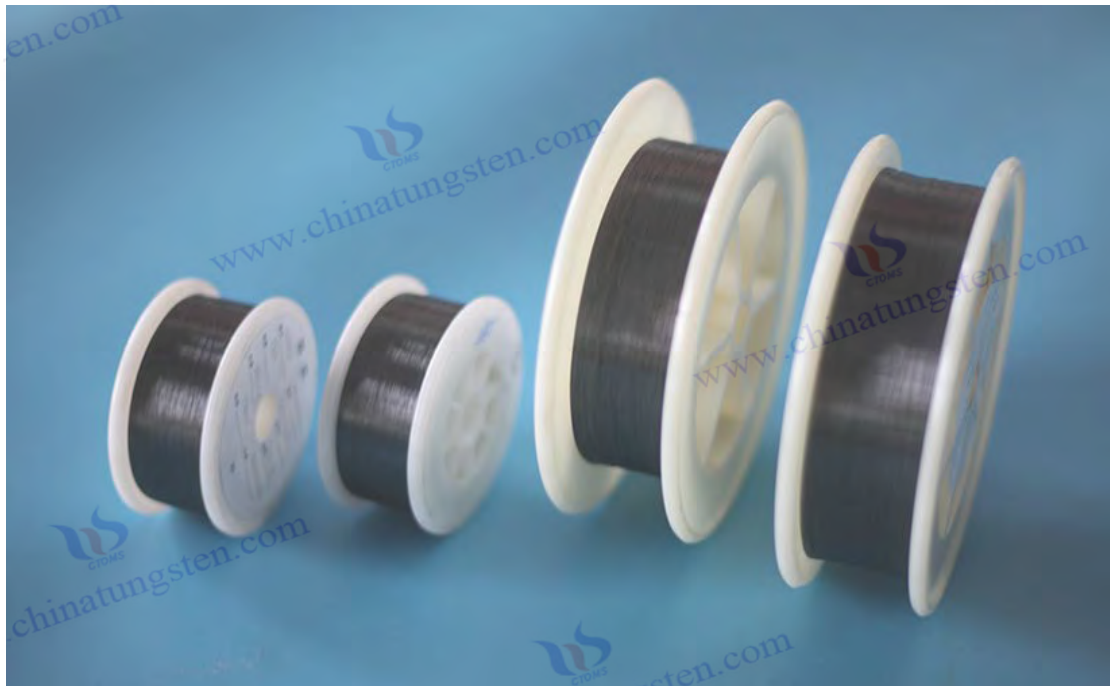
第 8 章 耐切削性タングステンワイヤーの経済・工業分析

8.1 コスト分析

高性能材料として、タングステンワイヤーの製造コストと経済的利点は、市場競争力と適用範囲に直接影響します。

8.1.1 生産コスト構成

耐切断性タングステンワイヤーの製造コストは、主に原材料、加工技術、エネルギー消費で構成されています。



Chinatungsten のオンラインデータによると、2024 年のタングステン濃縮物(WO_3 含有量 65%)の平均価格はトン当たり約 137,000 元、パラタングステン酸アンモニウム(APT)の平均価格はトン当たり約 203,000 元、タングステン粉末の平均価格は 304.5 元/kg になります。タングステン原料の会計処理は、耐切断性タングステンワイヤーの総コストの 40%~50%を占めています。加工プロセスには、粉末冶金、伸線、表面処理が含まれ、その中で伸線プロセスは、マルチパス描画と精密金型(ダイヤモンド金型など)を含み、約 25%~30%を占めるため、より高価です。エネルギー消費は主に高温焼結(2200-2500°C)と焼鈍プロセスから来ており、特にエネルギー価格が高い地域では、電気が総コストの 15%~20%を占めています。さらに、ドーピング元素(レニウム、カリウムなど)および機能性コーティング(WC、WN など)の使用は、特に高性能タングステンワイヤーの製造において、追加コストが 10%~15%に達する可能性がある、さらにコストを押し上げます。

