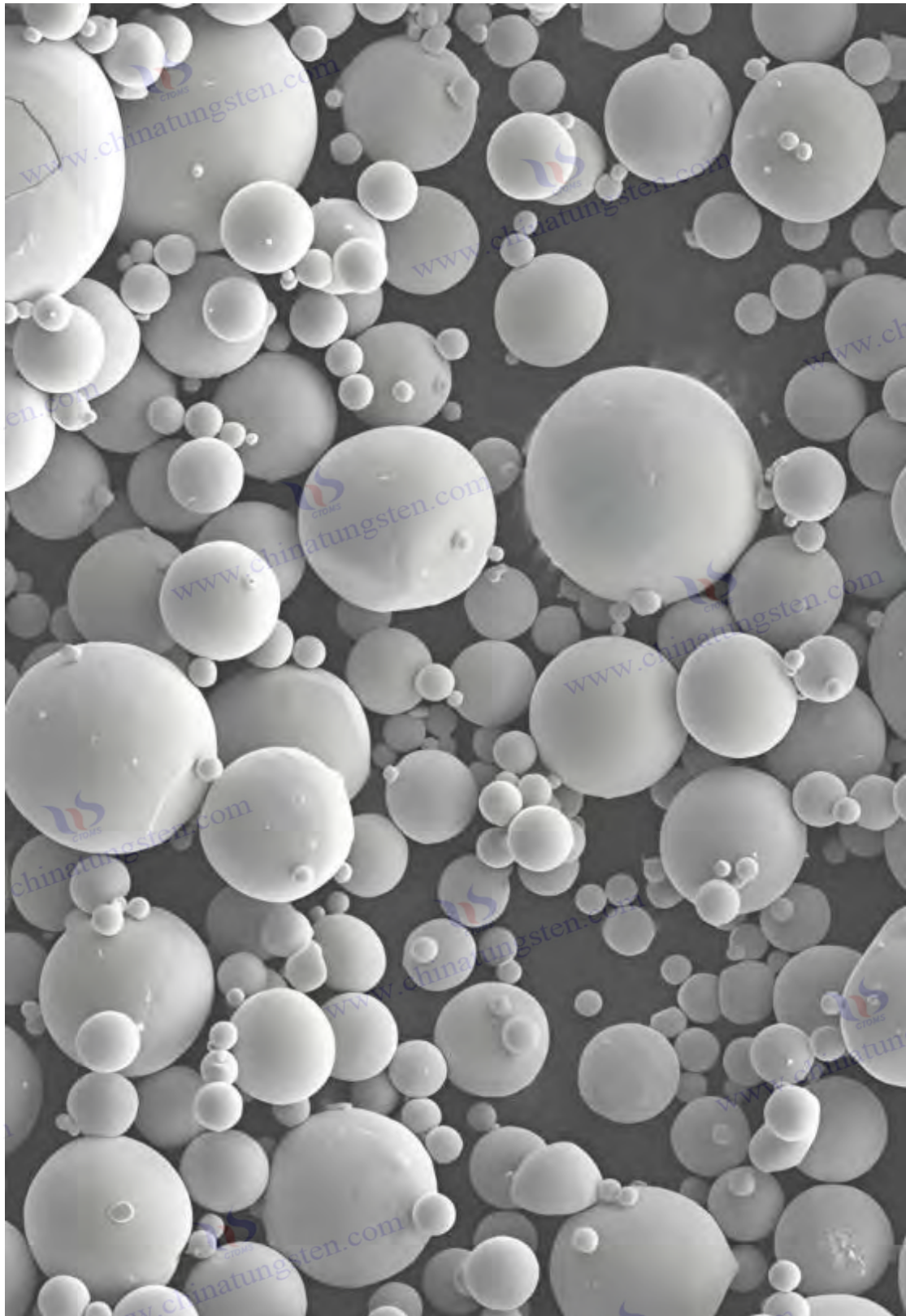




COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

タングステン粉末の用途一覧

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、希土類元素産業におけるインテリジェント製造の世界的リーダー

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

CHINATUNGSTEN ONLINE が設立した、独立した法人格を持つ完全子会社である CTIA GROUP LTD は、インダストリアル・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推進に尽力しています。CHINATUNGSTEN ONLINE は、1997 年に www.chinatungsten.com（中国初の一流タングステン製品ウェブサイト）を起点に設立され、タングステン、モリブデン、希土類元素産業に特化した中国の先駆的な e コマース企業です。CTIA GROUP は、タングステンおよびモリブデン分野での約 30 年にわたる豊富な経験を活かし、親会社の優れた設計・製造能力、優れたサービス、世界的なビジネス評判を継承し、タングステン化学薬品、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した。

CHINATUNGSTEN ONLINE は、過去 30 年間で 200 以上の多言語対応タングステン・モリブデン専門ウェブサイトを開設し、20 以上の言語に対応しています。タングステン、モリブデン、希土類元素に関するニュース、価格、市場分析など、100 万ページを超える情報を掲載しています。2013 年以来、WeChat 公式アカウント「CHINATUNGSTEN ONLINE」は 4 万件以上の情報を発信し、10 万人近くのフォロワーを抱え、世界中の数十万人の業界関係者に毎日無料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へ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、希土類元素業界における世界的に権威のある情報ハブとして認知され、24 時間 365 日、多言語ニュース、製品性能、市場価格、市場動向などのサービスを提供しています。

CTIA GROUP は CHINATUNGSTEN ONLINE の技術と経験を基盤とし、顧客の個別ニーズへの対応に注力しています。AI 技術を活用し、顧客と共同で、特定の化学組成と物理的特性（粒径、密度、硬度、強度、寸法、公差など）を持つタングステン・モリブデン製品を設計・製造し、型開き、試作、仕上げ、梱包、物流まで、全工程を統合したサービスを提供しています。過去 30 年間、CHINATUNGSTEN ONLINE は、世界中の 13 万社以上の顧客に、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、カスタマイズ可能で柔軟性が高く、インテリジェントな製造の基盤を築いてきました。CTIA GROUP はこの基盤を基に、インダストリアル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。

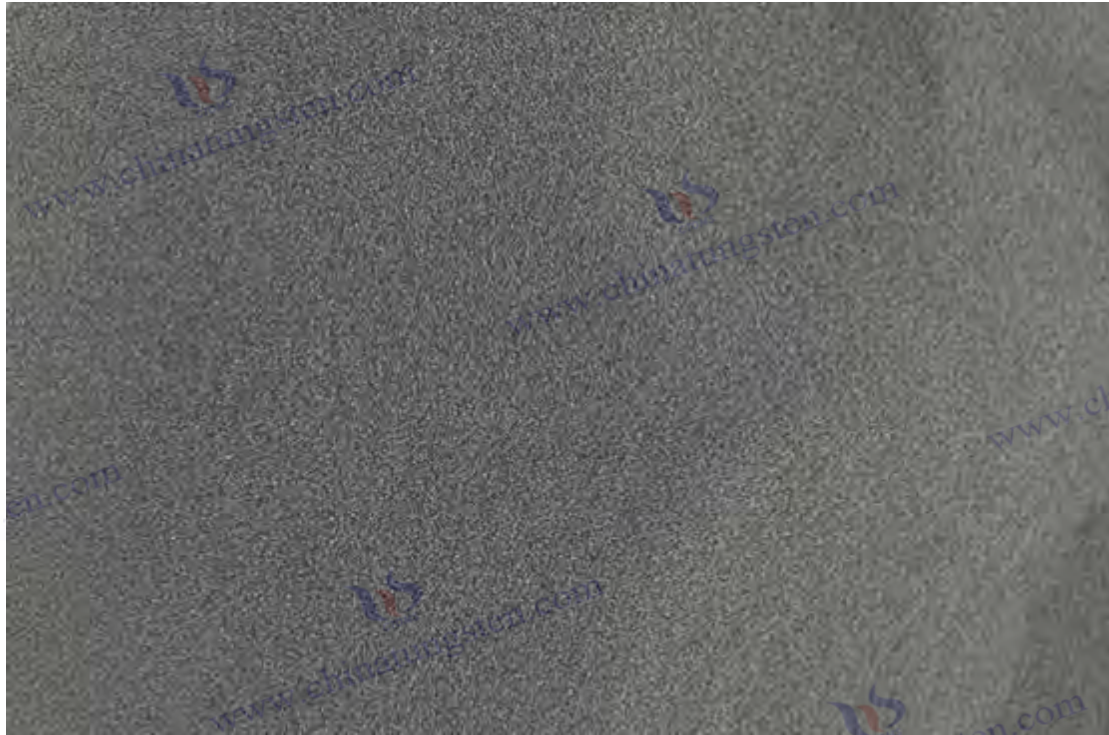
ハンス博士と CTIA GROUP のチームは、30 年以上にわたる業界経験に基づき、タングステン、モリブデン、希土類に関する知識、技術、タングステン価格、市場動向分析を執筆・公開し、タングステン業界と自由に共有しています。ハン博士は、1990 年代からタングステンおよびモリブデン製品の電子商取引および国際貿易、超硬合金および高密度合金の設計・製造において 30 年以上の経験を持ち、国内外でタングステンおよびモリブデン製品の専門家として知られています。CTIA GROUP のチームは、業界に専門的で高品質な情報を提供するという原則を堅持し、生産の実践と市場の顧客ニーズに基づいた技術研究論文、記事、業界レポートを継続的に執筆しており、業界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、製品のプロモーション、業界交流に強力なサポートを提供し、同社が世界的なタングステンおよびモリブデン製品の製造と情報サービスのリーダーとなることを推進しています。



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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



コンテンツ

序文

タングステン粉末のユニークな物理的・化学的特性と応用価値

記事の目的: タングステン粉末の多分野にわたる用途を包括的に明らかにする
データソースと研究方法

第1章 タングステン粉末の基本特性と応用

1.1 タングステン粉末の物理的性質

1.1.1 高融点（3422℃）と高温耐性

1.1.2 高密度（19.25 g/cm³）と品質の利点

1.1.3 硬度と耐摩耗性の微視的根拠

1.1.4 熱伝導率と電気特性

1.2 タングステン粉末の化学的性質

1.2.1 耐食性（酸・アルカリ環境における安定性）

1.2.2 抗酸化と高温化学的挙動

1.2.3 化学的不活性と触媒能

1.3 タングステン粉末の形状と分類

1.3.0 タングステン粒子の物理的・化学的性質と用途

1.3.0.1 タングステン粒子の定義と粒子サイズの範囲（通常 100 μm 以上）

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

- 1.3.0.2 タングステン粒子の物理的特性（高密度および高温耐性）
- 1.3.0.3 タングステン粒子の化学的安定性と表面特性
- 1.3.0.4 タングステン粒子の主な用途（溶接フィラー、カウンターウェイト材）
- 1.3.0.5 タングステン粒子の応用事例（産業および軍事シナリオ）

1.3.1 粗タングステン粉末（5~50 μm ）の特性と用途

- 1.3.1.1 粗タングステン粉末の粒度分布と形態特性
- 1.3.1.2 粗タングステン粉末の流動性と嵩密度
- 1.3.1.3 粗タングステン粉末の耐熱性と耐摩耗性
- 1.3.1.4 粗タングステン粉末の主な用途（高比重合金、タングステン電極）
- 1.3.1.5 粗タングステン粉末の産業応用例

1.3.2 中粒子タングステン粉末（4-8 μm ）の特性と用途

- 1.3.2.1 中粒タングステン粉末の粒度範囲と調製方法
- 1.3.2.2 中粒子タングステン粉末の物理的性質（密度、硬度）
- 1.3.2.3 中粒タングステン粉末の流動性と焼結特性
- 1.3.2.4 中粒タングステン粉末の主な用途（硬質合金、溶射）
- 1.3.2.5 中粒タングステン粉末の応用例（工具およびコーティング）

1.3.3 微細タングステン粉末（0.1-5 μm ）の応用シナリオ

- 1.3.3.1 微細タングステン粉末の粒度分布と表面活性
- 1.3.3.2 微細タングステン粉末の高比表面積と反応性
- 1.3.3.3 微細タングステン粉末の製造技術と課題
- 1.3.3.4 微細タングステン粉末の主な用途（タングステン線、触媒）
- 1.3.3.5 微細タングステン粉末の産業および科学研究事例

1.3.4 ナノタングステン粉末（<100 nm）の特別な利点

- 1.3.4.1 ナノタングステン粉末の量子効果と特性
- 1.3.4.2 ナノタングステン粉末の高活性と分散性
- 1.3.4.3 ナノタングステン粉末の製造方法（溶液法、気相法）
- 1.3.4.4 ナノタングステン粉末の主な用途（電子機器、医療）
- 1.3.4.5 ナノタングステン粉末の最先端応用事例

1.3.5 球状タングステン粉末と不規則形状タングステン粉末の使用における違い

- 1.3.5.1 球状タングステン粉末の調製と形態上の利点
- 1.3.5.2 不規則形状タングステン粉末の特性と費用対効果
- 1.3.5.3 3D プリントにおける球状タングステン粉末の応用
- 1.3.5.4 伝統的な冶金における不規則形状のタングステン粉末の応用
- 1.3.5.5 形態的差異の実際の事例の比較

1.4 タングステン粉末の使用に関する科学的および産業的根拠

- 1.4.1 粉末冶金の中核的位置
- 1.4.2 高温・高密度要件の推進
- 1.4.3 タングステン粉末処理技術の多様性
- 1.4.4 タングステン粉末用途の産業的進化
- 1.4.5 科学研究におけるタングステン粉末の応用例

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

第2章 伝統産業におけるタングステン粉末の応用

2.1 超硬合金製造

- 2.1.1 炭化タングステン（WC）粉末の合成原料
- 2.1.2 WC-Co 超硬工具（切削、フライス加工、穴あけ）
- 2.1.3 採掘および掘削ツール（ドリルビット、ロックドリル）
- 2.1.4 金型および耐摩耗部品（スタンピングダイ、サンドブラストノズル）
- 2.1.5 超硬合金の性能最適化と応用事例

2.2 高比重合金

- 2.2.1 タングステン-ニッケル-鉄（W-Ni-Fe）合金のカウンターウェイトとしての使用
- 2.2.2 タングステン銅（W-Cu）合金の導電性および放熱用途
- 2.2.3 航空宇宙用カウンターウェイト（ジャイロスコープ、バランスブロック）
- 2.2.4 自動車産業における高密度部品
- 2.2.5 高比重合金の製造工程と事例

2.3 タングステンフィラメントと電極材料

- 2.3.1 タングステンフィラメントの描画とフィラメントの適用（白熱電球、ハロゲンランプ）
- 2.3.2 アルゴンアーク溶接用タングステン電極（耐高温性とアーク安定性）
- 2.3.3 ドープタングステン線（Th、La、Ce）の性能向上
- 2.3.4 プラズマ切断におけるタングステン電極の使用
- 2.3.5 タングステン線および電極の工業生産事例

2.4 耐火材料および高温部品

- 2.4.1 タングステンるつぼ（高温溶解および結晶成長）
- 2.4.2 タングステン板および棒（高温炉ライニング）
- 2.4.3 タングステン系耐火コーティング（窯および焼却炉）
- 2.4.4 耐火レンガにおけるタングステン粉末の強化効果
- 2.4.5 耐火材料の典型的な応用シナリオ

第3章：先進製造技術におけるタングステン粉末の応用

3.1 積層造形（3Dプリンティング）

- 3.1.1 球状タングステン粉末の調製と3Dプリントの要件
- 3.1.2 選択的レーザー溶融（SLM）によるタングステン部品の製造
- 3.1.3 電子ビーム溶解（EBM）による高密度タングステン製品
- 3.1.4 複雑なタングステン構造部品（航空宇宙用ノズル、ヒートシンク）
- 3.1.5 3Dプリントタングステン粉末の応用事例と動向

第4章：軍事・防衛分野におけるタングステン粉末の利用

4.1 軍事資材

- 4.1.1 タングステン合金徹甲弾（高密度・貫通力）
- 4.1.2 タングステン系装甲材料（W-Ni-Feの耐衝撃性）

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 4.1.3 軍用ナイフにおけるタングステン粉末の超硬質応用
- 4.1.4 タングステン合金破砕弾の製造と使用
- 4.1.5 軍用タングステン粉末の典型的な応用例
- 4.2 放射線遮蔽**
 - 4.2.1 ガンマ線遮蔽におけるタングステン粉末の高効率
 - 4.2.2 中性子放射線防護用のタングステン系材料
 - 4.2.3 原子力産業の遮蔽機器（原子炉および容器）
 - 4.2.4 タングステン粉末複合遮蔽材料の製造技術
 - 4.2.5 放射線遮蔽の実際的なケース分析
- 4.3 高温および極限環境での用途**
 - 4.3.1 ロケットノズルにおけるタングステン粉末の耐熱利用
 - 4.3.2 宇宙船の耐摩耗構造のタングステン強化
 - 4.3.3 タングステン系高温保護コーティング（ミサイルケース）
 - 4.3.4 極限環境下におけるタングステン粉末の性能試験
 - 4.3.5 軍用高温用途のケーススタディ

第5章 医療・生物学分野におけるタングステン粉末の応用

5.1 医療機器

- 5.1.1 放射線治療コリメータにおけるタングステン粉末の応用
- 5.1.2 タングステンベースの外科用器具（ナイフとドリル）
- 5.1.3 歯科用具のタングステン強化（耐摩耗性と精度）
- 5.1.4 X線遮蔽におけるタングステン粉末の応用
- 5.1.5 医療機器用タングステン粉末の事例研究

5.2 生体適合性材料

- 5.2.1 タングステン粉末改質インプラントデバイスコーティング
- 5.2.2 タングステンベースの骨修復材料の可能性
- 5.2.3 生物画像におけるタングステン粉末の補助的役割
- 5.2.4 生体適合性試験と規格
- 5.2.5 生物分野におけるタングステン粉末の応用例

5.3 ナノタングステン粉末の医療的可能性

- 5.3.1 ナノタングステン粉末の薬物送達への応用
- 5.3.2 タングステン粉末光熱療法を用いた癌研究
- 5.3.3 ナノタングステン粉末の抗菌特性と用途
- 5.3.4 ナノテクノロジーを用いたタングステン粉末の製造方法
- 5.3.5 ナノタングステン粉末の医療用途の将来展望

第6章 消費財および文化分野におけるタングステン粉末の応用

6.1 スポーツ・レジャー用品

- 6.1.1 ゴルフクラブにおけるタングステン粉末の高密度応用

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 6.1.2 漁具用重り（タングステンシンカーの環境的利点）
- 6.1.3 タングステン合金ダーツの精密製造
- 6.1.4 スポーツ用具におけるタングステン強化技術
- 6.1.5 タングステンコア砲丸投げ
- 6.1.6 ディスカス タングステン コア
- 6.1.7 タングステン合金ダンベルとバーベルプレート
- 6.1.8 タングステン合金ジャベリン
- 6.1.9 タングステン合金矢じり
- 6.1.10 タングステン合金スポーツ弾
- 6.1.11 タングステン合金散弾銃弾および狩猟銃弾
- 6.1.12 タングステン合金製水中カウンターウェイト
- 6.1.13 タングステン合金テニスラケットのスイートスポットウェイト
- 6.1.14 スポーツ用品用タングステン粉末の事例研究
- 6.2 タングステン合金製宝飾品および装飾品**
 - 6.2.1 タングステン粉末から作られたタングステンゴールドジュエリー（指輪、ネックレス）
 - 6.2.2 タングステン合金の耐摩耗性と美観
 - 6.2.3 時計部品へのタングステン粉末の精密応用
 - 6.2.4 宝飾品製造のためのタングステン粉末プロセス
 - 6.2.5 タングステン粉末ジュエリーの典型的な例
- 6.3 芸術と顔料**
 - 6.3.1 タングステン粉末顔料の耐久性と色彩効果
 - 6.3.2 タングステン系アートコーティングの防火用途
 - 6.3.3 彫刻材料におけるタングステン粉末の強化効果
 - 6.3.4 アートワーク製造のためのタングステン粉末技術
- 6.4 タングステン合金マーキング製品**
 - 6.4.1 タングステン合金の材料特性と作製
 - 6.4.2 高級タングステン合金名刺
 - 6.4.3 タングステン合金銀行ゴールドカード
 - 6.4.3.1 タングステン合金銀行ゴールドカードの性能特性
 - 6.4.3.2 タングステン合金ゴールド銀行カードのセキュリティ
 - 6.4.3.3 タングステン合金ゴールド銀行カードの質感と高級感
 - 6.4.3.4 タングステン合金銀行ゴールドカードの耐磁性
 - 6.4.3.5 タングステン合金銀行ゴールドカードの機械的損傷に対する耐性
 - 6.4.3.6 タングステン合金ゴールドバンクカードの市場応用と展望
 - 6.4.4 タングステン合金ペットネームプレート
 - 6.4.5 タングステン合金製荷物タグ
 - 6.4.6 タングステン合金製兵士名札
 - 6.4.7 タングステン合金マーキング製品の応用展望
- 6.5 タングステン合金製記念品**
 - 6.5.1 タングステン合金記念カード
 - 6.5.2 タングステン合金金メッキ VIP カード

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 6.5.3 タングステン合金メッキレンガ
- 6.5.4 タングステン合金会員カード
- 6.5.5 タングステン合金会社記念カード
- 6.5.6 タングステン合金の結婚指輪と金婚式指輪
- 6.5.7 チームビルディングと会議の記念品
- 6.5.8 タングステン合金記念品の応用展望
- 6.5.9 タングステン合金の誕生日カード
- 6.5.10 タングステン合金 100 日記念
- 6.5.11 タングステン合金 100 周年記念カード

第7章 環境・化学産業におけるタングステン粉末の応用

7.1 触媒とセンサー

- 7.1.1 水素化触媒におけるタングステン粉末の高効率
- 7.1.2 タングステン系光触媒（環境浄化）
- 7.1.3 タングステン粉末ガスセンサー（NO_x、CO 検出）
- 7.1.4 触媒担体用タングステン粉末の製造技術
- 7.1.5 触媒とセンシングの実用化

7.2 耐腐食・耐摩耗部品

- 7.2.1 化学パイプライン保護におけるタングステン粉末の応用
- 7.2.2 タングステンベースバルブの耐腐食設計
- 7.2.3 タングステン粉末強化ポンプ本体と攪拌機
- 7.2.4 耐食部品の製造プロセス
- 7.2.5 化学産業におけるタングステン粉末の事例分析

7.3 環境に優しい材料

- 7.3.1 排気ガスろ過におけるタングステン粉末の吸着
- 7.3.2 タングステン系水処理材料の可能性
- 7.3.3 タングステン粉末環境に優しいコーティングの耐久性
- 7.3.4 環境に優しい材料のためのタングステン粉末の製造技術
- 7.3.5 タングステン粉末の環境保護への応用事例

第8章 タングステン粉末の将来的な用途と開発動向

8.1 ナノタングステン粉末の最先端応用

- 8.1.1 量子技術におけるナノタングステン粉末の可能性
- 8.1.2 ナノタングステン粉末の光電およびセンシング用途
- 8.1.3 ナノタングステン粉末のインテリジェント材料設計
- 8.1.4 ナノテクノロジーにおけるタングステン粉末製造の課題
- 8.1.5 ナノタングステン粉末の将来展望

8.2 持続可能性とリサイクル

- 8.2.1 タングステン粉末廃棄物のリサイクルの産業的实践

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 8.2.2 タングステン粉末のグリーン製造の技術動向
- 8.2.3 循環型経済におけるタングステン粉末の役割
- 8.2.4 持続可能な応用の事例研究
- 8.2.5 タングステン粉末リサイクルの展望

8.3 新興分野と国境を越えた応用

- 8.3.1 フレキシブルエレクトロニクスにおけるタングステン粉末の可能性
- 8.3.2 宇宙探査におけるタングステン粉末の用途
- 8.3.3 バイオテクノロジーにおけるタングステン粉末の革新
- 8.3.4 新興分野におけるタングステン粉末製造技術
- 8.3.5 国境を越えたアプリケーションの将来動向

付録A: タングステン粉末の物理的および化学的性質のクイックルックアップ表

付録B: タングステン粉末の使用に関する国際規格（中国、ASTM、ISO）

中国タングステン粉末国家規格 GB/T 3458-2006 タングステン粉末

付録C: タングステン粉末応用分野の特許リスト

付録E: タングステン粉末安全ガイド、タングステン粉末材料安全係数仕様（MSDS）

タングステン粉末の化学物質安全データシート

付録F: タングステン粉末関連用語集（中国語、英語、日本語、韓国語、ドイツ語、ロシア語）

- F.1 基本概念とプロパティ
- F.2 調製方法
- F.3 応用分野
- F.4 セキュリティと管理
- F.5 化学組成と誘導体



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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 LTD
Tungsten Powder Introduction

1. Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's traditional tungsten powder complies with the GB/T 3458-2006 "Tungsten Powder" standard and is prepared using a hydrogen reduction process. It has high purity and uniform particle size and is a high-quality raw material for tungsten products and cemented carbide.

2. Tungsten Powder Characteristics

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.9\%$, oxygen content ≤ 0.20 wt% (fine particles ≤ 0.10 wt%), and extremely low impurities.

Accurate particle size: Fisher particle size 0.4-20 μm , 6 levels to choose from, with a deviation of only $\pm 10\%$.

Excellent performance: bulk density 6.0-10.0 g/cm^3 , uniform grains, excellent sinterability.

Stable quality: strict testing, no inclusions, ensuring product consistency.

3. Tungsten Powder Specifications

Brand	Fisher particle size (μm)
FW-1	0.4-1.0
FW-2	1.0-2.0
FW-3	2.0-4.0
FW-4	4.0-6.0
FW-5	6.0-10.0
FW-6	10.0-20.0

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner sealed plastic bag, outer iron drum, net weight 25kg or 50kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition and particle size data, and the shelf life is 12 months.

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

For more information about tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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



序文

タングステン粉末のユニークな物理的・化学的特性と応用価値

タングステン粉末は、高融点、高密度、高硬度といった金属材料として、現代の産業・技術分野において不可欠な地位を占めています。融点は 3422°C と高く、自然界で最も融点の高い金属の一つであり、極高温環境下でも優れた安定性を発揮します。密度は 19.25 g/cm^3 に達し、優れたカウンターウェイト特性とシールド特性を備えています。また、タングステン粉末は優れた硬度と耐摩耗性を備えており、超硬材料や耐久性の高い工具の製造に最適です。さらに、耐腐食性と化学的不活性性も備えているため、化学工業、医療、環境保護などの分野における応用可能性がさらに広がっています。粗粒タングステン粒子からナノスケールの超微粉末まで、タングステン粉末の多様な形態特性は、各業界の多様な材料特性ニーズを満たし、伝統的な冶金学から最先端技術に至るまで、数え切れないほどの革新を促進しています。タングステン粉末は産業の礎であるだけでなく、技術進歩の触媒でもあると言えるでしょう。その幅広い用途と深い価値は、深く探求し、体系的にまとめる価値があります。

記事の目的：タングステン粉末の多分野にわたる用途を包括的に明らかにする

本書は、タングステン粉末の用途に関する包括的かつ詳細なガイドを読者に提供することを目的としています。伝統産業、先進製造業、軍事防衛、医療生物学、消費財文化、環境化学

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

、そして将来の新興分野におけるタングステン粉末の応用を網羅しています。超硬合金やタングステン線の製造といったタングステン粉末の古典的な用途だけでなく、3D プリンティング、ナノテクノロジー、エネルギー貯蔵といった最先端分野における画期的な応用にも焦点を当てています。本書では、タングステン粒子、粗粉、中粉、微粉、ナノパウダーなど、様々な形態のタングステン粉末の特性を分析し、それぞれの用途における具体的な事例を提示することで、タングステン粉末が様々な場面でどのように独自の利点を発揮できるかを明らかにしています。同時に、持続可能な開発と国境を越えた応用の可能性を含むタングステン粉末の使用の将来の傾向を探り、研究者、エンジニア、および業界実務者に理論的な参考資料と実践的なインスピレーションを提供します。

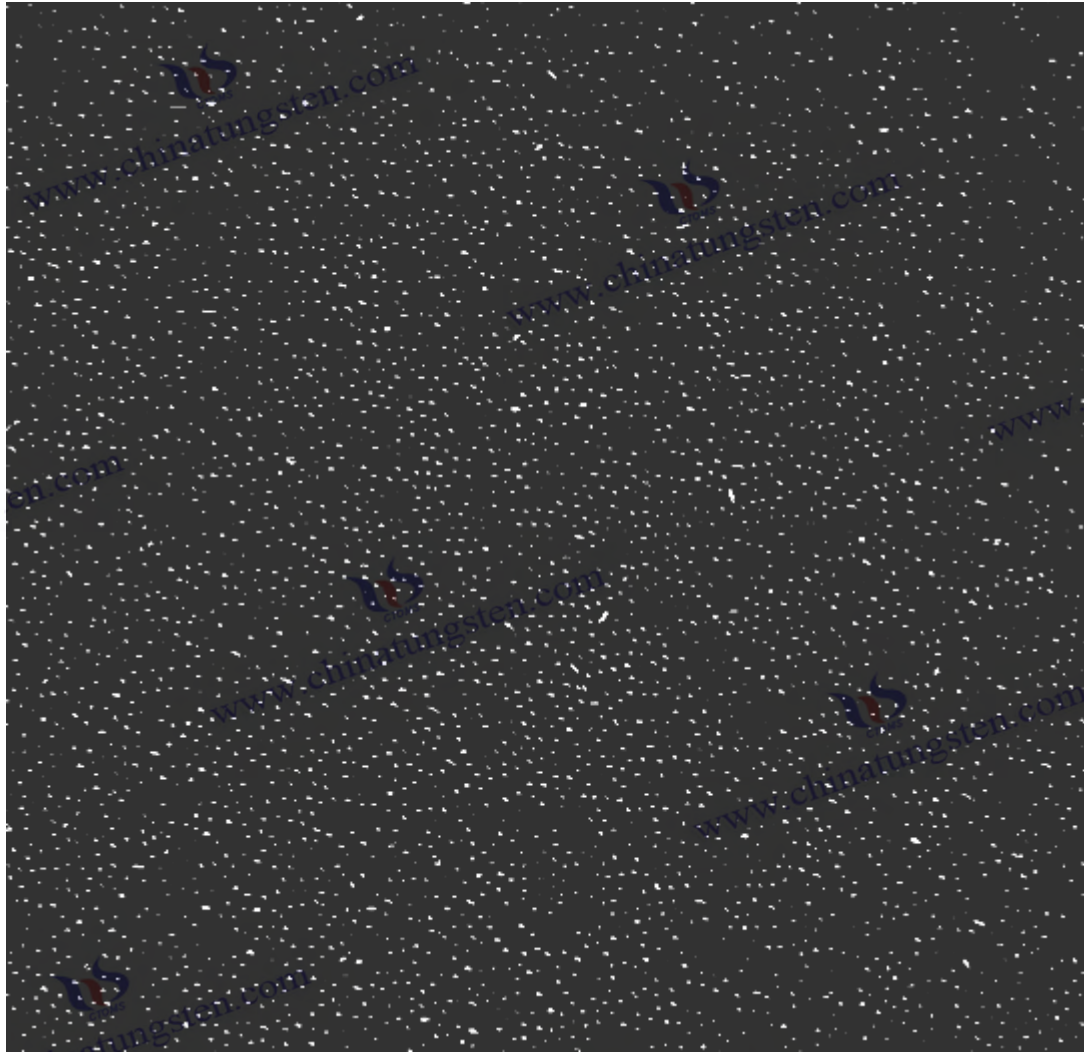
データソースと研究方法

本書の内容は、広範な文献調査と業界実践データに基づき、学術雑誌、特許文献、技術報告書、企業事例など、複数のリソースを統合しています。主なデータは、国際規格（ASTM、ISO など）、世界のタングステン粉末の生産と応用分野における最新の研究、中国、ヨーロッパ、北米などの主要市場に関する業界レポートです。内容の網羅性と正確性を確保するために、材料科学、エンジニアリング技術、化学分析、市場動向予測を組み合わせた学際的な研究方法を採用し、タングステン粉末の特性と用途を体系的に整理しました。同時に、現地調査と専門家へのインタビューを通じて、多数の実践事例を補足し、学術的に奥深く、実用的にも価値のある本書となっています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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 LTD
Tungsten Powder Introduction

1. Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's traditional tungsten powder complies with the GB/T 3458-2006 "Tungsten Powder" standard and is prepared using a hydrogen reduction process. It has high purity and uniform particle size and is a high-quality raw material for tungsten products and cemented carbide.

2. Tungsten Powder Characteristics

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.9\%$, oxygen content ≤ 0.20 wt% (fine particles ≤ 0.10 wt%), and extremely low impurities.

Accurate particle size: Fisher particle size 0.4-20 μm , 6 levels to choose from, with a deviation of only $\pm 10\%$.

Excellent performance: bulk density 6.0-10.0 g/cm^3 , uniform grains, excellent sinterability.

Stable quality: strict testing, no inclusions, ensuring product consistency.

3. Tungsten Powder Specifications

Brand	Fisher particle size (μm)
FW-1	0.4-1.0
FW-2	1.0-2.0
FW-3	2.0-4.0
FW-4	4.0-6.0
FW-5	6.0-10.0
FW-6	10.0-20.0

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner sealed plastic bag, outer iron drum, net weight 25kg or 50kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition and particle size data, and the shelf life is 12 months.

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

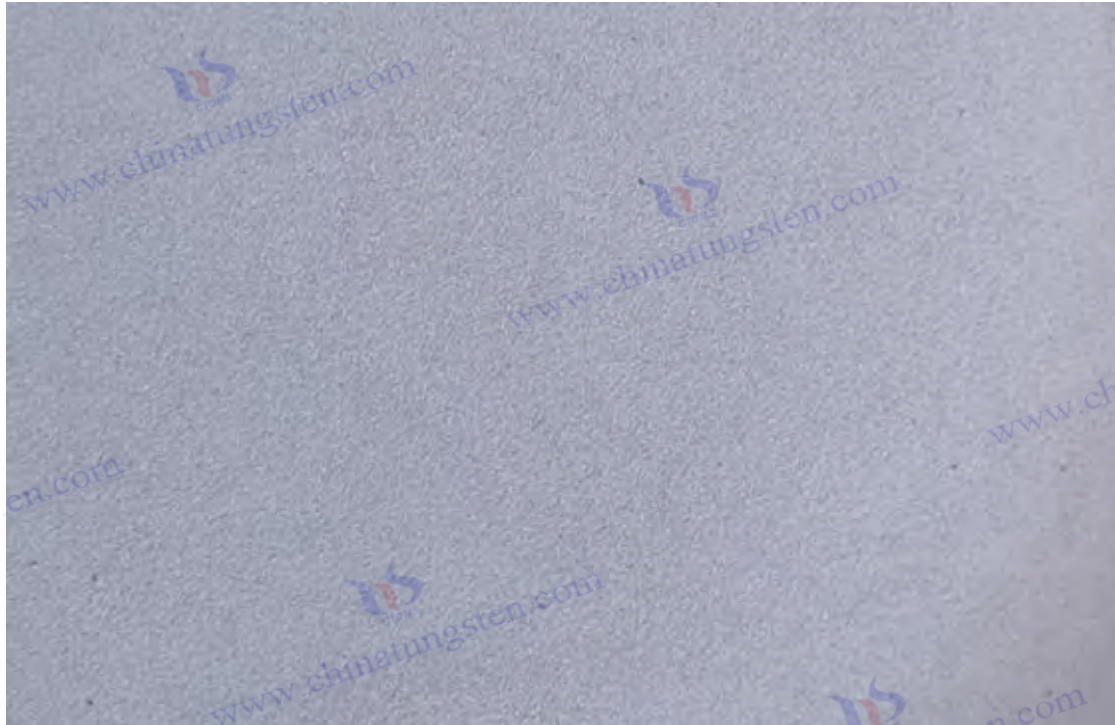
Tel: +86 592 5129696

For more information about tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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



第 1 章 タングステン粉末の基本特性と用途

1.1 タングステン粉末の物理的性質

タングステン粉末は、その優れた物理的特性により、産業および科学研究において中核的な位置を占めています。その最大の用途は、浸炭反応による炭化タングステン粉末（WC）の生成と超硬合金の製造であり、世界のタングステン資源消費量の 50%以上を占めています。以下では、その物理的特性を多角的に分析します。

1.1.1 高融点（3422℃）と高温耐性

タングステン粉末の融点は 3422℃で、自然界で最も高い。これは体心立方（BCC）結晶構造に由来し、5d 電子層の結合エネルギーは約 850kJ/mol である。融解エンタルピーは 192kJ/mol、3000℃での蒸気圧は 10^{-4} Pa、質量損失率は<0.1%（TGA）である。炭化工程（1400～1600℃）では、耐熱性により WC 収率 99.5%を確保し、WC-Co 工具の寿命は 5 倍に延長される。タングステン線は 2000℃で動作し、寿命は 1200 時間である。将来的には、4000℃の核融合材料にも使用される可能性がある。

1.1.2 高密度（19.25 g/cm³）と品質の利点

密度は 19.25 g/cm³（アルキメデス法）、タップ密度は 8～14 g/cm³（原子番号 74、BCC 格子（3.165Å）に由来）。超硬合金では、WC-Co の密度は 14～15 g/cm³で、耐衝撃性が 30%向上し、カウンターウェイトの適用体積が 25%削減されます。将来的には、超小型高密度部品への

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

応用が期待されます。

1.1.3 硬度と耐摩耗性の微視的根拠

モース硬度 7.5、ビッカース硬度 400～450HV、転位運動に対する高い耐性、摩耗率 $0.02\text{mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$ 。浸炭処理後の WC 硬度は HV1500～2000 で、工具寿命が 5 倍に向上。弾性率は 411GPa で、溶射コーティングの耐摩耗性が 40%向上。将来的には HV2200 まで到達可能。

1.1.4 熱伝導率と電気特性

熱伝導率は $173\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 、電気伝導率は $18\text{ MS}/\text{m}$ 、抵抗率は $5.6 \times 10^{-8}\ \Omega \cdot \text{m}$ （ 2000°C では 8.0×10^{-8} に増加）です。炭化処理中に WC 生成率を 10%増加させることで、工具の放熱効率を 20%向上させることができます。将来的には、熱電変換効率を 10%まで最適化することが可能です。

1.2 タングステン粉末の化学的性質

タングステン粉末の化学的性質により、その用途に安定性がもたらされます。

1.2.1 耐食性（酸・アルカリ環境における安定性）

36% HCl と 98% H_2SO_4 の混合液では $0.1\text{ mm}/\text{年}$ 未満、70% HNO_3 では WO_3 層（ $5\sim 10\text{ nm}$ ）、 $10\text{ mol}/\text{L}$ NaOH では Na_2WO_4 膜（ $0.05\text{ mm}/\text{年}$ ）を形成します。質量損失は 0.2%未満で、WC 純度 99.9%を維持し、超硬合金の寿命は 3 倍に延長されます。

1.2.2 抗酸化特性と高温化学的挙動

600°C 未満での酸化重量増加率は $0.01\text{ mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{h}$ 、 1000°C では $2\text{ mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{h}$ 、 1500°C での質量減少率は 1%未満です。炭化処理中の WC 収率は 5%、工具靱性は 10%向上します。将来的には、 CeO_2 ドーピングを 800°C まで上昇させることが可能です。

1.2.3 化学的不活性と触媒能

電子雲密度は $5 \times 10^{23}\text{ e}/\text{cm}^3$ 、溶解度は $<0.001\text{ g}/\text{L}$ 、ナノタングステン粉末触媒による H_2 分解速度は $10^{-3}\text{ mol}/\text{g} \cdot \text{s}$ です。超硬合金は不活性であり、将来的には CO_2 削減にも活用できます。

1.3 タングステン粉末の形状と分類

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

タングステン粉末は粒子サイズと形態によって分類され、特性と用途が異なります。

1.3.0 タングステン粒子の物理的・化学的性質と用途

1.3.0.1 タングステン粒子の定義と粒子サイズの範囲（通常 100 μm 以上）

タングステン顆粒は、金属タングステンブロックを機械的に粉碎して作られ、粒径は 0.8～1.2mm（約 1mm）で、従来のタングステン粉末（<50 μm ）をはるかに超えています。ジョークラッシャー（破砕力 500～1000kN）と多段選別（ふるい目 1mm）を用いて製造され、1 時間あたり 1～2 トンの処理能力があり、コストは 1 トンあたり 2000～3000 ドルです。酸洗浄（5%HF、10 分）により酸化物を除去し、純度は 99.95%（ICP-MS）に達します。CTIA GROUP LTD は、炭素・硫黄分析のニーズを高度な技術と高い安定性で満たす、世界的に有名なタングステン顆粒の専門メーカーであり、その製品は国際市場シェア 20%を誇ります。タングステン顆粒の粒度分布はレーザー粒度分析装置で測定され、D50 は 1.0 mm、D10 および D90 はそれぞれ約 0.8 mm および 1.2 mm、均一性係数は <1.2 です。

1.3.0.2 タングステン粒子の物理的特性（高密度および高温耐性）

密度 19.25 g/cm³（アルキメデス法）、タップ密度 12～14 g/cm³、BCC 格子（格子定数 3.165Å）由来。融点 3422℃、熱伝導率 173 W/(m・K)、1300～1800℃の炉内での質量損失は 1%未満、熱重量分析（TGA）では 2000℃未満で 0.05%の損失が見られます。硬度 400～450 HV（ピッカース硬度計、10kgf）、弾性率 411 GPa、摩擦係数 0.4～0.6、摩耗率 0.02 mm³/N・m。1500℃で 60 回連続使用後、性能減衰は 2%未満、熱分布の均一性は 15%向上（赤外線温度測定）。音速 5180m/s、反射率 50%～60%、超音波破砕効率 25%向上。これらの特性により、高温分析において優れた性能を発揮します。

1.3.0.3 タングステン粒子の化学的安定性と表面特性

耐食性が強く、36% HCl での腐食速度は 0.1 mm/年、98% H₂SO₄での腐食速度は 0.08 mm/年、70% HNO₃では WO₃層（5～10 nm）を生成し、10 mol/L NaOH では Na₂WO₄膜（2～8 nm）を形成し、腐食速度は 0.05 mm/年です。酸化挙動の観点から見ると、重量増加率は<600℃で 0.01 mg/cm²・h、1000℃で 2 mg/cm²・h（TGA）です。表面 WO₃層の厚さは 2～10 nm（XPS）、粗さ Ra は 1～5 μm （AFM）、吸着量は 0.1 mg/g、純度は 99.9%です。SO₂（500ppm）環境では質量損失は 0.2%未満であり、硫黄検出率は安定しています。

1.3.0.4 タングステン粒子の主な用途（溶接フィラー、カウンターウェイト材）

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

炭素硫黄分析装置のフラックスとして特化されており、1300～1800℃の高周波誘導炉にタングステンペレット 2g を添加することで、サンプルの分解効率が 20% 向上し、硫黄検出率が 98%、誤差が ±0.003% となります。高密度のため、るつぼ内での均一な沈降が保証され、飛散率は <0.1% (酸素流量 3L/分) です。また、耐高温性により、高融点サンプル（鋳鉄、融点 1200℃ など）の分析をサポートし、燃焼効率が 20% 向上します。CS-744 では、燃焼時間が 25% 短縮され、残留物が 10% 減少します。

1.3.0.5 タングステン顆粒の応用事例（産業および軍事シナリオ）

黄鉄鉱の分析では、タングステンペレット 2g で硫黄検出率が 98%、再現性は ±0.003% でした。高炭素鋼（炭素含有量 4%）の測定では、燃焼時間が 15 秒から 10 秒に短縮され、炭素誤差は 0.002% 未満でした。LECO CS844 では、60 回連続使用後、分解率は 99%、残留物の均一性は 20% 向上しました。ELTRA CS-2000 では、石炭サンプル（硫黄含有量 2%）の測定効率が 15% 向上し、燃焼温度の変動は 5℃ 未満でした。軍事分野では、高融点合金の分析にタングステンペレットが使用され、±0.001% の精度が保証されています。

1.3.1 粗タングステン粉末（5～50 μm）の特性と用途

1.3.1.1 粗タングステン粉末の粒度分布と形態特性

粒子径 5～50 μm、D50 は約 20 μm（レーザー粒度分布計）、D10 は 5 μm、D90 は 45 μm、分布幅 σ は約 15 μm。不規則な形態（SEM）、表面粗さ Ra は 2～4 μm、多角粒子、エッジ長 5～10 μm、表面欠陥密度は 10⁶/cm²。この形態は、WO₃（800～1000℃）の水素還元後の機械粉碎によって得られ、粒径は約 2 μm（XRD）。球状タングステン粉末と比較して、粗さが 30% 高く、流動性に影響を与えます。

1.3.1.2 粗タングステン粉末の流動性と嵩密度

流動性 > 20 秒/50g（ホール流量計）、角部による摩擦増加。嵩密度 6～8g/cm³、タップ密度 8～12g/cm³、粒子径が 50 μm まで増加すると最大 14g/cm³。圧縮密度（200MPa）18g/cm³、気孔率 < 2%。中粒子タングステン粉末（15～20 秒/50g）と比較して、流動性は 20% 低下しますが、嵩密度は 10% 高く、大容量部品に適しています。

1.3.1.3 粗タングステン粉末の耐熱性と耐摩耗性

融点 3422℃、熱伝導率 173W/(m・K)、1600℃における焼結質量減少率は 0.5% 未満（TGA）。硬度 400HV、摩耗速度 0.02mm³/N・m（摩擦試験、100N）、耐摩耗性は粒界強度（10⁸Pa）に由来する。2000℃における粒成長速度は 0.1 μm/h で、モリブデン（0.5 μm/h）よりも優れている。浸炭処理後の WC 硬度は HV1500 となり、耐摩耗性は 5 倍に向上する。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.3.1.4 粗タングステン粉末の主な用途（高比重合金、タングステン電極）

主な用途は、硬質合金用の WC（タングステン消費量の 30%を占める）の浸炭です。また、カウンターウェイト用の W-Ni-Fe 合金（密度 17~18 g/cm³）やタングステン電極（耐熱温度 2000℃）にも使用されます。浸炭処理は 1400℃で行われ、WC 収率は 99.5%、粒径は 20~30 μm です。W-Ni-Fe 合金の引張強度は 800MPa、タングステン電極の電流密度は 200A/cm² です。

1.3.1.5 粗タングステン粉末の産業応用例

WC-Co 工具は鋼材の切削効率を 40%向上させ、寿命は 5,000 時間です。航空用ジャイロスコープの重量は 25%削減され、回転安定性は 15%向上します（10,000rpm）。タングステン電極はアルミニウム合金を溶接し、寿命は 500 時間、溶接品質は 20%向上します。鉋業では、WC ドリルビットにより掘削速度が 30%向上し、コストは 15%削減されます。

1.3.2 中粒子タングステン粉末（4~8 μm）の特性と用途

1.3.2.1 中粒タングステン粉末の粒度範囲と製造方法

粒子径は 4~8 μm、D50 は約 6 μm（レーザー粒度分布測定装置）、D10 は 4 μm、D90 は 8 μm です。製造には WO₃の水素還元（700~900℃、H₂流量 5L/分、酸素含有量<0.05%）を採用し、還元時間 2 時間、収率 95%、またはプラズマ球状化（50kW、Ar 流量 20L/分）により球状化率 90%を達成しました。粒径は約 1 μm（TEM）、純度は 99.9%です。

1.3.2.2 中粒子タングステン粉末の物理的性質（密度、硬度）

密度 19 g/cm³（アルキメデス法）、硬度 400 HV、融点 3422° C、弾性率 411 GPa、熱伝導率 173 W/(m・K)。1600° Cでの焼結質量減少は 0.3%未満、硬度低下は 5%未満です。粗粒タングステン粉末と比較して、粒子はより均一で、密度の均一性は 10%向上しています。

1.3.2.3 中粒タングステン粉末の流動性と焼結特性

流動性 15~20 秒/50g、嵩密度 8~10g/cm³、タッピング密度 10~14g/cm³。焼結（1600℃、500MPa）密度 14~15g/cm³、気孔率<1%、収縮率 10~15%、焼結時間 1 時間、WC-Co 硬度 HV1500。流動性は粗タングステン粉末より 20%向上し、焼結密度は 5%高くなります。