著作権および法的責任に関する声明

コスト管理は、生産における重要な課題です。例えば、高効率焼結炉と再生可能エネルギー源の使用は、廃タングステンワイヤー(最大 70%)のリサイクルは、バージンタングステンへの依存を減らし、15%~25%で原材料コストを節約することができますが、約 20%のエネルギー料金を削減することができます。ただし、特に自動化の度合いが低い中小企業では、機器の減価償却費と人件費を見逃してはならず、これらの間接費は総コストの 10%以上を占める可能性があります。

包括的な見積もりによると、耐切断性タングステンワイヤーの製造コストは、仕様と性能要件に応じて、キログラムあたり 450~1,100 元であり、高性能ナノスケールまたは複合タングステンワイヤーのコストは 1,500~2,200 元に倍増する可能性があります。次の表に、主なコスト コンポーネントを示します。

表 8.1 耐切断性タングステンワイヤーの製造コスト構成(2025 年と見積もる)

コストカテゴリ	パーセンテージの範囲	キログラムあたりのコスト(RMB)	影響要因
タングステン原料	40%-50%	180-550	タングステン精鉱価格、供給安定性
加工技術	25%-30%	110-330	図面のパス、金型の損失
エネルギー消費	15%-20%	70-220	焼結温度、エネルギー価格
追加資料	10%-15%	50-165	ドーピング元素、コーティングタイプ
その他(減価償却費等)	10%-15%	40-165	設備の自動化、人件費
トータル	100%	450-1,100(ノーマル)	1,500-2,200 までの高性能製品

免責事項:この表のデータは、Chinatungsten Online の 2024 年の市場情報と 2025 年のトレンド予測に基づいており、原材料価格、地政学、技術の変化の影響を受ける可能性があります、参照用です。

8.1.2 コストとパフォーマンスのバランス

実際の生産では、コストとパフォーマンスのバランスがビジネス上の意思決定の中心にあります。高性能タングステンフィラメント(レニウムドープまたはナノ構造タングステンワイヤーなど)は、その優れた強度、耐摩耗性、高温安定性により、下流製品の寿命と効率を大幅に向上させることができますが、製造コストは高くなります。例えば、レニウムドープタングステンワイヤーのコストは、通常のタングステンワイヤーのそれよりも 50%-100%高いキログラムあたり約 1,500-1,700 元ですが、それは 2 倍以上で航空宇宙高温部品の耐用年数を延ばすことができます、そして間接的にメンテナンスと交換のコストを削減します。それどころか、低コストのタングステンワイヤー(純粋なタングステンワイヤーなど)は、通常のワイヤー切断加工などの性能要件が低い分野に適していますが、その耐久性と精度は限られており、ハイエンド市場のニーズを満たすことは困難です。

このバランスは、プロセスの最適化にも反映されます。たとえば、伸線パスの数を減らしたり、アニーリングパラメータを最適化したりすることで、加工コストを 10%~15%削減できますが、直径公差や表面仕上げが犠牲になり、ハイエンドのアプリケーションが損なわれます。例えば、PV 業界はコスト管理に重点を置いているのに対し、航空宇宙業界

著作権および法的責任に関する声明

はパフォーマンスの向上を優先しているなど、企業は生産戦略を策定する際に、ターゲット市場に基づいてトレードオフを行う必要があります。



8.2 市場の需要と供給

耐切断性タングステンワイヤーの市場の需要と供給パターンは、技術の進歩、工業流通、世界経済の影響を受け、ダイナミックな変化傾向を示しています。

8.2.1 世界市場の需要動向

耐切断性タングステンワイヤーの需要は、主に航空宇宙、電子機器製造、太陽光発電産業、医療機器から来ています。2025年には、世界市場の需要は年間5,000~6,000トンに達し、2020年と比較して約30%増加し、年平均成長率(CAGR)は約5%~7%になると予想されています。航空宇宙部門は、年間約1,500トンのタングステンワイヤーを消費するロケットノズルやタービンブレードなどの高温および耐摩耗性材料に依存しているため、需要の25%~30%を占める最大のドライバーです。太陽光発電業界は20%~25%を占め、太陽電池ウェーハ切断の急速な成長の恩恵を受けており、単結晶シリコンインゴットの切断需要は年間約1,200トンです。電子機器製造と医療機器はそれぞれ15%~20%を占めており、フレキシブル電子機器と低侵襲手術器具の台頭により、ナノスケールのタングステンワイヤーの需要が高まっています。

需要の伸びは、技術革新によっても推進されています。例えば、5G通信機器における高精度セラミックス基板の切断需要の増加により、ダイヤモンドワイヤーソー用タングステンワイヤーの年間需要は10%~15%増加しています。地域分布の面では、アジア太平洋地

著作権および法的責任に関する声明

域(特に中国)は、太陽光発電および電子産業の集中のおかげで、世界の需要の 50%以上を占めています。北米とヨーロッパはそれぞれ 25%と 20%を占め、ハイエンドアプリケーションに焦点を当てています。今後、スマートマニュファクチャリングや再生可能エネルギーの普及に伴い、新興市場(インドや東南アジアなど)を中心にタングステンワイヤーの需要がさらに高まると予想され、2030 年までに需要成長率は 10%を超えると予想されています。

8.2.2 サプライチェーンと主要生産者

耐切断性タングステンワイヤーのサプライチェーンは、世界のタングステンワイヤー生産の 80%以上が集中している中国によって支配されています。[CTIAGROUP](#) およびモリブデン製品の柔軟なカスタマイズのグローバルサービスを専門とし、タングステンおよびモリブデン製品業界で 30 年近く働いており、顧客のニーズに応じてさまざまな仕様、特性、サイズ、グレードのタングステンおよびモリブデン製品をカスタマイズし、処理することができます。あなたがタングステンワイヤーの購入またはカスタマイズに興味がある場合は、その詳細、市場の状況、および最新の価格については、[CTIAGROUP](#) にお問い合わせください。タングステンワイヤーと製品情報の詳細については、[当社の専門のタングステンワイヤーの Web サイト](#)をご覧ください。

8.3 業界の課題と機会

耐切断性タングステンワイヤー業界は、その急速な発展において課題と機会の両方に直面しています。

8.3.1 技術と市場競争の課題

技術的な障壁は新規参入者を制限し、ナノタングステンフィラメントの調製には、高コストの機器(700 万元以上の投資を伴う PECVD など)と認証(AMS 規格など)が必要です。ローエンド市場の利益率は競争により 5%~8%に低下し、ハイエンド市場は少数の巨人に独占されています。環境圧力によりコストが増加し、中国のコンプライアンス料金は 2025 年に 15%~20%増加すると予想されています。サプライチェーンは中国に依存しており、2024 年の輸出制限により、国際原材料価格が 10%~15%上昇し、世界の安定に影響を与えるとされています。

8.3.2 開発の機会と展望

技術の進歩は機会をもたらし、3D 印刷タングステンフィラメントは複雑な部品のコストを 30%削減し、新しい市場を開拓します。グリーン冶金(バイオリチングなど)が工業化されれば、トン当たりのコストを 10%~15%削減できます。核融合などの新興分野の需要は 50%増加しており、市場価値は 190 億元を超える可能性があります。太陽光発電企業は、タングステン製品メーカーと協力して低コストのタングステンワイヤーを開発し、技術と市場の可能性を強調しています。業界は、テクノロジー主導の変革の時代に向かっています。

著作権および法的責任に関する声明

第九章 付録

9.1 用語集

(1) Aerospace Material Specification (AMS)

A material standard established by the Society of Automotive Engineers (SAE) for high-performance materials in the aerospace industry, such as AMS 7880, which specifies the high-temperature performance of tungsten wire.

AMS（航空材料规范）

由美国航空航天学会制定的材料标准, 适用于航空航天领域的高性能材料, 如 AMS 7880 规范钨丝的高温性能。

AMS（航空材料規格）

アメリカ航空宇宙学会（SAE）によって制定された材料規格で、航空宇宙分野の高性能材料に適用され、例えば AMS 7880 はタングステンワイヤーの高温性能を規定しています。

AMS（□□ □□ □□）

□□ □□□□□□ (SAE) □□ □□□ □□ □□□□, □□□□ □□□ □□□□ □□□□ □□□□, □□ □□ AMS 7880 □ □□□ □□□□ □□ □□□□ □□□□ □□□□□□.