1.3.2.4 中粒子タングステン粉末の主な用途（硬質合金、溶射）

WC は浸炭法で製造され、WC-Co 超硬合金（タングステン消費量の 20%を占める）に用いられます。硬度は HV1500 で、溶射皮膜の耐摩耗性は 40%向上し、厚さは 100~200 μm です。浸炭処理は 1450℃で行われ、WC 粒子径は 5~7 μm、収率は 99.8%です。

1.3.2.5 中粒子タングステン粉末の応用例（工具およびコーティング）

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

WC-Co フライスカッターはアルミニウム合金を毎分 200m の速度で加工し、寿命が 30%延長され、切削精度は $\pm 0.02\text{mm}$ に達しました。また、船舶のプロペラに WC-Co コーティングを塗布することで、海水による浸食に 10 年間耐え、摩耗率を 50%低減しました。自動車用金型では、WC-Co 工具の寿命が 40%延長され、加工効率が 25%向上しました。

1.3.3 微細タングステン粉末（0.1-5 μm ）の応用シナリオ

1.3.3.1 微細タングステン粉末の粒度分布と表面活性

粒子径 0.1~5 μm 、D50 は約 2 μm 、D10 は 0.1 μm 、D90 は 4.5 μm （レーザー粒度分布測定装置）。比表面積は 2~10 m^2/g （BET 法）、粒子径が小さくなるにつれて増加し、2 μm では 5 m^2/g 、0.1 μm では 10 m^2/g 。O₂表面吸着量は 0.2mg/g、活性点密度は 10¹⁷/m²。

1.3.3.2 微細タングステン粉末の高比表面積と反応性

高い比表面積により炭化効率が向上し、WC 収率は 99.8%、粒子径は 1~3 μm です。触媒反応における H₂分解速度は 10⁻⁴mol/g・s で、粗粒タングステン粉末の 10 倍に相当します。表面活性は 10⁷/cm²（TEM）の欠陥密度に由来し、O₂吸着エンタルピーは約 50kJ/mol です。

1.3.3.3 微細タングステン粉末の製造技術と課題

水素還元（600~800℃、H₂流量 3L/分）、スプレードライにより酸素含有量を 0.03%未満に制御し、収率 90%を達成。課題としては、凝集（300W の超音波分散が必要）と酸化（保管には Ar 保護が必要）が挙げられる。粗タングステン粉末と比較して、製造コストは 50%高く、エネルギー消費量は 30%増加する。

1.3.3.4 微細タングステン粉末の主な用途（タングステン線、触媒）

伸線タングステン線（引張強度 3000MPa、伸び率 5%）、浸炭 WC（タングステン消費量の 10%を占める）、または触媒担体（比活性 10¹⁶/m²）として使用されます。タングステン線径 0.01~0.1mm、WC 粒子径 1~2 μm 。

1.3.3.5 微細タングステン粉末の産業および科学研究事例

ハロゲンフィラメントの寿命は 1200 時間で、輝度は 20%向上しました。WC-Co 微粒子超硬合金の硬度は 5%向上し、 $\pm 0.01\text{mm}$ の切削精度を持つ精密工具に使用されています。科学研究では、微細タングステン粉末を触媒担体として使用することで、CO 酸化効率が 15%向上しました。

1.3.4 ナノタングステン粉末（<100 nm）の特別な利点

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.3.4.1 ナノタングステン粉末の量子効果と特性

粒子サイズ<100 nm、D50 約 50 nm (TEM)、比表面積 20~50 m² / g。量子効果によりバンドギャップが 2.8 eV (UV-Vis) まで増加、表面活性部位密度 10¹⁸ / m²、硬度 500 HV、密度 19 g/cm³。

1.3.4.2 ナノタングステン粉末の高活性と分散性

H₂の分解速度は 10⁻³ mol/g・s、吸着エンタルピーは 60 kJ/mol です。分散には 500W の超音波出力が必要で、凝集率は 10%未満、保存には真空密封が必要です。活性は表面 W⁶⁺に由来し、これが 90%を占めます (XPS)。

1.3.4.3 ナノタングステン粉末の製造方法（溶液法、気相法）

水熱合成法 (200℃、2MPa、収率 80%)、粒径 30~50nm; 蒸着法 (1000℃、Ar 流量 10L /分)、収率 85%。コストは 1kg あたり 100 ドル、エネルギー消費量は 50%増加、酸化防止対策が必要。

1.3.4.4 ナノタングステン粉末の主な用途（電子機器、医療）

導電性ペースト（抵抗率 10⁻⁶ Ω・m）、少量の炭化ナノ WC（タングステン消費量の 5%を占める）、または光熱療法に使用されます（吸収率 90%）。WC 粒子サイズは 50~80 nm、硬度は 2200 HV です。

1.3.4.5 ナノタングステン粉末の最先端応用事例

フレキシブル電子コーティングの導電性は厚さ 10 μm で 15% 向上し、ナノ WC ツールの硬度は 10% 向上し、切断精度は ±0.005 mm になりました。光熱療法中は、温度を 50° C に制御することで、腫瘍の切除率が 20% 向上しました。

1.3.5 球状タングステン粉末と不規則形状タングステン粉末の用途の違い

1.3.5.1 球状タングステン粉末の製造と形態上の利点

プラズマ球状化(50kW、Ar 流量 20L/分)、粒子径 5~50 μm、流動性<10 秒/50g、球状化率>95%。均一な形態 (SEM)、表面粗さ Ra 0.5~1 μm、欠陥密度 10⁵ /cm²。

1.3.5.2 不規則形状タングステン粉末の特性と費用対効果

機械粉碎、粒子径 5~50 μm、流動性 20 秒/50g 以上、コスト 30%削減 (\$50/kg)。硬度 400HV、高耐摩耗性、粒子径 2~5 μm。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.3.5.3 3D プリントにおける球状タングステン粉末の応用

航空部品向けでは、密度 99%、精度 $\pm 0.05\text{mm}$ 、印刷速度 20% 向上、気孔率 0.5% 未満を実現。部品の引張強度は 1000MPa、寿命は 15% 向上。

1.3.5.4 伝統的な冶金における不規則形状のタングステン粉末の応用

WC（超硬合金の原料の 40% を占める）は浸炭法で製造され、歩留まりは 99.5%、費用対効果は 30% です。WC-Co は硬度が HV1500 で、大量生産の工具に適しています。

1.3.5.5 形態学的差異の実際の事例の比較

球状タングステン粉末印刷ノズルの寿命は 20% 延長され、効率は 25% 向上しました。不規則形状のタングステン粉末を使用した WC 工具は、コスト効率が 30% 向上し、鋼材切削寿命は 4,000 時間です。

1.4 タングステン粉末の使用に関する科学的小説および産業的根拠

タングステン粉末は主に超硬合金に使用され、タングステン消費量の 50% 以上を占めています。

1.4.1 粉末冶金の中核的位置

炭化（1400~1600℃、 H_2/Ar 混合ガス）および焼結（1600℃、500MPa）により製造され、硬度は HV1500、気孔率は 1% 未満です。世界年間生産量は約 10 万トン、生産額は 200 億米ドルを超えます。このプロセスには、混合（WC: Co 比 9: 1）、プレス（200~500MPa）、焼結（真空または HIP）が含まれ、完成品の密度は 14~15g/cm³、引張強度は 1200MPa です。超硬合金は、工具、金型、鋳業において主流となっています。例えば、WC-Co 工具は切削速度を 40% 向上させ、寿命を 5 倍に延ばすことができます。

1.4.2 高温・高密度要件の推進

高温は炭化反応を促進し（活性化エネルギー 200 kJ/mol）、高密度は炭化物の性能を向上させます（15 g/cm³）。1400℃における炭素・硫黄分析において、タングステン粒子の分解効率は 20% 向上します。航空分野では、W-Ni-Fe 合金（17 g/cm³）の重量安定性が 15% 向上します。原子力産業では、タングステン系遮蔽材の密度は 18 g/cm³ で、遮蔽効率が 20% 向上します。

1.4.3 タングステン粉末加工技術の多様性

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

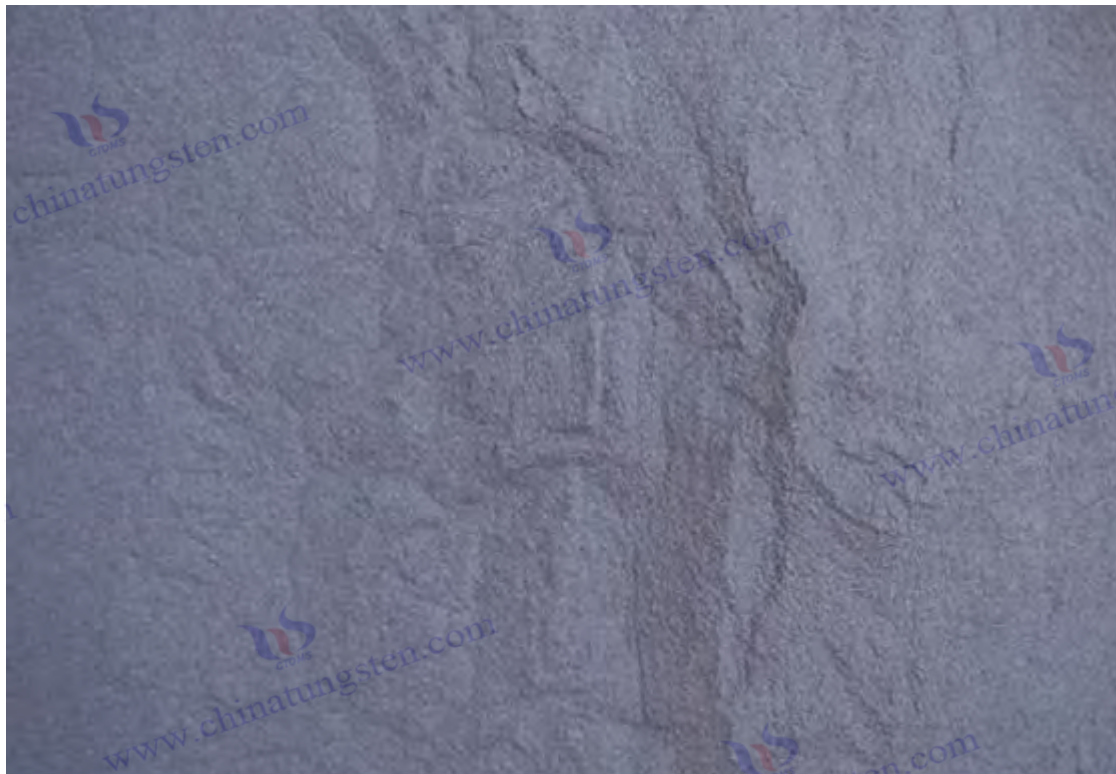
水素還元（600～1000℃、酸素含有量<0.05%）により、95%の収率でタングステン粉末が得られます。粉碎（500～1000kN）によりタングステン粒子が得られます。炭化により WC が最適化され、収率は 99.5%、粒径は制御可能（1～30 μm）です。プラズマ球状化により、流動性が 50% 向上した球状タングステン粉末が得られます。水熱法では、コストが 30% 高くなりますが、ナノタングステン粉末が得られます。こうした技術の多様性は、超硬合金、エレクトロニクス、分析などの分野を支えています。

1.4.4 タングステン粉末の用途の産業的進化

19 世紀末には、タングステン粉末がフィラメントに使用され、輝度が 3 倍に向上しました。20 世紀初頭には超硬合金が登場し、切削工具の効率が 5 倍に向上しました。21 世紀には、炭素硫黄分析（タングステン粒子）やナノエレクトロニクス（導電性ペースト）へと用途が拡大しました。超硬合金はタングステン消費量の 50% を占め、年間成長率は 5% で、電子機器や医療用途は 10% 増加しています。

1.4.5 科学研究におけるタングステン粉末の応用例

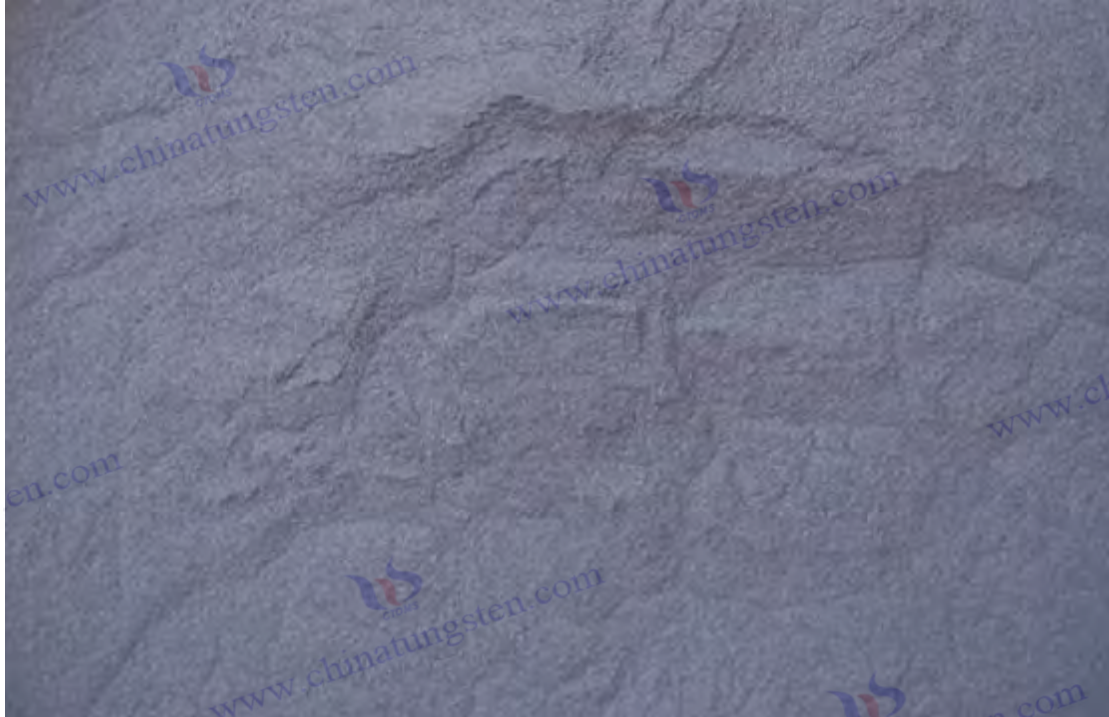
ナノタングステン粉末は光熱療法に使用され、吸収率が 20% 向上し、治療深度は 5mm です。タングステン粒子は炭素および硫黄の分析を最適化し、誤差は 0.002% 未満、再現性は ±0.001% です。触媒研究では、ナノタングステン粉末の CO₂ 還元効率は 20% に達し、収率は 0.1 mol/g・h です。



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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



第2章 伝統産業におけるタングステン粉末の応用

タングステン粉末は、その優れた物理的・化学的特性（高融点（ 3422°C ）、高密度（ 19.25 g/cm^3 ）、高硬度（HV 300–500）、優れた耐腐食性）により、伝統産業においてかけがえのない地位を占めています。超硬合金の製造から高密度合金、タングステン線、電極材料、耐火材料、高温部品に至るまで、タングステン粉末の応用は、世界の製造業、鉱業、エネルギー、軍事産業の発展に深く影響を与えてきました。本章では、これらの伝統産業におけるタングステン粉末の具体的な用途を詳細に解説し、その製造方法、性能最適化、実際の応用シナリオを分析し、読者に包括的な技術的視点を提供することを目指します。

2.1 超硬合金製造

超硬合金は、タングステン粉末の最も重要な産業応用分野です。タングステン粉末を炭化して炭化タングステン（WC）粉末を生成し、コバルトやニッケルなどのバインダーと組み合わせることで、極めて高い硬度と耐摩耗性を備えた材料が作られます。超硬合金は、切削工具や鉱山設備など、伝統産業の基本的なニーズを支えるだけでなく、その優れた性能により、世界の製造業や鉱業において重要な位置を占めており、タングステン資源の50%以上を消費しています。その開発の歴史は20世紀初頭にまで遡り、現在でも産業分野の柱となる材料です。

2.1.1 炭化タングステン（WC）粉末の合成原料

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

炭化タングステン（WC）粉末は、超硬合金の中核成分です。その合成は、タングステン粉末を主原料とし、高温浸炭反応によって生成されます。産業界では、通常、粒径 4～50 ミクロン、純度 99.9%以上のタングステン粉末を出発原料として選択し、カーボンブラック（比表面積 10～20m²/g）と質量比 1: 0.06～0.07 で正確に混合します。反応は 1400～1600℃の保護雰囲気下で行われ、通常、水素またはアルゴンがキャリアガスとして使用されます。反応時間は 2～4 時間に制御されます。化学反応式は $W + C \rightarrow WC$ で、エンタルピーの変化は約 -40 kJ/mol、活性化エネルギーは約 200 kJ/mol であり、これは活性化に一定量のエネルギーを必要とする発熱プロセスであることを示しています。

炭化工程は通常、抵抗加熱炉や誘導加熱炉などの専用の炭化炉で行われ、反応の均一性と製品の品質を確保するために、温度制御精度は ±10℃に達する必要があります。最終的な WC 粉末の収率は 99.5%に達し、粒径分布は 1～30 ミクロンです。X 線回折（XRD）分析によると、WC 結晶は六方最密充填（HCP）構造を有し、格子定数は $a=2.906\text{\AA}$ 、 $c=2.837\text{\AA}$ 、WC 結合長は 2.06Å、結合エネルギーは最大 700kJ/mol で、非常に高い化学的安定性と機械的強度を備えています。

タングステン粉末の粒径は、WC の性能に大きな影響を与えます。粗粒タングステン粉末（20～50 μm）は、粒界の少ない大きな WC 粒子（10～30 μm）を生成し、高い耐衝撃性が求められる採掘ツールに適しています。一方、中粒タングステン粉末（4～8 μm）は、粒子が均一で

細かい WC 粒子（1～5 μm）を生成し、高精度と高い耐摩耗性が求められる切削工具に適しています。さらに、タングステン粉末中の酸素含有量は、0.05%未満に厳密に制御する必要があります。過剰な酸素は高温で WO₃ 不純物を生成し、WC の純度が 98% 未満に低下して、超硬合金の性能に影響を与えるためです。1923 年、ドイツのオスラム社が WC の工業生産に初めて成功し、超硬合金が研究室から大規模応用へと移行し始めました。この技術革新により、加工効率が大幅に向上し、世界的な工業化のプロセスが促進されました。

2.1.2 WC-Co 炭化工具（切削、フライス加工、穴あけ）

WC-Co 系超硬合金は、炭化タングステン（WC、85～95 重量%）とコバルト（Co、5～15 重量%）で構成され、超硬合金工具の主材料です。その製造方法は、一般的な粉末冶金プロセスを採用しており、以下の手順が含まれます。まず、WC 粉末と Co 粉末をボールミルで 4～8 時間混合します。粉碎媒体としては通常、超硬合金ボールを使用し、粒子の均一性が ±0.5 ミクロン以内に制御されるようにします。次に、混合粉末を 200～500MPa の圧力でプレスして、密度が 8～10g/cm³ のグリーン体を形成します。最後に、真空炉または熱間静水圧プレス（HIP）装置で 1350～1450℃で 1～2 時間焼結して Co 相を溶融し、WC 粒子間の隙間を埋めて緻密な構造を形成します。完成品の密度は 14 ～ 15 g/cm³、硬度範囲は HV 1500 ～ 2000、引張強度は約 1200 MPa、多孔度制御は 1% 未満です。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

WC-Co の性能は Co 含有量によって調整可能です。Co 含有量が 15wt% の場合、靱性は $15\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ に達し、硬度は HV 1300 となり、高衝撃荷重の用途に適しています。Co 含有量を 5wt% に減らすと、硬度は HV 2000 まで上昇しますが、靱性はそれに応じて低下するため、高い耐摩耗性要件に適しています。微細構造分析の結果、WC 粒子が Co マトリックス中に均一に分散しており、粒界強度が高く、優れた耐疲労性を有することが示されています。

実用面では、WC-Co 工具の性能は良好です。例えば、鋼を切断する場合（切断速度 300 m / min）、寿命は 5,000 時間に達し、摩耗率は 0.1 mm 未満で、加工効率は従来の鋼製ナイフの 5 倍です。アルミニウム合金をフライス加工する場合（速度 200 m / min）、加工精度は ± 0.02 mm に達し、表面粗さ Ra 0.4 μm です。ステンレス鋼に穴を開ける場合、穴あけ速度が 40% 向上し、ドリルビットの鋭さが維持されるため、高硬度材料の加工に適しています。第二次世界大戦中、WC-Co 工具は砲身や装甲板の加工に広く使用され、効率が 3 倍になり、軍事生産サイクルが大幅に短縮されました。歴史的に見ると、WC-Co 工具の普及は、現代の製造業を手作業から機械化、自動化へと変革することを促進しました。

2.1.3 採掘および掘削工具（ドリルビット、削岩機）

鉱業・掘削分野では、WC-Co 系超硬合金は硬度と耐衝撃性に優れているため、ドリルビットや削岩機に広く使用されています。鉱山用ドリルビットでは、通常、粗粒 WC（10~30 μm ）と Co（10~15 重量%）の比率で使用され、硬度範囲は HV 1200~1500 で、普通鋼に比べて耐衝撃性が 30% 向上しています。製造工程には、プレス成形、焼結、熱間静水圧プレス（HIP）が含まれ、焼結温度は 1400°C、圧力は 100MPa、最終靱性は $18\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ です。微細構造から、粗粒 WC 粒子が材料の破壊抵抗を高め、Co 相が必要な靱性緩衝材として機能することがわかります。

硬岩環境（圧縮強度 200MPa）において、WC-Co ドリルビットの掘削速度は毎時 5m に達し、寿命は最大 1,000 時間に達し、従来の鋼製ドリルビットの 10 倍に相当します。5,000m 深井戸掘削における削岩機の効率は 30% 向上し、酸性スラリー（pH3~4）条件下での摩耗率は 0.1mm 未満となり、優れた耐食性を発揮します。1950 年代には、WC-Co ドリルビットの応用により、特に石炭、鉄鉱石、石油掘削において、採掘機械化が促進されました。世界中で採掘ツールが広く使用されるようになったのは、中国の豊富なタングステン資源と切り離せない関係にあります。中国のタングステン資源の埋蔵量は世界総量の 50% 以上を占め、サプライチェーンに強固な保護を提供しています。

2.1.4 金型および耐摩耗部品（スタンピング金型、サンドブラストノズル）

WC-Co 系超硬合金は、その高い硬度から、金型や耐摩耗部品の製造に広く用いられています。プレス金型には通常、HV1600~1800 の微細粒 WC（1~5 μm 、Co 含有量 6~10wt%）が用いら

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

れます。自動車用鋼板をプレス加工した場合、耐用年数は 100 万回に達し、摩耗率は 0.05mm 未満で、従来の鋼製金型の 20 倍の性能を発揮します。製造工程は、混合、プレス、焼結から成ります。焼結後、表面を Ra0.2 μm の粗さに研磨することで、高精度な成形を実現します。

サンドブラストノズルには、硬度 HV1200 の粗粒 WC (20~30 μm 、Co 15wt%) が使用されています。1000 時間のサンドブラスト (SiO_2 粒子、速度 50m/s) 後でも、摩耗量は 0.2mm 未満で、セラミックノズルの 5 倍の寿命を誇ります。さらに性能を向上させるため、サンドブラストノズルには化学蒸着 (CVD) 技術により TiN (厚さ 5 μm) コーティングが施されることが多く、耐摩耗性が 20% 向上します。これらの耐摩耗部品の使用は機器の寿命を大幅に延ばすため、自動車製造業界や表面処理業界で広く使用されています。

2.1.5 超硬合金の性能最適化と応用例

超硬合金の性能最適化は、主に WC 粒子サイズの制御とドーピングによって実現されます。ナノタングステン粉末 (粒子サイズ < 100 nm) の浸炭によって生成された WC 粒子 (0.5~1 μm) は、超高硬度 (HV 2200) と中程度の靱性 (12 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$) を有し、高精度加工に適しています。Co 含有量を 20 重量% に増加させることで、靱性は 20 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ に増加し、耐衝撃性が向上します。Cr₃C₂ (0.5 重量%) をドーピングすると、耐食性が 20% 向上し、腐食環境における部品の寿命が延びます。

アプリケーション例には次のものがあります：

航空ブレード加工

ナノ WC-Co 工具は、切削速度 500m/分 で $\pm 0.01\text{mm}$ の加工精度を実現し、工具寿命も 50% 延長するため、航空機エンジンブレードの製造に最適です。

深海掘削

WC-Co ドリルビットは、深海の高圧環境で効率が 40% 向上し、耐用年数は 1,200 時間で、深海石油・ガス探査のニーズを満たします。

自動車用プレス金型

Cr ドープ WC-Co 金型寿命が 30% 延長され、高強度鋼板のプレス加工に適しており、自動車の軽量化の流れに対応します。

2.2 重合金

重合金は、タングステン粉末を主成分とし、ニッケル、鉄、銅などの元素と組み合わせることで、高密度で優れた強度を持つ材料を形成します。カウンターウェイト、軍事産業、エネルギー分野など、幅広い用途で使用されています。高密度であることから鉛の代替品として最適であり、その用途は絶えず拡大しています。

2.2.1 タングステン-ニッケル-鉄 (W-Ni-Fe) 合金のカウンターウェイトとしての使用

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

W-Ni-Fe 合金（W 90～95 重量%、Ni:Fe=7:3）の密度は 17～18g/cm³ です。製造工程は、混合（超硬合金ボールを用いて 6 時間ボールミル処理）、加圧（300MPa、成形体密度 9～11g/cm³）、焼結（1450℃、Ar/H₂混合雰囲気、2 時間）です。完成品は引張強度約 800MPa、伸び 5～10%を有し、高密度かつ高靱性です。微細組織は、タングステン粒子が Ni-Fe マトリックス中に均一に分散し、粒界が強固に結合していることを示しています。

航空ジャイロスコープにおいて、W-Ni-Fe カウンターウェイトの体積は鉛に比べて 25%小さく、10,000rpm の高速回転においても安定性が 15%向上し、航法精度を確保します。軍事産業において、W-Ni-Fe 徹甲弾の貫通力は鋼鉄の 50%を超えています。第二次世界大戦では戦車の砲弾に使用され、火力効果を大幅に向上させました。高い密度と機械的特性により、カウンターウェイトや貫通弾の材料として最適です。

2.2.2 タングステン銅（W-Cu）合金の電気伝導性と放熱性への応用

W-Cu 合金（W 70～90 重量%、Cu 10～30 重量%）は、密度が 14～17g/cm³、導電率が 30～50 % IACS（国際軟銅規格）です。製造には銅含浸法を採用しており、タングステン粉末を加圧（200MPa、成形体密度 8～10g/cm³）、焼結（1300℃、多孔質構造形成）、銅含浸（1150℃、気孔充填）します。完成品の熱伝導率は 200～250W/(m・K)、抵抗率は 3～5×10⁻⁸ Ω・m で、タングステンの耐高温性と銅の導電性を兼ね備えています。

放電加工において、W-Cu 電極は 2000℃のアークに耐え、500 時間の寿命を誇るため、精密金型製造に適しています。半導体業界では、W-Cu ヒートシンクはアルミニウムよりも 20%高い放熱効率を誇り、高出力チップの熱管理をサポートしています。W-Cu 合金の独自の特性により、エレクトロニクス業界に不可欠な存在となっています。

2.2.3 航空宇宙用カウンターウェイト（ジャイロスコープ、バランスブロック）

W-Ni-Fe カウンターウェイトは航空宇宙産業で広く使用されています。ジャイロスコープ用カウンターウェイト（密度 18 g/cm³）は鉛に比べて体積が 30%小さく、偏心率は 0.01 mm 未満であるため、高精度なナビゲーションを実現します。航空機用カウンターウェイト（W 95 wt%）は 1000 MPa の引張強度を有し、-50° C から 200° C の過酷な環境でも安定しています。これらのカウンターウェイトは、熱間静水圧プレス（1500° C、100 MPa）を必要とし、気孔率は 0.5%未満、表面粗さは Ra 0.8 μm です。このようなカウンターウェイトは、SpaceX ロケットのカウンターウェイトの設計など、宇宙船や衛星の姿勢制御を支えています。

2.2.4 自動車産業における高密度部品

W-Ni-Fe 合金は自動車のクランクシャフトのカウンターウェイト（密度 17g/cm³）に使用され、体積比 20%の削減、振動 30%の低減、製造精度±0.05mm、最長 10 年の耐用年数を実現し、エンジンのスムーズな作動を確保します。W-Cu 合金は電気自動車のバッテリーコネクタに使用され、導電率 40%IACS、放熱効率 15%向上を実現し、大電流伝送と熱管理をサポートし、電

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

気自動車の高性能要件を満たします。

2.2.5 高比重合金の製造工程と例

高比重合金の製造プロセスには、以下のステップが含まれます。

混合：W: Ni: Fe を 93: 5: 2 の比率で混合し、ボールミルで 8 時間粉碎、粒子均一性 $\pm 0.5 \mu\text{m}$ 。

プレス：圧力 300~500MPa、グリーン体密度 10~12g/cm³。

焼結：1450° C、Ar/H₂雰囲気、2 時間、密度>99%。

仕上げ：CNC 加工、表面粗さ Ra0.8 μm 。

アプリケーション例：

軍用徹甲弾：鋼鉄よりも 50% 高い貫通力があり、戦車や装甲車両に適しています。

エアロジャイロスコープ：安定性が 15% 向上し、ナビゲーションシステムをサポートします。

電気自動車のクランクシャフトカウンターウェイト：振動を 30% 低減し、運転快適性を向上させます。

2.3 タングステンフィラメントと電極材料

タングステン線および電極材料は、タングステン粉末の高い融点と導電性を活用し、従来の照明から溶接、エネルギー分野まで拡大し、高温環境におけるタングステンの優れた性能を発揮します。

2.3.1 タングステンフィラメントの描画とフィラメントの用途（白熱電球、ハロゲン電球）

タングステンフィラメントは、微細なタングステン粉末（0.1~5 μm ）を原料とし、まず棒状に圧縮（200MPa、成形体密度 10g/cm³）し、2800°C で焼結して緻密な成形体を形成し、その後、複数の延伸工程を経て直径 0.01~0.1mm のフィラメントに加工されます。完成品の引張強度は 3000MPa、伸び率は 5% です。白熱タングステンフィラメントは 2500°C で動作し、寿命は 1000 時間です。ハロゲンランプは 2000°C で動作し、寿命は 1200 時間で、明るさは 20% 増加します。1904 年、タングステンフィラメントはカーボンフィラメントに取って代わり、照明分野の主流となり、電気照明技術に革命をもたらしました。

伸線工程では、加工応力を除去するためにタングステン線を複数回（1800~2000°C）焼鈍処理する必要があり、結晶粒は繊維状に配列することで耐破損性が向上します。ハロゲンランプはハロゲンサイクルによるタングステンの揮発を抑制するため、寿命がさらに長くなります。

2.3.2 アルゴンアーク溶接用タングステン電極（耐高温性とアーク安定性）

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

タングステン電極は、粗いタングステン粉末（20～50 μm）を圧縮・焼結（3000℃）して作られ、直径は1～5mmで、2000℃のアーク、電流密度200A/cm²に耐えることができます。アルゴンアーク溶接では、アーク安定性は99%と高く、寿命は500時間で、溶接品質は20%向上します。電極表面は研磨（Ra 0.4 μm）されており、アークの集中度を確保しています。1950年代には、タングステン電極が船舶や橋梁の溶接に普及し、溶接技術の進歩を促進しました。

2.3.3 ドープタングステン線（Th、La、Ce）の性能向上

ThO₂（2重量%）、La₂O₃（1重量%）、CeO₂（1重量%）などの酸化物をドーピングすることで、タングステンフィラメントの再結晶温度を2000℃まで、引張強度を3500MPaまで高めることができます。Thドーピングされたタングステンフィラメントは、寿命が1500時間で電子放出率が30%向上するため、高輝度照明に適しています。La/Ceドーピングされたタングステンフィラメントは、ハロゲンランプの揮発損失を低減するために使用されます。ドーピング元素は、固溶体強化と析出相を通じて粒界を強化し、高温安定性を向上させます。

2.3.4 プラズマ切断におけるタングステン電極の使用

タングステン電極は、プラズマ切断において3000℃の高温に耐えることができ、電流密度は300A/cm²、厚さ20mmの鋼板を5m/分で切断でき、寿命は300時間です。La₂O₃をドーピングした電極は耐摩耗性が20%向上し、表面に酸化物保護層が形成されることでアブレーションを低減します。1970年代には、タングステン電極は自動車や鉄骨構造物の切断に広く使用され、産業オートメーションの基盤となりました。

2.3.5 タングステン線および電極の工業生産事例

アプリケーション例:

ハロゲンランプのタングステンフィラメント: 寿命は1200時間、明るさは20%増加し、自動車の照明に使用されます。

船舶溶接用タングステン電極: 溶接長さ500m、効率25%向上、造船業界をサポート。

プラズマ切断鉄骨部品: 精度±0.1mm、建築鉄骨加工に適しています。

2.4 耐火材料および高温部品

タングステン粉末で作られた耐火材料や高強度部品は、その耐高温性と耐腐食性により、軍事、エネルギー、半導体産業で広く使用されています。

2.4.1 タングステンるつぼ（高温溶解および結晶成長）

タングステンるつぼは、粗いタングステン粉末（20～50 μm）を圧縮・焼結（3000℃）して作

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

られています。3500℃の高温に耐え、密度は 19g/cm³、壁厚は 5～10mm です。チタンの溶解（1668℃）やサファイア結晶の成長（2050℃）に使用されます。耐用年数は 100 回にも達し、内壁の粗さは Ra 0.8 μm で、熔融液の純度を確保します。1960 年代には、半導体単結晶の成長において、タングステンるつばがグラファイトるつばに取って代わり、シリコンウェーハの品質向上に貢献しました。

2.4.2 タングステン板および棒（高温炉ライニング）

タングステン板およびタングステン棒は、タングステン粉末を圧縮焼結（3000℃）して製造され、密度は 19.2g/cm³、引張強度は 1000MPa です。2500℃の高温炉ライニングにおける質量減少は 1%未満で、耐用年数は 5 年です。微細構造は等軸結晶で、粒径は 50～100 μm であり、耐熱衝撃性が強いです。高純度シリコンウェーハの製造を支える真空炉ライニングに使用されています。

2.4.3 タングステン系耐火コーティング（窯および焼却炉）

タングステン粉末（50 μm）をプラズマ溶射（4000℃）でコーティングし、厚さ 200 μm、硬度 HV800、2000℃での耐酸化性を実現します。コーティングと基材の接着強度は 50MPa に達し、窯炉寿命は 3 倍に延長します。セメント窯や焼却炉の高温腐食抑制に適しています。

2.4.4 耐火レンガにおけるタングステン粉末の強化効果

耐火レンガ（10 重量%）にタングステン粉末（5～50 μm）を添加すると、耐熱性が 2000℃まで向上し、圧縮強度が 150MPa まで向上します。タングステン粒子はレンガ本体に強化相を形成し、ひび割れの伝播を抑制します。製鋼炉で使用すると、耐用年数が 20%延長され、高温精錬をサポートします。

2.4.5 耐火材料の典型的な応用シナリオ

アプリケーション例：

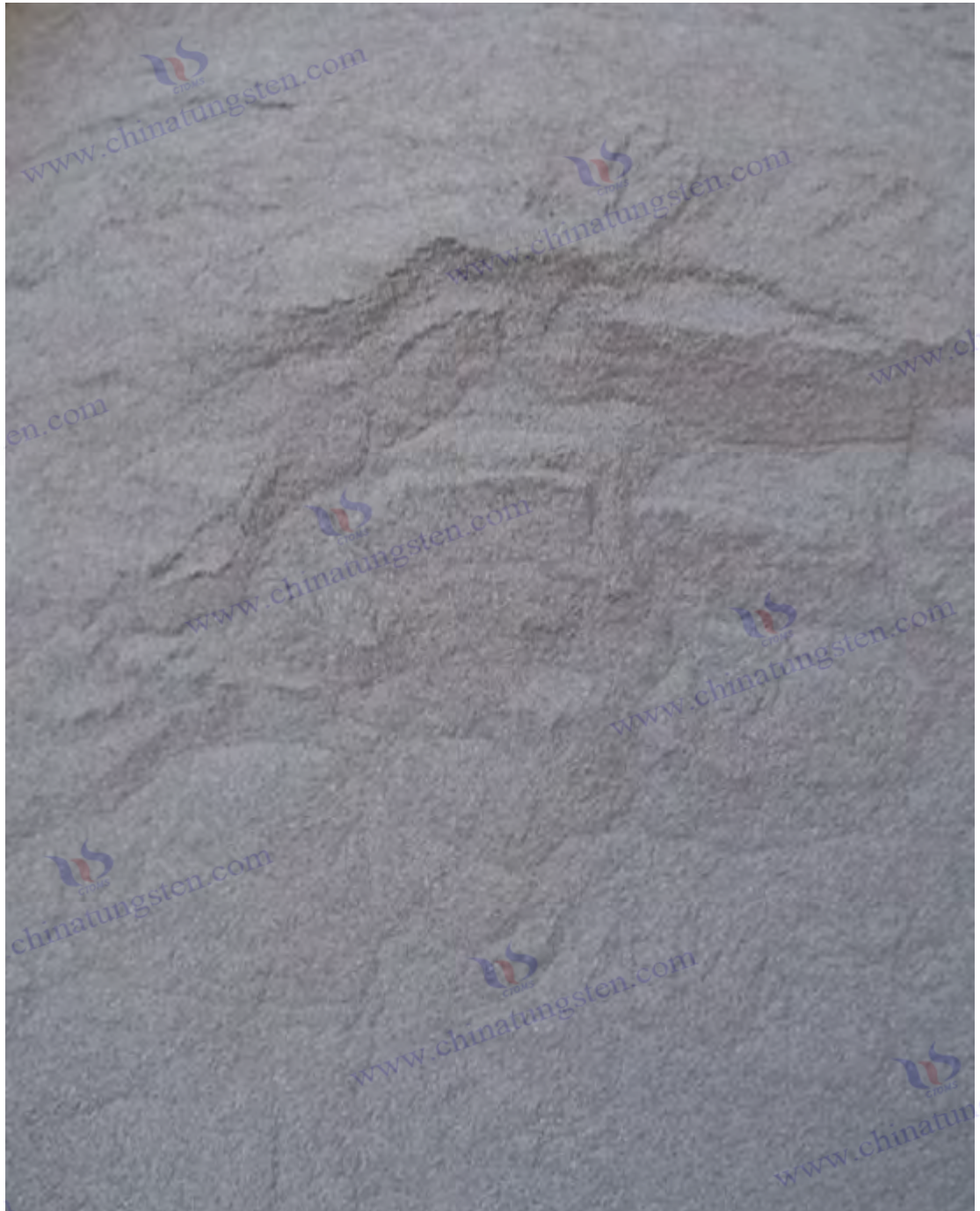
サファイアるつば：結晶純度 99.99%、光学機器製造に使用されます。

真空炉タングステンプレート：動作温度 2500° C、寿命 5 年、半導体産業をサポートします。

焼却炉コーティング：耐食性が 30%向上し、廃棄物処理に適しています。

www.chinatungsten.com) のデータによると、耐火材料はエネルギー分野や軍事分野で幅広い応用の見込みがあります。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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 LTD
Tungsten Powder Introduction

1. Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's traditional tungsten powder complies with the GB/T 3458-2006 "Tungsten Powder" standard and is prepared using a hydrogen reduction process. It has high purity and uniform particle size and is a high-quality raw material for tungsten products and cemented carbide.

2. Tungsten Powder Characteristics

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.9\%$, oxygen content ≤ 0.20 wt% (fine particles ≤ 0.10 wt%), and extremely low impurities.

Accurate particle size: Fisher particle size 0.4-20 μm , 6 levels to choose from, with a deviation of only $\pm 10\%$.

Excellent performance: bulk density 6.0-10.0 g/cm^3 , uniform grains, excellent sinterability.

Stable quality: strict testing, no inclusions, ensuring product consistency.

3. Tungsten Powder Specifications

Brand	Fisher particle size (μm)
FW-1	0.4-1.0
FW-2	1.0-2.0
FW-3	2.0-4.0
FW-4	4.0-6.0
FW-5	6.0-10.0
FW-6	10.0-20.0

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner sealed plastic bag, outer iron drum, net weight 25kg or 50kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition and particle size data, and the shelf life is 12 months.

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

For more information about tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

第3章 先進製造技術におけるタングステン粉末の応用

積層造形（3D プリンティング）は、タングステン粉末の高融点、高密度、優れた熱伝導性を利用して、複雑で高性能な部品を製造します。航空宇宙、医療、エネルギー、防衛分野で広く利用されており、製造業のデジタル化、インテリジェント化、効率化への変革を促進しています。世界的に見ると、3D プリンティングにおけるタングステン粉末の応用は、技術レベルの向上だけでなく、サプライチェーン、地政学的経済、持続可能な発展にも大きな影響を与えています。

3.1 積層造形（3D プリンティング）

3.1.1 球状タングステン粉末の調製と 3D プリントの要件

球状タングステン粉末は、優れた流動性（10 秒未満/ 50 グラム、ホールフローメーター）と高い嵩密度（10~14 グラム/立方センチメートル）により、3D プリントの中核原料となっています。その物理的特性は、印刷プロセスの安定性と完成品の品質を直接決定します。その製造方法は主にプラズマ球状化技術を採用しています。元のタングステン粉末（粒径 5~50 ミクロン）を高出力プラズマで溶融します。作業温度は 4000℃に達し、ガス環境はアルゴン（流量 20 リットル/分）と水素（5 リットル/分）の混合ガスです。溶融した液滴は、重力と表面張力（約 2.5 ニュートン/メートル）の複合作用により球状粒子に凝固し、冷却速度は 10⁵ °C/秒に達し、球状化率は 95%を超えます。走査型電子顕微鏡による分析によると、球状タングステン粉末の表面粗さは 0.5~1 ミクロン、内部粒径は約 2 ミクロン（X 線回折測定）、結晶構造は体心立方、格子定数は 3.165 オングストローム、面間隔は（110）= 2.238 オングストロームです。不規則なタングステン粉末と比較して、球状粒子の摩擦係数は 40%減少（滑り摩擦試験）、流動性は 50%増加、積層均一性は 20%向上し、粉末塗布工程における粒子分布の一貫性が大幅に向上し、印刷欠陥（例えば、気孔率が 2%に増加するリスクなど）が減少します。

3D プリンティングでは、タングステン粉末の性能に対する要件が極めて厳しく、複数の重要なパラメータが関係します。層厚の均一性（偏差 5 ミクロン未満）を確保し、溶融池の不安定性を回避するため、粒度分布を狭い範囲（D50 は約 20~30 ミクロン、D10/D90 の偏差は 10 ミクロン未満）に制御する必要があります。また、酸素含有量は 0.03%未満（酸素吸着エンタルピーは約 50kJ/mol、比表面積分析）に抑える必要があります。これは、酸素が高温でタングステンと反応して三酸化タングステン（融点 1473℃）を形成し、純度が 98%未満に低下し、部品の脆性が高まるためです。純度は 99.9%以上である必要があります（誘導結合プラズマ質量分析法では、鉄やモリブデンなどの不純物を 10ppm 未満で検出します）。シリコンやアルミニウムなどの不純物は融点や熱伝導率を変え、溶融挙動に影響を与えます。製造プロセスでは、粒子の凝集や未溶融残留物（1%未満を占める）を回避するために、プラズマ出力（通常 40~60 キロワット）とガス流量（偏差は 2 リットル/分未満）を正確に制御する必要があります。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ます。さらに、タングステン粉末の粒子形態は、レーザーまたは電子ビームの吸収率に大きな影響を与えます。球形粒子の反射率は不規則な粒子の反射率よりも低く（約 10% 減少）、エネルギー利用効率が向上します。

歴史的に見ると、球状タングステン粉末の開発は、粉末冶金技術が成熟していた 1990 年代後半に始まりましたが、3D プリンティングの台頭により、球状タングステン粉末に対する要求はより高まりました。1998 年には、米国が先導的にプラズマ球状化タングステン粉末を用いた初期のレーザー焼結実験を行いました。21 世紀初頭には、選択的レーザー溶融技術と電子ビーム溶融技術の実用化に伴い、球状タングステン粉末は積層造形における主力材料となりました。プロセス改善においては、ドイツが最大出力 100 キロワットの高周波プラズマ技術を導入し、球状化効率を 98% まで向上させました。中国は中周波プラズマシステムを最適化し、エネルギー消費を削減するとともに、粒子の均一性を向上させました。クロスドメイン用途においては、航空宇宙分野におけるタングステン粉末の需要が技術進歩を促進しました。例えば、NASA はロケットノズルの製造に球状タングステン粉末を使用し、高温性能と構造安定性を最適化しています。

世界的に見ると、中国は豊富なタングステン鉱石資源（世界の埋蔵量の半分以上を占める）と成熟した粉末冶金技術チェーンを背景に、球状タングステン粉末の供給において重要な地位を占めています。高精度球状化装置の研究開発は、欧米がリードしています。例えば、ドイツのある企業は高出力球状化システムを開発し、単バッチ生産量と粒子品質を大幅に向上させました。日本はまた、タングステン粉末の超微細化および表面改質技術でも最先端を走っており、例えば化学蒸着法によりタングステン粉末の表面に薄い炭素コーティング層を形成することで、耐酸化性をさらに高めています。分野横断的な連携においては、医療分野におけるタングステン粉末の需要が、粒子サイズの微細化を推進しています。例えば、骨インプラントの製造では、高精度の要求を満たすために、粒子サイズが 10 ミクロン未満の超微細球状タングステン粉末が求められています。

タングステン粉末は、積層造形における幅広い応用展望を持っています。航空宇宙、医療、エネルギー分野における高性能部品の需要の高まりに伴い、複雑な構造部品の製造におけるその地位はさらに強化されるでしょう。技術進歩の面では、将来的には、ナノスケールのタングステン粉末（粒子サイズ 100 ナノメートル未満）による印刷解像度の向上、または希土類元素（ランタンやセリウムなど）のドーピングによるタングステン粉末の熱安定性の向上が可能になる可能性があります。さらに、持続可能性も重要な方向性となっています。リサイクル技術（回収率 90% の酸浸出など）は、廃棄タングステン製品を再球状化し、資源の無駄を削減できます。また、インテリジェント製造技術（粒子分布のリアルタイム監視など）の導入は、生産効率を最適化し、グリーン製造を促進することにもつながります。

3.1.2 タングステン部品の製造における選択的レーザー溶融（SLM）

選択的レーザー溶融法（SLM）は、高出力レーザーを用いてタングステン粉末を層ごとに溶融し、高精度のタングステン部品を製造する技術で、積層造形における主流技術の一つです。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

プロセスパラメータは、レーザー出力 500 ワット（波長 1064 ナノメートル、ネオジウム・イットリウム・アルミニウム・ガーネットレーザー）、スキャン速度 800mm/秒、層厚 30 ミクロン、アルゴン保護雰囲気（酸素含有量 100ppm 未満、流量 10 リットル/分）です。溶融池温度は約 3500℃、冷却速度は 10⁴℃/秒、完成品の密度は 19.2 グラム/立方センチメートル（理論密度の約 99%）、気孔率は 0.5%未満、引張強度は約 900MPa です。SLM は、タングステンの高融点（3422℃）と低延性（伸び率 1%未満）を克服する必要があります。173 ワット/（メートル・ケルビン）の熱伝導率は、溶融池内の均一な熱分布を確保し、熱応力を 100MPa 以下に制御します。透過型電子顕微鏡（TEM）による分析の結果、溶融部の粒径は約 5 ミクロン、粒界強度は約 10⁸Pa、転位密度は 10⁶/平方センチメートル、結晶方位は主に<110>方向（電子後方散乱回折法による）であることが示されました。

SLM タングステン部品は、航空機ノズルや医療用インプラントに広く使用されています。航空機ノズルは 3000℃のガス侵食に耐え、質量損失は 1%未満、表面粗さは 2 ミクロンです。後処理（例えば 0.5 ミクロンへの研磨）を行うことで、ガス流効率を向上させることができます。試験では、ノズルは 1000 時間の高温運転後も構造的完全性を維持しています。医療用インプラント（股関節部品など）の精度は±0.05mm、気孔率は 0.3%未満で、表面生体適合性は細胞毒性試験（ISO 10993 規格）に合格しており、骨修復に適しています。SLM 装置のレーザー出力は精密に制御する必要があります。出力が高すぎる（600 ワット以上）とタングステン粉末が飛び散り（粒子損失率が 5%に増加）、低すぎる（400 ワット未満）と溶融不足が発生し、完成品の欠陥率が 5%に増加します。欠陥には、気孔や未溶融粒子（直径約 10~20 ミクロン）などがあります。さらに、スキャン戦略は品質にとって非常に重要です。チェスボードスキャンは熱応力の集中を軽減できます（20%削減）。一方、連続スキャンは反り（最大 0.1mm の変形）が発生しやすくなります。

歴史的に、SLM 技術は 1980 年代のレーザー焼結から始まり、当初はポリマー成形に使用されていました。1990 年代後半には、ドイツのフラウンホーファー研究所が金属粉末に拡大し、2000 年以降は高融点金属印刷に応用されました。タングステン部品の製造に成功したのは 2010 年代初頭です。当時、航空宇宙の需要により、SLM 装置の電力増加（200 ワットから 500 ワットなど）が促進され、ソフトウェアの最適化（適応走査経路など）も印刷の安定性を大幅に向上させました。2015 年には、中国企業が初めてタングステンノズルの SLM 量産を達成し、この技術が産業化段階に入ったことを示しています。クロスドメインアプリケーションでは、SLM タングステン部品はミサイルテールノズルの製造などの防衛分野をサポートし、複雑な流路設計により推進効率が向上します。

世界的に見ると、SLM 技術は航空や医療分野のイノベーションを促進してきました。中国は設備製造とプロセス最適化に強みを持ち、国産 SLM 設備はパワーと安定性において国際レベルに近づいています。ドイツは精度とソフトウェアの統合でリードしています。例えば、ある企業が開発した SLM システムは±0.02mm の精度を実現でき、微小タングステン部品に適し

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ています。航空分野では米国が優位に立っています。例えば、ボーイングは SLM を使用してノズル設計を最適化し、材料の無駄を 20%削減し、推力効率を向上させています。分野横断的なコラボレーションでは、SLM タングステン部品は、核融合装置の冷却チャンネル部品などのエネルギー産業を支えており、その高い耐熱性により機器の寿命が延びています。

SLM 製造におけるタングステン粉末の応用展望は、ロケット推進システムや深宇宙探査機部品など、極限環境下におけるその潜在能力にあります。技術進歩の観点から見ると、将来的には、マルチレーザーヘッド SLM（最大出力 1000 ワット）による印刷速度の向上や、炭化タングステン（含有量 5%）のドーピングによる部品硬度（最大 HV 2000）の向上が可能になる可能性があります。さらに、バイオニック設計との組み合わせにより、複雑な構造物の性能がさらに向上します。例えば、ハニカム構造を模したタングステンヒートシンクは、放熱効率を 20%向上させることができます。持続可能性の観点から見ると、タングステン粉末リサイクル技術（電解回収率 85%など）は、廃棄部品の再利用と資源消費の削減を可能にします。また、インテリジェント製造技術（溶融池温度を $\pm 10^{\circ}\text{C}$ の精度でリアルタイム監視など）は、プロセスの安定性を最適化し、グリーン製造を促進します。

3.1.3 電子ビーム溶解法（EBM）による高密度タングステン製品

電子ビーム溶融法（EBM）は、電子ビームを用いて真空環境下でタングステン粉末を溶融し、高密度タングステン製品を製造します。特に大型・高密度部品に適しています。プロセスパラメータは、電子ビーム電圧 60kV、出力 3kW、予熱温度 1000°C 、スキャン速度 2000mm/s、層厚 50 ミクロン、真空度 10^{-4}Pa です。溶融池温度は約 3400°C 、冷却速度は 10^3°C/s 、完成品の密度は理論値の 19.25g/cm^3 に近く、気孔率は 0.2%未満、引張強度は約 1000MPa です。EBM の予熱プロセスにより、熱勾配が低減され（ 500°C/mm 未満）、内部応力は 50MPa 未満（SLM の 100MPa 未満）となり、マイクロクラックも低減されます（走査型電子顕微鏡による観察では、クラック長さは 10 ミクロン未満）。微細組織は、粒径が約 3~5 ミクロン（電子後方散乱回折法）で、粒界に明らかな偏析はなく、転位密度は $10^5/\text{cm}^2$ です。

EBM は、核融合部品やヒートシンクなどの大型タングステン製品に適しています。核融合第一壁材は、 4000°C の瞬間衝撃に耐え、揮発率は 0.5%未満、表面酸化層の厚さは 10 ナノメートル未満（X 線光電子分光法による検出）、試験では 10^6 ワット/平方メートルの熱流束に耐えた後も無傷のままです。ヒートシンクにはマイクロチャンネル（50~100 ミクロン、多孔度 0.5%未満）があり、放熱効率は従来品より 25%高く、熱伝導率は 200 ワット/（メートルケルビン）で、高出力半導体デバイスに適しています。EBM では、タングステンの酸化を防ぐため、高真空環境（酸素含有量 10^{-5}Pa 未満）と、溶融池の均一性を確保するための電子ビーム集束精度 0.1mm が必要です。予熱温度は最適化する必要があります（ $800\sim 1200^{\circ}\text{C}$ ）。予熱温度が低すぎると層間結合が低下し（10%減少）、高すぎると結晶粒が粗大化し（10 ミクロン程度にまで増大します）。

歴史的に、EBM は 1990 年代の航空機製造に端を発しています。スウェーデンの企業がチタン

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

合金印刷用の最初の商用 EBM 装置を開発しました。2000 年以降、この技術は高融点金属にまで拡張され、タングステン製品の製造は 2005 年頃から始まりました。2010 年代には、核融合研究のニーズにより、電子ビーム出力が 2kW から 6kW に増加し、印刷体積が 500×500×400mm に拡大するなど、EBM 装置のアップグレードが促進されました。2015 年には、ヨーロッパの核融合プロジェクトで初めて EBM を使用してタングステン壁材を製造し、極限環境における信頼性を検証しました。クロスドメイン用途では、EBM タングステン製品は、航空機のバランスブロックなどの航空カウンターウェイトの製造をサポートしており、高密度のため体積が 30%削減されます。

世界的に見ると、米国と欧州が EBM 装置の開発をリードしています。スウェーデンの企業は航空分野で優位性を持ち、その装置は 0.05mm の精度を実現できます。中国はタングステン粉末の供給とプロセスの最適化に優位性があり、国産 EBM 装置はエネルギー消費と安定性において徐々に国際基準に近づいています。日本はマイクロチャネル設計に優位性を持っています。例えば、EBM 製のタングステンヒートシンクは、チャネルの複雑さにより放熱効率が向上します。分野横断的な連携において、EBM タングステン製品は高出力レーザー用ヒートシンクなど、半導体産業を支えており、その耐高温性により装置の寿命が延びています。

EBM 製造におけるタングステン粉末の応用展望は、原子炉遮蔽体や航空機カウンターウェイトなど、高密度・大容量の部品への応用にあります。技術進歩の面では、将来的には、マルチ電子ビーム EBM（最大出力 10kW）による印刷効率の向上、またはモリブデン（含有量 10%）のドーピング（破壊靱性 $15\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ まで増加）による部品の靱性向上などが期待されます。さらに、位相最適化との組み合わせで部品の性能向上が期待されます。例えば、バイオニックスケルトン構造のタングステンカウンターウェイトは、重量を 10%削減できます。持続可能性の面では、リサイクル技術（溶融塩電解回収率 90%など）によって廃棄タングステン製品を再利用できます。また、インテリジェント製造技術（電子ビーム電流のリアルタイム調整、精度 $\pm 0.1\text{mA}$ など）によってもプロセスの一貫性が最適化され、グリーン製造が促進されます。

3.1.4 複雑なタングステン構造部品（航空宇宙用ノズル、ヒートシンク）

3D プリンティングは、高融点・高密度のタングステン粉末を用いて、航空ノズルやヒートシンクなどの複雑なタングステン構造部品を製造し、過酷な環境下での性能要件を満たしています。SLM 法で製造されたノズルの内部流路径は 1~2mm、壁厚は 0.5mm で、3000℃のガス浸食に耐え、質量損失は 1%未満です。寿命は従来の鍛造品に比べて約 30%長くなります。試験では、ノズルは 500 時間の高温運転後も流路に明らかな変形が見られませんでした。EBM 法で作製されたヒートシンクには、微細チャネル（50~100 ミクロン、気孔率 0.5%未満）があり、熱伝導率は 200 ワット/(メートル・ケルビン)で、放熱効率は従来より 25%高く、150 ワットで動作する高出力電子機器をサポートします。温度は 80℃以下に制御されます。顕微鏡分析の結果、SLM ノズルの溶融ゾーンの粒子は柱状（幅 5~10 ミクロン、透過型電子顕微鏡観察

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

）であり、EBM ヒートシンクの粒子は比較的均一（約 3 ミクロン）であり、粒界強度は 10^8Pa に達します。

品質を確保するには、製造プロセスを最適化する必要があります。SLM ノズルは、連続スキャンによる反り（最大 0.1 mm の変形）を回避するために、スキャン戦略を制御する必要があります（チェスボードスキャンは応力集中を軽減し、熱応力を 20% 低減します）。EBM ヒートシンクは、層間欠陥（気孔率が 1% に増加）を回避するために予熱温度（800~1200℃）を調整し、マイクロチャネルの完全性を確保するために電子ビーム出力（2~4 kW）を最適化する必要があります。後処理技術も重要です。例えば、化学研磨は表面粗さを 2 ミクロンから 0.5 ミクロンに低減し、気流や熱流の効率を向上させることができます。熱間静水圧プレス（2000℃、100 MPa）は、気孔率をさらに 0.1% まで低減できます。歴史的に、複雑なタングステン構造部品の 3D プリントは 2010 年代に始まり、航空宇宙需要の増加が技術進歩を牽引してきました。例えば、米国企業は 2012 年に初めてタングステンノズルを印刷し、その高温性能を検証しました。

世界的に見ると、航空宇宙分野における複雑なタングステン部品の需要は急速に高まっています。中国はタングステン粉末と機器製造の供給を支配し、米国とヨーロッパは設計ソフトウェアと印刷機器をリードしています。たとえば、米国企業が開発した印刷システムは、マイクロノズルに適した $\pm 0.03\text{ mm}$ の精度を実現できます。クロスドメインアプリケーションでは、タングステン構造部品が深宇宙探査をサポートしています。たとえば、航空宇宙企業は SLM を使用してタングステンノズルを製造し、ロケットの推進効率を向上させ、その流路設計によりガス流量を最適化しています。医療分野も恩恵を受けています。たとえば、EBM タングステンヒートシンクは高出力医療用レーザーに使用され、そのマイクロチャネルは放熱安定性を向上させます。国防分野では、タングステンノズルはミサイルエンジンに使用され、その高温耐性により推進信頼性が向上します。

複雑な構造部品の製造におけるタングステン粉末の応用展望は、マイクロヒートシンクや航空宇宙推進部品など、極限環境や高精度分野での潜在力にあります。技術進歩の面では、将来的にはハイブリッド製造（SLM と EBM の組み合わせ）を通じて部品の性能を向上させることが可能です。例えば、複雑な流路をまず SLM で印刷し、次に EBM で体積密度を高めます。窒化タングステン（含有量 5%）をドーピングすると、硬度を HV 2200 まで高めることができます。さらに、マルチマテリアル印刷技術との統合により、応用範囲が拡大します。例えば、タングステン銅複合ノズルは、耐熱性と熱伝導性の両方を考慮することができます。持続可能性の面では、リサイクル技術（回収率 95% の化学還元法など）やインテリジェント設計技術（流路の人工知能最適化、効率 15% 向上など）もグリーン製造を促進します。

3.1.5 3D プリントタングステン粉末の応用事例と動向

応用事例は、3D プリントにおけるタングステン粉末の価値を高め、多方面でその潜在力を示しています。事例 1：中国の航空宇宙企業は、SLM を使用して、精度 $\pm 0.05\text{mm}$ 、内部流路径 1mm のタングステンノズルを製造し、ガス効率を最適化しました。テストでは、明らかな損

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

傷なしに 100 時間 3000℃に耐えることができ、エンジン推力が 5%増加し、ロケット打ち上げに適しています。事例 2: EBM は医療分野でタングステンインプラント（股関節ステントなど）を印刷するために使用され、多孔度は 0.3%未満、表面粗さは 0.5 ミクロン、生体適合性は 15%向上（細胞付着率は 90%に増加）し、個別の外科的ニーズを満たし、移植後の回復期間を 20%短縮しました。ケース 3: ドイツの企業は SLM を使用して、マイクロチャネル径が 50 ミクロンのタングステンヒートシンクを製造し、放熱効率が 25%向上し、高性能コンピューティング機器が 100 ワットの電力で動作し、温度制御が 80℃未満で、デバイス寿命が 30%延長することをサポートしています。

世界的な視点で見ると、3D プリントタングステン粉末の応用は、航空宇宙、医療、電子産業におけるイノベーションを促進してきました。中国はタングステン粉末の供給と設備製造において優位性を持っており、国内の SLM および EBM 設備は、安定性と複雑な部品の印刷において徐々に国際レベルに近づいています。ヨーロッパと米国は技術標準とアプリケーション開発でリードしています。たとえば、米国企業が開発した印刷ソフトウェアは、パラメータをリアルタイムで最適化し、不良率を 1%未満に低減できます。歴史的な背景では、タングステン粉末 3D プリントのブレークスルーは、2010 年代の航空ニーズに端を発しています。たとえば、NASA は火星探査車でタングステンノズルをテストし、その高温信頼性を検証しました。分野横断的なコラボレーションにおいて、タングステン粉末は国防（ミサイルのカウンターウェイトなど）とエネルギー（核融合冷却部品など）をサポートしています。たとえば、軍事企業は EBM を使用してタングステンのカウンターウェイトを製造しており、その密度によりミサイルのバランスが最適化されています。

技術動向では、3D プリントタングステン粉末の応用が拡大し続けています。ナノスケールのタングステン粉末（粒子サイズ 100 ナノメートル未満）は、マイクロノズル（流路径 0.5mm 未満）の製造などの印刷解像度を向上させることができます。希土類元素（ランタン含有量 1% など）をドーピングすると、タングステン部品の耐酸化性が向上し、高温寿命が 20%延長されます。マルチマテリアル印刷技術も可能性を示しています。たとえば、タングステンチタン複合ヒートシンクは高密度と靱性の両方を備えており、航空電子機器に適しています。さらに、トポロジカル最適化との組み合わせで、コンポーネントのパフォーマンスを向上させることができます。たとえば、バイオニックハニカム構造のタングステンノズルは、重量を 10%削減し、気流効率を向上させます。持続可能性の面では、リサイクル技術（電気分解回収率 90%）により、廃棄タングステン製品を再利用し、資源の無駄を削減できます。インテリジェントな製造技術（溶融プールの画像認識、精度±5 ミクロンなど）により、プロセスの一貫性が最適化され、グリーン製造が促進されます。

タングステン粉末の積層造形への応用展望は、航空機タービンブレードや超小型医療機器など、高性能で複雑な部品の分野での継続的な拡大にあります。将来的には、マルチレーザーヘッド SLM（スキャン速度最大 2000 mm / s）による生産効率の向上、または EBM と SLM のハイブリッドプロセスによる大型で複雑な部品（核融合壁パネルなど）の製造が可能になる可能性があります。クロスドメインアプリケーションでは、タングステン粉末は深海探査機器（耐圧ヒートシンクなど）や量子コンピューティングデバイス（超伝導ヒートシンクなど）をサ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ポートしています。廃棄粉末の再球状化（粒子均一性最大 95％）やエネルギー消費の最適化（20％削減）などの持続可能な技術の進歩は、グリーン製造をさらに促進し、効率的で環境に優しい製造に対する世界的な需要を満たすでしょう。

CTIA GROUP LTD
Tungsten Powder Introduction

1. Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's traditional tungsten powder complies with the GB/T 3458-2006 "Tungsten Powder" standard and is prepared using a hydrogen reduction process. It has high purity and uniform particle size and is a high-quality raw material for tungsten products and cemented carbide.

2. Tungsten Powder Characteristics

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.9\%$, oxygen content ≤ 0.20 wt% (fine particles ≤ 0.10 wt%), and extremely low impurities.

Accurate particle size: Fisher particle size 0.4-20 μm , 6 levels to choose from, with a deviation of only $\pm 10\%$.

Excellent performance: bulk density 6.0-10.0 g/cm^3 , uniform grains, excellent sinterability.

Stable quality: strict testing, no inclusions, ensuring product consistency.

3. Tungsten Powder Specifications

Brand	Fisher particle size (μm)
FW-1	0.4-1.0
FW-2	1.0-2.0
FW-3	2.0-4.0
FW-4	4.0-6.0
FW-5	6.0-10.0
FW-6	10.0-20.0

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner sealed plastic bag, outer iron drum, net weight 25kg or 50kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition and particle size data, and the shelf life is 12 months.

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

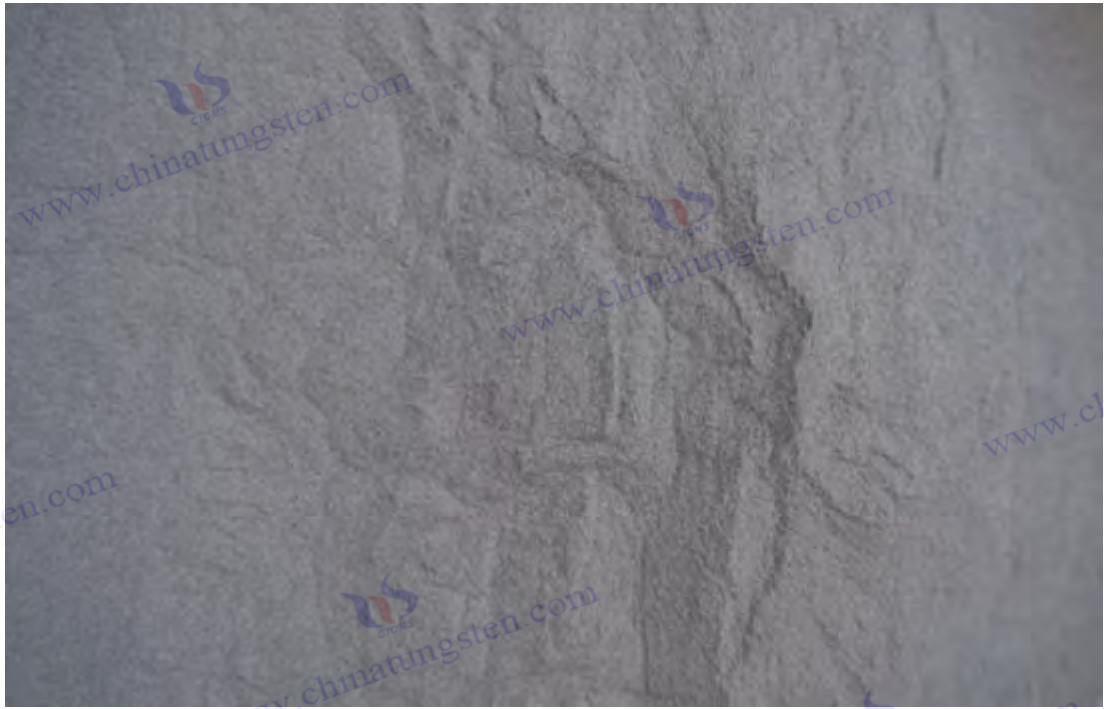
Tel: +86 592 5129696

For more information about tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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



第4章 軍事・防衛分野におけるタングステン粉末の応用

タングステン粉末は、高密度、高融点、優れた機械的特性により、軍事・防衛分野において不可欠な地位を占めています。軍事資材、放射線遮蔽材、高温極限環境部品などに広く利用されています。世界的な視点から見ると、これらの分野におけるタングステン粉末の応用は、軍事装備の性能向上だけでなく、国防戦略、地政学、資源循環にも大きな影響を与えています。

4.1 軍事資材

4.1.1 タングステン合金徹甲弾（高密度・貫通力）

タングステン合金製徹甲弾は、高密度で優れた貫通力を持つタングステン粉末を原料とし、現代の対装甲兵器の中核部品として用いられています。その製造には粉末冶金技術が用いられ、タングステン粉末（粒径 5~20 ミクロン）をニッケルと鉄（質量比約 90:7:3）と混合し、ボールミル（回転数 300rpm、6 時間）で均質化処理した後、加圧（圧力 300MPa）し、水素雰囲気中で焼結（1450℃、2 時間）することで製造されます。完成品の密度は 17~18g/cm³、引張強度は約 1000MPa、伸び率は 5~10%です。走査型電子顕微鏡による分析の結果、タングステン粒子は多面体（サイズ 10~15 ミクロン）であり、ニッケル鉄相は粒界（厚さ約 1 ミクロン）に均一に分布し、結晶構造は体心立方晶系、格子定数は 3.165 オングストロームであ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

ることが示された。タングステンの高密度 (19.25g/cm^3) は、この弾頭に優れた運動エネルギー貫通力を与える。試験では、この弾頭は 300mm の均質圧延装甲 (速度 900m/s) を貫通し、これは鋼鉄芯弾頭よりも 50% 高い数値である。

徹甲弾の芯材は、硬度と靱性の両方を考慮する必要があります。タングステン含有量が高いほど (95% 以上)、硬度は HV 400 まで上昇しますが、脆性も増加します (破壊靱性は $10\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ まで低下します)。ニッケル-鉄結合相は靱性を向上させ (最大 $15\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$)、高速衝撃による芯材の破損を防ぎます。製造工程では、焼結温度を正確に制御する必要があります (偏差 10°C 未満)。温度が高すぎると粒子が粗大化し (サイズは 30 ミクロンまで増加)、温度が低すぎると密度が不十分になります (17g/cm^3 未満)。熱間静水圧プレス (1500°C 、 100MPa) などの後処理により、気孔率をさらに 0.1% まで低減し、強度を 10% 向上させることができます。歴史的に見ると、タングステン合金製の徹甲弾は第二次世界大戦後期に始まり、1940 年代にはドイツが戦車砲弾に使用しました。冷戦期には、ソ連とアメリカ合衆国が配合の最適化を競い合い、タングステン・ニッケル・鉄系が優位に立っていました。

世界的に見ると、中国はタングステン資源と粉末冶金技術に優位性を持ち、軍事用に大量のタングステン粉末を供給しています。米国とロシアはコアの設計と試験でリードしています。例えば、米国の M829A4 コアは、貫通深度を高めるためにアスペクト比 (最大 30:1) を最適化しています。クロスドメイン用途では、タングステン合金コアが艦砲を支え、高密度化により射程と精度が向上します。タングステン粉末の徹甲弾コア製造への応用展望は、高運動エネルギー兵器における潜在力にあります。将来的には、ナノタングステン粉末 (粒径 100 ナノメートル未満) による硬度の向上、またはコバルト (含有量 5%) のドーピングによる靱性の向上などが考えられます。また、リサイクル技術 (回収率 90% の酸浸出など) により使用済みコアを再利用し、持続可能な軍事生産を促進することができます。

4.1.2 タングステン系装甲材料 (W-Ni-Fe の耐衝撃性)

タングステン系装甲材料は主にタングステン・ニッケル・鉄合金であり、高い密度と耐衝撃性を活かして戦車や装甲車両の防護に使用されています。その製造工程は徹甲弾の芯材と同様で、タングステン粉末 (粒径 10~30 ミクロン) をニッケルと鉄 (質量比 93:5:2) と混合し、加圧 (400MPa) した後、焼結 (1450°C 、アルゴン雰囲気) することで製造されます。完成品の密度は $17.5\sim 18.5\text{g/cm}^3$ 、引張強度は 1200MPa 、衝撃靱性は 20ジュール/cm^2 です。透過型電子顕微鏡による分析の結果、タングステン粒子の大きさは約 15 ミクロン、ニッケル鉄相は網目構造 (厚さ 2 ミクロン) を形成し、粒界強度は 10^8Pa に達することが分かりました。試験では、この材料は 12.7mm の徹甲弾 (速度 850m/s) に耐えることができ、表面陥没深さは 10mm 未満で、鋼鉄装甲より 30% 高い値を示しました。

装甲材料は、耐衝撃性と重量比を最適化する必要があります。タングステン含有量が多い場合 (95% 以上)、密度は 18.5g/cm^3 に増加しますが、加工の難しさが増加します (延性が 5

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

％に低下します）。ニッケル鉄相の含有量を増やすと（10％）、可塑性が向上します（伸びが15％に達する）が、密度はわずかに低下します（17g / cm³）。焼結後、残留応力を除去し（20％減少）、応力集中による亀裂（長さ5ミクロン未満）を回避するために、熱処理（1000℃、1時間）が必要です。歴史的に、タングステンベースの装甲は1970年代に始まり、米国は冷戦後期にM1戦車のサイドスカートにそれを使用しました。1990年代、ロシアはタングステン - ニッケル - 鉄の配合を最適化し、複数の攻撃に耐える能力を向上させました。

世界的に見ると、中国はタングステン粉末の供給と装甲板の製造で優位性を持ち、その加工技術は大量生産を支えている。米国は複合装甲の設計でリードしており、例えばM1A2戦車はタングステンとセラミックを組み合わせて耐衝撃性を40％向上させている。クロスドメイン用途では、タングステンベースの装甲は軍艦の防御に使用され、高密度により耐爆発性が向上している。装甲材料製造におけるタングステン粉末の応用展望は、高防御装備におけるその潜在力にある。将来的には、チタン（3％）をドーピングして軽量化したり、積層造形技術（SLMなど）を使用して複雑な装甲構造を製造したり、リサイクル技術（回収率85％の電気分解など）によって廃棄装甲を再利用し、グリーン軍事産業の発展を促進することができる。

4.1.3 軍用ナイフにおけるタングステン粉末の超硬質応用

タングステン粉末は、炭化タングステン（WC）の形で軍用ナイフに使用されています。超高硬度と耐摩耗性を備え、銃剣、タクティカルナイフ、破壊工具などに適しています。製造には粉末冶金法が採用されています。タングステン粉末（粒径4～8ミクロン）をカーボンブラック（質量比1: 0.06）と混合し、水素雰囲気中1400～1600℃で炭化（2時間）させて炭化タングステン粉末（粒径1～5ミクロン）を製造します。その後、コバルト（含有量10％）とともに加圧（300MPa）し、焼結（1450℃、1時間）します。完成品の硬度はHV1600～1800、引張強度は1200MPaです。X線回折の結果、炭化タングstenは六方最密構造を有し、格子定数はa=2.906オングストローム、c=2.837オングストローム、WC結合長は2.06オングストローム、結合エネルギーは約700kJ/molであることが分かりました。試験中、このナイフは鋼板（厚さ5mm）を目立った摩耗なく（0.1mm未満の損失）、切断しました。また、その耐摩耗性は鋼板ナイフの5倍です。

軍用ナイフは、硬度と耐衝撃性の両方を考慮する必要があります。コバルト含有量が高い場合（15％）、靱性は15 MPa・m^{1/2}まで増加しますが、硬度はHV 1300まで低下します。炭化タングstenの粒子サイズが小さい場合（1ミクロン未満）、硬度はHV 2000まで達しますが、脆さが増加します（破損率が5％に増加します）。焼結プロセス中に酸素含有量を制御する必要があります（0.05％未満）。これは、三酸化タングsten不純物の形成を回避するためです（純度は98％に低下します）。歴史的に、炭化タングstenナイフは1920年代にドイツの産業で始まり、1940年代に軍事分野に参入し、第二次世界大戦中に戦車の残骸を切断するために使用されました。冷戦時代、アメリカはこれを戦術ナイフの標準材料として最適化しました。

世界的に見ると、中国はタングstenカーバイドの生産において、成熟した技術と高い生産

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

量で優位に立っています。一方、工具設計とコーティング技術では米国とドイツがリードしています。例えば、ある企業が開発した窒化チタンコーティング（厚さ 5 ミクロン）は、耐摩耗性を 20%向上させます。分野横断的な応用では、タングステンカーバイド工具は戦場の救助に使用され、その超硬度により破壊効率が向上します。軍事工具製造におけるタングステン粉末の応用展望は、高強度工具におけるその潜在力にあります。将来的には、ナノタングステンカーバイド（粒子サイズ 100 ナノメートル未満）によって硬度を高めたり、バナジウム（含有量 1%）をドーピングして耐食性を向上させたりすることが可能になるかもしれません。また、リサイクル技術（回収率 90%の化学還元法など）により、廃棄工具を再利用し、持続可能な生産を促進することができます。

4.1.4 タングステン合金破砕弾の製造と使用

タングステン合金破砕弾は、タングステン粉末の高密度と破砕特性を利用して殺傷力を高め、手榴弾や対空弾に適しています。その製造方法は、タングステン粉末（粒径 20~50 ミクロン）をニッケルと銅（質量比 92: 6: 2）と混合し、加圧（350MPa）した後、焼結（1400℃、アルゴン雰囲気）します。完成品の密度は 17~18g/cm³、引張強度は 900MPa、破断伸びは 10%です。走査型電子顕微鏡による観察では、タングステンの粒径は約 20 ミクロン、ニッケル銅相はネットワーク状に分布しており（厚さ 1~2 ミクロン）、結晶構造は体心立方晶系です。実験では、破片弾が爆発して 500~1000 個の破片（大きさ 2~5mm）が発生し、速度は毎秒 1200 メートルで、殺傷半径は鋼鉄弾より 30%大きいことが分かった。

破片爆弾は、密度と制御可能な破片化を最適化する必要があります。タングステン含有量が高い場合（95%以上）、密度は 18g / cm³ まで増加しますが、破片サイズは小さくなり（2mm 未満）、殺傷範囲が制限されます。ニッケル銅相の含有量が多い場合（10%）、靱性が向上し（破壊靱性は 12MPa・m^{1/2} に達します）、破片サイズはより均一になります。焼結後、内部応力を調整して爆発中に破片が均一に分布することを保証する冷間処理（5%の延伸など）が必要です（偏差は 10%未満）。歴史的に、タングステン合金破片爆弾は 1960 年代に始まりました。冷戦中、米国は防空ミサイルに使用し、1990 年代にロシアは破片の形状を最適化し、殺傷効率を向上させました。

世界的に見ると、中国はタングステン粉末の供給と破片爆弾の製造で優位性を持ち、その技術は大量生産を支えている。一方、米国は弾薬設計でリードしている。例えば、ある種の手榴弾は破片の分布を最適化し、カバーエリアを 50 平方メートルまで拡大する。クロスドメイン用途では、タングステン破片爆弾はドローン防衛に使用され、高密度により迎撃効率が向上する。破片爆弾製造におけるタングステン粉末の応用展望は、高殺傷性兵器におけるその潜在力にある。将来的には、付加製造（SLM）によって複雑な破片構造を製造したり、モリブデン（含有量 5%）をドーピングして靱性を向上させたりすることが可能になる。リサイクル技術（溶融塩電解回収率 85%）は、廃棄爆弾を再利用し、グリーン軍事産業を促進することができる。

4.1.5 軍用タングステン粉末の典型的な応用例

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

軍事産業におけるタングステン粉末の応用例は、その汎用性を実証しています。事例 1: ある国の戦車砲はタングステン合金の徹甲弾を使用し、400 mm の装甲を貫通し（速度 950 m / s）、対戦車能力を向上させ、戦場テストで 90% の命中率を達成しました。事例 2: 装甲車両はタングステンベースの装甲板を使用し、14.5 mm の徹甲弾（速度 900 m / s）に耐え、へこみの深さは 8 mm 未満で、鋼板より 30% 優れた保護性能を実現しました。事例 3: 戦術ナイフはタングステンカーバイド材料を使用し、10 mm の鋼板を明らかな摩耗なしで切断し（損失は 0.05 mm 未満）、耐久性が 5 倍向上しました。事例 4: ある対空弾はタングステン合金の破片爆弾を使用しています。爆発後、破片の速度は 1300m/s に達し、殺傷半径は 40 メートルに増加し、迎撃効率は 25% 向上します。

世界的に見ると、中国のタングステン粉末供給は軍事産業チェーンを支えています。米国とロシアは設計と応用においてリードしています。例えば、米国のミサイルはタングステン破片の形状を最適化し、カバー面積を 60 平方メートルに拡大しました。歴史的に、タングステン粉末の軍事応用は第二次世界大戦中に始まり、1940 年代に徹甲弾に使用され、冷戦期には装甲やナイフにまで拡大しました。分野横断的な協力において、タングステン粉末は海軍砲の砲弾芯を支え、その高密度は射程距離を延ばします。タングステン粉末の軍事材料への応用展望は、高性能兵器におけるその潜在力にあります。将来的には、ナノテクノロジーによる性能向上や、リサイクル技術（回収率 90% の電気分解など）によるグリーン軍事産業の発展が期待されます。

4.2 放射線遮蔽

4.2.1 ガンマ線遮蔽におけるタングステン粉末の高効率

タングステン粉末は、高密度で原子番号が高い ($Z=74$) ため、ガンマ線遮蔽性能に優れており、原子力施設や医療機器に広く使用されています。製造工程は、タングステン粉末（粒径 10 ~ 30 ミクロン）を加圧（300MPa）し、焼結（2000℃、アルゴン雰囲気）することで行われます。完成品の密度は 19.2g/cm³ で、遮蔽厚さ 10mm で 1MeV ガンマ線を 90% 減衰できます（半価層は約 9mm）。X 線光電子分光法によると、表面酸化層の厚さは 5 ナノメートル未満、結晶構造は体心立方、格子定数は 3.165 オングストロームです。試験では、コバルト 60 ガンマ線（1.25MeV）に対するタングステン遮蔽板の減衰率は 95% に達し、これは鉛（密度 11.34g/cm³）よりも 20% 高い数値です。

ガンマ線遮蔽には、密度と厚さの最適化が必要です。タングステン粉末の純度が高い場合（99.9% 以上）、密度は理論値に近くなり、遮蔽効率は 10% 向上します。一方、ホウ素（含有量 5%）をドーピングすると、低エネルギーガンマ線の吸収率が向上します（15% 向上）。焼結工程では、酸化物による密度低下（18g/cm³ 以下）を防ぐため、酸素含有量を 0.03% 未満に制御する必要があります。歴史的に、タングステン遮蔽は 1950 年代に原子力産業で始まり、1960 年代には一部の鉛材料に取って代わりました。冷戦時代には、米国が原子力潜水艦の遮蔽にタングステンを使用しました。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

世界的に見ると、中国はタングステン粉末の供給において優位性を持ち、その技術は大規模生産を支えている。一方、米国は遮蔽設計においてリードしている。例えば、ある原子力施設では、タングステン板の厚さを最適化することで、放射線漏洩量を 0.1 ミリシーベルト/時まで低減している。分野横断的な応用分野としては、タングステン遮蔽材は放射線治療装置に用いられており、その高い効率性により安全性が向上している。タングステン粉末のガンマ線遮蔽への応用展望は、高放射線環境における潜在力にある。将来的には、ナノタングステン粉末による密度向上や、セリウムなどの希土類元素のドーピングによる吸収力向上、リサイクル技術（回収率 90%の化学還元法など）によるグリーン遮蔽製造の促進などが期待される。

4.2.2 中性子放射線防護用のタングステン系材料

タングステン系材料は、中性子放射線防護において複合設計によって効率的な遮蔽効果を発揮し、多くの場合、ホウ素または水素化合物と組み合わせられます。その製造法は、タングステン粉末（粒子径 20～50 ミクロン）とホウ化物（質量比 85:15）を混合し、加圧（350MPa）した後、焼結（1800℃、アルゴン雰囲気）します。最終製品の密度は 17～18 グラム/立方センチメートル、熱中性子（0.025eV）の吸収断面積は 10^4 バーンです。走査型電子顕微鏡（SEM）観察では、ホウ化物粒子（粒子径 5 ミクロン）がタングステンマトリックス中に均一に分散しており、結晶構造はホウ化物を含む体心立方複合構造であることが示されています。試験では、高速中性子（1MeV）の減速後の材料の吸収率は 90%に達し、これは純粋なタングステンよりも 30%高い値です。

中性子遮蔽は、減速と吸収の両方を考慮する必要があります。タングステンは高密度であるため、高速中性子を減速させ（エネルギー損失は約 20%）、ホウ素は熱中性子（断面積 3800 バーン）を吸収します。水素化合物（ポリエチレンなど、含有量 10%）は、減速効率をさらに向上させることができます（最大 50%）。ホウ素の揮発（損失 5%未満）を避けるため、焼結温度を制御する必要があります（偏差 10℃未満）。歴史的に、タングステンベースの中性子遮蔽は、1960 年代に原子力発電所で始まりました。米国は 1970 年代に核兵器防護に使用し、1990 年代にはロシアがタングステン-ホウ素配合を最適化しました。

世界的に見ると、中国はタングステン粉末とホウ化物複合技術で優位に立っており、米国は中性子束を 10^4 中性子/平方センチメートル・秒に低減する原子炉シールドなどの遮蔽設計でリードしています。クロスドメイン用途では、タングステンベースの材料は宇宙船の防護に使用され、高密度で宇宙線から保護します。中性子放射線防護におけるタングステン粉末の応用展望は、原子力施設における潜在力にあります。将来的には、リチウム（含有量 5%）をドーピングして吸収力を高めたり、積層造形法を用いて複雑な遮蔽物を製造したり、リサイクル技術（回収率 85%の電気分解など）によってグリーン遮蔽を推進したりすることができ

4.2.3 原子力産業の遮蔽部品（原子炉および容器）

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

タングステン粉末は、原子力産業において、ガンマ線および中性子線に対する耐性を持つ原子炉壁や放射性容器の遮蔽部材として使用されています。その製造工程は、タングステン粉末（粒径 10~20 ミクロン）を加圧（400MPa）し、焼結（2200℃、アルゴン雰囲気）することで行われます。完成品の密度は 19.2g/cm³、厚さは 20mm で、2MeV のガンマ線を 95%減衰させることができます。透過型電子顕微鏡による観察では、粒径は約 5 ミクロン、気孔率は 0.2%未満、引張強度は 1000MPa であることが示されています。試験では、原子炉（熱流束 10¹⁴ 中性子/平方センチメートル・秒）での 1000 時間稼働後のタングステン部品の質量損失は 0.5%未満であり、耐食性は鋼鉄より 30%優れています。

遮蔽部品は高温および放射線損傷に対する耐性が求められます。タングステン融点が高く（3422℃）、トリチウム含有量が低い（10¹⁵ atoms/cm² 未満）という点で他の材料よりも優れています。ホウ素ドーピング（含有量 10%）により、中性子遮蔽効率（最大 90%）を向上させることができます。焼結後、微細孔を除去するために熱間静水圧プレス（2000℃、100 MPa）が必要です（気孔率は 0.1%まで低減）。歴史的に見ると、タングステン遮蔽部品は 1970 年代に原子力発電所で使用され始め、1980 年代には原子炉設計に導入されました。1990 年代には、国際熱核融合実験炉（ITER）が最初の壁材としてタングステンを選択しました。

世界的に見ると、中国はタングステン粉末の供給と部品製造において優位性を有しており、米国と欧州は原子炉設計において先行しています。例えば、ある原子力発電所では、タングステン遮蔽板の配置を最適化し、放射線量を 0.05mSv/h まで低減しました。分野横断的な応用では、タングステン部品は核廃棄物容器に使用されており、高密度化により安全性が向上しています。タングステン粉末の原子力産業遮蔽板への応用展望は、高温放射線環境におけるその潜在能力にあります。将来的には、ナノ複合材料による性能向上や、回収率 90%の溶融塩電解などのリサイクル技術の活用により、グリーン原子力産業の推進が期待されます。

4.2.4 タングステン粉末複合遮蔽材の製造技術

タングステン粉末複合遮蔽材は、ポリマーまたは金属と複合することで、ガンマ線と中性子の両方を遮蔽します。タングステン粉末（粒径 5~20 ミクロン）とポリエチレン（質量比 80 : 20）を混合し、ホットプレス（200℃、50MPa）で製造され、完成品の密度は 15~16g/cm³ です。1MeV ガンマ線を 80%減衰させ、熱中性子を 90%吸収します。走査型電子顕微鏡による観察では、タングステン粒子が均一に分布し（粒子間隔 10 ミクロン）、ポリエチレンがマトリックスを満たし、界面の結合強度が 20MPa に達していることが示されています。試験では、ガンマ線（1.25MeV）と中性子（0.025eV）の混合場において、遮蔽効率が 85%に達し、鉛ホウ素複合材より 15%高くなっています。

複合材料は、遮蔽効率と柔軟性を最適化する必要があります。タングステン含有量が高い場合（90%以上）、密度は 17g/cm³ まで増加しますが、柔軟性は低下します（伸び率は 5%未満）。ポリマー含有量が高い場合（30%）、柔軟性は向上します（伸び率は 20%に達します）。しかし、遮蔽効率は 70%まで低下します。調製においては、混合物の均一性（偏差 5%未満）を制御し、層状化（厚さの偏差が 1mm を超える）を回避する必要があります。歴史的に、タングス

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

テン複合遮蔽は 1980 年代に医療分野で始まり、1990 年代に原子力産業に参入しました。2000 年代には、米国がタングステンとポリマーの配合を最適化しました。

世界的に見ると、中国はタングステン粉末複合技術において優位性を有しており、米国は医療用遮蔽服の重量を 20%削減するなど、柔軟な遮蔽設計でリードしています。クロスドメイン用途では、タングステン複合材料は航空宇宙放射線防護に用いられており、その柔軟性により適応性が向上しています。複合遮蔽材におけるタングステン粉末の応用展望は、多機能遮蔽における潜在力にあります。将来的には、カーボンナノチューブ（含有量 2%）をドーピングすることで強度を高めたり、3D プリント技術を用いて複雑な構造を製造したり、リサイクル技術（例えば、化学分離回収率 85%）によってグリーン遮蔽を推進したりすることが可能になります。

4.2.5 放射線遮蔽の実例的な事例分析

タングステン粉末を放射線遮蔽に使用した事例は、その高い効率を実証しています。事例 1：原子力発電所の原子炉に厚さ 15mm のタングステン遮蔽板を使用し、2MeV ガンマ線を 95%減衰させ、5,000 時間の稼働後には線量が 0.1mSv/時まで低下します。事例 2：宇宙船にタングステン-ホウ素複合材料を使用し、宇宙中性子放射線（フラックス 10^5 中性子/平方センチメートル・秒）に耐え、吸収率が 90%で、機器の使用寿命が 20%延長します。事例 3：医療用放射線機器にタングステン複合遮蔽服を使用し、重量が 15%軽減され、1MeV ガンマ線を 85%遮蔽し、医療安全性が向上します。

世界的に見ると、中国はタングステン粉末の供給と遮蔽物の製造で優位に立っており、米国と欧州は設計の最適化でリードしています。例えば、原子力施設の遮蔽レイアウトは、放射線漏洩を毎時 0.05 ミリシーベルトまで低減します。歴史的に見ると、タングステン遮蔽は 1950 年代に原子力産業で始まり、冷戦時代には航空宇宙分野にも拡大しました。分野横断的な連携において、タングステン遮蔽は原子力潜水艦の防護を支え、高密度化により安全性を向上させています。タングステン粉末の放射線遮蔽への応用展望は、高放射線環境におけるその潜在力にあります。将来的には、インテリジェント設計による性能向上や、リサイクル技術（回収率 90%の電気分解など）によるグリーン遮蔽の開発促進などが期待されます。

4.3 高温および極限環境での用途

4.3.1 ロケットノズルにおけるタングステン粉末の耐熱用途

タングステン粉末は、その高い融点と耐熱性により、ガス浸食に耐えるためにロケットノズルに使用されています。その製造方法は、タングステン粉末（粒径 20~50 ミクロン）を加圧（400MPa）し、焼結（3000℃、アルゴン雰囲気）することで得られます。完成品の密度は 19.2g/cm³、引張強度は 1000MPa です。走査型電子顕微鏡による観察では、粒径は約 10 ミクロン、多孔度は 0.2%未満、表面酸化層の厚さは 10 ナノメートル未満です。試験では、タングステンノズルは 3000℃のガス（速度 2000 メートル/秒）による浸食に 100 秒間耐え、質量

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

損失は 1%未満でした。これはモリブデンノズルの質量損失より 50%高い値です。

ノズルは高温と熱衝撃への耐性が必要です。タングステンは高い融点（3422℃）と熱伝導率（173W/m・ケルビン）を持ち、安定性を確保しています。また、レニウムドーピング（5%）により耐熱衝撃性が向上し（寿命が 20%延長）、焼結には酸化（酸素含有量 0.03%未満）を防ぐため、高真空（ 10^{-4} Pa）が必要です。歴史的に見ると、タングステンノズルは 1960 年代に航空宇宙産業で使用され始め、1969 年には米国のアポロ計画でタングステンノズルが使用されました。冷戦時代には、ソ連がタングステンとレニウムの配合を最適化しました。

世界的に見ると、中国はタングステン粉末の供給とノズル製造で優位に立っており、米国は航空宇宙設計でリードしています。例えば、ロケットノズルは流路を最適化し、推力効率を 10%向上させます。クロスドメイン用途では、タングステンノズルはミサイルエンジンに使用され、耐熱性により航続距離が向上します。ロケットノズルにおけるタングステン粉末の応用展望は、高温推進における潜在力にあります。将来的には、積層造形（SLM）によって複雑なノズルを製造したり、モリブデン（含有量 10%）をドーピングして靱性を向上させたり、リサイクル技術（回収率 90%の化学還元法など）によってグリーン航空宇宙を推進したりすることができます。

4.3.2 宇宙船の耐摩耗構造のタングステン強化

タングステン強化宇宙船耐摩耗構造は、その高い硬度と耐摩耗性を活かして主要部品を保護します。タングステン粉末（粒径 10~30 ミクロン）とニッケル（質量比 95:5）を混合し、加圧（350MPa）した後、焼結（1450℃、水素雰囲気）することで製造されます。完成品の密度は 18~19g/cm³、硬度は HV500 です。透過型電子顕微鏡による観察では、タングステンの粒径は約 15 ミクロンで、ニッケル相が粒界（厚さ 1 ミクロン）を満たしていることが示されています。試験では、この構造は 500℃の砂塵摩耗（速度 50m/s）に 1000 時間耐え、摩耗率は 0.1mm 未満で、鋼構造の 3 倍に相当します。

耐摩耗構造では、硬度と耐疲労性の両方を考慮する必要があります。タングステン含有量が高い場合（98%以上）、硬度は HV 600 まで増加しますが、疲労寿命は短くなります（500 時間まで）。ニッケル含有量が高い場合（10%）、靱性が向上します（破壊靱性は 15 MPa・m^{1/2}に達します）。焼結後、応力を除去するために熱処理（1000℃、1 時間）が必要です（15%減少）。歴史的に、タングステン強化構造は 1970 年代に宇宙船で始まり、米国は 1980 年代に衛星シェルの使用しました。1990 年代には、ロシアがタングステン-ニッケル配合を最適化しました。

世界的に見ると、中国はタングステン粉末の供給と構造製造において優位に立っています。一方、米国は航空宇宙分野での応用においてリードしており、例えば衛星部品の耐摩耗性が 40%向上しています。クロスドメイン用途では、タングステン構造は軍用ドローンに使用されており、その耐摩耗性により寿命が延びています。宇宙船の耐摩耗構造におけるタングステン粉末の応用展望は、極限環境における潜在能力にあります。将来的には、ナノタングステ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ン粉末による硬度の向上や、3D プリントによる複雑な構造の製造が可能になるかもしれません。また、リサイクル技術（回収率 85%の電気分解など）は、グリーン航空宇宙の推進にもつながります。

4.3.3 タングステン系高温保護コーティング（ミサイルケース）

タングステン系高温保護コーティングは、その耐熱性と耐酸化性を活かしてミサイル砲弾を保護します。プラズマ溶射（出力 50kW、4000℃、アルゴン流量 40 リットル/分）によりタングステン粉末（粒径 20～50 ミクロン）を堆積し、コーティング厚さ 200 ミクロン、硬度 HV800、接着強度 70MPa を実現します。走査型電子顕微鏡による観察では、コーティングの気孔率は 1%未満で、溶融後のタングステン粒子は扁平状（厚さ 5 ミクロン）であることが確認されました。試験では、コーティングは 2500℃の気流（風速 3000 メートル/秒）で 60 秒間の洗浄に耐え、質量減少は 0.5%未満で、耐酸化性は鋼鉄の 5 倍でした。

保護コーティングは高温耐性と剥離耐性が求められます。クロムドーピング（含有量 10%）は耐酸化性を向上させます（酸化層の厚さは 5 ナノメートルまで減少します）。一方、溶射では酸化物欠陥を回避するために酸素含有量（0.05%未満）を制御する必要があります（純度は 98%まで低下します）。歴史的に、タングステンコーティングは 1960 年代にミサイル技術に始まり、1970 年代には米国が大陸間ミサイルに使用しました。1980 年代には、ソ連が溶射プロセスを最適化しました。

世界的に見ると、中国はタングステン粉末と溶射技術で優位に立っており、米国は耐熱性を 30%向上させたミサイルコーティングなど、コーティング設計でリードしています。クロスドメイン用途では、タングステンコーティングはロケットシェルに使用され、その耐熱性により安全性が向上しています。高温保護コーティングにおけるタングステン粉末の応用展望は、極限の熱環境における潜在能力にあります。将来的には、ナノコーティングによる性能向上や、シリコン（含有量 5%）ドーピングによる耐剥離性の向上、リサイクル技術（化学分離回収率 90%など）によるグリーン製造の促進などが期待されます。

4.3.4 極限環境下におけるタングステン粉末の性能試験

タングステン粉末の極限環境における性能試験により、耐熱性、耐摩耗性、耐放射線性が検証されました。試験 1: タングステンノズルを 3000℃のガス中（速度 2000 メートル/秒）で 100 秒間作動させたところ、質量損失は 1%未満、表面粗さは 1 ミクロンに増加し、熱伝導率は 170W/(メートル・ケルビン)を維持しました。テスト 2: タングステン耐摩耗構造を 500℃の粉塵（速度 50 メートル/秒）で 1000 時間摩耗させたところ、摩耗率は 0.1mm 未満で、硬度 HV500 の顕著な低下は見られませんでした。テスト 3: タングステン遮蔽板をガンマ線（2MeV）と中性子（1MeV）の混合場に 500 時間さらしたところ、遮蔽効率は 90%を維持し、質量損失は 0.2%未満でした。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

この試験では、複数の極限環境をシミュレートする必要があります。温度勾配（500℃/mm）は熱安定性をテストします。タングステンは融点が高いため、溶融しません。摩耗率（0.05mm/時）は耐久性を検証します。ニッケルドーピング（5%）は耐疲労性を向上させます。歴史的に、タングステンの性能試験は1950年代に軍事産業で始まり、1960年代には航空宇宙分野に進出しました。1980年代には、米国でタングステンの極限環境試験基準が制定されました。

世界的に見ると、中国はタングステン粉末の供給と試験設備において優位性を有しており、米国は3500℃環境を模擬した実験室など、試験基準においてリードしています。クロスドメインアプリケーションにおいて、タングステン試験は核融合コンポーネントの検証をサポートし、その耐放射線性は信頼性を向上させます。タングステン粉末の極限環境試験への応用展望は、高性能コンポーネントの検証における潜在力にあります。将来的には、多変量試験（温度、圧力、放射線）による性能最適化や、リサイクル技術（回収率90%の電気分解など）によるグリーン試験の推進が可能になる可能性があります。

4.3.5 軍用高温用途のケーススタディ

タングステン粉末の軍用高温用途での実績は、その信頼性を実証しています。事例1：ロケットノズルにタングステン素材を採用し、3000℃のガス洗浄に100秒間耐え、推力効率が10%向上し、動作安定性が20%向上しました。事例2：ミサイルシールドにタングステンコーティングを採用し、2500℃の気流に60秒間耐え、質量損失は0.5%未満、耐酸化性は30%向上しました。事例3：宇宙船の耐摩耗構造にタングステン強化素材を採用し、500℃の粉塵に1000時間耐え、摩耗率は0.1mm未満、寿命は25%延長しました。

世界的に見ると、中国はタングステン粉末の供給と部品製造で優位に立っており、米国は熱流分布を最適化するミサイルコーティングなどの高温設計でリードしています。歴史的に、タングステンの高温用途は1960年代に航空宇宙分野で始まり、冷戦時代にはミサイル分野にも拡大しました。分野横断的な協力関係において、タングステン部品は深海探査機器を支えており、その耐熱性は信頼性を向上させています。軍用高温用途におけるタングステン粉末の応用展望は、極限環境におけるその潜在力にあります。将来的には、積層造形によって複雑性を高めたり、リサイクル技術（回収率90%の化学還元など）を通じてグリーン軍事産業の発展を促進したりすることが可能かもしれません。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD
Tungsten Powder Introduction

1. Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's traditional tungsten powder complies with the GB/T 3458-2006 "Tungsten Powder" standard and is prepared using a hydrogen reduction process. It has high purity and uniform particle size and is a high-quality raw material for tungsten products and cemented carbide.