(2) American Society for Testing and Materials (ASTM)

An international organization that develops standards for material testing and specifications, such as ASTM B760-07, which defines the purity and performance requirements for tungsten materials.

ASTM（美国材料与试验协会）

制定材料测试和规范的国际组织, 其标准如 ASTM B760-07 规定钨材料的纯度和性能要求。

ASTM（アメリカ材料試験協会）

材料試験と規格を策定する国際機関で、その規格（例：ASTM B760-07）はタングステン材料の純度と性能要件を規定しています。

ASTM（□□ □□ □□ □□）

□□ □□ □ □□□ □□□□ □□ □□□□, □□ □□ ASTM B760-07 □ □□□ □□□ □□□ □□ □□ □□□ □□□□□□.

(3) Compound Annual Growth Rate (CAGR)

A measure of the average annual growth rate of a market or demand over a specific period, such as the CAGR of demand for cut-resistant tungsten wire.

CAGR（年复合增长率）

用于衡量市场或需求在特定时期内的平均增长率, 如耐切割钨丝需求的年复合增长率。

著作権および法的責任に関する声明

(7) International Organization for Standardization (ISO)

An organization that develops international standards, such as ISO 9001:2015, which regulates quality management systems.

ISO（国际标准化组织）

制定国际标准的机构，如 ISO 9001:2015 规范质量管理体系。

ISO（國際標準化機構）

國際規格を策定する機関で、例えば ISO 9001:2015 は品質管理システムを規定しています。

ISO（□□ □□□ □□）

□□ □□□ □□□□ □□□□, □□ □□ ISO 9001:2015 □ □□ □□ □□□□ □□□□□.

(8) Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD)

An advanced technology for preparing nanoscale tungsten wire or coatings, which deposits thin films on substrates through plasma-enhanced chemical reactions.

PECVD（等离子体增强化学气相沉积）

一种制备纳米级钨丝或涂层的先进技术，通过等离子体增强化学反应在基材上沉积薄膜。

PECVD（プラズマ強化化学気相堆積）

ナノスケールのタングステンワイヤーまたはコーティングを製造するための先進技術で、プラズマ強化化学反応により基材上に薄膜を堆積します。

PECVD（□□□□ □□ □□ □□ □□）

□□□ □□□ □□□ □□ □□□ □□□□ □□ □□ □□□, □□□□ □□ □□ □□□ □□ □□□ □□□□□.

(9) Surface Roughness (Ra)

A measure of the surface finish of a material, in micrometers (μm), with the Ra of cut-resistant tungsten wire typically controlled below 0.1 μm.

Ra（表面粗糙度）

衡量材料表面光洁度的指标，单位为微米（μm），耐切割钨丝的 Ra 通常需控制在 0.1 μm 以下。

Ra（表面粗さ）

材料の表面仕上げを測定する指標で、単位はマイクロメートル（μm）であり、耐切断タングステンワイヤーの Ra は通常 0.1 μm 以下に制御されます。

Ra（□□ □□□）

□□ □□ □□□□ □□□□ □□□, □□□ □□□□□□ (μm)□□, □□□ □□□ □□□□ Ra □ □□□□□ 0.1μm □□□ □□□□□.

(10) Scanning Electron Microscope (SEM)

A microscopy technique used to observe the surface morphology and microstructure of tungsten wire, with magnification up to 100,000 times.

SEM（扫描电子显微镜）

用于观察钨丝表面形貌和微观结构的显微镜技术，放大倍数可达 10 万倍。

SEM（走査電子顕微鏡）

タングステンワイヤーの表面形態と微細構造を観察するための顕微鏡技術で、最大 100,000 倍の拡大が可能です。

SEM（□□ □□ □□□）

□□□ □□□□ □□ □□□ □□ □□□ □□□□ □ □□□□ □□□ □□□, □□ 100,000 □□□ □□ □□□□□.