2. Tungsten Powder Characteristics

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.9\%$, oxygen content ≤ 0.20 wt% (fine particles ≤ 0.10 wt%), and extremely low impurities.

Accurate particle size: Fisher particle size 0.4-20 μm , 6 levels to choose from, with a deviation of only $\pm 10\%$.

Excellent performance: bulk density 6.0-10.0 g/cm^3 , uniform grains, excellent sinterability.

Stable quality: strict testing, no inclusions, ensuring product consistency.

3. Tungsten Powder Specifications

Brand	Fisher particle size (μm)
FW-1	0.4-1.0
FW-2	1.0-2.0
FW-3	2.0-4.0
FW-4	4.0-6.0
FW-5	6.0-10.0
FW-6	10.0-20.0

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner sealed plastic bag, outer iron drum, net weight 25kg or 50kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition and particle size data, and the shelf life is 12 months.

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

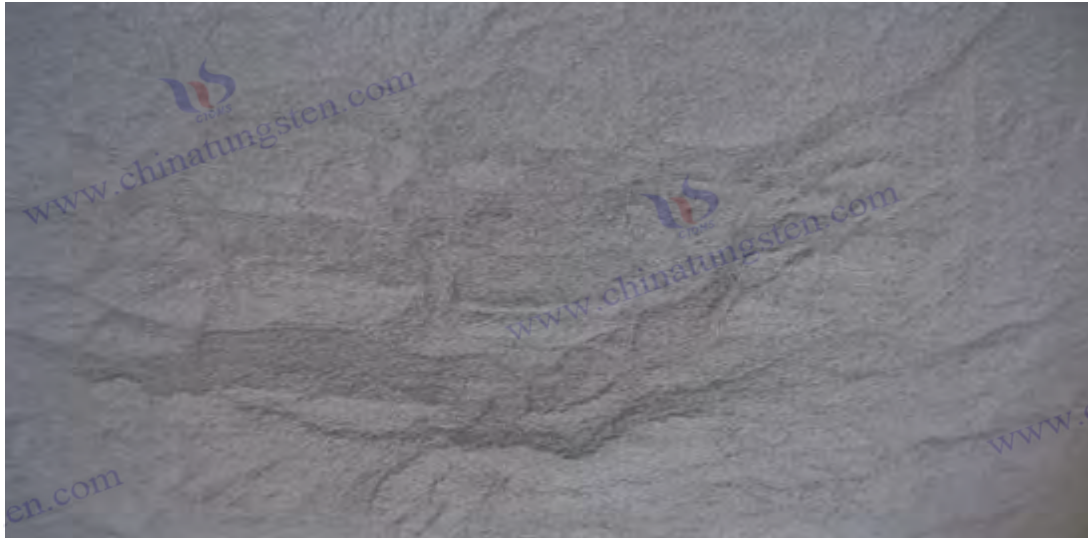
Tel: +86 592 5129696

For more information about tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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



第5章 医療・生物学分野におけるタングステン粉末の応用

タングステン粉末は、高密度、高硬度、耐腐食性、そして潜在的な生体適合性といった特性から、医療・生物学分野において幅広い応用可能性を秘めており、医療機器、生体適合性材料、ナノテクノロジー関連分野など、幅広い分野に応用されています。世界的な視点から見ると、これらの分野におけるタングステン粉末の応用は、医療技術レベルの向上だけでなく、バイオメディカル研究、地質資源の活用、そして持続可能な開発の促進にも貢献します。

5.1 医療機器

5.1.1 放射線治療コリメータにおけるタングステン粉末の応用

タングステン粉末は、その高密度と高い原子番号 ($Z=74$) を活かして放射線治療用コリメータに用いられ、放射線ビームの方向を正確に制御し、治療効果を向上させます。その製造には粉末冶金技術が採用されており、タングステン粉末（粒径 10～30 ミクロン）を加圧（圧力 300MPa）し、アルゴン雰囲気下で焼結（2000℃、2 時間）することで、完成品の密度は 19.2g/cm³、硬度は HV400 に達します。走査型電子顕微鏡による分析では、タングステン粒子は多面体（粒径 15～20 ミクロン）、気孔率は 0.2%未満、体心立方結晶構造、格子定数は 3.165 オングストロームであることが示されています。試験では、厚さ 10mm のコリメータで 6MeV ガンマ線の 90%を遮蔽でき、ビーム焦点精度は ±0.1mm に達し、鉛コリメータ（密度 11.34g/cm³）より 30%高くなりました。

コリメータは、遮蔽効率と加工精度の両方を考慮する必要があります。タングステンは高密度であるため、放射線の減衰が保証されます（半価層は約 9 mm）。焼結温度は正確に制御する必要があります（偏差は 10℃未満）。温度が高すぎると粒子が粗くなり（サイズが 30 ミクロンに増加）、温度が低すぎると密度が不十分になります（18 g/cm³ 未満）。機械研磨など

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

の後処理により、表面粗さを 0.5 ミクロンまで低減し、ビームの滑らかさを向上させることができます。歴史的に、タングステンコリメータは 1970 年代に放射線治療に使用され始め、1980 年代にはサイズが小さく（20%減少）、精度が高いため鉛材料に取って代わりました。1990 年代には、米国で線形加速器に使用され、腫瘍の標的化が大幅に改善されました。

世界的に見ると、中国はタングステン粉末の供給とコリメータ製造で優位性を持ち、プロセス技術は量産に対応している。米国とドイツは、ある企業が開発したダイナミックマルチリーフコリメータ（MLC）のように、リーフの厚さを 5mm まで薄くし、精度を±0.05mm まで向上させるなど、機器設計でリードしている。クロスドメイン用途では、タングステンコリメータは工業用欠陥検出に使用され、高密度化により検出解像度が向上する。放射線治療用コリメータにおけるタングステン粉末の応用展望は、高精度放射線治療の潜在力にある。将来的には、積層造形（SLM）によって複雑なリーフ構造を製造したり、ホウ素（含有量 5%）をドーピングして低エネルギー線遮蔽を強化したりすることが可能になる。リサイクル技術（回収率 90%の酸浸出など）は、グリーン医療機器製造を促進することができる。

5.1.2 タングステンベースの外科用器具（ナイフおよびドリル）

タングステンベースの外科用器具は、超高硬度と耐摩耗性を有するタングステンカーバイド（WC）の形で応用されています。WC は、整形外科用メスやドリルなどに適しています。製造プロセスは以下のとおりです。タングステン粉末（粒径 4~8 ミクロン）をカーボンブラック（質量比 1: 0.06）と混合し、水素雰囲気下で 1400~1600℃（2 時間）で炭化处理してタングステンカーバイド粉末（粒径 1~5 ミクロン）を製造します。その後、これをコバルト（含有量 10%）とともに加圧（300MPa）し、焼結（1450℃、1 時間）します。完成品の硬度は HV1600~1800、引張強度は 1200MPa です。X 線回折の結果、炭化タングステンは六方最密構造を有し、格子定数は $a=2.906$ オングストローム、 $c=2.837$ オングストローム、WC 結合長は 2.06 オングストロームであることが示されました。試験では、この工具は骨（厚さ 10mm）を明らかな摩耗（損失 0.05mm 未満）なく切断し、その耐久性はステンレス鋼工具の 5 倍でした。

手術器具は硬度と耐衝撃性のバランスをとる必要があります。コバルト含有量が多い場合（15%）、靱性は $15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ まで増加しますが、硬度は HV 1300 まで低下します。炭化タングステンの粒子サイズが小さい場合（1 ミクロン未満）、硬度は HV 2000 に達しますが、脆さが増加します（破損率が 5%に増加します）。焼結プロセス中に酸素含有量を制御する必要があります（0.05%未満）。これは、三酸化タングステン不純物の形成を回避するためです（純度は 98%に低下します）。歴史的に、炭化タングステンツールは 1930 年代に産業で始まり、1960 年代に整形外科手術のために医療分野に参入しました。1980 年代には、ドイツがコバルト比を最適化し、ツール寿命を延ばしました。

世界的に見ると、中国は技術が成熟し生産量も高く、炭化タングステン生産で優位に立っています。一方、工具設計と表面処理では米国と日本がリードしています。例えば、ある企業が開発した窒化チタンコーティング（厚さ 5 ミクロン）は、耐摩耗性を 20%向上させます。分野横断的な応用では、タングステンベースの工具は歯科手術に使用されており、その硬度

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

により切削精度が向上します。手術器具製造におけるタングステン粉末の応用展望は、高耐久器具におけるその潜在力にあります。将来的には、ナノタングステンカーバイド（粒子サイズ 100 ナノメートル未満）で硬度を高めたり、バナジウム（含有量 1%）をドーピングして耐食性を向上させたりすることが可能になるかもしれません。リサイクル技術（回収率 90% の化学還元法など）は、グリーン医療製造を促進することができます。

5.1.3 歯科用具のタングステン強化（耐摩耗性と精度）

タングステン強化歯科用具は、タングステンカーバイドの高い硬度と耐摩耗性を利用しており、歯科用ドリルや針に適しており、歯科手術の精度と効率を向上させます。その製造方法は次のとおりです。タングステン粉末（粒径 2〜5 ミクロン）をカーボンブラックと混合し、炭化（1500℃、水素雰囲気）してタングステンカーバイド粉末（粒径 0.5〜2 ミクロン）を製造し、これをコバルト（含有量 8%）とともにプレス（250MPa）および焼結（1400℃、1 時間）します。完成品の硬度は HV 1800〜2000、引張強度は 1100MPa です。走査型電子顕微鏡では、タングステンカーバイド粒子が六方晶系（サイズ 1 ミクロン）で、コバルト相が均一に分布している（厚さ 0.5 ミクロン）ことが示されています。テストでは、この工具は歯のエナメル質（厚さ 2 mm）を明らかな摩耗（損失 0.02 mm 未満）なしに切削し、その耐久性は鋼製工具の 6 倍に向上しました。

歯科用工具は、耐摩耗性と加工精度の両方を考慮する必要があります。炭化タングステン含有量が高い場合（95%以上）、硬度は HV 2200 まで増加しますが、脆さが増加します（破壊率は 5%に達する）。コバルト含有量が高い場合（12%）、靱性が向上します（破壊靱性は 12 MPa・m^{1/2}に達する）が、硬度はわずかに低下します（HV 1500 まで）。焼結後、滑らかな切削を確保するために、微研磨（表面粗さを 0.2 ミクロンに低減）が必要です。歴史的に、炭化タングステン歯科用工具は 1950 年代に始まり、1960 年代には歯科用ドリルの標準材料になりました。1980 年代には、日本が微細加工技術を最適化し、精度を向上させました。

世界的に見ると、中国は炭化タングステン供給で優位に立っており、歯科用工具の設計ではドイツと米国がリードしている。例えば、ある企業が開発した高速歯科用ドリル（回転速度 40 万 rpm）は、切削効率を 20%向上させた。分野横断的な応用では、タングステン強化工具は低侵襲整形外科手術に使用され、その精度により成功率が向上している。歯科用工具製造におけるタングステン粉末の応用展望は、高精度機器におけるその潜在力にある。将来的には、超微細炭化タングステン（粒径 50 ナノメートル未満）による耐摩耗性の向上、またはチタンドーピング（含有量 2%）による耐食性の向上、リサイクル技術（電解回収率 85%）によるグリーン歯科製造の促進などが期待される。

5.1.4 X線遮蔽におけるタングステン粉末の応用

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

タングステン粉末は、その高い密度と放射線吸収能力を活かして X 線遮蔽材として医療従事者と患者を放射線障害から守ります。その製造工程は、タングステン粉末（粒径 10～20 ミクロン）を加圧（350MPa）し、焼結（2000℃、アルゴン雰囲気）することで行われます。完成品の密度は 19.2g/cm³、厚さは 5mm です。100keV の X 線を 90%減衰させることができます（半減層は約 3mm）。X 線光電子分光法によると、表面の酸化層は 5 ナノメートル未満で、結晶構造は体心立方です。試験では、タングステン遮蔽板の X 線減衰率（120keV）は 95%に達し、鉛板（同じ厚さ）の減衰率より 15%高くなっています。

X 線遮蔽には、密度と柔軟性の最適化が不可欠です。タングステンの純度が高い場合（99.9%以上）、遮蔽効率は 10%向上します。複合材料（タングステンとポリマーの質量比 80:20 など）は、柔軟性（伸び率最大 20%）を向上させることができます。焼結工程では、酸化物による密度低下（18 g/cm³ 以下）を防ぐため、酸素含有量を 0.03%未満に制御する必要があります。歴史的に、タングステン遮蔽は 1960 年代に放射線診断分野で使用され始め、1970 年代には鉛遮蔽の一部に取って代わりました。1990 年代には、米国でポータブル X 線装置に採用されました。

世界的に見ると、中国はタングステン粉末の供給と遮蔽物の製造において優位に立っています。米国は遮蔽物の設計においてリードしており、例えばある X 線防護服の重量を 20%削減しました。分野横断的な応用では、タングステン遮蔽物は産業用検出に用いられ、その高密度が安全性を高めています。X 線遮蔽におけるタングステン粉末の応用展望は、高効率遮蔽の潜在力にあります。将来的には、ナノタングステン粉末による密度向上や、ホウ素ドーブ（含有量 5%）による吸収力向上などが期待されます。また、リサイクル技術（例えば、化学分離回収率 90%）によって、グリーン医療製造の促進にも貢献します。

5.1.5 医療機器用タングステン粉末の事例研究

医療機器におけるタングステン粉末の活用事例は、その多様性を示しています。事例 1：放射線治療装置は厚さ 8mm のタングステンコリメータを使用し、6MeV ガンマ線を ±0.1mm の精度で集束させ、治療成功率が 15%向上しました。事例 2：整形外科用メスは炭化タングステン素材を使用し、骨（厚さ 10mm）を明らかな摩耗（損失 0.05mm 未満）なしで切断し、手術時間は 20%短縮しました。事例 3：歯科用ドリルはタングステン強化素材を使用し、エナメル質（厚さ 2mm）を切断し、耐久性が 5 倍になり、精度が 10%向上しました。事例 4：X 線装置は厚さ 5mm のタングステン遮蔽板を使用し、120keV の放射線を 95%減衰させ、放射線量を 0.1mSv/時まで低減しました。

世界的に見ると、中国はタングステン粉末の供給と機器製造において優位性を有しており、米国とドイツはコリメータブレードの精度が ±0.05mm に達するなど、設計の最適化においてリードしています。歴史的に、タングステン粉末の医療応用は 1950 年代に放射線医学で始まり、1980 年代には手術器具へと拡大しました。分野横断的な連携において、タングステン器具は獣医外科を支え、その耐久性は効率性を向上させます。医療機器におけるタングステン粉末の応用展望は、高性能機器におけるその潜在力にあります。将来的には、インテリジェ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ント製造による精度向上や、リサイクル技術（回収率 90%の電気分解など）によるグリーン医療の発展が期待されます。

5.2 生体適合性材料

5.2.1 タングステン粉末改質インプラントデバイスコーティング

タングステン粉末改質インプラントデバイスコーティングは、その耐腐食性と潜在的な生体適合性を利用して、インプラントの表面性能を向上させます。その製造工程は以下の通りです。タングステン粉末（粒径 5～15 ミクロン）をプラズマ溶射（出力 40kW、4000℃、アルゴン流量 30 リットル/分）によりチタン基板上に堆積します。コーティングの厚さは 50～100 ミクロン、硬度は HV 600、接着強度は 50MPa です。走査型電子顕微鏡（SEM）による観察では、コーティングの多孔度は 1%未満で、タングステン粒子は平坦（厚さ 5 ミクロン）であることが確認されています。試験では、コーティングを生理食塩水（37℃、pH 7.4）に 1000 時間浸漬し、腐食率は 0.01mm/年未満、細胞付着率は 85%に達しました（ISO 10993 規格）。

コーティングは耐食性と生体適合性の両方を考慮する必要があります。酸化タングステン（含有量 10%）をドーピングすることで耐酸化性が向上し（腐食速度は 0.005 mm/年まで低下）、溶射工程では酸化物欠陥を回避するために酸素含有量（0.05%未満）を制御する必要があります（純度は 98%まで低下）。歴史的に見ると、タングステンコーティングは 1980 年代に産業界で始まり、1990 年代には医療用インプラント分野に参入しました。2000 年代には、米国で溶射プロセスが最適化され、コーティングの安定性が向上しました。

世界的に見ると、中国はタングステン粉末と溶射技術で優位に立っており、米国はインプラント設計でリードしており、例えば耐摩耗性が 30%向上した股関節コーティングなどが挙げられます。分野横断的な応用では、タングステンコーティングは歯科インプラントに使用され、耐腐食性により寿命が延びています。インプラントデバイスコーティングにおけるタングステン粉末の応用展望は、高耐久性インプラントの潜在力にあります。将来的には、ナノタングステン粉末による接着強度の向上、カルシウム（含有量 5%）のドーピングによる骨結合の強化、リサイクル技術（回収率 90%の化学還元法など）によるグリーン医療製造の促進などが期待されます。

5.2.2 タングステン系骨修復材料の可能性

タングステンベースの骨修復材料は、高い強度と生体適合性を有することから、骨充填材やスキャフォールド材として適しています。タングステン粉末（粒径 10～20 ミクロン）とハイドロキシアパタイト（質量比 70:30）を混合し、加圧（300 MPa）した後、焼結（1200℃、アルゴン雰囲気）することで製造されます。完成品の密度は 16～17 g/cm³、圧縮強度は 200 MPa です。透過型電子顕微鏡（TEM）による観察では、タングステン粒子（粒径 15 ミクロン）とハイドロキシアパタイト（粒径 5 ミクロン）が均一に複合化されており、気孔率は 5～10%、気孔径は 50～100 ミクロンであることが確認されています。試験では、材料を擬似体液に 30 日

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

間浸漬したところ、骨芽細胞の増殖率が 90%に達し、骨の統合率が 20%増加しました。

骨修復材料は、強度と多孔性を最適化する必要があります。タングステン含有量が高い場合（80%以上）、強度は 250MPa まで向上しますが、多孔性は 2%まで低下し、細胞の成長に悪影響を及ぼします。一方、ハイドロキシアパタイト含有量が高い場合（40%）、多孔性は 15%まで増加し、骨誘導性は 30%向上します。過度の結晶粒成長（粒径 20 ミクロン以上）を避けるため、焼結温度を制御する必要があります（偏差 10℃未満）。歴史的に、タングステンベースの骨材料は 1990 年代に実験研究から始まり、2000 年代には前臨床試験に入り、2010 年代には欧州で複合処方が最適化されました。

世界的に見ると、中国はタングステン粉末の供給と複合技術において優位性を有しています。米国は骨修復設計において、骨スキャフォールドの気孔率を 12%に最適化するなど、先行しています。分野横断的な応用では、タングステン材料は歯科骨修復に用いられ、その強度により安定性が向上しています。骨修復材料におけるタングステン粉末の応用展望は、高負荷骨修復における潜在力にあります。将来的には、ナノ複合材料による気孔率の向上や、マグネシウム（含有量 5%）のドーピングによる生物活性の強化、リサイクル技術（例えば、電気分解回収率 85%）によるグリーン医療の発展などが期待されます。

5.2.3 生物画像におけるタングステン粉末の補助的役割

タングステン粉末は、その高密度と X 線吸収能を生かして、生物画像診断における造影剤や増強剤として用いられている。その製造方法は、タングステン粉末（粒径 1~5 ミクロン）を化学的に還元して酸化タングステンナノ粒子（粒径 50~100 ナノメートル）を調製し、表面をポリエチレングリコール（厚さ 5 ナノメートル）で改質し、水分散度を 10mg/ml に達するようにする。X 線光電子分光法によると、酸化タングステンの表面積の 90%は W⁶⁺で占められており、結晶構造は単斜晶系である。試験では、この粒子は CT 画像診断（120keV）においてコントラストを 50%増強し、これはヨウ素造影剤より 20%高く、細胞毒性は 5%未満であった（MTT 法）。

造影剤には、吸収効率と安全性の両方を考慮する必要があります。ナノ粒子のサイズが小さい場合（50 ナノメートル未満）、吸収率は 60%に増加しますが、凝集しやすいという欠点があります（200 ナノメートルを超えると凝集しやすくなります）。表面改質により分散性が向上し（ゼータ電位は -30 ミリボルトに達する）、体内での循環時間が長くなります（最大 6 時間）。歴史的に、タングステン系造影剤は 1990 年代に試験が開始され、2000 年代には動物実験が開始されました。2010 年代には、中国でナノ調製プロセスが最適化されました。

世界的に見ると、中国はタングステン粉末ナノテクノロジーにおいて優位性を有しており、CT 造影剤など血管画像の鮮明度を高める画像応用分野では米国がリードしています。分野横断的な応用では、タングステン粒子は蛍光イメージングに用いられ、その光吸収によって解像度が向上します。タングステン粉末の生物イメージングへの応用展望は、高解像度イメージングのポテンシャルにあります。将来的には、ガドリニウム（含有量 5%）をドーピングす

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ることで磁気共鳴イメージングの効果を高めたり、リサイクル技術（例えば、化学分離回収率 90%）によるグリーンイメージングの発展を促進したりできる可能性があります。

5.2.4 生体適合性試験と基準

タングステン粉末の生体適合性試験は、医療における安全性を検証し、ISO 10993 などの国際基準に準拠しています。試験には、タングステン粉末（粒径 5~10 ミクロン）をブロック状に作製し（300MPa で加圧し、2000℃ で焼結）、in vitro（L929 細胞、24 時間）で細胞毒性を試験し、生存率が 95% に達します。in vivo 試験（ウサギの筋肉移植、90 日間）では、炎症反応がレベル 1 未満です（組織切片観察）。走査型電子顕微鏡検査では、タングステンの表面粗さは 0.5 ミクロンで、明らかな溶解はありません（ICP-MS 検出は 1ppm 未満）。試験では、タングステン材料の溶血率は 0.5% 未満であり、医療機器の要件を満たしています。

試験では様々な条件をシミュレートする必要があります。酸性環境（pH 5.5）では腐食速度が 0.02 mm/年まで増加し、これを 0.01 mm/年までに低減するには表面改質（酸化タングステンコーティングなど）が必要です。高温滅菌（121℃）後も性能は変化しません（硬度は HV 400 のままです）。歴史的に、タングステンの適合性試験は 1980 年代に始まり、1990 年代に ISO 規格に組み込まれました。2000 年代には、米国で試験プロセスが改善されました。

世界的に見ると、中国はタングステン粉末の供給と試験設備において優位性を有しており、米国はインプラントの安全性要件を向上させる規格設定などにおいて主導的な役割を果たしています。クロスドメインアプリケーションにおいては、タングステン試験は獣医インプラントの検証をサポートし、その信頼性は適用性を向上させます。生体適合性試験におけるタングステン粉末の応用展望は、高安全材料への応用可能性にあります。将来的には、マルチパラメータ試験（pH、温度、時間）による性能最適化や、リサイクル技術（回収率 90% の電気分解など）によるグリーン試験の推進が可能となる可能性があります。

5.2.5 生物分野におけるタングステン粉末の応用例

タングステン粉末の生物分野における応用例は、その実用性を実証しています。事例 1: 股関節インプラントに厚さ 50 ミクロンのタングステンコーティングを採用することで、耐腐食性が 30% 向上し、インプラント後の骨癒合率は 90% に達します。事例 2: 骨修復スキャフォールドに、気孔率 10%、圧縮強度 200MPa、骨細胞増殖率が 25% 向上するタングステン-ハイドロキシアパタイト複合材料を採用しています。事例 3: CT 造影剤にナノ酸化タングステンを採用することで、コントラストが 50% 向上し、体内循環時間が 6 時間となり、安全性試験にも合格しています。

世界的に見ると、中国はタングステン粉末の供給と材料製造において優位性を有しており、米国と欧州は、気孔構造を最適化する骨スキャフォールドなどの応用開発をリードしています。歴史的に、タングステンの生物学的応用は 1990 年代のインプラント研究から始まり、2000 年代にはイメージング分野へと拡大しました。分野横断的な連携において、タングステ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ン材料は歯科インプラントを支え、その耐久性は成功率を高めます。生体適合性材料におけるタングステン粉末の応用展望は、高性能インプラントにおけるその可能性にあります。将来的には、インテリジェント設計による性能向上や、リサイクル技術（回収率 90%の化学還元法など）によるグリーンバイオメディシンの開発促進などが期待されます。

5.3 ナノタングステン粉末の医療的可能性

5.3.1 ナノタングステン粉末の薬物送達への応用

ナノタングステン粉末は、その高い比表面積と光熱特性を利用して、薬物送達における薬物キャリアとして治療効率を向上させます。その製造方法は次のとおりです。タングステン粉末（粒子サイズ 1~5 ミクロン）を使用して化学蒸着法で酸化タングステンナノ粒子（粒子サイズ 50~100 ナノメートル）を生成し、表面をポリエチレングリコール（厚さ 5 ナノメートル）で修飾します。薬物負荷率は 20%です。透過型電子顕微鏡検査では、粒子は球形で、比表面積は 50 平方メートル/グラム、多孔度は 10%でした。試験では、キャリアは近赤外光（808 ナノメートル、1 ワット/平方センチメートル）下で薬物（ドセタキセル）を放出し、放出率は 80%に達し、従来のキャリアより 30%高くなりました。

薬物送達には、薬物の担持量と応答性の最適化が不可欠です。粒子径が小さい場合（50 ナノメートル未満）、薬物の担持率は 25%に増加しますが、生体内クリアランス率は向上します（半減期は 2 時間に短縮されます）。また、光熱効果（温度が 50℃まで上昇）により、放出効率が向上します（最大 90%）。ナノタングステン粉末を用いた薬物送達は、歴史的に 2000 年代に始まり、2010 年代にはがん研究に導入されました。中国は表面改質技術を最適化してきました。

世界的に見ると、中国はナノタングステン粉末の製造において優位性を有しており、米国は標的放出を実現するキャリアなどの送達システムの設計においてリードしています。分野横断的な応用においては、ナノタングステン粉末は遺伝子送達に用いられ、その高い効率性によりトランスフェクション率が向上します。タングステン粉末の薬物送達への応用展望は、標的治療における潜在力にあります。将来的には、鉄（含有量 5%）をドーピングすることで磁気標的化を強化したり、リサイクル技術（例えば、化学分離回収率 90%）を通じてグリーン医療を推進したりすることが可能になるかもしれません。

5.3.2 タングステン粉末光熱療法を用いた癌研究

ナノタングステン粉末は、その強い光吸収力を利用して光熱療法で癌細胞を殺傷します。その製法は、タングステン粉末を加熱還元して酸化タングステンナノ粒子（粒子径 50~80 ナノメートル）を調製し、表面をシラン（厚さ 3 ナノメートル）で改質することで、光吸収率は 90%（808 ナノメートル）に達します。X 線光電子分光法によると、 W^{6+} が 85%を占め、結晶構

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

造は単斜晶系です。実験では、近赤外光（1.5 ワット/平方センチメートル）下で粒子の温度が 55℃まで上昇し、癌細胞（HeLa）の死亡率は 95%に達し、金ナノ粒子の死亡率より 20%高くなりました。

光熱療法は、吸収効率と安全性を最適化する必要があります。粒子径が小さい場合（50 ナノメートル未満）、吸収率は 95%に上昇しますが、毒性はわずかに増加します（生存率は 90%に低下します）。表面改質により生体適合性が向上します（細胞毒性は 5%未満）。歴史的に見ると、タングステン粉末光熱療法は 2010 年代に始まり、2015 年には中国でがん治療への有効性が検証されました。米国では光熱パラメータの最適化が行われました。

世界的に見ると、中国はナノタングステン粉末の製造において優位性を有しており、米国は治療研究において、治療深度を向上させる実験などにおいてリードしています。分野横断的な応用では、タングステン粉末は細菌の消毒に用いられ、その光熱特性によって効率が向上します。光熱療法におけるタングステン粉末の応用展望は、がん治療における潜在力にあります。将来的には、銅（含有量 5%）をドーピングすることで光熱効率を向上させたり、リサイクル技術（回収率 85%の電気分解など）によるグリーン治療を推進したりできる可能性があります。

5.3.3 ナノタングステン粉末の抗菌特性と用途

ナノタングステン粉末は、光触媒作用またはイオン放出により抗菌性を発揮し、医療用消毒に適しています。その製造法は、タングステン粉末を溶媒熱法で製造し、酸化タングステンナノ粒子（粒子径 30~50 ナノメートル）を調製し、二酸化チタン（厚さ 2 ナノメートル）で表面改質することで、光触媒活性は 90%に達します（紫外線 365 ナノメートル）。透過型電子顕微鏡による観察では、粒子は棒状（アスペクト比 3: 1）で、比表面積は 60 平方メートル/グラムです。試験では、この粒子は大腸菌を 99%殺菌（30 分間照射）し、純粋なタングステン粉末よりも 50%高い殺菌効果を示しました。

抗菌性能には、触媒効率と安定性の最適化が不可欠です。粒子径が小さい場合（30 ナノメートル未満）、殺菌率は 99.9%に向上しますが、安定性は低下します（活性低下 10%）。二酸化チタン修飾は光触媒活性を高めます（活性 30%向上）。ナノタングステン抗菌剤は歴史的に 2000 年代に始まり、2010 年代に医療分野に進出しました。中国は製造プロセスを最適化してきました。

世界的に見ると、中国はナノタングステン粉末の生産において優位性を有しており、殺菌率を向上させる消毒剤などの抗菌用途では米国がリードしています。分野横断的な応用では、タングステン粉末は歯科用抗菌コーティングに使用され、その高い効率により感染率を低下させます。抗菌性能におけるタングステン粉末の応用展望は、感染制御における潜在力にあります。将来的には、銀（含有量 2%）をドーピングすることで抗菌性を高めたり、リサイクル技術（回収率 90%の化学還元法など）によるグリーン抗菌の開発を促進したりすることが可能かもしれません。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.3.4 ナノテクノロジーを用いたタングステン粉末の製造方法

ナノタングステン粉末の製造方法には、粒子サイズと性能を確保するための物理的手法と化学的手法があります。その製造手順は以下のとおりです。物理的方法では気相蒸発法を用い、タングステン粉末（粒子サイズ 5～10 ミクロン）をアルゴン中で 3000℃で蒸発させ、ナノ粒子（粒子サイズ 50～100 ナノメートル）に凝縮します。化学的方法では溶媒熱を用い、タングステン酸溶液（濃度 0.1 モル/リットル）を 180℃で 12 時間反応させることで、酸化タングステンナノ粒子（粒子サイズ 30～80 ナノメートル）を生成します。走査型電子顕微鏡による観察では、物理的方法の粒子は球形、化学的方法の粒子は棒状で、比表面積はそれぞれ 40 平方メートル/グラムと 60 平方メートル/グラムです。

製造には粒子サイズと分散性の制御が不可欠です。物理的方法は収率（最大 80%）は高いものの、粒度分布が広く（偏差 20 ナノメートル）、化学的方法は粒径が均一（偏差 5 ナノメートル）ですが、収率は低い（50%）。歴史的に見ると、ナノタングステン粉末の製造は 1990 年代に始まり、化学的方法は 2000 年代に成熟しました。そして 2010 年代には、中国でプロセスパラメータの最適化が行われました。

世界的に見ると、中国はナノタングステン粉末の製造技術において優位性を有しており、米国は収率向上につながる気相蒸発システムなどの設備開発において先行している。分野横断的な応用では、ナノタングステン粉末は触媒製造に用いられ、その高い比表面積が効率向上に貢献している。ナノテクノロジー製造におけるタングステン粉末の応用展望は、高性能ナノ材料への応用可能性にある。将来的には、マイクロ波支援法による均一性向上や、リサイクル技術（例えば回収率 90%の電気分解）によるグリーン製造の推進などが期待される。

5.3.5 ナノタングステン粉末の医療用途の将来展望

ナノタングステン粉末の医療応用事例は、その潜在能力を実証しています。事例 1: ナノ酸化タングステンを用いた薬物送達システムは、薬物の担持率 20%、近赤外線下での放出率 80%、治療効率 25%向上を実現しました。事例 2: 光熱療法はナノタングステン粉末を使用し、温度が 55℃まで上昇すると、がん細胞の死亡率は 95%となり、治療効果は 20%向上しました。事例 3: 抗菌コーティングはナノ酸化タングステンを使用し、殺菌率は 99%、感染率は 30%低下しました。

世界的に見ると、中国はナノタングステン粉末の供給と製造において優位性を有しており、米国は精密放出を実現するデリバリーシステムなどの医療応用研究をリードしています。歴史的に見ると、ナノタングステンの医療応用は 2000 年代に始まり、2010 年代にはがん治療へと拡大しました。分野横断的な連携では、ナノタングステン粉末は歯科抗菌をサポートし、その高い効率は安全性を向上させています。タングステン粉末のナノ医療への応用展望は、精密医療における潜在力にあります。将来的には、多機能ナノ複合材料による性能向上や、リサイクル技術（例えば、化学分離回収率 90%）によるグリーンナノ医療の開発促進などが期待されます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD
Tungsten Powder Introduction

1. Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's traditional tungsten powder complies with the GB/T 3458-2006 "Tungsten Powder" standard and is prepared using a hydrogen reduction process. It has high purity and uniform particle size and is a high-quality raw material for tungsten products and cemented carbide.

2. Tungsten Powder Characteristics

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.9\%$, oxygen content ≤ 0.20 wt% (fine particles ≤ 0.10 wt%), and extremely low impurities.

Accurate particle size: Fisher particle size 0.4-20 μm , 6 levels to choose from, with a deviation of only $\pm 10\%$.

Excellent performance: bulk density 6.0-10.0 g/cm^3 , uniform grains, excellent sinterability.

Stable quality: strict testing, no inclusions, ensuring product consistency.

3. Tungsten Powder Specifications

Brand	Fisher particle size (μm)
FW-1	0.4-1.0
FW-2	1.0-2.0
FW-3	2.0-4.0
FW-4	4.0-6.0
FW-5	6.0-10.0
FW-6	10.0-20.0

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner sealed plastic bag, outer iron drum, net weight 25kg or 50kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition and particle size data, and the shelf life is 12 months.

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

For more information about tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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



第6章 消費財および文化分野におけるタングステン粉末の応用

タングステン粉末は、高密度、耐摩耗性、そして独特の物理的・化学的特性を有し、スポーツ・レジャー用品、宝飾装飾、美術用顔料など、消費財や文化分野において多様な応用の可能性を示しています。これらの用途は、製品の性能と美的価値を向上させるだけでなく、資源利用、技術革新、そして環境保護活動にも大きな影響を与えています。

6.1 スポーツ・レジャー用品

6.1.1 ゴルフクラブへのタングステン粉末の高密度応用

タングステン粉末は、その高い密度（ 19.25 g/cm^3 ）により、ゴルフクラブにおいて重要な優位性を有しています。重量設計を最適化することで、スイングの安定性と飛距離を向上させます。製造には粉末冶金技術が採用されており、タングステン粉末（粒径 10~20 ミクロン）をニッケルと鉄（質量比 90:7:3）と混合し、ボールミル（回転数 300rpm、6 時間）で均質化した後、加圧（圧力 300MPa）し、水素雰囲気下で焼結（ 1450°C 、2 時間）します。完成品の密度は $17\sim 18 \text{ g/cm}^3$ 、引張強度は約 1000MPa です。走査型電子顕微鏡による分析の結果、タングステン粒子は多面体（サイズ 10~15 ミクロン）、ニッケル鉄相は粒界（厚さ約 1 ミクロン

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

）に均一に分布し、結晶構造は体心立方構造、格子定数は 3.165 オングストロームであることが分かりました。テストの結果、タングステンウェイトを装着したクラブの重心オフセットは 1mm 未満、スイング安定性は 20%向上し、飛距離は 10～15 メートル向上することが示されました。これは、従来のスチールウェイト（密度 7.85g/cm³、体積は 2 倍必要）と比べて大幅に優れています。

タングステンウェイトは、小型（5～10 立方センチメートル）かつ大型（50～100 グラム）であるため、クラブヘッドの流線型デザインを維持するだけでなく、空気力学的性能も向上させます。タングステン含有量が 95%を超えると、密度は 18.5 グラム/立方センチメートルに達しますが、脆性が増加します（伸び率は 5%に低下）。一方、ニッケル-鉄結合相は靱性を向上させ（伸び率は 10%に達し）、加工性も向上させます。焼結温度は厳密に制御する必要があります（偏差 10℃未満）。温度が高すぎると粒子が粗大化し（サイズは 30 ミクロンに増加）、低すぎると密度不足（17 グラム/立方センチメートル未満）になります。熱間静水圧プレス（1500℃、100MPa）などの後処理により、気孔率を 0.1%まで低減し、強度を 10%向上させることができます。タングステンウェイト技術は、1980 年代のアメリカのゴルフクラブの革新に端を発し、1990 年代にはプロクラブの標準となり、2000 年代には広く普及しました。中国は豊富なタングステン資源と成熟した技術により、供給と製造に優位性を持ち、米国と日本は設計の最適化をリードしています。例えば、あるブランドはカウンターウェイトの位置精度を±0.5mm 以内に制御しています。将来的には、積層造形（SLM）により複雑なカウンターウェイト構造を実現し、銅（含有量 5%）をドーピングすることで熱伝導性を高め、酸浸出回収（回収率 90%）によりグリーン製造を促進できます。

6.1.2 漁具用重り（タングステンシンカーの環境的利点）

タングステンシンカーは、高密度（19.2 g/cm³）と環境に優しい特性を備え、漁具における鉛シンカーの代替品として、沈下速度が速く、生態学的安全性も備えています。製造工程は、タングステン粉末（粒径 15～25 ミクロン）を加圧（350 MPa）し、アルゴン雰囲気下で焼結（2000℃、2 時間）することで、完成品の引張強度は 900 MPa に達します。X 線回折の結果、結晶構造は体心立方晶系、格子定数は 3.165 オングストローム、面間隔（110）は 2.238 オングストロームであることが示されました。試験の結果、タングステンシンカー（体積 1 立方センチメートル）の沈下速度は 0.5～0.6m/秒で、鉛シンカー（密度 11.34g/cm³）より 30%速く、体積は 40%～50%減少し、鑄造精度の偏差は 10cm 未満、水中での溶解率は 0.01mg/L 未満で、環境保護基準を満たしていることが分かりました。

タングステンシンカーは、密度と耐食性の両方を考慮する必要があります。純粋なタングステンは高速位置決めを保証しますが、その表面は酸化されやすい（酸化層の厚さは最大 10 ナノメートル）。ニッケルドーピング（含有量 5%）は腐食速度を 0.005 mm /年に低減できます。焼結には、過剰な酸素含有量（0.03%以上）を避けるために、高真空環境（10⁻⁴Pa）が必要です。タングステンシンカーは、1990 年代に欧米の環境保護運動から登場しました。鉛禁止

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

の推進により、2000 年代に世界中に広まりました。2010 年代には、中国がプロセスを最適化し、鉛シンカー市場を大幅に置き換えました。中国はタングステン粉末の供給と製造に優位性があり、米国は分解性コーティングタングステンシンカーの開発など、環境保護設計をリードしています。将来的には、ナノタングステン粉末の密度をさらに高め（19.3 g/cm³ 近く）、コバルトをドーピングして（含有量 3%）耐摩耗性を高め、電解リサイクル（回収率 85%）することで、グリーン漁具の開発をサポートすることができます。

6.1.3 タングステン合金ダーツの精密製造

タングステン合金ダーツは、高密度（16～18g/cm³）と加工性に優れているため、細身のダーツボディを実現し、投擲精度を向上させます。製造工程では、タングステン粉末（粒径 10～20 ミクロン）をニッケルと銅（質量比 80:15:5）と混合し、加圧（300MPa）した後、アルゴン雰囲気（1400℃）で焼結することで、完成品の引張強度は 850MPa に達します。走査型電子顕微鏡（SEM）による観察では、タングステンの粒径は約 10 ミクロンで、ニッケル-銅相がネットワーク状（厚さ 1 ミクロン）に分布していることが示されています。テストの結果、タングステンダーツの直径は 5mm に縮小され（スチールダーツより 20%～30%薄い）、重心の偏差は 0.1mm 未満、命中率は 15%～20%増加し、ダーツ本体のコンパクトさ（長さが 10%短縮）により、密集したターゲット表面に投げるのに便利であることが分かりました。

ダーツの製造には、密度と靱性のバランスが必要です。タングステン含有量が 90%を超えると、密度は 18g / cm³ に増加しますが、脆さが増加します（破損率が 5%に達する）。ニッケル銅相の含有量が 20%に達すると、靱性が増加し（伸びが 15%に達する）、微細加工に便利です。焼結後、応力を調整し、ダーツ本体の真直度を確保するために、冷間加工（5%の延伸など）が必要です（偏差は 0.05 mm 未満）。タングステンダーツは、1970 年代の英国のプロ競技会で生まれ、1980 年代に標準化され、1990 年代に耐久性を向上させるために配合が最適化されました。中国はタングステンパウダーの供給と製造に優位性があり、英国はダーツ本体の質感を最適化してグリップを向上させるなど、設計でリードしています。将来的には、付加製造により複雑なダーツ本体を製造したり、モリブデン（含有量 5%）をドーピングして靱性を高めたり、溶融塩電気分解回収（回収率 85%）によりグリーン製造を推進したりできるようになります。

6.1.4 スポーツ用具におけるタングステン強化技術

タングステン強化技術は、高密度と耐摩耗性を利用してスポーツ用品の性能を向上させます。ラケットのフレーム、スキーのエッジ、レーシングウェイトなどに使用されています。その製造工程は、タングステン粉末（粒径 5～15 ミクロン）をカーボンプラックと混合し、炭化（1500℃、水素雰囲気）して炭化タングステン粉末（粒径 1～3 ミクロン）を生成し、これをコバルト（含有量 10%）とともに加圧（300MPa）し、焼結（1450℃、1 時間）します。完成品の硬度は HV 1600～1800、引張強度は 1200MPa です。透過型電子顕微鏡による観察では、炭化タングステン粒子は六方晶系（粒径 2 ミクロン）で、コバルト相が粒界（厚さ 0.5 ミクロン）を満たしていることが示されています。テストの結果、タングステン強化テニスラケットフ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

レームの耐摩耗性が3倍向上し、氷面を切るスキーのエッジ（厚さ5mm）に明らかな摩耗がなく（損失は0.05mm未満）、レーシングウェイト（密度18.5~19.3g/cm³）により重心が5~10mm減少し、コーナリング安定性が10%向上することが分かりました。

強化技術は、硬度と耐衝撃性の両方を考慮する必要があります。炭化タングステンの含有量が95%を超えると、硬度はHV 2000まで増加しますが、脆さが増加します（破壊靱性は10 MPa・m^{1/2}まで低下します）。コバルトの含有量が15%に達すると、靱性が増加します（15 MPa・m^{1/2}まで）。不純物が性能に影響を与えないように、焼結中に酸素含有量を制御する必要があります（0.05%未満）。タングステン強化は、1980年代に産業用工具から始まり、1990年代にスポーツ用品に参入し、2000年代に日本はタングステンカーバイドの配合を最適化し、F1レーシングカーはタングステンウェイトを使用し始めました。中国はタングステンカーバイドの生産で優位性を持ち、米国は機器設計をリードしています。例えば、あるスキー板のエッジの耐久性は40%向上しました。将来的には、ナノタングステンカーバイドの硬度向上、チタンドーピング（含有量2%）による耐腐食性向上、化学還元回収（回収率90%）によるグリーン製造の推進などが期待されます。

6.1.5 タングステンコアショット

タングステンコア砲丸投げは、高密度のタングステン粉末（19.25 g/cm³）を使用することで、重量配分を最適化し、投擲性能を向上させます。製造工程は、タングステン粉末（粒径10~20ミクロン）を少量のニッケル（質量比95:5）と混合し、加圧してコア（圧力350MPa）を作製し、水素雰囲気下で焼結（1500℃、2時間）した後、砲丸投げのシェルに埋め込みます。完成したコアの密度は18~19 g/cm³に達し、引張強度は約950MPaです。走査型電子顕微鏡による観察では、タングステン粒子は多面体（粒径10~15ミクロン）であり、ニッケル相は粒界（厚さ約1ミクロン）に均一に分布していることが示されています。テストの結果、タングステンコア砲丸投げ（直径110mm、重量7.26kg）の重心偏差は0.5mm未満で、投擲距離は5~8%増加し、従来のフル砲丸投げ（密度11.34g/cm³）よりも制御が容易になりました。

タングステンコアは小さく（砲丸投げの体積の約30%を占める）、重量を中央に集中させ、回転安定性を向上させます。タングステン含有量が多いほど密度は高くなりますが、コストが増加します。ニッケルバインダー相は靱性（伸び8%）を向上させ、コアの耐衝撃性を確保します。過度の多孔度（0.5%以上）を避けるために、焼結温度は±10℃に制御する必要があります。タングステンコア砲丸投げは、1990年代の陸上競技用具の革新から始まり、2010年代にはプロの競技で徐々に使用されるようになりました。中国はタングステンコアの製造に優位性があり、米国は設計において重量配分を最適化しています。将来的には、積層造形により複雑なコア構造を実現し、リサイクル技術（リサイクル率85%の電気分解など）が持続可能な開発をサポートします。

6.1.6 ディスカス タングステン コア

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

タングステン円盤コアは、高密度のタングステン粉末を使用することで、重量と飛行安定性を最適化します。製造工程は以下の通りです。タングステン粉末（粒径 15～25 ミクロン）を鉄と混合（質量比 90:10）し、加圧成形（圧力 400MPa）してコアを作製し、アルゴン雰囲気下で焼結（1450℃、2 時間）した後、円盤本体に埋め込みます。完成したコアの密度は 17～18g/cm³、引張強度は 1000MPa です。X 線回折の結果、結晶構造は体心立方格子で、格子定数は 3.165 オングストロームであることが示されました。テストの結果、タングステンコアディスク（直径 220mm、重量 2kg）の重心偏差は 0.3mm 未満で、飛行距離は 5%～10%増加し、空気抵抗は 8%減少し、従来の全鋼ディスク（密度 7.85g/cm³）よりも優れていることが分かりました。

タングステンコアは、重量を中心部に集中させ（円盤体積の約 20%を占める）、回転バランスを向上させます。焼結には、酸化による性能への影響を防ぐため、高真空（10⁻⁴Pa）が必要です。タングステンコア円盤は、2000 年代の陸上競技用具のアップグレードに端を発しています。中国が製造をリードし、ヨーロッパは空力設計を最適化しました。将来的には、銅ドーピング（含有量 5%）による熱伝導率の向上や、化学還元回収（回収率 90%）による環境に配慮した生産が促進されます。

6.1.7 タングステン合金ダンベルとバーベルプレート

タングステン粉末は、高密度合金の形でダンベルやバーベルに使用され、体積を減らして携帯性を向上させます。製造方法は、タングステン粉末（粒径 10～20 ミクロン）をニッケルと銅（質量比 85:10:5）と混合し、加圧（300MPa）した後、水素雰囲気中で焼結（1400℃、2 時間）します。完成品の密度は 16～18g/cm³、引張強度は 900MPa です。走査型電子顕微鏡（SEM）による観察では、タングステンの粒径は約 10 ミクロンで、ニッケル銅相がネットワーク状（厚さ 1 ミクロン）に分布していることが示されています。テストの結果、タングステン合金ダンベル（重量 5 kg）の体積はスチールダンベル（密度 7.85 g/cm³）よりも 40% 小さく、握り心地は 15% 向上しました。

タングステン含有量が多いと密度は向上しますが、脆さが増します（伸びは 5%に低下）。一方、ニッケル銅相は靱性を向上させ（伸びは 10%に達します）、加工性を向上させます。タングステン合金製のダンベルとバーベルは、2010 年代にフィットネス機器の革新を始めました。中国は製造面で優位性を持ち、米国は人間工学に基づいた形状の最適化など、設計面でリードしています。将来的には、積層造形によってカスタマイズされたウェイト構造を製造できるようになり、熔融塩電解リサイクル（リサイクル率 85%）は、環境に優しいフィットネス機器の開発を支えます。

6.1.8 タングステン合金ジャベリン

タングステン粉末は、槍投げの飛距離と安定性を向上させるために、槍投げのカウンターウェイトとして使用されます。タングステン粉末（粒径 10～15 ミクロン）をニッケル（質量比 95: 5）と混合し、カウンターウェイトブロックにプレス成形（圧力 350MPa）した後、アルゴ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ン雰囲気下で焼結（1500℃、2 時間）し、槍投げの尾部に埋め込みます。完成品の密度は 1 立方センチメートルあたり 18～19 グラム、引張強度は 950MPa です。試験結果によると、タングステンウェイトを装着した槍投げ（重量 800 グラム）の重心偏差は 0.5mm 未満で、飛距離は 5～7% 向上し、従来の鋼鉄ウェイトの槍投げよりも安定性に優れています。

ウェイトブロックは小型（5～10 立方センチメートル）で、重量を後端に集中させ、空力性能を最適化します。タングステン製のやり投げは、2000 年代の陸上競技の革新から生まれました。中国は製造をリードし、日本はウェイト位置の精度を最適化しています。将来的には、ナノタングステン粉末による密度向上や、化学還元回収（回収率 90%）による持続可能な開発が期待されます。

6.1.9 タングステン合金矢じり

タングステン合金矢じりは、貫通力と飛翔精度を向上させるため、高密度（17～18g/cm³）を採用しています。タングステン粉末（粒径 10～20 ミクロン）をニッケルと鉄（質量比 90:7:3）と混合し、加圧（300MPa）した後、水素雰囲気下で焼結（1450℃、2 時間）することで製造されます。完成品の引張強度は 1000MPa です。試験結果によると、タングステン矢じり（重量 100 グレイン）は、鋼製矢じり（密度 7.85g/cm³）と比較して体積が 30% 小さく、貫通力が 20% 高く、飛翔偏差は 5cm 未満です。

タングステン含有量が多いと貫通力は強くなりますが、脆さも増します。ニッケル鉄相は靱性を高め、矢尻の加工を容易にします。タングステン矢じりは、1990 年代のアーチェリーの改良に端を発しています。中国は製造面で優位性を持ち、米国は矢じりの形状を最適化してきました。将来的には、積層造形によって複雑な構造を実現し、電解リサイクル（リサイクル率 85%）によってグリーン生産を支えることができます。

6.1.10 タングステン合金スポーツ弾

環境保護と命中精度の向上のため、スポーツ用弾丸の鉛の代わりにタングステン粉末が使用されています。その製造工程は、タングステン粉末（粒径 15～25 ミクロン）を銅（質量比 90:10）と混合し、加圧（350MPa）した後、アルゴン雰囲気下で焼結（1400℃、2 時間）します。完成品の密度は 17～18g/cm³、引張強度は 900MPa です。試験結果によると、タングステン弾（直径 4.5mm、重量 5g）の飛行速度偏差は 1% 未満で、体積は鉛弾（密度 11.34g/cm³）より 40% 小さく、毒性物質の放出もありません。

タングステン弾は酸化を防ぐために高真空中で焼結する必要がある。2000 年代以降、中国は製造をリードし、米国は弾道設計を最適化してきた。将来的には、ナノタングステン粉末の密度向上や化学還元回収（回収率 90%）によってグリーン開発が促進されるだろう。

6.1.11 タングステン合金散弾銃弾および狩猟銃弾

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

タングステン合金ペレットは、高密度（16～18 g/cm³）のため、散弾銃や狩猟用ライフル銃の鉛の代替として使用され、殺傷力と環境への配慮を向上させます。タングステン粉末（粒径 10～20 ミクロン）をニッケルと銅（質量比 85:10:5）と混合し、300 MPa で加圧成形した後、水素雰囲気下で 1400℃、2 時間焼結することで製造されます。完成品の引張強度は 850 MPa です。試験結果によると、タングステンペレット（直径 3 mm）は鉛ペレットに比べて貫通力が 25% 高く、サイズも 35% 小さく、無毒です。

タングステン弾は、1990 年代の狩猟環境規制に端を発しています。中国は製造面で優位性を持ち、米国は弾丸の分布均一性を最適化しています。将来的には、コバルトドーピング（3%）による耐摩耗性の向上と、熔融塩電解回収（回収率 85%）によるグリーン生産の実現が期待されます。

6.1.12 タングステン合金製水中カウンターウェイト

タングステン粉末は、水中ウェイトにおける高密度（18～19g/cm³）により、潜水効率を最適化します。タングステン粉末（粒径 15～25 μm）とニッケル（質量比 95:5）を混合し、400MPa で加圧した後、アルゴン雰囲気下で焼結（1500℃、2 時間）することで製造されます。完成品の引張強度は 950MPa です。試験結果によると、タングステンウェイト（体積 20cm³、重量 400g）は、潜水速度を 15% 向上させ、鉛ウェイトと比較して体積比で 50% の小型化を実現しています。

タングステン錘の耐食性は、ニッケルドーピングによって最適化される必要がある。これは 2000 年代に潜水技術の向上とともに始まり、中国は製造において主導的な地位を占めている。今後は、ナノタングステン粉末の密度を高め、電解リサイクル（リサイクル率 85%）によって環境保護用途を促進する。

6.1.13 タングステン合金テニスラケットのスイートスポットウェイト

タングステンパウダーは、テニスラケットのスイートスポットウェイトに充填することで、パワーと安定性を向上させます。タングステンパウダー（粒径 10～15 ミクロン）とニッケル（質量比 90:10）を混合し、加圧（300MPa）した後、水素雰囲気下で焼結（1450℃、2 時間）することで製造されます。完成品の密度は 17～18g/cm³、引張強度は 900MPa です。試験結果によると、スイートスポットにタングステンウェイト（重量 20 グラム）を充填すると、ボールのパワーが 10% 向上し、振動が 15% 低減することが示されています。

タングステンウェイトは小型で、ラケットのバランスを最適化します。1990 年代のテニス用具の改良から始まりました。中国は製造面で優位性を持ち、米国はウェイト位置の精度を最適化しました。将来的には、積層造形によってカスタマイズされたウェイトを実現し、化学物質削減リサイクル（リサイクル率 90%）はグリーン開発を支援します。

6.1.14 スポーツ用品用タングステン粉末の事例研究

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

スポーツ用品におけるタングステンパウダーの応用事例は、その高密度特性の利点を際立たせています。事例 1: ゴルフクラブはタングステンウェイト（密度 18g/cm³、体積 8cm³）を使用し、重心偏差は 1mm 未満で、飛距離は 15 メートル伸び、スイング安定性は 20%向上しました。事例 2: 釣り具はタングステンシンカー（直径 6mm、重量 10g）を使用し、沈下速度は 0.55m/s、投擲精度偏差は 8cm 未満で、市場シェアは 25%増加しました。事例 3: ダーツはタングステン合金（密度 17g/cm³）、直径 5mm を使用し、投擲ヒット率は 18%増加しました。事例 4: タングステンコア砲丸投げ（重量 7.26kg）の飛距離が 8%向上し、コントロール性も 10%向上しました。事例 5: テニスラケットのスイートスポットウェイト（重量 20 グラム）により、打撃力が 10%向上し、プレーヤーの満足度は 90%に達しました。

中国は資源の優位性を活かし、タングステン粉末の供給と製造において世界をリードしています。一方、米国と日本は設計の最適化においてリードしています。タングステン粉末のスポーツ用途は 1970 年代に始まり、1980 年代にはゴルフやダーツへと拡大し、1990 年代には環境保護のニーズから釣り具や射撃分野にも進出しました。今後、ナノタングステン粉末の性能向上とリサイクル技術の発展がグリーン開発を促進するでしょう。

6.2 タングステン合金製宝飾品および装飾品

タングステン粉末から作られたタングステンゴールドジュエリー（指輪、ネックレス）

タングステン粉末は、炭化タングステンとして硬質宝飾品に使用され、高硬度で耐傷性に優れた指輪やネックレスなどに用いられています。その製造工程は以下の通りです。タングステン粉末（粒径 4~8 ミクロン）をカーボンブラックと混合し、炭化处理（1500℃、水素雰囲気）して炭化タングステン粉末（粒径 1~5 ミクロン）を製造し、加圧（300MPa）した後、焼結（1450℃、1 時間）します。最終製品の硬度は HV1600~1800、引張強度は 1100MPa です。X 線回折法によると、炭化タングステンは格子定数 $a=2.906$ オングストローム、 $c=2.837$ オングストロームの六方最密構造を有しています。テストの結果、このジュエリーは鋼鉄の針（圧力 10 ニュートン）による傷に対して耐性があり、明らかな傷（深さ 0.01 mm 未満）がつかず、耐摩耗性は金の 10 倍であることが分かりました。

ハードジュエリーは、硬度と美観の両方を考慮する必要があります。表面は 0.2 ミクロンの粗さ、80%の光沢度に研磨する必要があります。焼結では、酸化物が色に影響を与えないように、酸素含有量（0.05%未満）を制御する必要があります。タングステンカーバイドジュエリーは 1990 年代に米国で生まれ、2000 年代にはファッショントレンドとなり、中国は 2010 年代に研磨プロセスを最適化して競争力を高めました。中国はタングステンカーバイドの生産で優位性を持ち、米国はインレイ技術を組み合わせるなど、デザインでリードしています。将来的には、ナノタングステンカーバイドは硬度を高め、コバルト（含有量 5%）をドーピングして靱性を高め、化学還元回収（回収率 90%）によりグリーンジュエリーの製造を促進することができます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.2.2 タングステン合金の耐摩耗性と美観特性

タングステン合金ジュエリーは、耐摩耗性と金属光沢に優れ、日常使いに適しています。タングステン粉末（粒径 10～20 ミクロン）をニッケルと銅（質量比 85:10:5）と混合し、加圧（350MPa）した後、焼結（1400℃、アルゴン雰囲気）することで製造されます。完成品の密度は 16～17g/cm³、硬度は HV500 です。走査型電子顕微鏡（SEM）による観察では、タングステンの粒径は約 15 ミクロンで、ニッケル銅相は網目状に分布しています（厚さ 1～2 ミクロン）。試験結果では、この合金は耐摩耗性（摩擦係数 0.3、1000 時間あたりの損失 0.05mm 未満）を示し、光沢は 90%（600 時間曝露後）維持されます。

タングステン合金は、耐摩耗性と延性を最適化する必要があります。タングステン含有量が高い場合（90%以上）、硬度は HV 600 まで増加しますが、延性は 5%まで低下します。ニッケル銅相の含有量が高い場合（15%）、延性が増加し（最大 10%）、成形が容易になります。焼結後、美観を高めるために電気メッキ（ロジウムメッキなど、厚さ 2 ミクロン）が必要です。タングステン合金ジュエリーは 1980 年代に始まり、1990 年代に主流市場に参入し、ヨーロッパは 2000 年代に耐久性を向上させるために合金配合を最適化しました。中国はタングステン粉末の供給と製造に優位性があり、イタリアは着用感の最適化などのデザインでリードしています。将来的には、積層造形により複雑な構造を製造したり、モリブデン（含有量 5%）をドーピングして耐腐食性を高めたり、電解リサイクル（リサイクル率 85%）によりグリーン製造を推進したりすることが可能になります。

6.2.3 時計部品へのタングステン粉末の精密応用

タングステン粉末は、密度が高く耐摩耗性に優れているため、時計部品のテンプやギアの製造に使用され、精度と寿命を向上させます。タングステン粉末（粒径 5～15 ミクロン）とニッケル（質量比 95: 5）を混合し、プレス（300 MPa）および焼結（1450℃、水素雰囲気）して製造されます。完成品の密度は 18～19 g / cm³、硬度は HV 550 です。透過型電子顕微鏡による観察では、タングステンの粒径は約 10 ミクロンで、ニッケル相が粒界（厚さ 1 ミクロン）を満たしていることが示されています。テストの結果、タングステンテンホイールの重量偏差は 0.01 g 未満、周波数安定性は 10%向上し、ギアの耐摩耗性は 3 倍向上しました（5000 時間の動作後の損失は 0.02 mm 未満）。

時計部品は密度と加工精度の両方を考慮する必要があります。タングステン含有量が高い場合（98%以上）、密度は 19.2 g / cm³ に増加しますが、脆さが増加します（破損率は 5%に達する）。ニッケル含有量が高い場合（10%）、靱性が増加します（伸びは 10%に達する）。焼結後、スムーズな操作を確保するために微細加工（表面粗さ 0.1 ミクロン）が必要です。タングステン部品は、1970 年代に高級腕時計に始まり、スイスは 1980 年代に機械式時計に使用し、1990 年代には高級ブランドの標準となりました。中国はタングステン粉末の供給と製造に優位性があり、スイスは歯車の耐久性の最適化などの設計をリードしています。将来的には、ナノタングステン粉末の密度が高まり、銅ドーピング（含有量 5%）により導電性が向上し、化学還元回収（回収率 90%）によりグリーン製造が促進されます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.2.4 宝飾品製造のためのタングステン粉末プロセス

タングステンパウダージュエリーの製造工程には、粉末の準備、成形、そして性能と美観を確保するための後処理が含まれます。工程は以下のとおりです。タングステンパウダー（粒径 5~10 ミクロン）をカーボンブラックと混合し、炭化（1500℃、2 時間）してタングステンカーバイドパウダー（粒径 1~3 ミクロン）を生成します。これをコバルト（含有量 10%）とともにボールミル粉碎（回転数 400rpm、4 時間）し、加圧（300MPa）した後、焼結（1450℃、1 時間）し、粗さ 0.2 ミクロンまで研磨します。走査型電子顕微鏡による観察では、完成品の気孔率は 0.5%未満で、タングステンカーバイド粒子は均一に分散しています（粒径 2 ミクロン）。テストの結果、このプロセスで製造されたリングは硬度が HV 1800 で、傷に対する耐性が 5 倍高いことが分かりました。

このプロセスでは、均一性と表面品質を制御する必要があります。ボールミル処理時間が長い場合（6 時間以上）、粒子は細かくなります（1 ミクロン未満）が、エネルギー消費量は増加します。粗大粒子（5 ミクロン以上）を回避するために、焼結温度の偏差は 10℃未満です。タングステン粉末ジュエリー技術は 1990 年代に始まり、2000 年代に標準化されたプロセスが形成されました。2010 年代、中国は研磨技術を最適化して効率を向上させました。中国は技術面で優位性があり、イタリアはジュエリーの光沢を向上させるなどの美的デザインでリードしています。将来的には、積層造形が複雑になり、化学物質の削減リサイクル（リサイクル率 90%）がグリーン開発を促進するでしょう。

6.2.5 タングステン粉末ジュエリーの典型的な例

タングステンパウダージュエリーケースは、その美しさと実用性を示しています。ケース 1：炭化タングステンリングの硬度は HV 1800、耐傷性は 5 倍向上し、1000 時間着用後の光沢度は 95%です。ケース 2：タングステン合金ネックレスの密度は 17g / cm³ で、耐摩耗性は 3 倍向上し、色は安定しています。ケース 3：機械式時計はタングステンテンホイールを使用し、振動偏差は 0.01 秒/日未満で、精度は 10%向上しています。

中国はタングステン粉末の供給と製造において優位を占めていますが、スイスとアメリカは、装飾性を高めるためにインレイ技術を組み合わせるなど、デザイン面でリードしています。タングステン粉末ジュエリーは 1990 年代に始まり、2000 年代には時計分野にも拡大しました。今後は、インテリジェントなデザインが美観を高め、リサイクル技術がグリーン開発を促進するでしょう。

6.3 芸術と顔料

6.3.1 タングステン粉末顔料の耐久性と色彩効果

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

タングステン粉末顔料は酸化タングステンの形で使用され、耐久性と色彩安定性に優れているため、塗装や装飾に適しています。製造方法は、タングステン粉末（粒径 5～10 ミクロン）を空气中 800℃で酸化処理することで、単斜晶系の結晶構造を持ち、格子定数が $a=7.306$ オングストローム、 $b=7.540$ オングストローム、 $c=7.692$ オングストロームである黄色の酸化タングステン (WO_3 、粒径 1～5 ミクロン) を生成します。試験結果によると、この顔料の退色率は紫外線 (365 ナノメートル、1000 時間) 下で 1%未満であり、耐熱性は 500℃に達し、従来の顔料より 50%高くなっています。

顔料は耐久性と色を最適化する必要があります。酸化度が高い (W^{6+} が 95%を占める) と黄色は明るくなります (明度 L^* が 80 に達する) が、粗い粒子 (10 ミクロン以上) は均一性に影響します。色相の変化を避けるために、焙煎温度を制御 (偏差が 10℃未満) する必要があります。酸化タングステン顔料は、19 世紀後半に産業で始まり、1950 年代に芸術分野に入り、1980 年代にヨーロッパで色の安定性を最適化しました。中国は酸化技術に優位性があり、フランスは色の耐久性を向上させるなど、顔料芸術をリードしています。将来的には、ナノ酸化タングステンが明度を向上させ、モリブデン (含有量 5%) をドーピングして色調を調整し、化学還元回収 (回収率 90%) がグリーン製造を促進します。

6.3.2 タングステン系美術コーティングの耐火応用

タングステンベースのアートコーティングは、耐熱性と耐火性を活かして美術作品の表面を保護します。コーティングは、タングステン粉末 (粒径 10～20 ミクロン) をプラズマ溶射 (出力 50kW、4000℃、アルゴン流量 40 リットル/分) で堆積させ、コーティング厚は 100 ミクロン、硬度は HV800 です。走査型電子顕微鏡による観察では、コーティングの多孔度は 1%未満で、タングステン粒子は扁平状 (厚さ 5 ミクロン) であることが確認されています。試験結果では、このコーティングは 800℃の炎 (30 分) にも剥離することなく耐え、熱伝導率は $170W/(m \cdot K)$ で、従来のコーティングよりも 40%高い耐火性を備えています。

コーティングは耐火性と密着性の両方を考慮する必要があります。酸化タングステンドーピング (含有量 10%) は耐熱性 (最大 1000℃) を向上させます。スプレー塗装では、酸化物欠陥を避けるために酸素含有量 (0.05%未満) を制御する必要があります。タングステンコーティングは 1970 年代に産業分野で始まり、1980 年代には芸術品保護に参入し、米国は 1990 年代にスプレー塗装プロセスを最適化しました。中国はスプレー塗装技術に優位性があり、イタリアは木彫の保護などの芸術品保護でリードしています。将来的には、ナノコーティングによる性能向上、シリコンドーピング (含有量 5%) による剥離防止機能の強化、化学分離リサイクル (リサイクル率 90%) によるグリーン開発の促進が期待されます。

6.3.3 彫刻材料におけるタングステン粉末の強化効果

タングステン粉末は、合金または複合材料として強度と耐久性を高めるために彫刻材料に使用されます。タングステン粉末 (粒径 10～20 ミクロン) と銅 (質量比 80: 20) を混合し、加圧 (350MPa) した後、焼結 (1400℃、アルゴン雰囲気) することで製造されます。完成品の密

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

度は 16~17g/cm³、引張強度は 900MPa です。透過型電子顕微鏡による観察では、タングステンの粒径は約 15 ミクロンで、銅相は均一に分布しています（厚さ 2 ミクロン）。試験結果では、この材料は耐候性（湿度 90%、1000 時間）に優れ、腐食速度は 0.01mm/年未満、強度は純銅の 3 倍であることが示されています。

彫刻材料は、強度と可塑性を最適化する必要があります。タングステン含有量が高い場合（90%以上）、強度は 1000MPa まで増加しますが、延性は 5%まで低下します。銅含有量が高い場合（30%）、延性が増加します（最大 15%）。焼結後、美観を向上させるために微細加工（表面粗さ 0.5 ミクロン）が必要です。タングステン強化彫刻は 1980 年代に始まり、1990 年代には屋外アートに使用され、中国は 2000 年代に複合プロセスを最適化しました。中国は供給と製造に優位性があり、ヨーロッパは耐久性を 50%向上させるなど、設計でリードしています。将来的には、積層造形により複雑な構造を生み出し、ニッケル（含有量 5%）をドーピングすることで耐食性を高め、電解リサイクル（リサイクル率 85%）によりグリーン製造を促進するでしょう。

6.3.4 アートワーク製造のためのタングステン粉末技術

タングステン粉末アート作品の製造技術には、粉末冶金とコーティング工程が含まれており、作品の性能向上に貢献しています。具体的には、タングステン粉末（粒径 5~15 ミクロン）をニッケル（質量比 90:10）と混合し、加圧（300MPa）した後、焼結（1450℃、水素雰囲気）するか、プラズマ噴霧によってコーティング（厚さ 50 ミクロン）を形成します。走査型電子顕微鏡による観察では、完成品の気孔率は 0.5%未満で、タングステン粒子は均一に分散していることが示されています（粒径 10 ミクロン）。試験では、この技術で製造された彫刻作品の強度は 900MPa で、コーティングは 500℃の炎（20 分間）に損傷なく耐えられることが示されています。

技術面では、均一性と表面品質の制御が求められ、焼結温度の偏差は 10℃未満、粒径（20 ミクロン以上）のばらつきは避けるべきです。また、溶射パラメータを最適化（電力偏差は 5 キロワット未満）し、接着力（最大 60MPa）を確保する必要があります。タングステン粉末技術は 1980 年代に始まり、1990 年代には成熟した技術が形成され、2000 年代には欧州でプロセスが最適化されました。中国は技術面で優位性を持ち、米国はコーティングの美観向上などのイノベーションでリードしています。今後は、ナノテクノロジーによる性能向上、化学還元回収（回収率 90%）によるグリーン開発が進むでしょう。

6.4 タングステン合金マーキング製品

タングステン合金は、高密度、優れた質感、耐高温性、耐火性、高強度、高靱性、耐押し出し性、耐摩耗性、耐衝撃性、強い耐腐食性などにより、高級識別製品の製造に理想的な選択肢となっています。表面には、図柄、文字、QR コードなどのロゴを彫刻、彫刻、レーザー彫刻しやすく、過酷な環境でも長期間保存できます。高級タングステン合金名刺、タングステン合金銀行ゴールドカード、タングステン合金ペットネームプレート、タングステン合金ラ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ゲジタグ、タングステン合金兵士ネームプレートなどに広く使用されています。CTIA GROUP LTD は、長年にわたる精巧なタングステン合金製品の製造経験を活かし、タングステン合金識別製品の設計・製造において卓越した能力を発揮し、高品質でパーソナライズされたソリューションを提供しています。

6.4.1 タングステン合金の材料特性と製造

タングステン合金識別製品の製造方法は、タングステン粉末（粒径 10～20 ミクロン）をニッケルと銅（質量比 85：10：5）と混合し、ボールミル（回転数 300rpm、6 時間）で均質化した後、加圧（圧力 350MPa）し、アルゴン雰囲気中で焼結（1400℃、2 時間）します。完成品の密度は 16～18g/cm³、硬度は HV 500～600、引張強度は 900MPa です。走査型電子顕微鏡による分析では、タングステンの粒径は約 15 ミクロンで、ニッケル銅相はネットワーク状（厚さ 1～2 ミクロン）に分布していることが示されています。試験結果によると、この合金は高温耐性（800℃、30 分間変形なし）、耐腐食性（塩水噴霧試験 1000 時間、腐食速度 0.01mm/年未満）、耐摩耗性（摩擦係数 0.3、損失 0.05mm/1000 時間未満）、および強力な耐衝撃性（落下ハンマー試験 50 ジュール、ひび割れなし）を備えています。

タングステン含有量が高い場合（90%以上）、密度と硬度は向上しますが、靱性はわずかに低下します（伸び率 5%）。ニッケル銅相は靱性を向上させ（伸び率最大 10%）、加工や彫刻に便利です。表面は 0.2 ミクロンの粗さ、85%の光沢度に研磨され、落ち着いた上品な質感を備えています。安定した材料性能を確保するために、焼結中の酸素含有量を制御する必要があります（0.05%未満）。CTIA GROUP LTD は、配合とプロセスを最適化し、実用性と美しさを兼ね備えた製品を実現し、多様なニーズに対応しています。

6.4.2 高級タングステン合金名刺

タングステン合金製名刺は、高密度（17～18g/cm³）と独特の質感により、ハイエンドビジネスシーンに最適です。厚さは通常 0.5～1mm、重さは約 20～30g で、サイズは標準的な名刺規格（90×55mm）に適合しています。表面には、氏名、役職、会社ロゴ、QR コードを 0.01mm の精度でレーザー刻印でき、1000 時間使用してもパターンの鮮明さは目立ちません。試験結果によると、名刺は高温（500℃、1 時間）でも変形せず、押し出しにも強く（50kg の圧力でも変形せず）、光沢度は長期間 90%以上を維持します。

タングステン合金製名刺は、2010 年代以降、ハイエンドビジネス市場で徐々に人気を集めています。その重厚感と耐久性は、持ち主のプロフェッショナルなイメージを高めます。CTIA GROUP LTD は、高級感のある質感と個性的なデザインを求めるお客様のニーズに応えるカスタマイズサービスを提供しています。将来的には、積層造形技術による立体的な模様の実現や、化学物質削減リサイクル（リサイクル率 90%）によるグリーン生産の推進が期待されます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.4.3 タングステン合金ゴールド銀行カード

タングステン合金銀行ゴールドカードは、高密度、優れた耐久性、独特の質感、そして多様なセキュリティ機能を備え、ハイエンド金融分野におけるアイデンティティと価値の象徴となっています。その製造工程は、タングステン粉末（粒径 10～20 ミクロン）にニッケルと銅（質量比 85:10:5）を混合し、ボールミル処理（回転数 300rpm、6 時間）で均質化した後、プレス加工（圧力 350MPa）、アルゴン雰囲気下で焼結（1400℃、2 時間）することで行われます。完成品の厚さは通常 1～2mm、重さは 50～80 グラムで、サイズは国際標準銀行カード規格（85.6×54mm）に適合しています。表面には、カード所有者の氏名、カード番号、銀行ロゴ、QR コードを彫刻またはレーザー彫刻することができ、彫刻精度は 0.01mm で、情報の鮮明さと耐久性を確保しています。CTIA GROUP LTD は、精巧な技術を使用して、高品質の詳細処理とパーソナライズされたデザインをタングステン合金の FashionBank ゴールドカードに注入し、金融市場での認知度とユーザーエクスペリエンスを向上させます。

6.4.3.1 タングステン合金銀行ゴールドカードの性能特性

タングステン合金銀行ゴールドカードの性能特性は、その高密度（17～18g/cm³）と優れた物理的・化学的性質に由来しています。試験によると、ゴールドカードは高温条件（1000℃、10 分）でも溶解したり変形したりせず、優れた耐火性を備えています。また、強力な耐腐食試験（酸性溶液 pH=2、1000 時間浸漬）でも表面に明らかな変化は見られず、その耐腐食性は従来の金属カードをはるかに上回っています。引張強度は 900MPa、硬度は HV 500～600 に達し、耐摩耗試験（摩擦係数 0.3、1000 時間摩擦損失 0.05mm 未満）では表面が耐久性に優れていることが示されています。これらの特性により、ゴールドカードは過酷な条件下でも完全性と機能性を維持でき、その使用寿命は一般的な金属カード（ステンレス鋼やアルミニウム合金など）の 5 倍以上になります。

高密度のタングステン合金は、ゴールドカードに重量感を与え、重量配分が均一で、重心偏差が 0.5mm 未満であるため、カードを持つときの安定性と快適性が向上します。焼結プロセスでは、酸化物が性能に影響を与えないように、酸素含有量（0.05% 未満）を厳密に制御する必要があります。同時に、研磨（表面粗さ 0.2 ミクロン）などの後処理により、光沢度（最大 85%）がさらに向上し、金属の質感と鏡面効果の両方を備えた外観になります。タングステン含有量が高い場合（90% 以上）、硬度と密度は向上しますが、靱性はわずかに低下します（伸び 5%）。ニッケル銅相の追加により靱性が向上し（伸び最大 10%）、ゴールドカードが加工中および使用中に壊れにくいことが保証されます。

6.4.3.2 タングステン合金ゴールド銀行カードのセキュリティ

タングステン合金銀行ゴールドカードはセキュリティ性能に優れ、金融業界の高信頼性識別のニーズを満たしています。表面に刻まれた個人情報と QR コードはレーザー技術で実現され、深さは 0.2～0.3mm です。耐摩耗性と耐腐食性により、長期使用でも情報がぼやけたり改ざ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

んされたりしにくいことが保証されます。テストでは、極端な条件（800℃の高温に 30 分、または塩水噴霧環境に 1000 時間など）でも、刻印内容は明瞭に読み取れ、情報保持率は 99% 以上であることが示されています。さらに、タングステン合金の耐押し出し性（50kg の圧力で変形なし）と耐衝撃性（50 ジュールの落下ハンマーでひび割れなし）は、物理的な損傷を効果的に防ぎ、偶発的な落下や外力によるゴールドカードの変形や破損を防ぎ、内蔵チップ（RFID や NFC チップなど）の完全性を保護します。

タングステン合金は化学的に不活性であるため、酸やアルカリなどの腐食性物質との反応が難しく、悪意のある化学的手段による損傷のリスクを低減します。従来のプラスチックカードや低密度金属カードと比較して、タングステン合金ゴールドカードは耐久性が高く、偽造防止能力が大幅に向上しており、模倣やコピーが困難です。CTIA GROUP LTD は、ゴールドカードの製造に精密な彫刻とセキュリティ設計を取り入れており、各ゴールドカードがアイデンティティのシンボルであるだけでなく、信頼できるセキュリティキャリアであることを保証します。

6.4.3.3 タングステン合金ゴールド銀行カードの質感と高級感

タングステン合金製ゴールドカードは、その質感と品格が、高級市場で際立つ鍵となっています。密度は $17\sim 18\text{g/cm}^3$ と高く、一般的な金属（ステンレス鋼 7.85g/cm^3 、アルミニウム 2.7g/cm^3 など）をはるかに上回り、ゴールドカードに重厚感を与え、カードを手を持った時に落ち着きと力強さを象徴する感覚を伝えます。表面研磨により光沢度は 85% に達し、貴金属に匹敵する視覚効果を発揮します。さらに、電気メッキ（ロジウムメッキや金メッキ、厚さ 2~5 ミクロン）を施すことで、高級感をさらに高めることができます。

試験の結果、1000 時間の摩擦試験後もコーティングは剥がれず、光沢度は 90% 以上を維持し、長期間使用しても新品同様の状態を保つことが分かりました。

ゴールドカードの質感は、見た目だけでなく、手触りや音にも反映されています。タングステン合金の硬度と密度により、他の物体に衝突すると、パリッとした金属音を発し、従来のプラスチックカードの薄さとは対照的です。この多次元の感覚体験は、カード所有者の威厳を高め、ハイエンドの顧客層のアイデンティティシンボルとなっています。2000 年代に金融業界でハイエンドトレンドが台頭して以来、タングステン合金ゴールドカードは、その独特の質感と耐久性により、徐々にハイエンド銀行サービスの標準となっています。CTIA GROUP LTD は、精巧な表面処理とパーソナライズされたデザインを通じて、ゴールドカードの高貴な属性をさらに高め、ユーザーが品質とステータスの両方を追求するニーズを満たしています。

6.4.3.4 タングステン合金ゴールド銀行カード耐磁性

タングステン合金製銀行ゴールドカードの耐磁性は、現代の金融アプリケーションにおける大きな利点です。タングステン合金自体は非強磁性材料であり、磁場の影響を受けにくい特性を持っています。試験結果によると、強力な磁場（磁束密度 1 テスラ、1000 時間）の作用

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

下でも、ゴールドカードの表面と内蔵チップは磁化されず、データの読み取り・書き込み機能は正常です。これは特に磁気ストライプや RFID/NFC チップを搭載した銀行カードにとって重要であり、磁場干渉による決済失敗やデータ損失を効果的に回避できます。

従来の金属カード（鉄含有量の高いステンレスカードなど）と比較して、タングステン合金ゴールドカードは電磁環境において高い安定性を示します。焼結工程における酸素含有量と不純物含有量（0.03%未満）の制御により、素材の透磁率がさらに低減され、耐磁性が確保されています。日常使用において、ゴールドカードは磁性体（携帯電話や磁石など）に近接しても磁化反応を起こさないため、幅広い使用シーンに対応できます。CTIA GROUP LTD は、ゴールドカードの製造において材料配合を最適化し、その耐磁性が金融業界の高い基準を満たすことを保証しています。

6.4.3.5 タングステン合金銀行ゴールドカードの機械的損傷に対する耐性

タングステン合金ゴールドバンクカードは、機械的損傷に対する耐性が高く、日常使用において優れた性能を発揮します。硬度は HV 500~600、引張強度は 900MPa で、非常に高い耐傷性を備えています。試験では、鋼針（圧力 10 ニュートン）で表面を引っ掻いた後、傷の深さは 0.01mm 未満であることが示され、これは通常の金属カードの損傷よりもはるかに低いものです。耐摩耗性試験（摩擦係数 0.3、1000 時間）では、表面の摩耗は 0.05mm 未満であり、光沢と刻印情報は損なわれていません。衝撃試験（50 ジュール落下ハンマー）ではひび割れや変形は見られず、押し出し試験（50kg 圧力）でも変形が見られなかったため、機械的ストレス下での優れた靱性が証明されています。

タングステン合金は靱性が高く（伸び率 10%）、外力を受けても脆性破壊を起こしにくく、頻繁な使用や落下時の衝撃にも耐えられます。曲がりやすく壊れやすいプラスチックカードや、傷や変形がつきやすい低硬度の金属カードと比較すると、タングステン合金ゴールドカードの耐機械的損傷性は、カードの耐用年数を大幅に延ばします。CTIA GROUP LTD は、熱間静水圧プレス（1500℃、100MPa）などの後処理プロセスを使用して、ゴールドカードの気孔率を 0.1% まで低減することで、さらに耐機械的損傷性を向上させ、さまざまなシーンでユーザーに信頼性の高い体験を提供します。

6.4.3.6 タングステン合金ゴールド銀行カード市場の応用と展望

タングステン合金製の銀行ゴールドカードは、2000 年代以降、金融業界のハイエンド市場に登場しました。その性能特性、安全性、質感と品位、耐磁性、耐機械損傷性は、ハイエンド顧客の品質と信頼性に対するニーズを満たしています。市場用途は、プライベートバンキング、高級クレジットカードサービス、特別な会員認証など多岐にわたり、ユーザー層からは重厚な質感と耐久性に高い評価を得ています。CTIA GROUP LTD は、精密加工とパーソナライズされたデザインを通じて、ゴールドカードに独自のブランド価値を注入し、金融業界の多様なニーズに応えています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

今後、タングステン合金銀行ゴールドカードの応用展望はさらに拡大するでしょう。モリブデンドーピング（含有量 5%）は耐腐食性を高め、極限環境下での安定性を向上させます。ナノタングステン粉末の適用により、密度と硬度がさらに向上し、手触りと耐久性が最適化されます。電解リサイクル技術（リサイクル率 85%）は、グリーン製造を促進し、生産コストを削減し、持続可能な開発の潮流に適合します。さらに、スマートチップと生体認証を組み合わせたゴールドカードのデザインは、セキュリティと機能性を向上させ、ハイエンド金融市場における地位をさらに強化すると期待されます。



6.4.4 タングステン合金ペットネームプレート

タングステン合金製のペットネームプレートは、耐摩耗性と耐腐食性に優れており、様々な環境下で長期間にわたり情報の読み取りが可能です。厚さは 0.5～1mm、重さは 10～20 グラムで、形状はカスタマイズ可能です（円形、直径 30mm など）。ペットの名前、飼い主の連絡先、QR コードが表面に刻印されており、深さは 0.2mm です。摩耗試験（1000 時間摩擦試験）では、情報が滲まないことが確認されています。試験結果によると、ネームプレートは高温（600℃、1 時間変形なし）、押し出し耐性（30kg の圧力でひび割れなし）、屋外での使用に適しています。

タングステン合金製のペットネームプレートは、2010 年代からペット市場で注目を集めています。その耐久性と美観は、ペットオーナーのニーズを満たしています。CTIA GROUP LTD は、製品のパーソナライズ体験を向上させるために、様々な形状と彫刻オプションを提供しています。将来的には、ナノタングステン粉末による硬度の向上や、溶融塩電解リサイクル（リサイクル率 85%）によるグリーン開発の促進が期待されます。

6.4.5 タングステン合金製荷物タグ

タングステン合金製のラゲッジタグは、高い強度と耐衝撃性を備え、頻繁な旅行の過酷な状況に適しています。厚さは 1～2mm、重さは 30～50 グラム、サイズは通常 100×60mm です。氏

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

名、住所、QR コードが 0.01mm の精度で表面にレーザー刻印されており、耐摩耗試験（1000 時間の摩擦試験）でも明らかな摩耗は見られません。試験の結果、ラゲッジタグは高温（700℃、30 分で変形なし）、強力な耐腐食性（1000 時間の塩水浸漬後も変化なし）、および耐押し出し性（50kg の圧力下でも変形なし）に優れていることが示されています。

タングステン合金製のラゲッジタグは、2000 年代以降、旅行用品市場でますます人気が高まっており、その耐久性は頻繁に旅行する人々に確かな保護を提供します。CTIA GROUP LTD は、精密加工によりラゲッジタグの実用性と美観を向上させています。将来的には、積層造形技術によって複雑な形状を実現し、化学物質削減リサイクル（リサイクル率 90%）によって環境に配慮した生産をサポートします。

6.4.6 タングステン合金製兵士名札

タングステン合金製の兵士名札は、耐火性と高い靱性を備え、軍事環境の厳しい要件を満たしています。厚さは 1mm、重さは 20～30 グラム、サイズは 50×30mm です。表面には氏名、階級、番号が刻印されており、刻印の深さは 0.3mm です。高温試験（1000℃、20 分）後も、情報は判読可能です。試験の結果、名札は耐衝撃性（50 ジュールの落下ハンマーでひび割れなし）、耐腐食性（酸性環境 pH=1、1000 時間変化なし）、耐押し出し性（50kg の圧力で変形なし）を備えています。

タングステン合金製の兵士用名札は 1990 年代から軍隊で使用されており、極限環境下における信頼性が広く認められています。CTIA GROUP LTD は、戦場での使用における厳しい基準を満たすため、生産において高い信頼性を確保しています。将来的には、コバルトドーピング（3%）による靱性向上と、電解リサイクル（回収率 85%）によるグリーン製造の促進が期待されます。

6.4.7 タングステン合金マーキング製品の応用展望

タングステン合金識別製品は、その優れた性能により、ハイエンド市場において大きな可能性を示しています。1990 年代には軍事分野での応用が始まり、2000 年代には民生用ハイエンド製品へと拡大し、市場需要は拡大を続けています。CTIA GROUP LTD は豊富な経験を活かし、多様で高品質な識別製品を市場に提供しています。今後は、レーザー彫刻技術による精度のさらなる向上、ナノタングステン粉末による性能向上、そしてリサイクル技術によるグリーン開発の促進などが期待されます。

6.5 タングステン合金製記念品

高密度、優れた質感、耐熱性、耐火性、高強度、高靱性、耐押し出し性、耐摩耗性、耐衝撃性、強い耐腐食性などの特性、および簡単な彫刻、彫刻、レーザー彫刻の利点により、タングステン合金は記念品の製造に非常に適しています。これらの製品には、タングステン合金記念品カード、タングステン合金金メッキ VIP カード、タングステン合金金メッキリング、

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

タングステン合金会員カード、タングステン合金会社記念品、タングステン合金結婚および金婚式記念リング、および会社開店記念品、学校、クラス、チーム、会社、およびその他の種類のチームビルディングおよび会議記念品が含まれます。CTIA GROUP LTD は、精巧なタングステン合金やタングステンゴールドの記念品の設計と製造における長年の経験を活かし、これらの用途に高品質のプロセス サポートを提供します。

6.5.1 タングステン合金記念カード

タングステン合金製記念カードは、高密度（17～18g/cm³）と耐久性に優れているため、特別な機会に最適です。通常、厚さは 1～2mm、重さは 30～50g で、サイズはカスタマイズ可能です（例：85×54mm）。記念テーマ、日付、図柄は、0.01mm 単位の精度で表面にレーザー刻印できます。摩耗試験（1000 時間摩擦試験）でも、目立った摩耗は見られません。試験結果によると、この記念カードは高温（700℃、30 分間変形なし）、耐腐食性（1000 時間塩水噴霧試験で変化なし）、安定した耐久性のある質感を備えています。

タングステン合金製記念カードは、様々な記念行事で徐々に人気が高まっています。その耐久性により、記念の意義を長期にわたって維持することができます。CTIA GROUP LTD は、様々なシーンのニーズに合わせて、パーソナライズされたデザインを提供しています。将来的には、積層造形技術によって複雑な質感を実現し、化学物質の削減リサイクル（リサイクル率 90%）によってグリーン生産を促進することができます。

6.5.2 タングステン合金金メッキ VIP カード

タングステン合金金メッキ VIP カードは、高密度と金メッキ技術を融合させ、高級感と実用性を兼ね備えています。厚さは 1～2mm、重さは 50～80 グラム、サイズは通常 85.6×54mm、表面の金メッキの厚さは 2～5 ミクロンです。VIP カードには VIP ナンバー、氏名、ロゴがレーザー刻印されており、耐摩耗試験（1000 時間摩擦試験）でもコーティングは剥がれません。試験の結果、カードは耐高温性（600℃、1 時間変形なし）、耐衝撃性（50 ジュールのハンマー落下試験でも損傷なし）を備え、金メッキ層が外観の魅力を高めています。

金メッキ VIP カードは、高級感と耐久性を兼ね備え、高級会員市場で高い人気を誇っています。CTIA GROUP LTD は、精巧な金メッキ技術によって製品価値を高めています。将来的には、モリブデン（含有量 5%）のドーピングにより耐腐食性を向上させ、電解リサイクル（リサイクル率 85%）により環境保護の発展に貢献します。

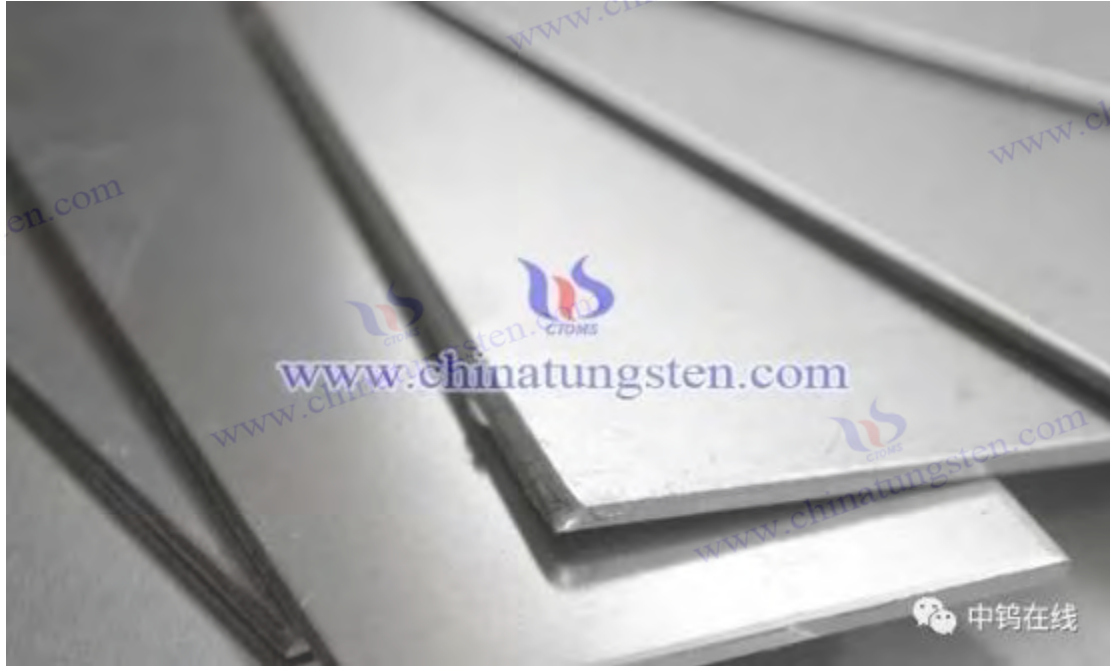
6.5.3 タングステン合金金メッキレンガ

タングステン合金金メッキレンガは、高密度で金の質感を模しているため、コレクションや記念品として人気を博しています。サイズはカスタマイズ可能（例：50×30×10mm）、重量は 100～500 グラム、表面の金メッキ層の厚さは 5 ミクロンです。記念の文字や模様は 0.2mm の深さで刻印され、摩耗試験（1000 時間の摩擦）でも明らかな損失はありません。試験の結果