(11) Six Sigma

A quality management methodology aimed at reducing production defect rates to 3 parts per million (PPM), widely used in high-end tungsten wire production.

Six Sigma（六西格玛）

一种质量管理方法，旨在将生产缺陷率降至百万分之三（3 PPM），广泛应用于高端钨丝生产。

シックスシグマ（Six Sigma）

生産欠陥率を 100 万分の 3（3 PPM）に低減することを目指す品質管理手法で、高級タングステンワイヤー生産に広く使用されています。

□□ □□□（Six Sigma）

□□ □□□□ □□ □□ 3(3 PPM)□□ □□□ □□ □□□ □□ □□ □□ □□□□, □□ □□□ □□□ □□□ □□ □□□□□.

(12) Tungsten Inert Gas Welding (TIG Welding)

A welding technology that uses a tungsten electrode, where cut-resistant tungsten wire is often used as the electrode material.

TIG 焊（钨极惰性气体保护焊）

一种使用钨电极进行焊接的技术，耐切割钨丝常作为电极材料。

TIG 溶接（タングステン不活性ガス溶接）

タングステン電極を使用する溶接技術で、耐切断タングステンワイヤーが電極材料としてよく使用されます。

TIG □□（□□□ □□□ □□ □□）

□□□ □□□ □□□□ □□ □□□, □□□ □□□ □□□□ □□ □□□ □□ □□□□□.

(13) Nano Tungsten Wire

Ultrafine tungsten wire with a diameter ranging from 1-100 nm, possessing excellent mechanical properties and conductivity, suitable for flexible electronics and biomedical fields.

纳米钨丝

直径在 1-100 nm 范围内的超细钨丝，具有优异的力学性能和导电性，适用于柔性电子和生物医学领域。

著作権および法的責任に関する声明

ナノタングステンワイヤー

直径が 1~100nm の超細タングステンワイヤーで、優れた機械的性質と導電性を有し、フレキシブルエレクトロニクスや生物医学分野に適しています。

□□ □□□ □□□

□□□ 1~100nm □ □□□ □□□ □□□□, □□□ □□□ □□□ □□□□
□□□, □□ □□ □ □□□ □□□ □□□□□.

(14) Doped Tungsten Wire

Alloyed tungsten wire with improved performance through the addition of trace elements (such as rhenium, potassium), commonly used in high-temperature and wear-resistant applications.

掺杂钨丝

通过添加微量元素（如铼、钾）改善钨丝性能的合金化钨丝，常用于高温和耐磨应用。

ドーパタングステンワイヤー

微量元素（レニウム、カリウムなど）を添加して性能を向上させた合金タングステンワイヤーで、高温および耐摩耗用途に一般的に使用されます。

□□ □□□ □□□

□□ □□(□□, □□□)□ □□□□ □□□ □□□ □□ □□□ □□□□, □□
□ □□□ □□□ □□ □□□□□.

(15) Grain Refinement

A process that reduces the internal grain size of tungsten wire through controlled production techniques, thereby enhancing its strength and toughness.

晶粒细化

通过控制生产工艺使钨丝内部晶粒尺寸减小，从而提升其强度和韧性。

結晶粒微細化

生産プロセスを制御してタングステンワイヤー内部の結晶粒サイズを小さくし、強度と靱性を向上させるプロセス。

□□□ □□□

□□ □□□ □□□□ □□□ □□□ □□□ □□□ □□ □□□ □□□
□□□□□ □□.

(16) Heat Treatment

A process that alters the microstructure and properties of tungsten wire through heating and cooling, such as annealing to eliminate internal stress.