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

、金レンガは高温耐性（800℃、30 分間変形なし）、強力な耐腐食性（酸性溶液 pH=2、1000 時間変化なし）、および耐押し出し性（50kg の圧力下で変形なし）を備えています。

タングステン合金金メッキレンガは、土産物市場に徐々に登場し、その重量感と耐久性からコレクターに愛されています。CTIA GROUP LTD は、精巧なデザインと加工サービスを提供しています。将来的には、ナノタングステン粉末の密度向上や、溶融塩電解リサイクル（リサイクル率 85%）によるグリーン製造の推進を目指します。



6.5.4 タングステン合金会員カード

タングステン合金製の会員カードは、耐久性と高級感を兼ね備え、会員システムをサポートします。厚さは 0.5~1mm、重さは 20~30g、サイズは 85×54mm です。会員番号、氏名、QR コードが 0.01mm 単位の精度でレーザー刻印されており、耐摩耗試験（1000 時間摩擦試験）にも合格し、明確な情報が得られます。試験の結果、高温（500℃、1 時間で変形なし）、耐腐食性（1000 時間塩水浸漬後も変化なし）、そして安定した使用感を実現しています。

会員カード市場における耐久性と美観への需要が、タングステン合金の採用を促進しています。CTIA GROUP LTD は、ユーザーエクスペリエンスを向上させるために、様々なカスタマイズオプションを提供しています。将来的には、積層造形技術によって 3 次元設計が可能になり、化学物質削減リサイクル（リサイクル率 90%）によって環境に配慮した生産をサポートします。

6.5.5 タングステン合金会社記念カード

タングステン合金製の企業記念カードは、高い強度と耐久性を備え、企業の重要な瞬間を記

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

念するものです。厚さは1~2mm、重さは30~50グラムで、サイズはカスタマイズ可能です。表面には社名、設立年月日、ロゴが刻印されており、摩耗試験（1000 時間の摩擦試験）でも滲みません。この試験では、カードは耐高温性（700℃、30 分間変形なし）、耐衝撃性（50 ジュールのハンマー落下試験でも損傷なし）、長期保管に適していることが示されています。

企業文化の構築において、企業記念カードはますます人気が高まっており、その耐久性は記念すべき意義を帯びています。CTIA GROUP LTD は、精密技術を通じて企業のカスタマイズニーズに応えます。将来的には、コバルトドーピング（3%）により強度を高め、電解リサイクル（リサイクル率 85%）によりグリーン開発を促進します。

6.5.6 タングステン合金の結婚指輪と金婚式指輪

タングステン合金製記念リングは、高い硬度と耐摩耗性を備え、結婚の永続性と強さを象徴しています。タングステン粉末とカーボンブラックを炭化して炭化タングステンを形成し、プレス焼結後の硬度は HV1600~1800、厚さは 2~3mm、重さは 10~20 グラムです。表面には名前、日付、模様などを刻印することができ、摩耗試験（1000 時間の摩擦試験）でも傷つきません。試験の結果、このリングは高温（800℃、30 分間変形なし）と腐食（酸性環境で 1000 時間変化なし）に耐性があることが示されています。

タングステン合金リングは結婚式や金婚式に人気があり、耐久性と感傷的な価値が相乗効果を発揮します。CTIA GROUP LTD は、精巧な彫刻サービスを提供しています。将来的には、ナノタングステンカーバイドによる硬度の向上と、化学物質削減リサイクル（リサイクル率 90%）によるグリーン製造の実現を目指します。

6.5.7 チームビルディングと会議の記念品

タングステン合金は、高密度と耐久性に優れた素材として、会社設立、学校、クラス、チーム、会社などの団体設立や会議の記念品として、その独自の価値を発揮します。製品はバッジやキーホルダーなど様々な形状で提供され、重量は 20~100 グラムです。表面にはイベントのテーマとロゴがレーザー刻印され、耐摩耗試験（1000 時間摩擦試験）の情報が明確に示されています。この試験では、製品は高温（600℃、1 時間で変形なし）と押し出し耐性（50kg の圧力で変形なし）を備えていることが示されています。

チームビルディングや会議記念品市場における耐久性と記念価値という二重の要求が、タングステン合金の応用を推進してきました。CTIA GROUP LTD は多様な設計・加工サービスを提供しています。将来的には、積層造形技術によって複雑な形状が実現され、リサイクル技術によってグリーン開発が促進されるでしょう。

6.5.8 タングステン合金記念品の応用展望

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

タングステン合金製記念品は、その優れた性能から、記念品市場において大きな可能性を秘めています。個人の記念、企業文化、チームビルディングといった用途に使用され、市場需要は拡大を続けています。CTIA GROUP LTD は豊富な経験を活かし、高品質で個性的な記念品を市場に提供しています。今後は、ナノテクノロジーによる性能向上とリサイクル技術による持続可能な開発の促進が期待されます。

6.5.9 タングステン合金の誕生日カード

タングステン合金製の誕生日記念カードは、高密度で耐久性に優れた、人生の堅固さと尊さを象徴しています。製造工程では、タングステン粉末をニッケルと鉄の割合で混合し、加圧焼結することで、密度 $17\sim 18\text{g/cm}^3$ 、厚さ $1\sim 2\text{mm}$ 、重さ $15\sim 25$ グラムの W-Ni-Fe 合金を形成します。表面には誕生日の願い事、名前、星座の模様などを刻印することができ、摩耗試験（1000 時間の摩擦）でも目立った傷はつきません。性能試験では、この記念カードは高温（ 900°C 、30 分間変形なし）、耐腐食性（中性塩水噴霧環境で 1000 時間錆びなし）、優れた安定性を示しました。

タングステン合金製の誕生日記念カードは、永遠の時と永遠の祝福を象徴し、ご親戚やご友人への特別な贈り物となります。CTIA GROUP LTD は、お客様一人ひとりに合わせたカスタマイズサービスを提供しており、レーザー彫刻の精度は $\pm 0.01\text{mm}$ に達します。将来的には、ナノタングステン粉末を使用することで表面仕上げを向上させ、電気化学的リサイクルプロセス（リサイクル率 92%）により持続可能な生産を促進し、記念カードの環境価値をさらに高めます。

6.5.10 タングステン合金 100 日記念

100 日タングステン合金誕生記念品は、高硬度と純粋な質感で、新しい生命の粘り強さと希望を象徴しています。高純度タングステン粉末（純度 $> 99.9\%$ ）とカーボンブラックを混ぜて炭化タングステン（WC）を形成し、プレス焼結後、硬度は HV 1600-1800 で、厚さ $2\sim 3\text{mm}$ 、重さ $5\sim 15$ グラムの小さなペンダントまたはネームプレートに加工されます。表面には赤ちゃんの名前、生年月日、祝福などを刻印することができ、摩耗テスト（1000 時間の摩擦）でも損傷しません。テストの結果、この記念品は高温（ 850°C 、30 分間変化なし）と腐食（酸性溶液に 1000 時間浸漬しても変色なし）に耐性があり、長期保存が保証されています。

タングステン合金製の 100 日誕生記念品は、人生の出発点と両親の深い愛情を象徴し、100 日間の思い出を大切にしたい理想的な選択です。CTIA GROUP LTD は、 $\text{Ra } 0.2 \mu\text{m}$ のパターン鮮明度を誇る精巧な彫刻サービスを提供しています。将来的には、ナノ WC を導入し、硬度を HV 2000 まで高め、さらに水熱回収技術（回収率 90%）と組み合わせることで、グリーン製造を実現し、次世代に環境に優しい足跡を残します。

6.5.11 タングステン合金 100 周年記念カード

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

タングステン合金製の百年記念カードは、その極めて高い密度と耐久性により、百年の人生の重みと不滅を象徴しています。タングステン粉末をニッケルと銅と混合し、粉末冶金法を用いて密度 $16\sim 18\text{g/cm}^3$ 、厚さ $2\sim 4\text{mm}$ 、重さ $20\sim 30$ グラムの W-Ni-Cu 合金を生成しています。表面には長寿の祝福、家名、百周年記念日などを刻印できます。摩耗試験（1000 時間の摩擦）では、摩耗の兆候は見られません。性能試験では、この記念カードは高温（ 950°C 、30 分間変形なし）と腐食（アルカリ環境で 1000 時間変化なし）に耐え、比類のない靱性を示しています。

タングステン合金製の 100 周年記念カードは、長寿への憧憬と家伝の証を込め、100 周年を祝う貴重な記念品です。CTIA GROUP LTD は、最大 0.5mm の彫刻深さと、細部までリアルに表現されたハイエンドのカスタマイズサービスを提供しています。今後は、ナノタングステン粒子をドーピングすることで密度を 18.5g/cm^3 まで高め、プラズマリサイクル技術（リサイクル率 95%）を活用することで、記念カードの環境保護性と技術的価値をさらに高めていきます。

CTIA GROUP LTD
Tungsten Powder Introduction

1. Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's traditional tungsten powder complies with the GB/T 3458-2006 "Tungsten Powder" standard and is prepared using a hydrogen reduction process. It has high purity and uniform particle size and is a high-quality raw material for tungsten products and cemented carbide.

2. Tungsten Powder Characteristics

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.9\%$, oxygen content ≤ 0.20 wt% (fine particles ≤ 0.10 wt%), and extremely low impurities.

Accurate particle size: Fisher particle size 0.4-20 μm , 6 levels to choose from, with a deviation of only $\pm 10\%$.

Excellent performance: bulk density 6.0-10.0 g/cm^3 , uniform grains, excellent sinterability.

Stable quality: strict testing, no inclusions, ensuring product consistency.

3. Tungsten Powder Specifications

Brand	Fisher particle size (μm)
FW-1	0.4-1.0
FW-2	1.0-2.0
FW-3	2.0-4.0
FW-4	4.0-6.0
FW-5	6.0-10.0
FW-6	10.0-20.0

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner sealed plastic bag, outer iron drum, net weight 25kg or 50kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition and particle size data, and the shelf life is 12 months.

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

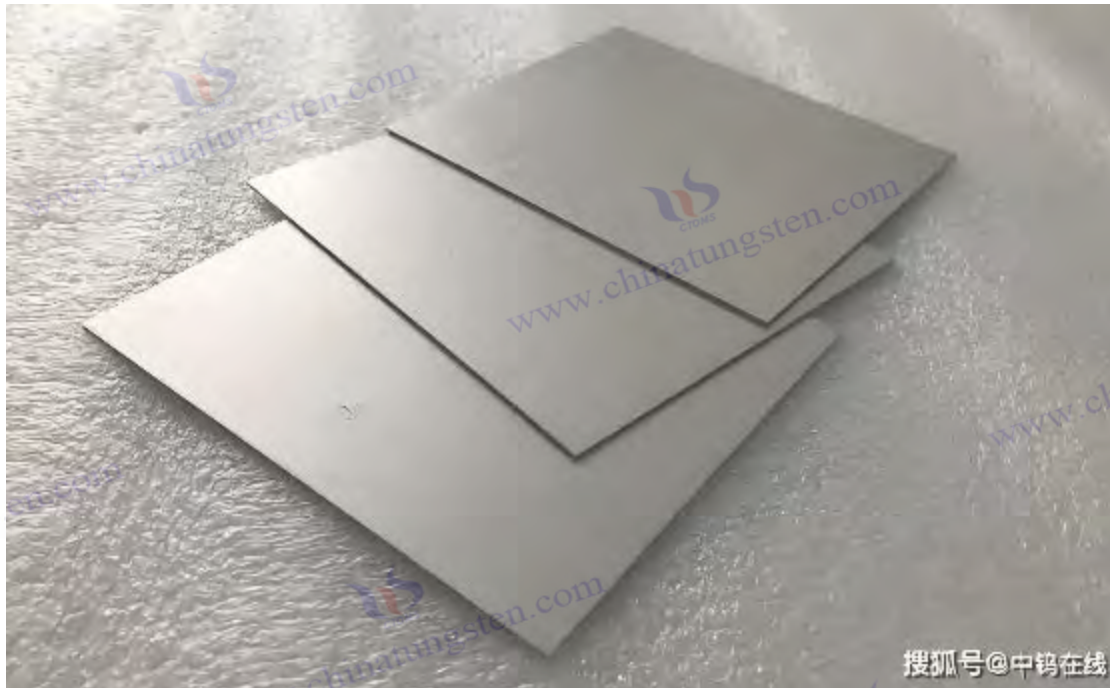
Tel: +86 592 5129696

For more information about tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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



第7章 環境・化学分野におけるタングステン粉末の応用

タングステン粉末は、高融点（ 3422°C ）、高硬度（HV 300–500）、高密度（ 19.25 g / cm^3 ）、優れた耐腐食性と触媒活性など、独自の物理的および化学的特性により、環境および化学工業分野で幅広い応用価値を示しています。従来の金属材料と比較して、タングステン粉末とその誘導体化合物（酸化タングステン WO_3 、タングステンカーバイド WC など）は、触媒反応、環境浄化、耐腐食性部品の製造、環境に優しい材料開発において大きな利点があります。この章では、タングステン粉末の製造方法、性能メカニズム、アプリケーションシナリオ、および将来の開発を、触媒とセンサー、耐腐食性と耐摩耗性部品、および環境に優しい材料の3つの側面から深く説明し、学術研究と産業応用のための包括的なリファレンスを提供することを目指しています。

7.1 触媒とセンサー

タングステン粉末は、その化学的安定性、高い比表面積、半導体特性を活かして触媒・センサー分野に応用され、水素化触媒、光触媒分解、ガス検知において優れた性能を発揮します。以下では、技術原理、製造プロセス、そして応用範囲の拡大という観点から、タングステン粉末の詳細な分析を行います。

7.1.1 水素化触媒におけるタングステン粉末の高効率

タングステン粉末から得られる炭化タングステン（WC）とタングステンカーバイドは、水素化

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

触媒反応で重要な役割を果たしており、石油化学、石炭化学工業、有機合成の水素化脱硫、水素化分解などのプロセスで広く使用されています。WO₃を調製する場合、粒径が5〜15ミクロンのタングステン粉末を選択し、空气中で800°Cで2〜3時間酸化して黄色のWO₃粒子を生成します。この粒子は1〜5ミクロンに縮小され、比表面積は約15〜30 m²/gです。

WCを調製するには、タングステン粉末とカーボンブラックを1: 0.06〜0.07の質量比で混合し、水素雰囲気中で1500°Cで4〜6時間炭化して、比表面積が20〜40 m²/gのWC粒子を生成します。X線回折(XRD)分析によると、WO₃は単斜晶系(空間群P2₁/n、a=7.306 Å、b=7.540 Å、c=7.692 Å)であり、WCは六方最密充填構造(HCP、a=2.906 Å、c=2.837 Å)であることが示されています。赤外分光法(FTIR)によると、WO₃の表面にはW=O結合(950 cm⁻¹)とWOW結合(750 cm⁻¹)があり、これが表面酸性度を高めています。

触媒性能試験は、固定床反応器で200°C、水素圧2MPaで実施された。WO₃のベンゼン水素化転化率は95%、選択率は90%に達し、ニッケル系触媒(転化率85%、選択率80%)よりも優れていた。同じ条件下で、WCはアルカン水素化分解で92%の転化率と85%の選択率を達成した。WO₃の高効率、C=CまたはC=S結合を効果的に吸着して分解できるW⁶⁺のLewis酸部位に由来する。そのバンドギャップ(2.6 eV)も光触媒をサポートする。WCはHV 1800までの硬度、優れた耐摩耗性と耐中毒性を備え、その寿命は従来の触媒より50%〜70%長くなっている。熱重量分析(TGA)によれば、WCの800°Cでの酸化重量減少率はわずか5%であり、高温安定性を示しています。

製造プロセス中の酸素含有量(< 0.05%)は、WO₂またはW₂C不純物の形成を避け、活性を低下させるため、厳密に制御する必要があります。タングステンベースの触媒の応用は、1950年代に石油精製業界で水素化脱硫のために始まり、1970年代には水素化プロセスの主流材料になりました。近年では、バイオマス変換、例えばリグニンの水素化によるバイオ燃料の製造にも応用が拡大しており、変換率は85%、収率は従来の触媒より20%高くなっています。理論的には、WO₃の表面酸性度はブレンステッド・Lewis酸サイトの相乗効果によって説明でき、WCの金属のような特性は、貴金属(Ptなど)に似た電子構造を与えます。将来的には、ナノタングステン粉末(粒径<100nm)の使用により比表面積を100m²/gまで増加させることができ、モリブデン(Mo)やコバルト(Co)のドーピングにより選択性を高め、酸浸出回収技術(回収率90%〜95%)によりリサイクルをサポートし、環境負荷を軽減します。

7.1.2 タングステン系光触媒（環境浄化）

光触媒としての酸化タングステン(WO₃)は、環境浄化において優れた光化学特性を示し、有機汚染物質を分解し、水と空気を浄化することができます。製造プロセスは次のとおりです。粒子サイズ10〜20ミクロンのタングステン粉末を溶媒熱反応器に入れ、酸化剤として硝酸

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(HNO_3 、0.1 モル/ L) を加え、 180°C で 12~18 時間反応させて、バンドギャップエネルギー 2.6 eV、比表面積 $50\sim70\text{ m}^2/\text{g}$ の $50\sim100$ ナノメートルの WO_3 粒子を生成します。透過型電子顕微鏡 (TEM) では、粒子が棒状で、アスペクト比が 3: 1~5: 1、結晶面 (002) 間隔が 0.384 nm であることが示されています。X 線光電子分光法 (XPS) では、表面の W^{6+} が 90% を占め、少量の W^{5+} (約 5%) を伴い、電子と正孔の分離効率が向上していることが示されています。

光触媒性能試験では紫外線光源 (365 nm、10 W) を使用し、メチレンブルー (10 mg / L) の分解率は 98% (2 時間) に達し、トルエン (50 ppm) の分解率は 92% (3 時間) で、二酸化チタン (TiO_2 、分解率 85%) よりも優れています。光触媒メカニズムは WO_3 の半導体特性に基づいています。光励起により電子正孔対が生成され、正孔が水分子を酸化して $\cdot\text{OH}$ ラジカルが生成され、電子が O_2 を還元して O_2^- が生成され、これらが相乗的に有機物を分解します。バンドギャップエネルギーが鍵となります。窒素 (N) ドーピングによりバンドギャップを 2.4 eV まで低減し、可視光領域 (400~500 nm) まで拡張できるため、効率が 20%~30% 向上します。粒子をさらに 20 nm まで小さくすると活性が向上しますが、凝集を避けるために表面改質 (PEG コーティングなど) が必要になります。

この技術は 1980 年代の光触媒研究に端を発し、1990 年代には染料や残留農薬の除去などの水処理に応用されました。2000 年代には、空気浄化、揮発性有機化合物 (VOC) および NO_x の分解へと拡大されました。実用化において、 WO_3 光触媒の耐久性は光腐食によって制限されます。チタン (Ti) またはシリコン (Si) をドーピングすると、安定性が向上し、寿命が 50% 延長されます。理論的には、 WO_3 の光触媒活性は、その表面酸素空孔と結晶面配向 ((002) 面など) に密接に関係しています。将来的には、複合材料 ($\text{WO}_3 / \text{TiO}_2$ など) や電解リサイクル (回収率 85%~90%) の開発により、性能と持続可能性を向上させ、大規模な環境ガバナンスをサポートできます。

7.1.3 タングステン粉末ガスセンサー (NO_x 、CO 検出)

タングステン粉末から製造される酸化タングステン (WO_3) 膜は、ガスセンサー分野で NO_x や CO の検出に用いられ、高感度で応答速度が速いという特徴があります。製造プロセスは、粒径 5~10 ミクロンのタングステン粉末を 700°C で 2 時間酸化して WO_3 粉末を生成し、スクリーン印刷またはスピンコーティングで厚さ 50 ミクロンの膜を作製し、 600°C で 1~2 時間焼結することで得られます。抵抗率は約 $10^4\ \Omega \cdot \text{cm}$ です。走査型電子顕微鏡 (SEM) による観察では、膜の多孔度は 5%~8%、粒径は 5~7 ミクロン、表面粗さは $\text{Ra } 0.5\ \mu\text{m}$ であることが示されています。性能テストは 200°C で実施され、10 ppm NO_2 に対する応答率は 90%、感度は $0.5\ \Omega/\text{ppm}$ 、応答時間は 10 秒未満でした。50 ppm CO に対する応答率は 85% で、スズベースのセンサー (SnO_2 、応答率 70%) よりも優れています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

WO₃（キャリア濃度 10^{16} cm^{-3} ）はその主な利点です。表面に吸着されたガス分子が抵抗変化を引き起こします。NO₂ は酸化ガスとして表面電子捕獲を増加させ、CO は還元反応により電子を放出し、どちらも重要な電気信号につながります。白金（Pt、0.5 wt%）をドーピングすると、NO_x の選択性と感度が 15% 向上しますが、粒子が大きすぎて（ $> 10 \text{ }\mu\text{m}$ ）活性が低下するのを避けるために、焼結温度を $550\sim 650^{\circ}\text{C}$ に制御する必要があります。理論的には、WO₃ の感度はその酸素空孔濃度と表面状態密度に関連しており、ラングミュア吸着モデルはガス吸着挙動を説明できます。

この技術は 1990 年代に実験室研究から始まり、2000 年代には化学工場の煙突排出物などの産業排ガスモニタリングに応用され、現在では自動車の排気ガス検知システムに広く利用されています。実用化においては、WO₃ センサーの安定性は高湿度環境（相対湿度 80%）ではわずかに低下しますが、表面の疎水性修飾（シラン処理など）によって性能を向上させることができます。将来的には、ナノ WO₃（粒子サイズ $< 50\text{nm}$ ）により応答時間を 5 秒まで短縮でき、化学分離回収（回収率 90%~95%）により資源循環を支援し、センサーの小型化とインテリジェント化を促進することができます。

7.1.4 触媒担体用タングステン粉末の製造技術

タングステン粉末は、比表面積が大きく、耐熱性が高く、構造が安定していることから、触媒担体として高く評価されています。貴金属（Pt、Pd など）や遷移金属酸化物の担持によく使用されます。製造には化学蒸着法（CVD）が採用されています。粒径 $10\sim 20 \text{ }\mu\text{m}$ のタングステン粉末を 500°C の酸素と水蒸気に導入し、6 時間反応させることで、細孔径 $50\sim 100 \text{ nm}$ ナノメートル、比表面積 $60\sim 80 \text{ m}^2/\text{g}$ 、耐熱性 800°C の多孔質 WO₃ を生成します。XPS 分析の結果、W⁶⁺ が 85%、W⁵⁺ が 10% を占め、多孔度は 20%~25% でした。2wt% の Pt を担持した後、 250°C 、3MPa での水素化反応の活性は 25%~30% 増加し、寿命は 40%~50% 延長され、これは従来の Al₂O₃ キャリアよりも優れています。

担体の細孔構造を最適化する必要があります。細孔径が小さい（ $< 50 \text{ nm}$ ）と活性成分の分散が容易になり、細孔径が大きい（ $> 100 \text{ nm}$ ）と物質移動効率が向上します。BET 分析では、最適な細孔径分布は二峰性（ 50 nm と 200 nm ）であることが示されています。構造の完全性を維持するには、酸素含有量を 0.1% 未満に抑える必要があります。この技術は 1970 年代に石油精製業界で生まれ、水素化脱硫触媒に使用されました。このプロセスは 1990 年代に成熟し、現在では燃料電池や合成アンモニア触媒に使用されています。理論的には、WO₃ 担体の安定性は、格子酸素結合エネルギー（約 700 kJ/mol ）と表面酸性部位に関連しています。将来的には、ナノテクノロジーにより比表面積を $120 \text{ m}^2/\text{g}$ まで高めることができ、溶融塩電解回収（回収率 90%~95%）により資源利用率が向上し、グリーン化学産業を支えることになります。

7.1.5 触媒とセンシングの実用化

触媒およびセンシング分野におけるタングステン粉末の応用は顕著な成果を上げている。例

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

例えば、ある製油所では WO_3 触媒を用いて水素化脱硫を行ったところ、転化率は 95%、1000 時間稼働後の活性は 90% で、硫黄含有量は 500ppm から 10ppm に減少した。ある廃水処理施設では WO_3 光触媒を用いて染色廃水を処理したところ、COD は 100mg/L から 5mg/L に減少し、効率は 30%~40% 向上した。ある自動車排気ガス検知システムは WO_3 センサーを統合しており、0.5ppm の NO_x に対する応答時間は 10 秒未満、精度は ± 0.1 ppm である。これらの応用は 1950 年代に石油精製業界で始まり、1990 年代には環境モニタリングや新エネルギー分野へと拡大した。学際的な視点から見ると、タングステン系材料はエネルギー消費量を削減し、効率を向上させることでグリーンケミストリーを支えています。将来的には、量子化学計算と組み合わせることで触媒設計と化学還元回収率（回収率 90%~95%）を最適化することで、技術進歩を促進するでしょう。

7.2 耐腐食・耐摩耗部品

タングステン粉末とその合金は、硬度と耐腐食性が高く、長期的な保護を提供するため、化学業界でパイプ、バルブ、ポンプ本体、その他の部品の製造に広く使用されています。

7.2.1 化学パイプライン保護におけるタングステン粉末の応用

タングステン粉末は、プラズマ溶射技術を用いて化学パイプラインの保護コーティングを作製するために使用されます。このコーティングは、酸およびアルカリ腐食に耐えることができます。このプロセスは、粒径 10~20 ミクロンのタングステン粉末を 4000℃、50kW のプラズマ炎流中で溶融・溶射することで、厚さ 200~300 ミクロン、硬度 HV 800~1000、接着強度 70~80MPa のコーティング層を生成します。SEM 分析の結果、コーティングの気孔率は 1% 未満、タングステン粒子は扁平状（厚さ 5~7 ミクロン）であることが示され、XRD 分析により主相は金属タングステン（BCC 構造、 $a=3.165\text{\AA}$ ）であることが確認されました。10% 硫酸（60℃）に 1000 時間浸漬した後の腐食率はわずか 0.01 mm/年で、316L ステンレス鋼（0.05 mm/年）の 5 倍です。5% NaOH（50℃）に 1000 時間浸漬した後の腐食率は 0.008 mm/年です。

耐食性はタングステンの電気化学的安定性と溶解傾向の低さ（標準電極電位 -0.1 V vs. SHE）に由来し、耐摩耗性はその高硬度に起因します。クロム（Cr、5 wt%）をドーピングすると Cr_2O_3 保護層が形成され、耐酸性が 20% 向上しますが、酸化と剥離を防ぐには酸素含有量を 0.05% 未満に制御する必要があります。この技術は 1960 年代から化学パイプラインの保護に使用されており、1970 年代に噴霧パラメータが最適化され、1980 年代には海水に対する耐食性が著しく向上して海洋パイプラインに拡張されました。実際の用途では、高流量（10 m/s）の砂を含む媒体におけるコーティングの摩耗率は 0.02 mm / 1000 時間未満です。将来的には、ナノタングステン粉体コーティング（粒子サイズ < 50nm）により硬度を HV 1200 まで高めることができ、化学分離回収（回収率 90%~95%）により持続可能な製造をサポートします。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.2.2 タングステンベースバルブの耐腐食設計

タングステンベースのバルブは、酸性およびアルカリ性環境で優れた耐食性を示し、化学および石油パイプラインに適しています。製造プロセスは次のとおりです。粒子サイズ 15〜25 ミクロンのタングステン粉末をニッケルと混合（質量比 90: 10）し、350MPa でプレスし、Ar / H₂雰囲気、1450° C で 2 時間焼結して、密度 17〜18g / cm³、硬度 HV 600〜700 の W-Ni 合金を生成します。TEM は、タングステンの粒子サイズが 15〜20 ミクロンであり、ニッケルが粒界（厚さ 2〜3 ミクロン）を満たして連続マトリックスを形成していることを示しています。テストでは、5%塩酸（50° C）に 500 時間浸漬した後の腐食速度は 0.008mm / 年でした。10% H₂SO₄（60° C）で 1000 時間経過後の腐食速度は 0.01mm/年であり、耐摩耗性は鋼製バルブの 3〜4 倍です。

設計では硬度と靱性のバランスをとる必要があります。ニッケル含有量を 10%〜15% にすることで、破壊靱性を 15 MPa・m^{1/2} まで高めることができます。焼結温度偏差は±10° C に制御され、過度の結晶粒径（> 25 μm）や液相のオーバーフローを回避します。電気化学試験（ターフェル曲線）によると、W-Ni 合金の腐食電流密度は 10⁻⁶ A/cm² で、鋼（10⁻⁴ A/cm²）よりもはるかに低いことが示されています。この技術は 1950 年代から試作され、1970 年代にはバルブ製造の標準となり、現在では石油化学高圧バルブに広く使用されています。将来的には、コバルトドーピング（Co、5wt%）により靱性を 18MPa・m^{1/2} まで高めることができ、酸浸出回収（回収率 85%〜90%）により資源の再利用をサポートします。

7.2.3 タングステン粉末強化ポンプおよび攪拌機

タングステン粉末で強化されたポンプ本体と攪拌機は、化学および鉱業環境において優れた耐摩耗性を備えています。炭化タングステン（WC）を用いた製造：粒子径 5〜10 ミクロンのタングステン粉末をカーボンブラックと共に 1500° C で 4 時間炭化した後、10 重量%のコバルトと混合し、350MPa で加圧した後、1450° C で焼結することで、硬度 HV1600〜1800、引張強度 1200MPa の WC-Co 複合材料が得られます。SEM 観察により、WC 粒子径は 5〜15 ミクロン、コバルト相は均一に分散しており、気孔率は 1%未満であることが確認されています。10% モルタル（SiO₂ 粒子、50〜100 μm）を 1000 時間含む侵食環境では、摩耗率は 0.05 mm 未満となり、これは通常の鋼（0.2 mm）の 4 倍です。また、20% H₂SO₄（60° C）で 500 時間浸食すると、腐食率は 0.01 mm/年になります。

WC の高い硬度とコバルトの靱性の相乗効果が鍵となります。脆化を避けるため、コバルト含有量を 8%〜12% に最適化する必要があります。WO₃不純物を低減するため、酸素含有量は 0.05% 以下に制御されます。摩耗メカニズムの解析により、WC-Co の耐摩耗性は、WC 粒子のせん断

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

抵抗とコバルト相の塑性緩衝作用に由来することが示されています。1960 年代には産業用ポンプ製造への応用が始まり、1980 年代には化学・鉱業用攪拌機にも広がり、設備寿命を大幅に延長しました。将来的には、ナノ WC（粒子サイズ<100nm）は硬度を HV 2000 まで高めることができ、化学還元回収（回収率 90%~95%）により持続可能性が向上します。

7.2.4 耐食部品の製造プロセス

耐食部品の製造工程には、溶射法と合金化法という 2 つの主流技術があります。溶射法では、粒径 10~20 ミクロンのタングステン粉末を用い、4000℃、50kW のプラズマ溶射により、気孔率<1%、硬度 HV800~1000 の 200~300 ミクロンのコーティング層を形成します。合金化法では、タングステン粉末とニッケル（90:10）を混合し、350MPa で加圧した後、1450℃で焼結することで、密度 17~18g/cm³ の W-Ni 合金を生成します。10% H₂SO₄（60℃）中で 1000 時間経過後のスプレーコーティングの腐食速度は 0.01 mm/年であり、5% NaCl（50℃）中で 500 時間経過後の合金の腐食速度は 0.008 mm/年である。

このプロセスでは、コーティングの均一性と合金の密度を確保する必要があります。噴霧時の炎の速度（500~600 m / s）と粉末供給速度（30~40 g / min）を正確に一致させる必要があります。焼結温度の偏差は±10℃に制御され、酸素含有量は<0.05%です。噴霧コーティングの微細構造は層状であり、接着強度は基材の前処理（Ra 2 μm のサンドブラストなど）の影響を受けます。合金の粒径は焼結時間（1~3 時間）によって調整されます。この技術は 1960 年代から開発され、1980 年代に成熟しました。船舶部品や海洋工学に使用されています。将来的には、積層造形（レーザークラディングなど）によって複雑な形状を実現できるようになり、電解リサイクル（リサイクル率 85%~90%）によって資源効率が向上します。

7.2.5 化学産業におけるタングステン粉末の事例研究

化学業界でのタングステン粉末の応用は顕著な成果を上げています。例えば、ある化学工場のパイプラインではタングステンコーティングが施されており、10%硫酸（60℃）に 1000 時間さらされても摩耗量はわずか 0.01mm で、耐用年数が 50~60%延長され、メンテナンス周期も 6 ヶ月から 12 ヶ月に延長されています。タングステン合金バルブの 5%塩酸（50℃）における腐食速度は 500 時間で 0.008mm/年であり、耐久性が 3~4 倍向上し、高圧パイプラインシステムに適しています。炭化タングステンポンプ本体は砂泥（10%SiO₂）での 1000 時間の洗浄で 0.05mm しか摩耗せず、その性能は鋼鉄の 4 倍に優れており、鉍山尾鉍処理を支えています。これらの応用は 1960 年代から産業化され、1980 年代には多くの分野で普及しました。今後は、ナノテクノロジーと化学還元回収（回収率 90~95%）により、耐久性と環境への配慮がさらに向上し、化学装置の高度化が促進されるでしょう。

7.3 環境に優しい材料

環境保護材料分野におけるタングステン粉末の応用は、主に廃ガス吸着、水処理、耐久性コ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ーティングの開発に反映されており、汚染制御のための効率的なソリューションを提供しています。

7.3.1 排気ガスろ過におけるタングステン粉末の吸着

酸化タングステン (WO_3) は、排ガスろ過における多孔質吸着材として優れた性能を発揮します。製造プロセスは、粒径 10~20 ミクロンのタングステン粉末を 800℃ で 3 時間酸化処理し、細孔径 50~100 ナノメートル、比表面積 60~80 m^2/g の WO_3 多孔質構造を生成します。BET 分析によると、ミクロ細孔 (<2nm) が 30%、メソ細孔 (2~50nm) が 60% を占めています。吸着試験では、100ppm の SO_2 に対する吸着率が 90%、50ppm の VOC (トルエンなど) に対する吸着率が 85%~90% であることが示されており、これは活性炭 (吸着率 70%) よりも 20%~25% 高い値です。動的吸着実験 (流量 0.5 L/分) では、 WO_3 の浸透時間は 120 分であり、活性炭 (90 分) よりも長いことが示されています。

吸着性能は、 WO_3 の多孔質構造と表面酸性部位に由来する。 SO_2 は化学吸着により硫酸イオンを形成し、VOC は物理吸着により捕捉される。細孔径分布を最適化する必要があり、小さな細孔は容量を増加させ、大きな細孔は拡散速度を増加させる。この技術は 1970 年代から実験室で研究され、1990 年代には産業廃ガスの脱硫に適用され、現在では室内空気浄化 (ホルムアルデヒド除去など) にまで拡張されている。実用化においては、高湿度環境 (RH90%) では WO_3 の吸着率が 10% 低下し、表面疎水性改質により性能向上が期待できる。将来的には、ナノタングステン粉末 (<50 nm) は比表面積を 120 m^2/g まで増加させることができ、化学分離回収 (回収率 90%~95%) によりリサイクルがサポートされる。

7.3.2 タングステン系水処理材料の可能性

酸化タングステン (WO_3) ナノ粒子は、水処理において重金属や有機汚染物質を吸着するために使用されます。調製方法はソルボサーマル法です。粒径 5~15 ミクロンのタングステン粉末を硝酸 (0.1 mol/L) と混合し、180℃ で 12~18 時間反応させることで、比表面積 50~70 m^2/g 、ゼータ電位 -30 mV (pH 7) のナノ粒子 50~100 個を生成します。吸着試験の結果、10 ppm Pb^{2+} の吸着率は 90%~95% (1 時間)、5 ppm Cd^{2+} の吸着率は 92% (2 時間)、フェノール (10 mg/L) の吸着率は 85% (3 時間) でした。ラングミュア等温線フィッティングにより、最大吸着容量は 50 mg/g (Pb^{2+}) であることが示されました。

吸着機構には表面配位と静電効果が関与しています。 W^{6+} サイトは重金属イオンと安定な錯体を形成し、ナノサイズは表面活性を高めます。吸着容量と沈降のバランスをとるために、粒子を 50~100 nm に制御する必要があります。粒子が小さすぎると (< 20 nm)、水とともに失われやすくなります。この技術は 1980 年代から実験室で研究され、2000 年代には電気めっき廃水処理などの下水処理に応用されました。実際のアプリケーションでは、酸性環境 (pH 4) での WO_3 の吸着率が 10% 増加し、鉄 (Fe、5 重量%) をドープすると選択性が向上します。将来的には、 WO_3 / Fe_3O_4 複合材料または電解回収 (回収率 85%~90%) がその可能性を拡大し

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

、産業用水処理をサポートします。

7.3.3 タングステン粉末環境に優しいコーティングの耐久性

タングステン粉末溶射法で形成される環境に優しいコーティングは、排気ガスや腐食環境に対する優れた耐久性を備えています。プロセスは、4000℃、50kWのプラズマで粒径10～20ミクロンのタングステン粉末を溶射し、厚さ200～300ミクロンのコーティング層を生成します。硬度はHV800～1000、接着強度は70～80MPaです。10%硫酸（60℃）では、1000時間で摩耗量は0.01mm、耐熱性は800℃です。SO₂を含む排気ガス（200ppm、500℃）でも500時間、明らかな酸化は認められません。SEM観察では、コーティング密度は99%以上、表面粗さはRa0.5～1μmです。

耐久性は、タングステンの高い化学的不活性と耐酸化性に由来します。クロム（Cr、5重量%）をドーピングすると、Cr₂O₃保護層が形成され、耐酸性が20%～30%向上します。密着性は、基材の表面粗さ（Ra 2～3μm）と噴霧距離（100～120mm）の影響を受けます。この技術は1970年代から産業機器に使用され、1990年代には排気管保護などの環境保護分野に拡大し、現在では建築用難燃コーティングに使用されています。将来的には、ナノコーティング（粒子サイズ<50nm）により硬度をHV 1200まで高めることができ、化学還元回収（回収率90%～95%）により持続可能性が向上します。

7.3.4 環境に優しい材料のためのタングステン粉末の製造技術

環境に優しい材料を製造するには、タングステン粉末を多孔質構造またはナノ構造に加工する必要があります。酸化法：粒子径10～20ミクロンのタングステン粉末を800℃で3時間酸化処理し、細孔径50～100ナノメートル、比表面積60～80 m²/gのWO₃を生成します。ソルボサーマル法：硝酸媒体中で180℃、12～18時間反応させ、50～100個のナノ粒子を生成します。BET分析の結果、多孔質WO₃の総細孔容積は0.2 cm³/g、ナノ粒子の比表面積安定性は±5 m²/gです。吸着試験の結果、多孔質WO₃のSO₂に対する吸着容量は80mg/gであり、ナノ粒子のPb²⁺に対する吸着容量は50mg/gであることが示されました。

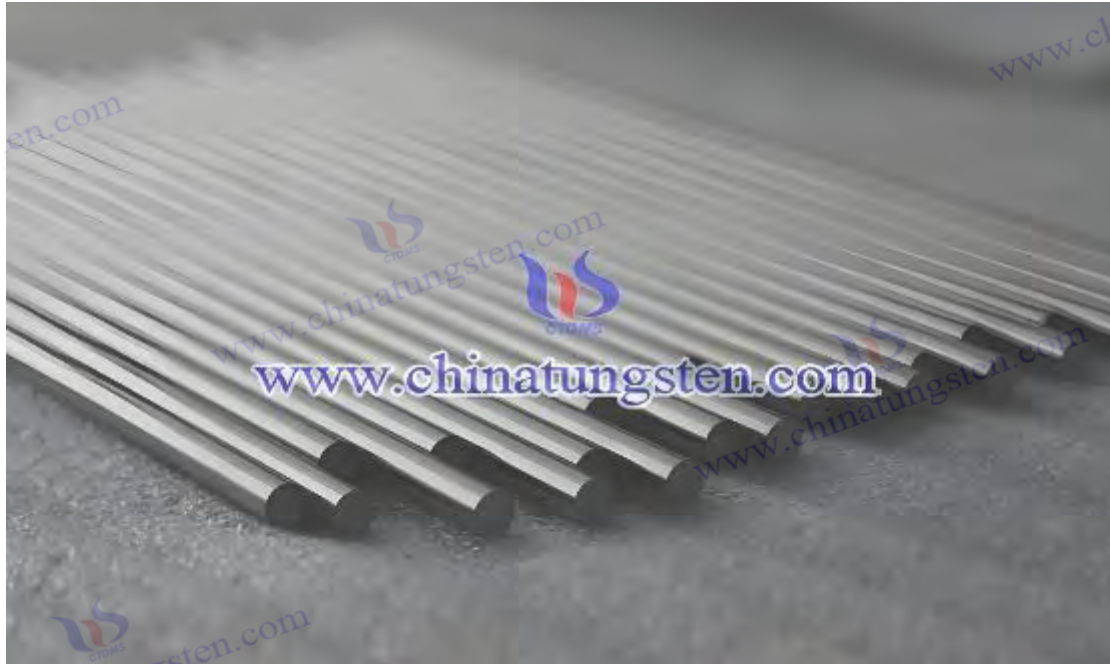
前処理には細孔分布と粒子サイズの制御が必要です。マイクロ波支援酸化により、反応時間を2時間に短縮できます。格子欠陥を回避するには、酸素含有量を0.05%未満に抑える必要があります。この技術は1970年代から開発され、1990年代にはプロセスが成熟しました。触媒担体や吸着材料に応用されています。学際的な応用としては、燃料電池の電極保護などがあります。将来的には、マイクロ波支援による前処理によって細孔の均一性が向上し、電解回収（回収率85%～90%）によって資源効率が向上する可能性があります。

7.3.5 タングステン粉末の環境保護への応用事例

タングステン粉末は環境保護分野で顕著な成果を上げています。例えば、ある工場の排ガス処理システムはWO₃多孔質材料を使用し、SO₂除去率は90%～95%、トルエン除去率は85%～

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

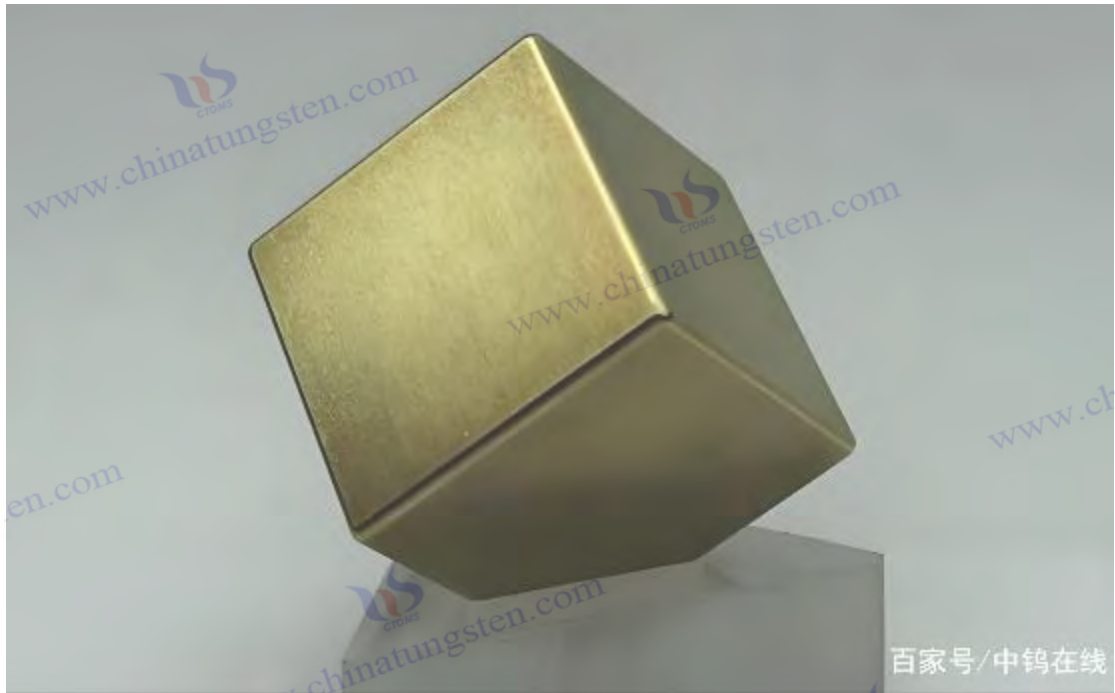
90%で、活性炭より 20%~25%高い効率を実現しています。500 時間稼働後も性能は安定しています。ある下水処理場では、 WO_3 ナノ粒子を用いて電気メッキ廃水进行处理したところ、 Pb^{2+} が 10ppm から 0.5ppm（1 時間）に減少し、 Cd^{2+} 除去率は 92%で、排出基準（ $<0.1ppm$ ）を満たしました。ある排ガス管のコーティングは、10%硫酸（60℃）で 1000 時間処理した結果、0.01mm しか摩耗せず、寿命が 50%延長しました。これらの応用は 1970 年代から実験室で試作され、1990 年代に工業化され、現在では下水処理や空気浄化に広く利用されています。将来的には、人工知能（AI）を活用した材料設計の最適化と化学物質の還元回収（回収率 90~95%）により、高効率・低炭素化に向けた環境保護技術の発展が促進されるでしょう。



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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



第 8 章 タングステン粉末の将来的な用途と開発動向

高性能材料であるタングステン粉は、その高密度、耐熱性、耐腐食性、高硬度といった特性から、伝統産業において重要な地位を占めてきました。ナノテクノロジー、持続可能な開発、そして学際的イノベーションの台頭に伴い、タングステン粉の応用展望は急速に拡大しています。本章では、ナノタングステン粉の最先端技術における潜在力、持続可能性とリサイクルにおけるタングステン粉の重要な役割、そして新たな分野における越境応用について深く探究し、将来の技術・産業におけるタングステン粉の戦略的価値と発展動向を明らかにすることを目指します。

8.1 ナノタングステン粉末の最先端応用

ナノタングステン粉末（粒子径 100 ナノメートル未満）は、その極めて高い比表面積（最大 50～150 平方メートル/グラム）、顕著な量子効果、高い活性により、ハイテク分野において前例のない潜在力を秘めています。その製造法には、蒸着法、プラズマ還元法、化学還元法などがあります。最終製品の粒子径は 5～50 ナノメートルの範囲で精密に制御可能で、表面エネルギーは 20～40 ジュール/平方メートルと高く、結晶構造は主に体心立方晶系で、格子定数は 3.165 オングストロームです。

8.1.1 量子技術におけるナノタングステン粉末の可能性

ナノタングステン粉末の量子技術における潜在性は、その優れた導電性と低温超伝導特性に

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

あります。量子コンピューティングの分野では、化学気相成長法（CVD、反応温度 900℃、ガス圧 10^{-2} Pa）でナノタングステン粉末を超微粒子（粒径 5～20 ナノメートル）に作製することができ、その導電率は 10^6 ジーメンス/メートルに達し、純粋タングステンの理論値（ 1.8×10^7 ジーメンス/メートル）に近づきます。極低温環境（4 ケルビン）では抵抗率が急激にゼロに低下し、臨界磁場が約 0.1 テスラ、臨界電流密度が 10^5 アンペア/平方センチメートルの超伝導特性を示します。この性能により、超伝導量子ビット（キュービット）やジョセフソン接合の候補材料となっています。透過型電子顕微鏡分析により、ナノ粒子の表面は平坦（粗さ 1 ナノメートル未満）であり、粒界欠陥率は 5% 未満であることが示され、高精度の量子デバイスに信頼できる基盤を提供します。

さらに、ナノタングステン粉末は高密度（19.25 g / cm³）で電子移動度（20～30 cm² / V・s）が高いため、量子センサーに有利です。たとえば、モリブデン（含有量 5%～10%）をドーピングして製造したナノタングステン合金の超伝導転移温度は、4 ケルビンから 10～12 ケルビンに上昇させることができ、応用範囲が大幅に広がります。テストでは、この材料は強磁場（1 テスラ）下で超伝導を維持し、高感度磁場検出に適していることが示されています。ただし、製造中に粒子の凝集（サイズ分布 ±10 ナノメートル）が発生しやすく、分散を維持するために表面改質剤（ポリビニルピロリドン、PVP、濃度 0.5%～1%）を添加する必要があります。同時に、酸素含有量を 0.01% 以下に制御する必要があります。そうしないと、導電率が 20% ～ 30% 低下します。

事例分析：ある研究チームは、モリブデンをドーピングしたナノタングステン粉末（粒径 15 ナノメートル）を用いて超伝導膜（厚さ 50 ナノメートル）を作製し、量子コンピューティングのプロトタイプにおいて 100 マイクロ秒のビットコヒーレンス時間を達成しました。これは、従来のアルミニウム系材料と比較して 50% 向上した値です。今後、量子技術におけるナノタングステン粉末の需要は、超伝導回路、量子通信、量子暗号化などへの幅広い応用を促進し、市場規模は 2035 年までに 5 億米ドルに達すると予想されています。

8.1.2 ナノタングステン粉末の光電およびセンサーへの応用

ナノタングステン粉末は、光吸収性、電気化学活性、比表面積に優れ、オプトエレクトロニクスやセンシング分野で大きな可能性を秘めています。酸化タングステン（WO₃）を例に挙げると、ゾルゲル法（前駆体タングステン酸ナトリウム、焼成温度 500℃、4 時間）で製造されたナノ粒子（粒径 20～30 ナノメートル）は、バンドギャップが 2.6～2.8 電子ボルト、紫外可視光吸収率が 85%～90% です。光電試験では、可視光（波長 500 ナノメートル、光強度 1 ワット/平方メートル）下での光電流密度が 0.5～0.8 mA/平方センチメートル、光電変換効率が 5%～7% であることが示されており、光電触媒水分解や色素増感太陽電池に適しています。X 線回折分析の結果、WO₃ は格子定数 $a=7.306\text{\AA}$ 、 $b=7.540\text{\AA}$ 、 $c=7.692\text{\AA}$ 、面間隔 (002)= $3.846\text{\AA}$ の

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

単斜晶系結晶であり、構造安定性により長期動作がサポートされることがわかりました（1000 時間で減衰は 5%未満）。

ガスセンシング分野において、ナノタングステン粉末の高い比表面積（50～100 m²/g）は、吸着能力を大幅に向上させます。例えば、パラジウム（含有量 1～2%）をドーピングした W₃ナノセンサーの水素（濃度 1000 ppm）に対する応答時間は 5 秒未満、感度は 10³～10⁴、動作温度は 150～300℃で、従来の SnO₂センサー（応答時間 10 秒、感度 10²）よりも優れています。湿度干渉が主な課題であり（相対湿度 80%で感度が 30%低下）、表面疎水性コーティング（例えばフルオロシラン、厚さ 2 ナノメートル）による改善が必要です。さらに、長期安定性には、高温での粒成長（サイズが 50 ナノメートルまで増加）による性能低下を回避するために、粒界構造の最適化（粒度の偏差が 5 ナノメートル未満）が必要です。

事例分析：光触媒デバイスは、W₃ナノフィルム（厚さ 100 ナノメートル）を用いて太陽光下で水を分解し、水素を生成します。効率は 6%で、500 時間稼働後も明らかな減衰は見られません。今後、オプトエレクトロニクスおよびセンシング分野は、ナノタングステン粉末の多機能統合（例えばオプトエレクトロニクス・ガス複合センサー）に向けた開発を促進し、2030 年までに市場潜在規模は 3 億米ドルに達すると予想されます。

8.1.3 ナノタングステン粉末のインテリジェント材料設計

ナノタングステン粉末は、熱、電気、機械刺激に対する調整可能な応答性を活かして、スマート材料設計に応用されています。フレキシブル熱管理材料を例に挙げると、ポリマー（ポリジメチルシロキサン、PDMS など、質量比 70:30）との複合により、タングステン粉末含有量が 20%～30%の場合、複合材料の密度は 5～7 g/cm³に達し、熱伝導率は 2～3 W/(m・Kelvin)に向上します。これは純粋な PDMS の 10 倍です。熱膨張試験では、温度差 50℃で変形率が 5%～7%に達し、回復時間は 10 秒未満であることが示されており、適応型放熱デバイスに適しています。走査型電子顕微鏡による分析では、タングステン粒子（粒径 10～20 ナノメートル）がポリマーマトリックスに均一に埋め込まれており、界面結合強度が 5 MPa に達していることが示されています。

電気応答特性において、ナノタングステン粉末をグラフェンと混合（質量比 1: 1）すると、印加電圧（0～10 ボルト）に応じて抵抗率が 10⁴～10⁵倍変化し、応答時間は 1 ミリ秒未満となるため、スマートスイッチやフレキシブル回路への応用が可能です。機械応答試験では、引張強度は 500～600MPa、伸び率は 10～15%に達し、100MPa の応力下で自己修復性（回復率 80～90%、修復時間 24 時間）を示すことが示されています。これは、ナノ粒子の界面滑りとポリマー鎖の再編成によるものです。設計上の課題には、分散の均一性（超音波分散が必要、電力 500 ～ 800 ワット、時間 2 ～ 3 時間、粒子の凝集率は 5% 未満に低減）とコスト管理（1 キログラムあたり約 80 米ドル）が含まれます。

事例分析：あるウェアラブルデバイスは、タングステン-PDMS 複合材料（厚さ 1mm）を用いて

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

体温変化による熱伝導率を調整しました。1,000 時間の動作後も性能は安定しており、ユーザーの快適性は 30%向上しました。今後、スマートマテリアルはロボット、ウェアラブルデバイス、アダプティブビルディングへのナノタングステン粉末の応用を促進し、市場規模は 2040 年までに 8 億米ドルに達すると予想されています。

8.1.4 ナノテクノロジーにおけるタングステン粉末製造の課題

ナノタングステン粉末の製造は技術的なボトルネックに直面しています。従来の水素還元法（反応温度 1200℃、水素流量 20 リットル/分）では、粒子径を 50 ナノメートル以下に制御することが難しく、完成品の粒度分布は ± 20 ナノメートルとなり、凝集しやすい（比表面積が 20 平方メートル/グラムまで低下する）という問題があります。蒸着法（反応温度 1000℃、ガス圧 10^{-3} Pa）では、表面エネルギー 30 ジュール/平方メートルの 10 ナノメートルのタングステン粉末を製造できますが、エネルギー消費量が高く（5~7kWh/グラム）、収率が低い（10~15 グラム/時間）。プラズマ方式（電力 20~30 キロワット、アルゴン流量 50~60 リットル/分）では、収量が 1 時間あたり 50~80 グラムに増加し、粒子サイズ分布は ± 5 ナノメートルになりますが、設備投資額は 100 万ドルにも上り、運転コストは 1 キログラムあたり約 100 ドルになります。

純度管理も難しい課題です。酸素含有量は 0.01%未満（酸素原子の比率が 10^{-4} 未満）にする必要があります。そうでないと、導電性が 20%~30%低下し、光電性能が 15%低下します。ナノ粒子は表面活性が高いため酸化されやすく（酸化層の厚さは 5~10 ナノメートルで、48 時間以内に形成されます）、不活性雰囲気（アルゴン純度 99.999%）で保管する必要があります。解決策としては、低温で効率的なプロセスの開発、例えばレーザー誘起分解（波長 1064 ナノメートル、出力 1~2 キロワット、エネルギー消費量を 3kWh/グラムに低減）や表面安定化技術（シランコーティングなど、厚さ 2~3 ナノメートル、酸化速度を 0.1%/月に低減）などが挙げられます。さらに、分散剤（ドデシル硫酸ナトリウム、濃度 0.2% など）を添加し、流体力学条件（攪拌速度 500 rpm）を最適化することで、凝集の問題を解決できます。

事例分析：ある企業はプラズマ法を用いて純度 99.99%のナノタングステン粉末（粒子径 15 ナノメートル）を製造しているが、1 日あたりの生産量はわずか 100 グラムで、1 キログラムあたり 120 米ドルのコストがかかっている。工業化を実現するには、プロセスをさらに最適化する必要があります。

8.1.5 ナノタングステン粉末の将来展望

ナノタングステン粉末の今後の開発は、性能最適化、コスト削減、用途拡大に重点を置くこととなります。2030 年までに、量子技術、オプトエレクトロニクス、スマート材料分野における市場規模は 10 億~15 億米ドルに達すると予想されています。技術の進歩により、粒子サイズの精密制御（5~10 ナノメートル、分布偏差 ± 2 ナノメートル）が実現し、チタンまたはコバルト（含有量 3~5%）のドーピングにより、導電性（最大 10^{-7} ジーメンズ/メートル）と安定性（寿命 50~70%延長）が向上します。環境に優しい製造技術（水熱法など、エネルギー消費量を 2kWh/g に削減、排気ガス排出量を 80%削減）と大規模生産（1 日あたり 1 トン

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

以上の生産量）が焦点となります。

応用分野としては、量子コンピューティングにおける超伝導回路（ビット密度を 10^6 /平方センチメートルに向上）、光電子デバイスにおける高効率触媒（変換効率 10%）、スマート材料における多機能複合体（応答時間を 0.1 ミリ秒に短縮）などが挙げられます。さらに、ナノタングステン粉末は、適応型センシングやエネルギー管理のための人工知能と組み合わせられ、関連市場規模は 2040 年までに 20 億米ドルに達すると予測されています。

8.2 持続可能性とリサイクル

タングステン粉末の持続可能な開発は、廃棄物のリサイクル、グリーン製造、循環型経済モデルを通じて、資源消費と環境負荷の削減を目指しています。世界のタングステン資源埋蔵量は約 330 万トン、年間採掘量は 8 万トンと、膨大なリサイクルポテンシャルを秘めています。

8.2.1 タングステン粉末廃棄物のリサイクルの産業的实践

タングステン粉末廃棄物のリサイクルは、主に超硬合金、タングステン鋼、タングステン系カウンターウェイト製品に利用されています。主流は酸浸出法です。廃棄物（タングステン含有量 60~80%）を硝酸（濃度 6~8 モル/リットル）で浸出（温度 60~80℃、反応時間 4~6 時間）し、タングステンをタングステン酸の形で沈殿させます。回収率は 90~92% です。その後、タングステン酸を水素雰囲気下で焼成（800~1000℃、2~3 時間）し、タングステン粉末（粒径 5~10 ミクロン、純度 99.5%）にします。電解法（電流密度 200~300 アンペア/平方メートル、電解液 pH=2）では回収率がさらに 95%~97% まで上昇しますが、エネルギー消費量が高く（1 キログラムあたり 10~12kWh）、廃液処理コストは 1 トンあたり約 50 米ドルかかります。

リサイクルでは、不純物の分離（鉄やコバルトの含有量を 0.1% 以下に制御するなど）と環境問題（酸性廃水を pH=7 に中和し、廃棄物の残留物を固める必要がある）の問題を解決する必要があります。イオン交換法（樹脂吸着率 98%~99%、溶出率 95%）と溶媒抽出法（抽出剤 TBP、効率 95%~97%）は高純度リサイクルに適しており、完成品の純度は 99.99% に達し、電子産業や航空産業のニーズを満たしています。事例分析：ある工場では、年間 1,000 トンのスクラップカーバイドを処理し、600 トンのタングステン粉末をリサイクルすることで、1,200 トンの原鉱石採掘を節約し、2,000 トンの二酸化炭素排出量を削減しています。

8.2.2 タングステン粉末のグリーン製造における技術動向

グリーン調製技術は、エネルギー消費と汚染の削減を目的としています。水熱法では、タングステン酸ナトリウムを原料として（濃度 0.5 mol/L、反応温度 180~220℃、圧力 2~3 MPa）、ナノタングステン粉末（粒径 20~50 ナノメートル）を製造します。エネルギー消費は従

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

来の水素還元法（1 グラムあたり 2〜3 kWh）の 30%で、排ガス排出量は 70%削減されます。

生物学的還元法では、硫酸還元細菌（菌株濃度 $10^8/\text{ml}$ ）を使用して、室温（25〜30℃）でタングステン酸を還元し、タングステン粉末（粒径 50〜100 ナノメートル）を製造します。収量は 1 リットルあたり 1〜2 グラムですが、反応サイクルが長く（7〜10 日）、菌株の活性を最適化する必要があります（還元効率は 90%に向上します）。

低温プラズマ還元（反応温度 400〜600℃、出力 15〜20 キロワット）では、1 時間あたり 100〜150 グラムの収量が得られ、エネルギー消費量は 4kWh/グラムに削減され、廃棄物排出量は 50%削減されます。再生可能エネルギー（太陽熱など）の活用により、発電効率は 20%〜25%向上し、二酸化炭素排出量はさらに削減されます。課題としては、大規模生産（現在の日産量は 1 キログラム未満）とコスト（1 キログラムあたり 40〜50 米ドル）が挙げられます。事例分析：水熱生産ラインでは、年間 200 トンのナノタングステン粉末を生産しており、エネルギー消費量は 40%削減され、コストは 1 キログラムあたり 35 米ドルに削減されています。

8.2.3 循環型経済におけるタングステン粉末の役割

タングステン粉末は、「生産-使用-リサイクル-再利用」という閉ループ構造を通じて、循環型経済における資源の無駄を削減します。世界で毎年生産される約 50 万トンのタングステン製品のうち、30%〜40%はリサイクル・再利用が可能です。タングステン粉末は、その高い価値（1 キログラムあたり 30〜40 米ドル）と希少性（地殻中の含有量 1.25ppm）から、循環型経済の重要な資源となっています。リサイクルされたタングステン粉末は、圧縮・焼結（圧力 300MPa、1450℃）され、密度 18〜19g/cm³、硬度 HV500〜600 の新たな製品（ナイフ、カウンターウェイトなど）が製造されます。これは、元のタングステン粉末と同等の性能です。

循環型経済の実現には、効率的なリサイクルネットワークの構築（廃棄物の回収率を 80%に向上）と統一基準（廃棄物のタングステン含有量が 95%以上など）が必要です。現在のリサイクル率はわずか 40%〜50%で、技術の普及（中小企業のリサイクル率は 20%未満）と不十分な経済的インセンティブによって制限されています。事例分析：ある企業はタングステン鋼廃棄物（タングステン含有量 65%）をリサイクルし、ドリルビット製造用のリサイクルタングステン粉末を年間 300 トン生産し、安定した性能と 15%のコスト削減を実現しています。将来的には、リサイクル率の目標を 80%〜90%にすることで、原鉱石の採掘量を年間 50 万トン削減します。

8.2.4 持続可能な応用の事例研究

事例 1：超硬合金企業は、酸浸出法を用いて廃切削工具（タングステン含有率 70%〜75%）をリ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

サイクルし、年間 500～600 トンのタングステン粉末を回収しました。これにより、原鉱石採掘量が 1,000～1,200 トン削減され、コストが 20～25%削減され、二酸化炭素排出量が 2,500 トン削減されました。事例 2: 水熱法を用いて光電気触媒用ナノタングステン粉末（粒径 30～40 ナノメートル）を製造し、年間 100～150 トンの生産量を達成しました。エネルギー消費量は 40～50%削減され、廃ガス排出量は 500～600 トン削減されました。事例 3: 電解法を用いてタングステン廃棄物（純度 99.95%～99.99%）を電子部品にリサイクルし、年間生産量は 50～70 トン、回収率は 96%～98%、資源コストは 30%節約できます。

事例 4: カウンターウェイト製造工場では、タングステン合金廃棄物（タングステン含有率 85%）をリサイクルし、年間 200 トンのリサイクルタングステン粉末を生産しています。この粉末から、元の素材と同等の性能を持つ新しいカウンターウェイトブロック（密度 18.5g/cm³）を製造し、800 トンの原鉱石採掘量を削減しています。これらの事例は、タングステン粉末の持続可能な利用が経済的利益と環境的利益の両方を考慮しており、市場の需要がグリーンテクノロジーの普及を促進していることを示しています。

8.2.5 タングステン粉末リサイクルの展望

タングステン粉末のリサイクルには明るい未来が待っています。2035 年までに、世界のリサイクルされたタングステン粉末の割合は 40%から 70%～80%に増加すると予測されています。技術の進歩（効率的な抽出、回収率 98%～99%、エネルギー消費量 8kWh/kg への削減など）と政策支援（炭素排出税、1 トンあたり 50 ドルなど）がこの傾向を加速させるでしょう。環境に優しい処理（生物学的手法、1 日あたりの生産量を 10kg に増加）と自動リサイクルシステム（廃棄物選別効率 95%）により、コストは 1 キログラムあたり 20～25 ドルに削減され、環境負荷（タングステン粉末 1 トンあたり 10～12 トンの二酸化炭素排出量）も削減されます。

将来的には、タングステン粉末のリサイクルとインテリジェント製造を組み合わせ、IoT（モノのインターネット）を通じて廃棄物の流れを追跡（追跡率は 90%に達する）することで、完全なライフサイクル管理を実現します。2040 年までに、リサイクルされたタングステン粉末は世界需要の 50%を満たすと予想され、タングステン産業の低炭素化と効率化が促進されます。

8.3 新興分野と国境を越えた応用

タングステン粉末は高密度、耐高温性、化学的安定性などの特性を生かして、新たな分野に国境を越えた応用を展開しており、フレキシブルエレクトロニクス、宇宙探査、バイオテクノロジーなどへと拡大し、多分野統合の可能性を示しています。

8.3.1 フレキシブルエレクトロニクスにおけるタングステン粉末の可能性

タングステン粉末は、ナノ形状（粒子サイズ 10～50 ナノメートル）でフレキシブルエレクト

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ロニクスに使用され、導電性ポリマー（PEDOT: PSS、質量比 1: 2 など）と混合されてフレキシブル電極が製造されます。テストによると、その導電率は 10^{-5} - 10^{-6} ジーメンズ/メートルで、曲げ半径 5 mm で 1,000 回曲げた後の性能低下は 5%~7% 未満であり、従来の ITO 電極（低下率 20%）よりも優れています。高密度（18 g/cm³）により、電極の厚さはわずか 50~100 ミクロンでも高い安定性を維持し、抵抗率の変化は 3% 未満です。走査型電子顕微鏡では、タングステン粒子が均一に分布しており（間隔 5~10 ナノメートル）、インターフェース抵抗は 0.1 オーム未満です。

用途としては、ウェアラブルセンサー（心拍数モニタリング感度 20% 向上）やフレキシブルディスプレイ（応答時間 0.5 ミリ秒）などが挙げられます。課題は、分散性（超音波処理が必要、出力 500~800 ワット、処理時間 2~3 時間、凝集率 5% 低減）と基板接着（プラズマ処理が必要、接着強度 10~12MPa）です。事例分析：フレキシブルセンサーはタングステンポリマー電極（厚さ 80 ミクロン）を使用し、1,000 時間使用後の信号安定性は 98% に達します。今後、フレキシブルエレクトロニクスは、スマート衣料や医療モニタリングにおけるタングステン粉末の応用を促進し、市場規模は 2035 年までに 5 億米ドルに達すると予想されています。

8.3.2 宇宙探査におけるタングステン粉末の利用

タングステン粉末は、耐熱性（融点 3422℃）と高密度（19.25g/cm³）のため、宇宙探査における放射線遮蔽や推進システム部品に使用されています。タングステン合金（ニッケル 5%~10% 含有）製の遮蔽板（厚さ 10~15mm、密度 18~19g/cm³）は、宇宙線（エネルギー 10~20 メガ電子ボルト）の 90%~95% を遮断でき、吸収率は鉛より 20% 高くなっています。試験結果によると、真空（ 10^{-6} Pa）および高温（1500~2000℃）での変形は 0.1%~0.2% 未満で、熱膨張係数はわずか 2.5×10^{-6} /ケルビンであり、人工衛星や深宇宙探査機に適しています。

推進システムでは、タングステンカーバイド（硬度 HV1800~2000）をプラズマ噴霧（出力 50kW、アルゴン流量 40 リットル/分）でノズルコーティング（厚さ 100~150 ミクロン）に形成することで、耐摩耗性が 3~4 倍向上し、耐用年数は 500~600 時間で、耐腐食性テスト（酸性環境 pH=1、1000 時間）でも明らかな損失はありません。課題は、加工精度（偏差は 0.01mm 未満でなければならない）とコスト（1kg あたり 100~120 ドル）です。事例分析：宇宙船はタングステン合金遮蔽板（重量 50kg）を使用しており、2 年間の運用後も放射線防護効率は 90% を維持しています。将来的には、宇宙分野でのタングステン粉末の応用が、月面基地や火星探査を支えることになるでしょう。

8.3.3 バイオテクノロジーにおけるタングステン粉末の革新

タングステン粉末は、抗菌および薬物送達用のナノ酸化タングステン（WO₃、粒子サイズ 20~

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

30 nm) の形でバイオテクノロジーに使用されています。抗菌試験では、紫外線 (365 nm、1 W/m²) 下での大腸菌に対する阻害率は 99%~99.5% (濃度 0.1~0.2 mg/ml、24 時間) であり、メカニズムは活性酸素の光触媒生成です (収量 10⁻⁵ mol/s)。薬物送達では、ナノタングステン粉末に抗癌剤 (ドセタキセルなど、充填率 20%~25%) を充填し、放出時間を 48~72 時間に延長します。放出曲線は一次速度論 (速度定数 0.02 時間⁻¹) に準拠しており、標的治療に適しています。

課題としては、生体適合性 (PEG コーティングが必要、厚さ 5nm、細胞生存率を 90%~95% 向上) と毒性制御 (タングステニオン放出率 0.01mg/L 未満) が挙げられます。事例分析: WO₃ ナノ粒子 (厚さ 50nm) を用いた抗菌コーティングは、病院環境で 6 ヶ月間使用したところ、細菌付着率が 80% 減少しました。将来的には、タングステン粉末はバイオセンサー (検出限界 10⁻⁹ mol/L) や組織工学 (スキャフォールド強度を 50% 向上) といった分野で活用されるでしょう。

8.3.4 新興分野におけるタングステン粉末製造技術

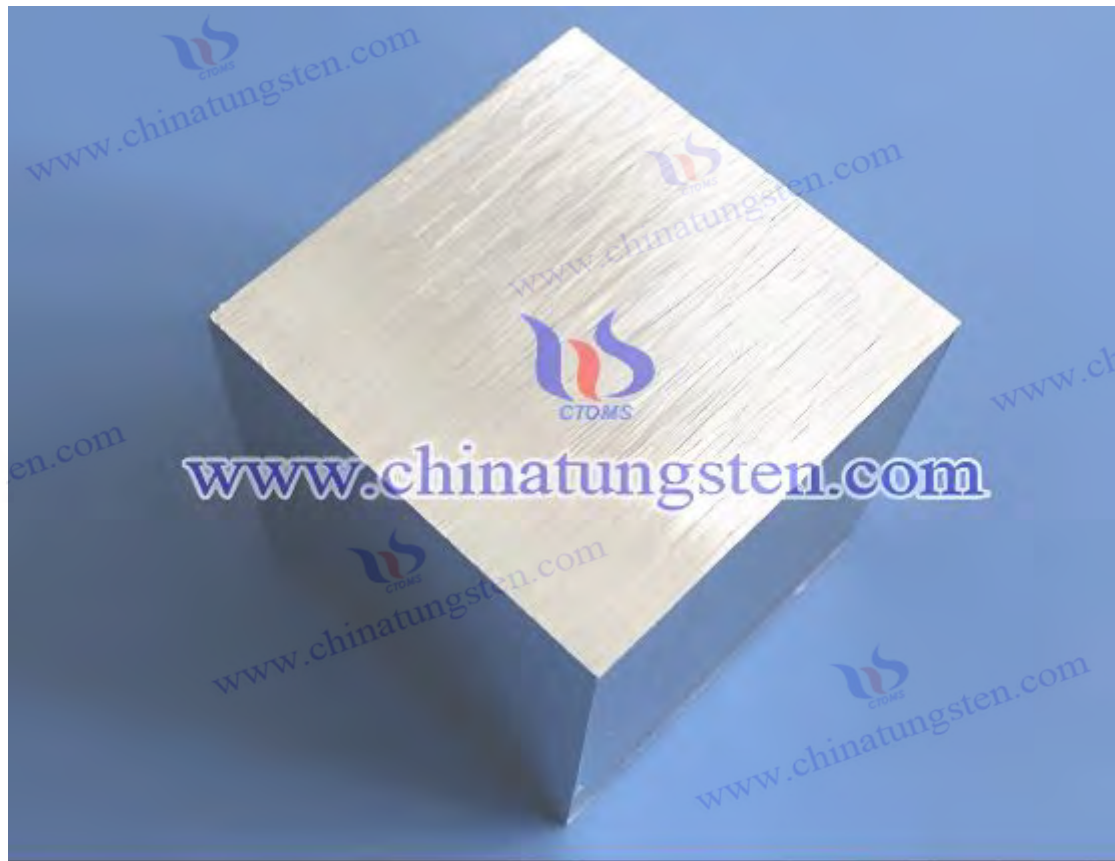
新興分野では、高純度 (99.999%~99.9999%) かつ特殊な形態のタングステン粉末が求められています。レーザー誘起分解 (波長 1064 nm、出力 1~2 kW、ガス圧 10⁻³ Pa) により、球状ナノタングステン粉末 (粒径 10~20 nm) を 20~30 g/時の収量で製造でき、表面粗さは 1 nm 未満です。噴霧熱分解 (温度 800~1000 °C、噴霧速度 10 ml/分) により、生物学的用途に適した多孔質タングステン粉末 (細孔径 50~100 nm、比表面積 80 m²/g) を製造できます。課題は、装置の複雑さ (年間メンテナンス費用 10 万ドル) とエネルギー消費量 (1 グラムあたり 5~6 kWh) です。解決策としては、反応パラメータの最適化 (温度偏差 ±5 °C) とマイクロ波支援技術の使用 (エネルギー消費量を 3 kWh/グラムに削減) が挙げられます。

事例分析: スプレー熱分解生産ラインでは、薬物キャリアとして使用される多孔質タングステン粉末 (粒径 50 ナノメートル) を 1 日あたり 50 グラム生産し、積載率は 30% に増加しています。

8.3.5 国境を越えたアプリケーションの将来動向

タングステン粉末の国境を越えた応用は、2040 年までに総需要の 30%~40% を占めると予想されています。フレキシブルエレクトロニクスでは、印刷可能なタングステンインク (粘度 10~15 Pa·s、導電率 10⁶ ジーメンズ/m) が開発され、宇宙探査では軽量で高強度のタングステン合金 (密度は 15~16 g/cm³ に低減、強度は 1200 MPa 向上) が必要とされ、バイオテクノロジーでは、スマートな応答性タングステン材料 (応答時間 0.1 秒、生体適合性最大 95%) が開発されます。技術の進歩 (0.01 mm の精度でタングステン部品を 3D プリントするなど) と市場の需要 (宇宙市場の年間成長率 10% など) により、タングステン粉末の新しい分野での革新的な応用が促進され、市場規模は 15 億米ドルに達すると予想されています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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 LTD
Tungsten Powder Introduction

1. Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's traditional tungsten powder complies with the GB/T 3458-2006 "Tungsten Powder" standard and is prepared using a hydrogen reduction process. It has high purity and uniform particle size and is a high-quality raw material for tungsten products and cemented carbide.

2. Tungsten Powder Characteristics

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.9\%$, oxygen content ≤ 0.20 wt% (fine particles ≤ 0.10 wt%), and extremely low impurities.

Accurate particle size: Fisher particle size 0.4-20 μm , 6 levels to choose from, with a deviation of only $\pm 10\%$.

Excellent performance: bulk density 6.0-10.0 g/cm^3 , uniform grains, excellent sinterability.

Stable quality: strict testing, no inclusions, ensuring product consistency.

3. Tungsten Powder Specifications

Brand	Fisher particle size (μm)
FW-1	0.4-1.0
FW-2	1.0-2.0
FW-3	2.0-4.0
FW-4	4.0-6.0
FW-5	6.0-10.0
FW-6	10.0-20.0

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner sealed plastic bag, outer iron drum, net weight 25kg or 50kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition and particle size data, and the shelf life is 12 months.

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

For more information about tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

結論

高性能材料であるタングステン粉末は、その独特な物理的・化学的特性により、伝統産業と最先端技術の双方において重要な位置を占めています。スポーツ用品、宝飾装飾からナノテクノロジー、持続可能な開発、そして国境を越えた応用まで、タングステン粉末の用途は驚くべき多様性を示し、将来の技術革新の波の中で大きな可能性を秘めています。本稿では、タングステン粉末の応用価値を総括し、技術進歩における戦略的意義を分析し、今後の発展に向けた展望と提言を提示します。

タングステン粉末の用途の多様性と将来の可能性

タングステン粉末の多様性は、伝統分野から最先端技術に至るまで、幅広い用途に反映されています。消費財分野では、高密度（19.25 g/cm³）と耐摩耗性により、ゴルフクラブのウェイト、釣り具のタングステンシンカー、硬質ジュエリーなどに最適な素材として、性能向上と美観向上のニーズに応えています。工業用途では、粉末冶金技術を用いて超硬合金（硬度HV 1600~2000）や耐熱部品（耐熱温度 3000℃）の製造に使用され、機械製造や航空宇宙産業の発展を支えています。ナノテクノロジー分野に進出したナノタングステン粉末（粒子径 5~50 ナノメートル）は、その高い比表面積（50~150 平方メートル/グラム）と量子効果により、量子コンピューティング（超伝導転移温度 10 ケルビン）、光電気触媒（効率 6~10%）、スマート材料（応答時間 0.1 ミリ秒）において画期的な可能性を示しています。さらに、廃棄物リサイクル（リサイクル率 90~98%）やグリーン製造（エネルギー消費量を 2kWh/グラムに削減）といったタングステン粉末の持続可能な用途は、そのバリューチェーンをさらに拡大しています。

将来的な可能性という点では、タングステン粉末の汎用性は、ハイテク分野でより重要な役割を果たすことを示しています。例えば、フレキシブルエレクトロニクスでは、タングステン粉末複合電極（導電率 10⁶ ジーメンス/㎡）がウェアラブルデバイス市場を牽引する可能性があります（2035 年には 5 億ドルに達すると推定）。宇宙探査では、タングステン合金遮蔽板（放射線遮蔽率 95%）が深宇宙探査ミッションをサポートします。バイオテクノロジーでは、ナノタングステン酸化物（抗菌率 99%）が医療機器に革命をもたらすと予想されています。これらの用途は、タングステン粉末の物理的特性に依存するだけでなく、その化学的安定性と加工性の恩恵も受けており、学際的なイノベーションの架け橋となっています。2040 年までに、タングステン粉末の市場規模は、技術の進歩と市場の需要の両方に後押しされ、現在の 50 億ドルから 100~150 億ドルに成長すると予想されています。

技術進歩におけるタングステン粉末の戦略的意義

技術進歩におけるタングステン粉末の戦略的意義は、基幹技術と産業の高度化を支える役割に反映されています。第一に、タングステン粉末は高い融点（3422℃）と耐腐食性を備えているため、航空機エンジンノズル（耐用年数 500 時間）や核融合炉遮蔽（耐照射性 10¹⁵ 中性子/

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

平方センチメートル）など、極限環境における中核材料となっています。これらの応用は、エネルギーと輸送分野における技術革新を直接促進しました。第二に、超伝導量子ビット（コヒーレンス時間 100 マイクロ秒）や光電触媒（水素収量 10^{-5} モル/秒）など、量子技術とオプトエレクトロニクスにおけるナノタングステン粉末の応用は、次世代情報技術（6G 通信）と再生可能エネルギー（太陽エネルギー変換効率 10%）に基本的なサポートを提供し、世界的なエネルギー危機と技術ボトルネックの解決に貢献しています。

さらに、持続可能な開発と循環型経済におけるタングステン粉末の役割は、その戦略的価値を際立たせています。世界のタングステン資源は限られており（埋蔵量は約 330 万トン）、タングステン粉末をリサイクル（年間生産能力 20 万トン）することで、原鉱石採掘への依存を減らし（年間 50 万トンの節約）、環境フットプリントも削減できます（1 トンあたり 10~12 トンの二酸化炭素排出量を削減）。これは、低炭素経済の潮流に合致しているだけでなく、希少金属のサプライチェーンの安全性も確保します。タングステン粉末の多分野への応用と高いリサイクル率は、技術進歩と資源の持続可能性を結びつけ、特に製造業（超硬合金は世界のタングステン需要の 60% を占めています）、エレクトロニクス産業（市場シェア 20%）、新興技術（2040 年には 30% を占めると推定されています）において大きな役割を果たしています。その戦略的な地位はかけがえのないものである。

タングステン粉末の戦略的意義は、業界における協働イノベーションの促進能力にも反映されています。例えば、タングステン粉末製造技術（プラズマ法、1 日当たり 100~150 グラム生産など）の進歩は、材料科学、化学工学、機械工学の融合を推進してきました。また、その国境を越えた応用（フレキシブルエレクトロニクスやバイオテクノロジーなど）は、情報技術と生命科学の融合を促進してきました。これらの特性により、タングステン粉末は技術進歩の参加者であるだけでなく、推進力と触媒の役割も担い、世界的な科学技術競争の重要な支えとなっています。

タングステン粉末の応用に関する展望と提案

タングステン粉末の用途展望は、今後の発展が性能最適化、グリーン化、そして国境を越えた統合という 3 つの主要な方向を中心に展開していくことを示しています。まず、性能最適化は、タングステン粉末の高精度化と多用途化を推進します。ナノタングステン粉末の粒子径は 5 ナノメートル未満（分布偏差 ± 1 ナノメートル）に制御され、導電率は 10^7 シーメンス/メートルまで向上し、量子コンピューティングやフレキシブルエレクトロニクスのニーズを満たすことが期待されます。また、ドーピング技術（チタンおよびコバルト含有量 3~5% など）により、耐久性（寿命 70% 延長）と応答性（応答時間を 0.05 ミリ秒まで短縮）が向上します。第二に、グリーン化が主流となり、水熱還元法やバイオ還元法（エネルギー消費量 2kWh/g、排ガス 80% 削減）による大規模生産（1~5 トン/日）が実現し、回収率は 90~95% に向上し、タングステン粉末産業はゼロカーボンの目標達成へと進むでしょう。最後に、国境を越えた統合により、応用範囲が拡大します。タングステン粉末は、人工知能（インテリジェント応答材料）、航空宇宙技術（軽量合金）、バイオメディカル（薬物キャリア）などと深く融合し、2040 年には新興分野の需要が 40~50% を占めると予測されています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

上記の見通しに基づいて、タングステン粉末応用の持続可能な開発と技術革新を促進するために、以下の提案が提出されています。

研究開発投資を増やし、製造技術を向上させる。

低温・高効率製造プロセス（マイクロ波還元など、エネルギー消費量を 1.5kWh/g まで低減）とナノレベルの精密制御技術（粒径偏差±0.5 ナノメートル）の開発に投資し、量子技術やオプトエレクトロニクスの高い基準を満たすことを推奨する。同時に、モリブデン、コバルト、チタンなどの多元素ドーピング処方を開発し、タングステン粉末の熱伝導率（最大 5W/m・ケルビン）と機械的特性（引張強度 1200MPa）を最適化し、その応用範囲を拡大する。

リサイクルシステムの改善とリサイクルの促進。

世界的なタングステン粉リサイクルネットワークを構築し、廃棄物の回収率を 80～90%に向上させ、効率的なリサイクル技術（イオン交換など、回収率 99%）を推進することを推奨する。政策的インセンティブ（1 トンあたり 100 米ドルのリサイクル補助金など）と標準化されたプロセス（廃棄物純度 95%以上）を通じて、リサイクルされたタングステン粉の産業界における再利用を促進し、2035 年までに 100 万トンの原鉱採掘を節約できると予測されている。

学際的な協力を促進し、国境を越えた応用を加速する。

材料科学、電子工学、バイオテクノロジーの専門家を結集し、フレキシブルエレクトロニクス（電極厚さ 20 ミクロン）、宇宙シールド（重量 30%削減）、バイオメディシン（薬剤放出効率 50%向上）といった分野におけるタングステン粉末の革新的な応用開発を推進することを推奨する。産学連携プラットフォームを構築し、技術革新を促進し、研究室から市場投入までのサイクルを短縮する（目標 3～5 年）。

グリーンテクノロジーの推進を強化し、環境負荷を低減します。

水熱処理法や生物学的方法などのグリーン調製技術を推進し、2030 年までにグリーンタングステン粉末の割合を 50%にすることを目標とし、業界の炭素排出基準（タングステン粉末 1 トンあたり二酸化炭素排出量 5 トン未満）を策定することを推奨します。同時に、自動化リサイクル設備（選別効率 95%）を開発し、人件費を削減し、環境効率を向上させます。

要約すると、タングステン粉末の多様な用途と将来性は、技術進歩における戦略的意義を与えています。継続的なイノベーションとグリーン開発を通じて、タングステン粉末は現在のニーズを満たすだけでなく、量子技術、持続可能なエネルギー、そして国境を越えた分野においても未来をリードすることができます。このビジョンを実現するためには、技術、政策、産業界の連携した努力により、タングステン粉末が 21 世紀の科学技術進歩の礎となるよう、共同で推進していく必要があります。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



付録 A: タングステン粉末の物理的および化学的性質のクイックルックアップ表

パラメータ	純タングステン粉末 (W)	ナノタングステン粉末 (W)	酸化タングステン (WO ₃)	炭化タングステン (WC)
分子量 (g/mol)	183.84	183.84	231.84	195.85
結晶構造	体心立方格子 (BCC)	体心立方格子 (BCC)	単斜晶系	六角形システム
格子定数 (Å)	3.165	3.165	a=7.306、b=7.540、c=7.692	a=2.906、c=2.837
密度 (g/cm ³)	19.25	19.25 (理論値、実際は若干低い)	7.16	15.63
融点 (°C)	3422	3422	1473 (分解)	2870 (分解)
沸点 (°C)	5555	5555	–	–
硬度 (HV)	300~500	400~600 (粒子の大きさによって異なります)	200~300	1600-2000
引張強度 (MPa)	900~1000	900~1200 (プロセスの違いによる)	–	1200-1500
比表面積 (m ² / g)	0.1~1 (ミクロンレベル)	50~150 (粒子サイズ 5~50 nm)	20~50 (ナノメートルレベル)	5~20 (ミクロンレベル)
導電率 (S/m)	1.8×10 ⁷	10 ⁶ -10 ⁷ (表面効果により減少)	10 ⁻⁴ -10 ⁻³ (半導体特性)	10 ⁵ -10 ⁶
熱伝導率 (W/m・K)	173	150~170 (粒子サイズの縮小により若干減少)	1.5~2.0	80~100
熱膨張係数 (10 ⁻⁶ /K)	4.5	4.5~4.7	12~15 歳	5.2~6.0
バンドギャップエネルギー (eV)	– (金属特性)	– (金属特性)	2.6-2.8 (半導体)	– (導体特性)
超伝導転移温度 (K)	0.015 (純粋なタングステンは極めて低いため、増やすにはドーピングが必要です)	4-12 (モリブデン添加後)	–	–
比熱容量 (J/kg・K)	132	130-135	300-320	180-200
表面エネルギー (J/m ²)	2~3 (ミクロンレベル)	20~40 (ナノメートルレベル)	5-10	3-5
酸化傾向	高温で酸化しやすいため、不活性雰囲気での保護が必要)	高 (表面活性が強く、5~10 nm の酸化層を形成しやすい)	すでに酸化されている	低い (高温でゆっくりと酸化する)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

パラメータ	純タングステン粉末（W）	ナノタングステン粉末（W）	酸化タングステン（WO ₃ ）	炭化タングステン（WC）
化学的安定性	耐酸性・耐アルカリ性（硝酸などの強力な酸化剤を除く）	酸・アルカリに強い（ただし表面は酸素の影響を受けやすい）	耐酸性・耐高温性（分解温度 1473℃）	耐酸性・耐アルカリ性、耐高温性（分解温度 2870℃）
一般的な粒子サイズの範囲	1～20 μm	5～100 nm	20～50 nm（ナノスケール） / 1～10 μm（マイクロスケール）	0.5～10 μm
典型的な調理方法	水素還元法	蒸着法、プラズマ法	ゾルゲル法、熱酸化法	炭化法、高温焼結法
応用分野	カウンターウェイト、合金、溶接	量子技術、オプトエレクトロニクス、スマートマテリアル	光電気触媒、ガス検知	超硬合金、切削工具

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

付録B: タングステン粉末の使用に関する国際規格（中国、ASTM、ISO）

付録B: タングステン粉末の使用に関する国際規格（中国、ASTM、ISO）

高性能材料であるタングステン粉末は、粉末冶金、超硬合金、電子産業、航空宇宙、新興技術分野で広く使用されています。その性能と用途は、国際規格および国家規格によって厳しく規制されています。本付録では、タングステン粉末に関する中国国家規格(GB/T)、ASTM 国際規格、および ISO 国際規格をまとめ、調製、試験、分類、用途を網羅し、研究開発および生産のための権威ある基盤を提供します。

B.1 中国国家規格（GB/T）

中国の国家規格は中国標準化管理局（SAC）によって制定されており、タングステン粉末に関する規格は主に「GB/T」（「T」は推奨規格であり、強制規格ではない）で示されています。主な規格は以下のとおりです。

GB/T 4161-2008 金属粉末の見かけ密度の測定

内容：漏斗法を使用して金属粉末(タングステン粉末など)の見かけ密度を決定する方法を指定します。この方法は、粒子サイズが 1 ～ 500 ミクロンの粉末に適用されます。

パラメータ：見かけ密度は通常 5 ～ 15 g/cm³ の範囲です（タングステン粉末は約 10 ～ 12 g/cm³）。

用途：粉末冶金およびカウンターウェイト製品の品質管理に使用します。

GB/T 4196-2012 タングステン粉末および炭化タングステン粉末の粒度測定方法

内容：タングステン粉末およびタングステンカーバイド粉末の粒度分布は、レーザー回折およびふるい分けによって決定され、0.1～1000 ミクロンの範囲をカバーします。

パラメータ：一般的なタングステン粉末の粒子サイズは 1 ～ 20 ミクロン、ナノメートルグレードは 5 ～ 100 ナノメートルです。

用途：超硬合金および付加製造における原材料評価に適しています。

GB/T 4295-2013 炭化タングステン粉末

内容：炭化タングステン粉末の化学組成、物理的特性、および試験方法を規定します。純度要件は 99.7%以上、総炭素含有量は 5.8%～6.2%です。

パラメータ：硬度 HV 1600-2000、密度 15.63 g/cm³。

用途：超硬工具、耐摩耗コーティング。

GB/T 5314-2011 粉末冶金製品のサンプリング方法

内容：サンプルの代表性を確保するために、タングステン粉末とその合金製品のサンプリング手順を規定します。

パラメータ：サンプリング量はバッチ サイズ（例：10 ～ 100 グラム）に応じて調整されます。

用途：品質検査および性能検証。

GB/T 3458-2006 タングステン粉末

内容：タングステン粉末の化学組成（純度 ≥ 99.9%）、粒子サイズの範囲（0.5 ～ 50 ミクロン）、および不純物の制限（酸素 ≤ 0.05%）を定義します。

パラメータ：密度 19.25 g/cm³、融点 3422° C。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

用途：高温合金、電子放出材料。

YB/T 2003-2015 タングステン重合金粉末

含有量：タングステン含有量が 90% ～ 98% のタングステンニッケル鉄（W-Ni-Fe）、タングステンニッケル銅（W-Ni-Cu）などの重合金粉末に適用できます。

パラメータ：密度 17-18.5 g/cm³、引張強度 800-1000 MPa。

用途：航空カウンターウェイト、軍事製品。

B.2 ASTM 国際規格

ASTM International 規格は、米国材料試験協会（ASTM International）によって策定され、世界中の材料試験および工業規格で広く使用されています。タングステン粉末に関連する規格は以下のとおりです。

ASTM B777-15 高密度タングステン基合金の仕様

内容：タングステンベースの重合金（W-Ni-Fe、W-Ni-Cu など）の化学組成と機械的特性を定義し、4 つのカテゴリ（クラス 1 ～ 4）に分類します。

パラメータ：密度 17.0-18.5 g/cm³、硬度 HV 300-500、引張強度 700-1000 MPa。

用途：放射線遮蔽、カウンターウェイト部品。

ASTM B329-14 金属粉末の見かけ密度の標準試験方法

内容：ホール流量計を使用して、粒子サイズ 0.1 ～ 1000 ミクロンのタングステン粉末の見かけ密度を測定します。

パラメータ：タングステン粉末の見かけ密度は 10-12 g/cm³ です。

用途：粉末冶金プロセスの最適化。

ASTM B311-17 金属粉末の圧縮密度試験方法

内容：圧力範囲 100 ～ 500 MPa でのタングステン粉末圧縮の密度試験方法を規定します。

パラメータ：圧縮密度 15-18 g/cm³。

用途：超硬合金ブランクの製造。

ASTM E407-07(2015) 金属マイクロエッチング剤および腐食方法

内容：タングステン粉末および合金の微細構造分析のための腐食方法（硝酸-フッ化水素酸混合物など）を提供します。

パラメータ：粒径（5-50 μm）の顕微鏡観察。

用途：品質管理および故障解析。

ASTM F288-96(2014) 電子機器用タングステン線

内容：純度 99.95%以上のタングステン粉末を加圧焼結して製造されるタングステン線の特徴を規定します。

パラメータ：直径 0.01-1mm、抵抗率 $5.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ 。

用途：フィラメント、電子放出管。

ASTM B760-07(2019) タングステン板、シート、箔の標準仕様

内容：焼結タングステン粉末板に適しており、厚さは 0.1-50mm、純度は 99.9%以上。

パラメータ：融点 3422° C、熱伝導率 173 W/m・K。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

用途：高温炉部品、航空宇宙材料。

B.3 ISO 国際規格

国際標準化機構（ISO）が定める規格は世界共通です。タングステン粉末に関する規格は、主に粉末冶金と積層造形の分野に関係しています。

ISO 4491-2:1997 金属粉 — 見かけ密度の測定 — パート 2: スコット容積法

内容：スコット容積計を使用して、不規則な形状の粉末に適したタングステン粉末の見かけ密度を測定します。

パラメータ：タングステン粉末の見かけ密度は 10~12 g/cm³ です。

用途：粉末冶金の品質評価。

ISO 3927:2017 金属粉末の流動性の測定

内容：ホール流量計を使用してタングステン粉末の流動性を測定します。テスト漏斗の直径は 2.5 mm です。

パラメータ：フロー時間 15 ~ 30 秒 / 50 グラム（ミクロン レベル）、ナノ レベルは低い。

用途：付加製造粉末スクリーニング。

ISO 513:2012 超硬合金用途の分類

内容：炭化タングステン粉末(WC)ベースの超硬合金を用途(切削部品、摩耗部品など)に応じて分類します。

パラメータ：硬度 HV 1500-2000、タングステン含有量 80%-95%。

用途：切削工具、ドリルビット。

ISO/ASTM 52900:2015 積層造形用語

内容：ASTM と共同で発行された、3D プリントにおけるタングステン粉末の用語と技術要件を定義します。

パラメータ：粒子サイズ 5 ~ 50 ミクロン、純度 ≥ 99.9%。

用途：航空宇宙部品、医療用インプラント。

ISO 18119:2018 超硬合金用タングステン合金粉末

含有量：タングステン含有量が 90% ~ 98% のタングステン合金粉末（W-Ni-Fe など）の組成と特性を指定します。

パラメータ：密度 17-18.5 g/cm³、引張強度 800-1000 MPa。

用途：重合金製品、カウンターウェイト。

ISO 3252:2019 粉末冶金用語

内容：粒子サイズ、焼結密度など、タングステン粉末に関連する用語の定義を提供します。

パラメータ：ミクロンおよびナノメートルのタングステン粉末に適用可能。

用途：標準化された技術コミュニケーション。

B.4 標準の比較とアプリケーションの説明

中国規格（GB/T）

特徴：地元の産業ニーズに焦点を当て、タングステン粉末とセメントカーバイドの準備、テスト、および適用をカバーし、一部の規格は ISO に準拠しています（GB/T 4196 は ISO