热处理

通过加热和冷却改变钨丝微观结构和性能的过程，如退火可消除内应力。

熱処理

加熱と冷却によってタングステンワイヤーの微細構造と特性を変化させるプロセスで、例えばアニーリングによって内部応力を除去できます。

□□□

□□□ □□□ □□ □□□ □□□□ □□ □□□ □□□ □□□□□ □□□□,

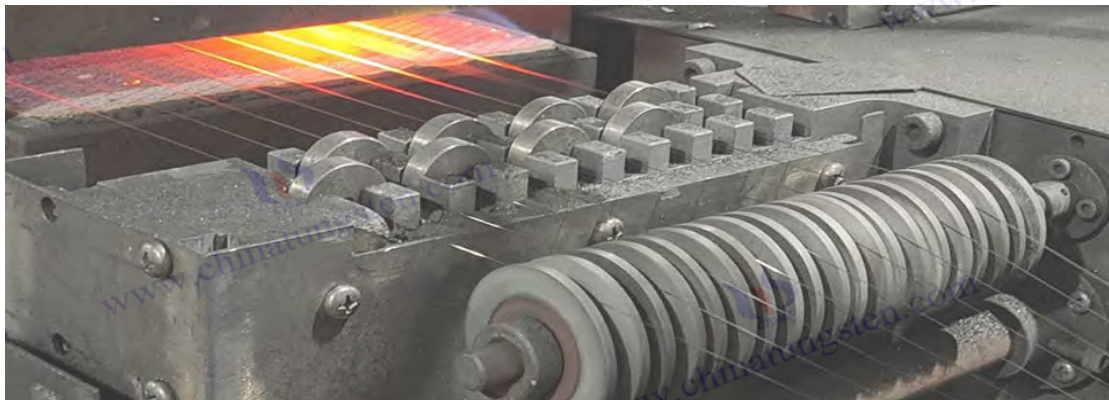
著作権および法的責任に関する声明

9.2 参考文献

- [1] ASTM International. (2019). ASTM B760-07(2019): Standard specification for tungsten plate, sheet, and foil. West Conshohocken, PA: ASTM International.
ASTM 国际. (2019). ASTM B760-07(2019): 钨板、片和箔的标准规范. 西康舍霍肯, PA: ASTM 国际.
ASTM インターナショナル. (2019). ASTM B760-07(2019): タングステンプレート、シート、フォイルの標準規格. 西コンショホーケン, PA: ASTM インターナショナル.
ASTM □□□□□. (2019). ASTM B760-07(2019): □□□ □, □□ □ □□□ □□ □□. □□□ □□□□, PA: ASTM □□□□□.
- [2] China National Standardization Administration. (2017). GB/T 4197-2017: Tungsten wire. Beijing: Standards Press of China.
中国国家标准化管理委员会. (2017). GB/T 4197-2017: 钨丝. 北京: 中国标准出版社.
中国国家标准化管理委员会. (2017). GB/T 4197-2017: タングステンワイヤー. 北京: 中国標準出版社.
□□ □□ □□□ □□ □□□. (2017). GB/T 4197-2017: □□□ □□□. □□□: □□ □□ □□□.
- [3] International Organization for Standardization (ISO). (2015). ISO 9001:2015: Quality management systems - Requirements. Geneva: ISO.
国际标准化组织 (ISO). (2015). ISO 9001:2015: 质量管理体系 - 要求. 日内瓦: ISO.
国際標準化機構 (ISO). (2015). ISO 9001:2015: 品質管理システム - 要件. ジュネーブ: ISO.
□□ □□□ □□ (ISO). (2015). ISO 9001:2015: □□ □□ □□□ - □□ □□. □□□: ISO.
- [4] International Organization for Standardization (ISO). (2018). ISO 10993-1:2018: Biological evaluation of medical devices - Part 1: Evaluation and testing within a risk management process. Geneva: ISO.
国际标准化组织 (ISO). (2018). ISO 10993-1:2018: 医疗器械的生物学评价 - 第 1 部分: 风险管理过程中的评价和测试. 日内瓦: ISO.
国際標準化機構 (ISO). (2018). ISO 10993-1:2018: 医療機器の生物学的評価 - 第 1 部: リスク管理プロセス内での評価と試験. ジュネーブ: ISO.
□□ □□□ □□ (ISO). (2018). ISO 10993-1:2018: □□ □□□ □□□□ □□ - □ 1□: □□ □□ □□ □□ □□ □□□. □□□: ISO.
- [5] International Organization for Standardization (ISO). (2019). ISO 6892-1:2019: Metallic materials - Tensile testing - Part 1: Method of test at room temperature. Geneva: ISO.
国际标准化组织 (ISO). (2019). ISO 6892-1:2019: 金属材料 - 拉伸试验 - 第 1 部分: 室温试验方法. 日内瓦: ISO.
国際標準化機構 (ISO). (2019). ISO 6892-1:2019: 金属材料 - 引張試験 - 第 1 部: 室温での試験方法. ジュネーブ: ISO.
□□ □□□ □□ (ISO). (2019). ISO 6892-1:2019: □□ □□ - □□ □□ - □ 1□: □□ □□ □□□. □□□: ISO.
- [6] Japan Industrial Standards Committee. (2002). JIS H 4461:2002: Tungsten wire. Tokyo: Japanese Standards Association.
日本工业标准委员会. (2002). JIS H 4461:2002: 钨丝. 东京: 日本标准协会.
日本工業標準調査会. (2002). JIS H 4461:2002: タングステンワイヤー. 東京: 日本標準協会.
□□ □□ □□ □□□. (2002). JIS H 4461:2002: □□□ □□□. □□□: □□ □□ □□□.

著作権および法的責任に関する声明

- [7] Lassner, E., & Schubert, W. D. (1999). Tungsten: Properties, chemistry, technology of the element, alloys, and chemical compounds. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
Lassner, E., & Schubert, W. D. (1999). 钨: 元素的性质、化学、技术、合金和化合物. 纽约: 克鲁维尔学术/普伦纳姆出版社.
Lassner, E., & Schubert, W. D. (1999). タングステン: 元素の性質、化学、技術、合金および化合物. ニューヨーク: クルーワーアカデミック/プレナム出版社.
Lassner, E., & Schubert, W. D. (1999). □□□: □□□ □□, □□, □□, □□ □□□□. □□: □□□ □□□□/□□ □□□.
- [8] Society of Automotive Engineers (SAE). (n.d.). AMS 7880: Tungsten wire high-temperature properties. Warrendale, PA: SAE International.
汽车工程师学会 (SAE). (无日期). AMS 7880: 钨丝高温性能. 沃伦代尔, PA: SAE 国际.
自動車学会 (SAE). (日付なし). AMS 7880: タングステンワイヤーの高温特性. ウォレンデール, PA: SAE インターナショナル.
□□□ □□□ (SAE). (□□ □□). AMS 7880: □□□ □□□ □□ □□. □□□□, PA: SAE □□□□□.
- [9] US Geological Survey (USGS). (2024). Mineral commodity summaries 2024: Tungsten. Reston, VA: USGS.
美国地质调查局 (USGS). (2024). 2024 年矿产商品概要: 钨. 雷斯顿, VA: USGS.
アメリカ地質調査所 (USGS). (2024). 2024 年鉱物商品概要: タングステン. レストン, VA: USGS.
□□ □□ □□□ (USGS). (2024). 2024 □ □□ □□ □□: □□□□. □□□□, VA: USGS.
- [10] Chinatungsten Online. (2024). Tungsten market report 2024. Retrieved from <http://news.chinatungsten.com/en/>
中钨在线. (2024). 钨市场报告 2024. 取自 <http://news.chinatungsten.com/cn/>
中タングステンオンライン. (2024). タングステン市場報告 2024. <http://news.chinatungsten.com> より取得.
□□□□ □□□□. (2024). □□□□ □□ □□□□ 2024. <http://news.chinatungsten.com/cn/> □□ □□□.
- [11] China Nonferrous Metals Industry Association. (2020). YS/T 1356-2020: Technical conditions for tungsten wire. Beijing: China Nonferrous Metals Industry Association.
中国有色金属工业协会. (2020). YS/T 1356-2020: 钨丝技术条件. 北京: 中国有色金属工业协会.
中国非鉄金属工業協会. (2020). YS/T 1356-2020: タングステンワイヤーの技術条件. 北京: 中国非鉄金属工業協会.
□□ □□□□ □□ □□. (2020). YS/T 1356-2020: □□□□ □□□□ □□ □□. □□□□: □□ □□□□ □□ □□□.



著作権および法的責任に関する声明