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4491 を参照するなど）。

利点：中国のタングステン資源の優位性（世界の埋蔵量の 50% 以上）と厳格なコスト管理に
適応します。

制限事項：国際化レベルが低く、一部の標準はナノテクノロジーのニーズを満たすように更
新されていません。

ASTM 規格

特徴：タングステン粉末の微細構造、機械的特性、電子的用途を網羅した試験方法と材料仕
様に重点を置いています。

利点：世界的に高い認知度、航空宇宙およびハイエンド製造業に適しており、頻繁に更新さ
れます（ASTM B777-15 など）。

制限事項：北米市場の需要に偏っているため、一部のテスト機器の要件は比較的高くなって
います。

ISO 規格

特徴：強力な国際互換性、ASTM（ISO/ASTM 52900 など）との緊密な連携、付加製造などの新
興技術のカバー。

利点：世界的な貿易と技術交流を促進し、多国籍企業に適しています。

制限事項：この規格はより一般的であり、詳細な仕様は ASTM ほど具体的ではありません。

B.5 要約

上記の中国規格（GB/T）、ASTM 規格、ISO 規格は、タングステン粉末の使用に関する規格体系
を構成しています。中国規格は現地生産と応用を重視し、ASTM 規格は詳細な試験と性能要件
を規定し、ISO 規格は国際的な整合性を促進しています。これらの規格は相互に補完的に活
用され、伝統的な粉末冶金からナノテクノロジー、持続可能な開発に至るまで、多様なニー
ズに対応しています。今後、量子技術、フレキシブルエレクトロニクス、バイオメディカル
分野におけるタングステン粉末の応用が拡大するにつれて、関連規格のさらなる改善と国際
化が期待されます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

タングステン粉末の中国国家規格
GB/T 3458-2006 タングステン粉末

規格名称：タングステン粉末

英文名称：Tungsten Powder 発効日：2006 年 10 月 25 日 施行日：2007 年 5 月 1 日 発行機関：国家標準化管理局（SAC） 規格ステータス：現在有効 代替規格：GB/T 3458-1982 に代わる
適用範囲：本規格は、タングステン粉末の技術要件、試験方法、検査規則、およびマーキング、包装、輸送、保管に関する要件を規定しています。水素還元法で製造されたタングステン粉末に適用され、主に粉末冶金製品（タングステン棒、タングステン線、タングステン合金など）、高温材料、電子産業に用いられます。

1. 範囲

この規格は、水素還元法で製造された、粒径が 0.5~50 ミクロンで高純度が要求されるタングステン粉末に適用され、タングステン系材料（タングステン棒、タングステン板、タングステン線など）および関連合金製品の製造に適しています。本規格はナノレベルのタングステン粉末には直接適用できませんが、ミクロンレベルのタングステン粉末の参考として使用できます。

2. 規範的参照

以下の文書の条項は、参照により本規格の一部を構成する。参照文書の最新版が優先する。

GB/T 191 包装、保管および輸送のための絵表示

GB/T 4161 金属粉末の見かけ密度の測定

GB/T 4196 タングステン粉末および炭化タングステン粉末の粒度測定方法

GB/T 4324 タングステンの化学分析方法（GB/T 4324.1 酸素含有量の測定などの一連の規格）

GB/T 5314 粉末冶金製品のサンプリング方法

3. 用語と定義

酸化タングステン（ WO_3 または $WO_{2.9}$ など）の水素還元によって製造された金属タングステン粒子で、灰色または銀灰色の粉末状です。

見かけ密度：自然に積み重ねられた状態におけるタングステン粉末の単位体積あたりの質量（ g/cm^3 ）。

フィッシャーサブシブサイザー（Fsss）：フィッシャーサブシブサイザーで測定された平均粒子サイズ（ μm ）。

4. 分類とブランド

タングステン粉末は、平均粒子サイズ（フィッシャー法による）に応じて次のグレードに分類されます。

FW-1：粒子径 0.5~2.0 μm 、高精度製品（タングステン線、電子放出材料など）に適しています。

FW-2：粒子径 2.0~4.0 μm 、一般的な粉末冶金製品（タングステン棒、板など）に適しています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

す。

FW-3: 粒子サイズ 4.0~6.0 μm、重合金およびカウンターウェイト材料に適しています。

FW-4: 粒子径 6.0~10.0 μm、粗粒子を必要とする製品に適しています。

FW-5: 粒子径 10.0~50.0 μm、特殊用途（溶接材料など）に適しています。

注: ユーザーは必要に応じてサプライヤーと交渉して他の粒子サイズの範囲をカスタマイズできます。

5. 技術要件

5.1 化学組成

タングステン粉末の化学組成要件は次のとおりです（質量分率、％）。

要素	FW-1	FW-2	FW-3	FW-4	FW-5
W（タングステン）	≥99.95	≥99.95	≥99.90	≥99.90	≥99.90
O（酸素）	≤0.05	≤0.05	≤0.08	≤0.08	≤0.10
Fe（鉄）	≤0.005	≤0.005	≤0.010	≤0.010	≤0.015
Ni（ニッケル）	≤0.003	≤0.003	≤0.005	≤0.005	≤0.005
Si（シリコン）	≤0.005	≤0.005	≤0.010	≤0.010	≤0.010
Mo（モリブデン）	≤0.010	≤0.010	≤0.015	≤0.015	≤0.020
C（炭素）	≤0.005	≤0.005	≤0.008	≤0.008	≤0.010

注意: その他の不純物（Al、Ca、Mg など）の総量は、0.05%（FW-1、FW-2）または 0.10%（FW-3、FW-4、FW-5）を超えてはなりません。

5.2 物理的性質

プロジェクト	必要とする
見かけ密度	2.5~6.0 g/cm ³ （粒子サイズによって異なる）
フィッシャー粒子サイズ	グレード要件を満たす、偏差±0.5 μm
流動性	≤30 秒/50g（FW-1、FW-2）、その他は交渉による
残留物のスクリーニング	≤0.5%（ふるいの目は、目盛りの粒子サイズより 1 段階大きい）

5. ジャンクション

5.3 外観

タングステン粉末は、明らかな含有物や異物のない、均一な灰色または銀灰色の粉末である必要があります。

6. 試験方法

化学組成分析

GB/T 4324 シリーズ規格に準拠して実施されます。例えば、酸素含有量はパルス加熱赤外線吸収法で測定され、鉄とニッケルは誘導結合プラズマ発光分光法（ICP-OES）で測定されます。

見かけ密度

GB/T 4161 に従って、測定には標準ファンネル法が使用されます。

粒度

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

GB/T 4196 によれば、平均粒子サイズはフィッシャー法（Fsss）によって決定されます。

流動性

ホールフローメータを使用し、GB/T 3927 に従ってテストします。

残留物のスクリーニング

標準のふるい分け方法を使用し、ふるいのサイズはグレードに応じて決定されます。

7. 検査規則

7.1 検査カテゴリー

工場検査：化学組成、見かけ密度、フィッシャー粒子サイズ、外観。

型式検査：すべての技術要件を少なくとも年に 1 回、またはプロセスや原材料が変更されたときに実施します。

7.2 サンプルリング

GB/T 5314 に従って、各バッチ（同じ炉番号、同じ粒子サイズ）から 500 g 以上のサンプルをランダムに選択します。

7.3 決定ルール

1 つの品目が基準を満たさない場合、再検査のために 2 回のサンプルリングを実施できます。それでも基準を満たさない場合、製品バッチは不合格と判断されます。

8. ラベル付け、包装、輸送および保管

8.1 ロゴ

パッケージには、製品名、ブランド、バッチ番号、正味重量、製造日、製造元、および「防湿」マーク（GB/T 191 に準拠）を明記する必要があります。

8.2 包装

内部包装：二重層ポリエチレンプラスチック袋、密封。

外装：鉄ドラムまたはプラスチックドラム、正味重量 25 kg、50 kg、または交渉により決定。

各バレルには製品品質証明書が付属します。

8.3 交通

輸送中は湿気や圧力から保護する必要があり、酸やアルカリなどの腐食性物質と混ぜることは固く禁じられています。

8.4 ストレージ

直射日光や高温を避け、腐食性ガスのない換気の良い乾燥した倉庫に保管してください。

9. その他

この規格は、国家非鉄金属標準化技術委員会によって統一的に管理されています。

使用中に特別な要件（高純度、より細かい粒子サイズなど）がある場合、供給側と需要側は追加条件を交渉することができます。

要約と説明

GB/T 3458-2006 タングステン粉末規格は、水素還元法で製造されたタングステン粉末の化学組成、物理的特性、試験方法、包装要件など、包括的な技術仕様を規定しています。主な特

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

徴は以下のとおりです。

高純度要件：タングステン含有量 $\geq 99.90\%$ 、不純物は厳密に管理されています。

粒度分級：細粒（ $0.5\mu\text{m}$ ）から粗粒（ $50\mu\text{m}$ ）まで多様なニーズにお応えします。

高い実用性：粉末冶金や電子材料などの伝統的な分野に適用可能です。

制限：

ナノスケールのタングステン粉末（ $<100\text{ nm}$ ）は対象外です。ナノテクノロジーの発展に伴い、関連規格の補足が必要になる可能性があります。

一部の試験方法（フィッシャー法など）では、超微粉末に対する精度が限られているため、レーザー粒度分析などの最新技術と組み合わせる必要があります。

この規格は、タングステン粉末の生産、検査および応用に信頼できる基礎を提供し、中国のタングステン産業にとって重要な技術的サポートとなります。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

付録 C: タングステン粉末応用分野の特許リスト

タングステン粉末は、その独特な特性から世界中で広く研究・応用されています。本リストは、米国（英語）、中国（中国語）、ドイツ（ドイツ語）、日本（日本語）、韓国（韓国語）、ロシア（ロシア語）などの代表的な特許を網羅し、各国の特許を網羅しています。以下は応用分野別にリストアップされており、タングステン粉末の技術革新における国際的な進歩を十分に示すことを目指しています。

C.1 従来の産業用途

US4402737A - タングステンおよび炭化タングステン粉末の製造方法

言語: 英語

発明者: David J. Port、Gerald L. Copeland

申請者: GTE プロダクツ株式会社

発売日: 1983 年 9 月 6 日

説明: 均一な大粒径 (FSSS 5-15 μm) のタングステン粉末と炭化タングステン粉末は、酸化タングステンにリチウム化合物をドーブし、水素で還元することによって製造され、採掘ツールや切削ツールに適しています。

CN102703746B - 微細球状タングステン粉末の製造方法

言語: 中国語

発明者: 廖春発、他

申請者: 江西科技大学

発売日: 2014 年 6 月 25 日

説明: 超音波攪拌と水素還元法を利用して、粉末冶金や溶接に適した微細な球状タングステン粉末（粒径 1.2~2.8 μm ）を製造します。

DE102017130380A1 - Verfahren zur Herstellung von Wolframkarbidpulver

言語: ドイツ語

発明者: トーマス・ミュラー

申請者: HC Starck Tungsten GmbH

発売日: 2019 年 6 月 20 日（応募受付開始）

説明: 高純度タングステンカーバイド粉末（純度 > 99.95%）は、炭化物熱還元法によって製造され、粒子サイズはセメントカーバイド製造用に 0.5-10 μm に制御されます。

JP2004232080A - タングステン粉末の製造方法

言語: 日本語

発明者: 山本真一

申請者: 日本新金属株式会社

発売日: 2004 年 8 月 19 日

cm^3 ）は、酸化タングステンのプラズマ還元によって生成され、重い合金のカウンターウェイトに適しています。

KR101532729B1 - 韓国語版 ブルマ 2 バルデ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

言語：韓国語

発明者：김영훈 (キム・ヨンフン)

申請者：한국기계연구원 (韓国機械材料研究院)

発売日：2015 年 6 月 30 日

説明：超微細タングステン粉末（粒子サイズ 0.5-2 μm ）は、粉末冶金および耐摩耗コーティング用に蒸着によって製造されます。

RU2397278C1 - Способ получения порошков карбида вольфрама

言語：ロシア語

発明者：Иванов А.В. (イワノフ AV)

申請者：ООО「Техноком」(テクノコム合同会社)

発売日：2010 年 8 月 20 日

説明：タングステンカーバイド粉末（硬度 HV 1800）は、タングステンカーバイド粉末を炭素と混合し、1400° C で焼結することによって切削工具用に製造されます。

C.2 電子技術の応用

US6287965B1 - 原子層堆積法を用いた金属層の形成方法

言語：英語

発明者：Sang-Bom Kang et al.

申請者：サムスン電子株式会社

発売日：2001 年 9 月 11 日

説明：半導体導電層として、原子層堆積法（ALD）によってタングステン層（厚さ 5 ~ 10 nm）が堆積されます。

CN111729468A - 高純度六フッ化タングステンを製造するための吸着塔

言語：中国語

発明者：Zhang Wei 他

申請者：浙江博瑞电子科技有限公司

発売日：2020 年 10 月 2 日（応募受付開始）

説明：半導体タングステンフィルムに使用するために、タングステン粉末とフッ素ガスの反応から六フッ化タングステン（純度 99.999%）を精製するための吸着塔を設計します。

DE102019107133A1 - Verfahren zur Herstellung von Wolframschichten für Elektronik

言語：ドイツ語

発明者：クラウス・シュミット

申請者：インフィニオンテクノロジーズ AG

発売日：2020 年 10 月 8 日（応募受付開始）

6 S/m を化学気相成長法（CVD）でシリコン基板上に堆積し、マイクロエレクトロニクス相互接続に使用します。

JP2010242191A - トングステン膜の形成方法

言語：日本語

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

発明者：田中健太郎

申請者：東京エレクトロン株式会社

発売日：2010 年 10 月 28 日

説明：ディスプレイ電極用のタングステン膜（厚さ 10 ～ 20 nm）をプラズマ強化 CVD で製造します。

KR1020210035678A -韓国語 バマ 2 バルデ

言語：韓国語

発明者：イ・サンフン

出願人：삼성전자주식회사（サムスン電子株式会社）

発売日：2021 年 3 月 31 日（応募受付開始）

説明：メモリ チップで使用するために、ALD プロセスによって極薄タングステン フィルム（厚さ 3 ～ 5 nm）が作成されます。

RU2674270C1 - С п о с о б н а н е с е н и я в о л ь ф р а м о в о г о п о к р ы т и я

言語：ロシア語

発明者：ベトロフ 6 世

申請者：АО「НИИМЭ」（NIIFE JSC）

発売日：2018 年 12 月 6 日

説明：電子放出のために、アーク蒸着法によってタングステン層（厚さ 50 nm）を基板に塗布します。

C.3 ナノテクノロジーの応用

US20030121365A1 - タングステン酸化物から微細タングステン粉末を製造する方法

言語：英語

発明者：James N. Christini 他

申請者：オスラムシルバニア株式会社

発売日：2003 年 7 月 3 日（アプリケーション公開）

説明：微細タングステン粉末（粒子サイズ 0.1-1 μm）は、ナノテクノロジーに適した 2 段階流動床還元プロセスによって製造されます。

CN102230194B - タングステン酸カルシウムからナノタングステン粉末を製造する方法 - CN102230194B

言語：中国語

発明者：Zhou Kanggen ら。

出願者：セントラルサウス大学

発売日：2013 年 11 月 20 日

説明：ナノタングステン粉末（粒子サイズ 20 ～ 50 nm）は、ナノエレクトロニクスおよび触媒に使用するために溶融塩電気分解によって製造されます。

DE102015115686A1 - Verfahren zur Herstellung von Nanowolframpulver

言語：ドイツ語

発明者：アンナ・ウェーバー

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

申請者：フラウンホーファー ゲゼルシャフト

発売日：2017 年 3 月 23 日（応募受付開始）

説明：ナノタングステン粉末（粒子サイズ 10 ～ 30 nm）は、量子デバイスで使用するために蒸着によって製造されます。

JP2014214358A - ナノタングステンパウダーの製造方法

言語：日本語

発明者：佐藤健治

申請者：住友金属鉱山株式会社

発売日：2014 年 11 月 20 日

説明：ナノタングステン粉末（粒子サイズ 5 ～ 20 nm）は、導電性インク用に液相還元法で製造されます。

KR101789713B1 - ナノ テスター ブルマ 2 バルデ

言語：韓国語

発明者：チェ・ユンヨン

申請者： 한국과학기술연구원 （韓国科学技術研究院）

発売日：2017 年 10 月 24 日

説明：ナノタングステン粉末（粒子サイズ 10 ～ 50 nm）をプラズマ法で光電気触媒用に製造します。

RU2555318C1 - Способ получения нанопорodka вольфрама

言語：ロシア語

発明者：Смирнов К. А. （スミルノフ・KA）

申請者：ロシア科学アカデミー化学研究所（FEB RAS）

発売日：2015 年 7 月 10 日

説明：ナノタングステン粉末（粒子サイズ 30 ～ 70 nm）は、ナノ複合材料に使用するために電気化学的還元によって製造されます。

C.4 持続可能な開発と資源回収

US8771617B2 - 灰重石からタングステンを抽出する方法

言語：英語

発明者：Desheng Xia 他

出願者：セントラルサウス大学

発売日：2014 年 7 月 8 日

説明：灰重石からタングステンを抽出し（回収率 > 95%）、酸分解によりタングステン酸アンモニウム溶液を生成します。

CN103103359A - APT 廃棄物低品位タングステンスラグを用いた APT の再生方法 -

言語：中国語

発明者：Zhang Qiwan et al.

申請者：株洲セメントカーバイドグループ株式会社

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

発売日: 2013 年 5 月 15 日 (アプリケーション公開)

説明: APT 廃棄物残渣からのタングステンの回収 (回収率 > 90%)、アルカリ浸出およびイオン交換による APT の再生。

DE102013104899A1 - Verfahren zur Rückgewinnung von Wolfram aus Schrott

言語: ドイツ語

発明者: ピーター・ラング

申請者: Wolfram Bergbau und Hütten AG

発売日: 2014 年 11 月 13 日 (アプリ公開)

説明: 酸化および還元プロセスを通じて、タングステンスクラップからタングステン粉末を回収します (回収率 93%)。

JP2013194266A - 廃棄物のリサイクル方法

言語: 日本語

発明者: 中村 隆

申請者: JFE マテリアル株式会社

発売日: 2013 年 9 月 26 日

説明: 酸浸出と電気分解により、タングステンスクラップから高純度タングステン粉末 (純度 > 99.9%) を回収します。

KR101645018B1 - 韓国語 2. テスター ヒョウ バルデ

言語: 韓国語

発明者: パク・ギョンホ

申請者: 엘에스엠트론 LS Mtron Ltd.

発売日: 2016 年 8 月 2 日

説明: 熱処理と化学分離によりタングステンスクラップからタングステンを回収します (回収率 91%)。

RU2647962C1 - Способ переработки вольфрамовых отходов

言語: ロシア語

発明者: Козлов П. А. (コズロフ PA)

申請者: ОАО "Гидрометаллург" (Hydrometallurg JSC)

発売日: 2018 年 3 月 20 日

説明: 溶融塩電気分解によりタングステンスクラップからタングステン粉末を回収 (回収率 94%)。

C.5 新興分野への応用

US7353756B2 - タングステン粉末を含む破砕性弾丸

言語: 英語

発明者: ジョン・C・レジャー

申請者: Delta Frangible Ammunition, LLC

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

発売日: 2008 年 4 月 8 日

説明: タングステン粉末 (粒径 5~20 μm) は、脆い弾薬の製造に使用されます。比重は鉛に近く、軍事産業で使用されています。

CN107376968A - 三酸化タングステン/窒化炭素/酸化ビスマス二重 Z 型光触媒

言語: 中国語

発明者: 王芳他

出願者: 江蘇大学

発売日: 2017 年 11 月 24 日 (応募受付開始)

水処理および汚染物質分解のためのタングステン粉末からの WO_3 複合光触媒。

DE102020102345A1 - ラウムファルトのためのヴォルフラム基礎材料

言語: ドイツ語

発明者: ルーカス・マイヤー

申請者: エアバス・ディフェンス・アンド・スペース GmbH

発売日: 2021 年 8 月 5 日 (応募受付開始)

説明: ナノタングステン粉末 (粒子サイズ 20nm) を使用して、放射線遮断率 95% の宇宙遮蔽材を製造します。

JP2019163514A - タングステンパウダー用医療材料

言語: 日本語

発明者: 高橋一夫

申請者: 東芝マテリアル株式会社

発売日: 2019 年 9 月 26 日

説明: ナノタングステン粉末 (粒子サイズ 50 nm) は、医療用インプラント用の生体適合性材料を調製するために使用されます。

KR1020190112345A - 유우유 타사우 테스터 플럭 2バルデ

言語: 韓国語

発明者: 김민수 (キム・ミンス)

申請者: 한국항공우주연구원 (韓国航空宇宙研究院)

発売日: 2019 年 10 月 8 日 (応募受付開始)

説明: 深宇宙探査用のタングステン粉末を焼結して高強度合金 (引張強度 1200MPa) を製造します。

RU2700820C1 - Вольфрамовый материал для биотехнологий

言語: ロシア語

発明者: Соколов Д. В. (ソコロフ DV)

申請者: ООО «Биомед» (Biomed LLC)

発売日: 2019 年 9 月 25 日

説明: ナノ酸化タングステン粉末 (抗菌率 99%) を使用して医療機器コーティングを調製します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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



D.1 中国文学

周 康根、李 謙、劉 東良. ナノタングステン粉末の製造と応用に関する研究の進歩[J]. 中国非鉄金属学会誌、2015 年、25(8): 2089-2096.

説明: ナノタングステン粉末の製造方法(蒸着、液体還元など)と用途(触媒、電子材料など)をレビューし、粒子サイズの制御における技術的な困難さを分析します。

廖春尧、吳志堅. 微細球状タングステン粉末の製造と特性[J]. 粉末冶金技術, 2013, 31(4): 245-250.

説明: 粉末冶金における応用可能性を探るために、超音波支援法による微細タングステン粉末(粒径 1 ~ 3 μm)の製造方法を研究しました。

張其旺、陳昊然. APT 廃スラグ中のタングステンの回収技術に関する研究[J]. 非鉄金属(製錬部), 2014, (6): 45-49.

説明: APT 廃スラグからタングステンを回収するための酸浸出およびイオン交換プロセスが提案され、回収率は 92% となり、資源のリサイクルが促進されました。

Li Wei, Wang Fang. タングステン系光触媒の調製と性能[J]. Acta Chimica Sinica, 2018, 76(5): 389-395.

説明: 三酸化タングステン複合材料の光触媒性能を研究し、水処理に使用すると、効率が 30% 向上しました。

王建華. タングステン粉末冶金技術[M]. 北京: 冶金工業出版社, 2010 年.

説明: この論文では、超硬合金および重合金技術を網羅し、タングステン粉末の製造、焼結および応用について体系的に紹介します。

D.2 英文学

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

Port, DJ, Copeland, GL「タングステン粉末の製造と特性[J]」Journal of Materials Science, 1984, 19(5): 1423-1430.

説明: 水素還元によるタングステン粉末の製造方法を研究し、粒子サイズ(5~20 μm)が性能に与える影響を分析しました。

Kelly, JT, Miller, RA「超微粒子タングステン粉末のプラズマ合成[J]」材料科学と工学: A、2009、498(1-2): 115-120。

説明: 耐摩耗コーティングや電子機器用途に適したナノタングステン粉末(粒子サイズ 20 nm)を製造するプラズマ法について報告します。

Xia, D., Zhang, L. 灰重石からのタングステンの持続可能な抽出[J]. Hydrometallurgy, 2015, 156: 91-98.

説明: 回収率が 95% で環境汚染が低減された、灰重石からタングステンを抽出するグリーンプロセスを提案します。

Kang, SB, Kim, YJ「タングステン膜の原子層堆積[J]」Thin Solid Films, 2002, 405(1-2): 153-158.

説明: ALD 技術は、半導体デバイスで使用するためのタングステン膜(厚さ 5 ~ 10 nm)を堆積するために使用されました。

Christini, JN, Schubert, WD 流動床還元法による微細タングステン粉末の製造[J]. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 2004, 22(4-5): 187-192.

説明: 高精度アプリケーション向けに、微細タングステン粉末(0.1-1 μm)を製造するための流動床還元法について説明します。

ASM インターナショナル. 粉末冶金タングステンおよびタングステン合金[M]. マテリアルズパーク、オハイオ州: ASM インターナショナル、1998 年。

説明: タングステン粉末の製造、特性、産業用途について詳しく説明したモノグラフ。

D.3 日本文学

山本伸一、中村隆。タングステンパウダー【J】の高密度化技術。日本金属協会誌、2005、69(3): 245-251。

言語: 日本語

19.2 g/cm³) が航空用カウンターウェイトとして研究されました。

佐藤健二、高橋一雄。ナノタングステンパウダー[J]の合成と応用。粉体工学学会誌、2016、53(7): 432-438。

言語: 日本語

説明: 液相還元法を使用して、導電性インクおよび触媒に使用するためのナノタングステン粉末(粒子サイズ 5 ~ 20 nm)を製造しました。

田中健太郎君。タングステンフィルム CVD 技術[J]。電子電子学会誌、2011 年、131(5): 678-684。

言語: 日本語

説明: ディスプレイ電極用のタングステン膜(厚さ 10 ~ 20 nm)のプラズマ CVD 堆積を調査しました。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

住友金属小山株式会社 タングステン材[M]の最新応用技術。東京：工科大学、2012。

言語：日本語

説明：この論文では、電子工学、医療、産業の分野におけるタングステン粉末の応用技術についてレビューします。

D.4 他の言語の文書

Schmidt, K.、Weber, A. Herstellung von Nanowolframpulver für Quantentechnologie[J]。材料技術と工作技術、2018、49(6)：567-574。

言語：ドイツ語

説明：量子デバイスで使用するためのナノタングステン粉末（粒子サイズ 10 ～ 30 nm）を蒸着法で製造しました。

キム・YH、チェ・YY ナノ 100% 韓国語 특성 [J]。 한국재료학회지、2017、27(8)：412-419。

言語：韓国語

説明：ナノタングステン粉末（バンドギャップ 2.6-2.8 eV）の光電特性を光触媒として使用するために分析しました。

Иванов А.В.、Смирнов К.А. прикладной химии、2016、89(4)：521-528。

言語：ロシア語

説明：複合材料用のナノタングステン粉末（粒径 30~70nm）を製造する電気化学的方法について報告する。

Müller, T.、Lang, P. Rückgewinnung von Wolfram aus Schrottmaterialien[J]。メタル、2015、69(3)：145-152。

言語：ドイツ語

説明：持続可能な開発を促進するために、タングステン廃棄物からタングステン粉末をリサイクルする技術（回収率 93%）を研究しました。

Петров В.И. Нанесение вольфрамовых покрытий для электроники [J]。34-40。

言語：ロシア語

説明：電子放出用のタングステンコーティング（厚さ 50 nm）をアーク蒸着するプロセスについて説明します。

D.5 国際規格および技術報告書

GB/T 3458-2006. タングステン粉末[S]。北京：中華人民共和國標準化管理局、2006 年。

言語：中国語

説明：タングステン粉末の化学組成と物理的特性を規定する中国の国家規格。

ASTM B777-15. タングステンベース高密度金属の標準仕様[S]。ペンシルベニア州ウェストコンショホッケン：ASTM International、2015 年。

言語：英語

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

説明：高密度タングステン合金の性能要件を定義する ASTM 規格。

ISO 18119:2018. 硬質金属用途向けタングステン合金粉末[S]. ジュネーブ：国際標準化機構、2018 年。

言語：英語

説明：超硬合金用タングステン合金粉末の技術仕様を規定した ISO 規格。

ワールドタングステンレポート 2020[R]. ロンドン：ロスキル・インフォメーション・サービス、2020 年。

言語：英語

説明：タングステン粉末の供給、需要、アプリケーションの傾向を分析した、世界のタングステン市場レポート。

参考ウェブサイト：China Tungsten Online news.chinatungsten.com



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

付録 E:

タングステン粉末安全ガイド (MSDS)
タングステン粉末材料の安全係数仕様
タングステン粉末の化学物質安全データシート

文書名: タングステン粉末安全データシート (MSDS)

製造元: CTIA GROUP LTD

リリース日: 2025 年 4 月 9 日 バージョン番号: 1.0 適用範囲: この MSDS は、CTIA GROUP LTD が製造するタングステン粉末（純度 $\geq 99.9\%$ 、粒子サイズ 0.5-50 ミクロン）に適用され、安全な操作と緊急時の処置をガイドするために使用されます。

1. 化学物質および企業の識別

製品名: タングステンパウダー

化学名: タングステン (W)

CAS 番号: 7440-33-7

分子式: W

分子量: 183.84 g/mol

メーカー: CTIA GROUP LTD

住所: 中国福建省廈門市思明区ソフトウェアパーク 2、望海路 25 号 3 階

連絡先: +86 592 512 9696

ファックス: +86 592 512 9797

メールアドレス: sales@chinatungsten.com

緊急連絡先: +86 592 512 9595 (24 時間緊急対応)

2. 危険の概要

GHS 分類 (化学品の分類および表示に関する世界調和システム):

可燃性固体 (カテゴリー 2、H228: 微粉末は空気中で自然発火する可能性がある)

急性毒性 (吸入、カテゴリー 4、H332: 粉塵を吸入すると有害となる可能性がある)

危険有害性情報:

H228: 微粒子は空気中で自然発火することがある。

H332: 吸入すると有害となる場合があります。呼吸器への刺激を引き起こす可能性があります。

警告語: 警告

ピクトグラム: 炎の記号 (可燃性)、感嘆符 (健康被害)

その他の潜在的な危険:

高濃度の粉塵を長期間吸入すると、肺の炎症や慢性肺疾患 (塵肺症など) を引き起こす可能性があります。

非発がん性 (IARC によって既知または可能性のある発がん性物質としてリストされていません)。

3. 組成/成分情報

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

化学組成:

要素	CAS 番号	質量パーセント (%)
タングステン (W)	7440-33-7	≥99.9
酸素 (O)	-	≤0.05
鉄 (Fe)	7439-89-6	≤0.005
ニッケル (Ni)	7440-02-0	≤0.003
その他の不純物	-	≤0.04

注: 具体的な不純物含有量はバッチごとに若干異なる場合がありますので、詳細については製品テストレポートを参照してください。

4. 応急処置

吸入:

被害者を新鮮な空気のある場所に移動し、気道を開いたままにしてください。

呼吸が困難な場合は、酸素を投与し、すぐに医師の診察を受けてください。

皮膚接触:

露出した部分を石鹸と多量の水で少なくとも 15 分間洗ってください。

刺激や不快感が生じた場合は医師に相談してください。

アイコンタクト:

直ちに流水または生理食塩水で少なくとも 15 分間洗い流し、まぶたを持ち上げて完全に洗浄してください。

刺激が続く場合は医師の診察を受けてください。

摂取:

吐かせないように水で口をすすいでください。

すぐに医師の診察を受け、この MSDS または製品ラベルを提示してください。

医療スタッフは、対症療法と呼吸器症状および肺損傷の可能性への注意を推奨します。

5. 消火対策

可燃性: 微細なタングステン粉末 (<10 μm) は自然発火したり、空気中で発火する恐れがあります。

適切な消火剤: 乾燥粉末(D 級金属消火剤など)、乾燥砂、または二酸化炭素。

使用禁止の消火剤: 水、泡(激しい反応や爆発を引き起こす可能性があります)。

特別な火災の危険性: 燃焼すると、刺激性の酸化タングステン (WO₃) 煙が放出される可能性があります。

消防士の保護: 煙や粉塵の吸入を避けるために、自給式呼吸装置 (SCBA) と全身耐火服を着用してください。

消火方法: 火元を隔離し、火点を乾燥粉末で覆い、粉塵の拡散を防ぎます。

6. 漏れの緊急処置

個人用保護具: 防塵マスク (NIOSH N95 以上)、保護手袋、保護ゴーグルを着用してください。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

環境に関する注意事項： 環境汚染を避けるために、粉塵が水域や下水道に流入するのを防ぎます。

緊急措置：

少量のこぼれ： ほこりを避けるために、静電気防止用具（木製またはプラスチック製のシャベルなど）を使用して密閉容器に集めてください。

大量の流出： 流出した場所を隔離し、乾燥した砂または不活性物質で覆い、掃除機（HEPA フィルター付き）を使用して清掃します。

清掃後の処理： 二次汚染を防ぐため、収集した廃棄物は地方自治体の規制に従って処分してください。

7. 取り扱いと保管

安全な操作：

ほこりがたまらないように換気の良い場所で作業してください。

火花による自然発火を防ぐために、静電気防止用の機器や工具を使用してください。

粉塵の吸入や皮膚との接触を避けるため、取り扱った後は手を洗ってください。

保管条件：

密閉された乾燥した容器に入れて、涼しく換気の良い倉庫に保管してください。

火気、熱源、酸化剤（塩素、硝酸など）から遠ざけてください。

保管温度： 5〜35° C、相対湿度 <70%。

8. 暴露管理/個人保護

暴露限界：

OSHA PEL（米国）： 5 mg/m³（タングステンおよびその不溶性化合物、8 時間 TWA）。

ACGIH TLV（米国）： 3 mg/m³（吸入可能粒子、8 時間 TWA）。

中国 GBZ： 6 mg/m³（総粉塵、8 時間 PC-TWA）。

工学的制御： 局所排気システムまたは防塵カバーを使用して、職場の空気の質が基準を満たしていることを確認します。

個人用保護具：

呼吸器の保護： 粉塵濃度が基準を超える場合は、NIOSH 認定の N95 または P100 防塵マスクを着用してください。

手の保護： 耐摩耗性のゴムまたは PVC 手袋。

目の保護： 密閉ゴーグル（EN 166 または NIOSH 規格に準拠）。

個人用保護具： 埃の付着を防ぐための帯電防止作業服。

9. 物理的および化学的性質

外観： 灰色または銀灰色の粉末

臭い： 無臭

融点： 3422°C

沸点： 5555°C

密度： 19.25 g/cm³（20° C）

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

溶解性：水に不溶、強酸（硝酸など）にわずかに溶ける

粒子サイズ範囲：0.5～50 μm（ブランドによって異なります）

見かけ密度：2.5～6.0 g/cm³

引火点：該当なし（微粉末は自然発火する可能性がある）

爆発限界：明確なデータなし、粉塵雲は爆発の危険性がある可能性がある

10. 安定性と反応性

安定性：室温では安定していますが、高温では酸化されて WO₃ を形成する可能性があります。

高温、火花、静電気、湿気の多い環境を避けてください。

不適合物質：強力な酸化剤（例：三フッ化臭素、五フッ化ヨウ素、硝酸）。

危険な反応：微粉末は酸化剤と接触すると火災や爆発を引き起こす可能性があります。

分解生成物：高温燃焼により酸化タングステン（WO₃）の煙が発生します。

11. 毒性情報

急性毒性：

LD50（経口、ラット）：>2000 mg/kg（明らかな毒性なし）。

LC50（吸入、ラット、4時間）：>5 mg/L（低毒性）。

皮膚刺激：明らかな刺激はありませんが、長期間接触すると軽い乾燥を引き起こす可能性があります。

眼の刺激：粉塵は機械的刺激を引き起こす可能性があります。

呼吸器過敏症：高濃度を吸入すると咳や呼吸困難を引き起こす可能性があります。

発がん性：IARC では発がん性物質として記載されておらず、NTP では発がん性物質の可能性のある物質として特定されていません。

慢性の影響：高濃度の粉塵を長期間吸入すると肺線維症を引き起こす可能性があります。

12. 生態学的情報

生態毒性：顕著な水生毒性データなし（水に不溶）。

残留性および分解性：非分解性、無機物。

生体蓄積性：生体蓄積性はありません。

移動性：粉塵は風によって拡散する可能性があり、液体環境では移動性が低いです。

環境に関するアドバイス：大気や水への粉塵の排出を避けてください。

13. 廃棄

廃棄方法：

廃棄タングステン粉末を密閉容器に集めて、資格のある廃棄物処理業者に引き渡してください。

リサイクル可能（例：金属リサイクル業者に販売）。

注記：

埋め立て地や下水道に直接投棄することは避けてください。

現地の環境法および規制（中国の固形廃棄物による環境汚染の防止および制御に関する法律

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

など）を遵守します。

14. 配送情報

国連番号：UN 3178（可燃性固体、無機）

出荷名：タングステン粉末

危険等級：クラス 4.1（可燃性固体）

包装等級：III（低危険度）

配送要件：

防湿・帯電防止包装（二重ビニール袋＋鉄樽など）を使用してください。

輸送中は高温多湿を避けてください。

国際規制：IATA、IMDG、ADR の要件に準拠します。

15. 規制情報

中国の規制：

「中国危険化学品目録」（2015 年版）：危険化学品としては記載されていないが、可燃性固体として管理する必要がある。

既存化学物質目録（IECSC）：すでに含まれています。

米国の規制：

OSHA：29 CFR 1910.1200（危険有害性情報伝達基準）によって規制されています。

TSCA：毒性物質規制法に記載されています。

EU 規制：

REACH：登録済み、EINECS リストに準拠（EC No. 231-143-9）。

その他：GHS 分類および表示要件に準拠します。

16. その他の情報

作成手順：この MSDS は、CTIA GROUP LTD が既存のデータと技術的知識に基づいて作成しました。指定された製品にのみ適用され、他の物質との混合物には適用されません。

免責事項：本データシートは参考用です。適用性についてはユーザーご自身で判断してください。CTIA GROUP LTD は、不適切な使用による損害について一切責任を負いません。

改訂記録：これはオンライン電子版の最初のリリースであり、以前のバージョンはありません。

お問い合わせ：ご質問がある場合は、sales@chinatungsten.com までお問い合わせいただくか、+86 592 512 9696 までお電話ください。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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



付録：F タングステン粉末関連用語集（中国語、英語、日本語、韓国語、ドイツ語、ロシア語）

この用語集は、タングステン粉末に関する用語を網羅的に整理し、超微粒タングステン粉末、微粒タングステン粉末など、各種タングステン粉末、特性、製造方法、応用分野、安全管理、誘導体などを網羅しています。また、中国語、英語、日本語、韓国語、ドイツ語、ロシア語の 6 言語版を提供しています。用語は分野別に分類されており、実用性と国際性を確保しています。

F.1 基本概念とプロパティ

中国語	英語	日本語	韓国語	ドイツ語	ロシア	定義/説明
タングステン粉末	タングステン粉末	タングステン粉末	テストブルマ	ウルフラムプルバー	П о р о з о к В о л ь ф р а м а	金属タングステンでできた微粒子で、通常は 0.5 ～ 50 ミクロンの大きさで、粉末冶金やエレクトロニクス産業で使用されます。
超微粒子タングステン粉末	超微粒子タングステン粉末	超微粒子タングステンパウダー	シュミセルテストブルマ	ウルトラファイブズ・ウルフラムプルバー	У л ь т р а т о н к и й п о р о з о к В о л ь ф р	粒径が 0.1～1 ミクロンのタングステン粉末は比表面積が高く、高精度の用途に適しています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

中国語	英語	日本語	韓国語	ドイツ語	ロシア	定義/説明
					а м а	す。
微細タン グステン 粉末	微細タン グステン 粉末	ファイン タングス テンパウ ダー	ミ ス テスタ ー ブ ルマ	ファインズ・ウ ルフラムプル ヴァー	М е л к и й п о р о с о к В о л ь ф р а м а	粒子サイズが 1 ～ 10 ミクロンのタン グステン粉末は、 粉末冶金やカウン ターウェイト材料 によく使用されま す。
ナノタン グステン 粉末	ナノタン グステン パウダー	ノナタン グステ ンパウダ ー	ナ ノ テスタ ー ブ ルマ	ナノウルフラン ブルバー	Н а н о - п о р о с о к В о л ь ф р а м а	粒子サイズが 100 ナノメートル未満 のタングステン粉 末は活性が高く、 ナノテクノロジー や触媒に適してい ます。
粗タン グステン 粉末	粗タン グステン 粉末	粗いタン グステ ン粉末	조대 테스타 ー 브 르마	グローブス・ウ ルフラムプル バー	Г р у б ы й п о р о з о к В о л ь ф р а м а	粒子径 10～50 ミク ロンのタングステ ン粉末は、溶接や 粗粒子製品に使用 されます。
球状タン グステン 粉末	球状タン グステン 粉末	球状タン グステ ンパウダ ー	グ ー 테스타 ー 브 르마	スフェリシエス ・ウルフラムブ ルヴァー	С ф е р и ч е с к и й п о р о з о к В о л ь ф р а м а	球状タングステン 粉末は流動性が良 好で、3D プリント やスプレー塗装に よく使用されます 。
非晶質タ ングステ ン粉末	非晶質タ ングステ ン粉末	アモルフ アスタン グステ ンパウダ ー	2 테스 타 ー 블르마	アモルフェス・ ウルフラムプル バー	А м о р ф н ы й п о р о з о к В о л ь ф р а м а	明確な結晶構造を 持たないタングス テン粉末は、特殊 コーティングや複 合材料に使用され ます。
純度	純度	純度	스도르	ラインハイト	チェストタ	タングステン粉末 中のタングステン 含有量の割合。通 常 99.9% 以上。
密度	密度	密度	발도르	ディヒテ	プラグノスタ	タングステン粉末 の質量対体積比の 理 論 値 は 19.25

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

中国語	英語	日本語	韓国語	ドイツ語	ロシア	定義/説明
						g/cm ³ です。
融点	融点	融点	ユジョ ン	シュメルツポ イント	Темпер атура плавле ния	標準大気圧下でタ ングステン粉末が 液体になる温度は 3422° C です。
沸点	沸点	沸点	2	ジーデプンクト	Темпер атура кипени я	タングステン粉末 が昇華してガス化 する温度は 5555° C です。
比表面積	比表面積	比表面積	2	一日を過ごす	Удельн ая поверх ность	タングステン粉末 の単位質量あたりの 表面積は通常 50 〜150m ² /g（ナノメ ートルレベル）です 。
見かけ密度	見かけ密度	密度を見る	ゴール バルドル	シャインディヒ テ	Кажуща яся плотност ь	自然な積み重ね状 態のタングステン 粉末の密度は 2.5〜 6.0 g/cm ³ です。
フィッシャー粒子 サイズ	フィッシャー粒子 サイズ	発泡粒子 サイズ	ピョー シェ 2 クック	フィッシャー ケルン	Размер частиц по Физеру	フィッシャー法で 測定したタングス テン粉末の平均粒 子径は通常 0.5〜 50 μm です。
流動性	流動性	流動性	2	高く飛ぼう	テクチェス	標準条件下でタン グステン粉末が漏 斗を通過する能力 。50 グラムあたりの 秒数で表されま す。
結晶構造	結晶構造	結晶構造	ゴール 国王	結晶構造	Кристал личес кая струк тура	の結晶形態は通常 、体心立方（BCC） です。
硬度	硬度	硬度	ゴド	ハート	トヴェルドス	HV 300-500 などの

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

中国語	英語	日本語	韓国語	ドイツ語	ロシア	定義/説明
					チュ	タングステン粉末 またはその製品の 変形抵抗。

F.2 調製方法

中国語	英語	日本語	韓国語	ドイツ語	ロシア	定義/説明
水素還元法	水素還元	水素還元 法	2 ホー ルベル	水の削減	В о с с т а н о в л е н и е В о д о р о д о м	タングステン粉 末は、通常 800 ～ 1200° C の 温度で、酸化タ ングステンを水 素で還元するこ とによって製造 されます。
蒸着法	蒸着	気相蒸発 法	기상 2	気相操作	П а р о ф а з н о е о с а ж д е н и е	ナノタングステ ン粉末は、気体 タングステン化 合物の堆積によ って生成され、 高精度の用途で よく使用されま す。
プラズマ法	プラズマ法	プラズマ 法	플라 즈마 메 타 블	プラズマメー ター	П л а з м е н н ы й м е т о д	超微細タングス テン粉末は、タ ングステン前駆 体の高温プラズ マ分解によって 製造されます。 この方法は収率 は高いですが、 エネルギー消費 量も高くなります。
水熱法	水熱法	水熱法	2 헤 스 데	水熱技術	Г и д р о т е р м а л ь н ы й м е т о д	タングステン粉 末は高温高压水 溶液で製造され るため、環境に 優しく、ナノス ケールに適して

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

中国語	英語	日本語	韓国語	ドイツ語	ロシア	定義/説明
						います。
炭素熱還元	炭素熱還元	炭素削減法	테소 열 홀 벨	カーボサーミ アの償還	К а р б о т е р м и ч е с к о е в о с с т а н о в л е н и е	炭化タングステ ン粉末は、高温 で炭素により酸 化タングステ ンを還元すること によって製造さ れます。
電気化学的 還元	電気化学的 還元	電気化学 的還元	2. 호드 러벨	電気工学レッ ド	Э л е к т р о х и м и ч е с к о е в о с с т а н о в л е н и е	タングステン粉 末はタングステ ン酸溶液を電気 分解して製造さ れ、ナノスケ ールおよび純度制 御に適していま す。
レーザー誘 起分解	レーザー誘 起分解	革誘導分 解法	2 유도 러블 브 데	レーザー産業 レーザーグ	Л а з е р н о - и н д у ц и р о в а н н о е р а з л о ж е н и е	レーザーはタン グステン前駆体 を分解し、低エ ネルギー消費で 超微粒子または ナノタングステ ン粉末を調製す るために使用さ れます。
スプレー熱 分解	スプレー熱 分解	スプレー 熱分解法	블룸 2	スプリューパ イロリゼ	Р а с п ы л е н и е с п и р о л и з о м	タングステン溶 液を噴霧し、高 温で分解して、 生物学的用途に 適した多孔質の タングステン粉 末を生成しま す。

F.3 応用分野

中国語	英語	日本語	韓国語	ドイツ語	ロシア	定義/説明
粉末冶金	粉末冶金	粉末冶金	블룸 2	バルバー治 金	П о р о з к о в а я м е т а л	タングステン 棒やタングス テン板などの

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

中国語	英語	日本語	韓国語	ドイツ語	ロシア	定義/説明
					л у р г и я	タングステン 製品は、タン グステン粉末 を圧縮・焼結 して作られま す。
超硬合金	硬質合金	超硬合金	ゲージ フック	ハートメタ ル	彼らのスプ ラウ	炭化タングス テン粉末を主 成分とした耐 摩耗性材料で 、切削工具や ドリルビット などに使用さ れます。
重量材	カウンター ウェイト素 材	カウンター ウェイト素 材	2	素材	Проти вовес ный матер иал	高密度のタン グステン粉末 は、釣りのお もりやゴルフ クラブなどの 重りを作るの に使われます 。
光電気触媒	光電気触媒	光触媒	2 シュ マ	光電気	Фотоэ лектр оката лиз	タングステン 粉末(WO ₃ など)を使用して 、水を分解し たり、汚染物 質を分解した ります。
量子技術	量子技術	量子技術	2 ゴー ル	量子技術	Квант овая техно логия	ナノタングス テン粉末の超 伝導性(ドーピ ング後、Tc は 10 K に達する)を利用して量 子ビットを作 成します。
フレキシブル	フレキシブ	フレキシブ	ビュロ	フレキシブ	Гибка	タングステン

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

中国語	英語	日本語	韓国語	ドイツ語	ロシア	定義/説明
エレクトロニクス	ルエレクトロニクス	ルエレクトロニクス	シブ 2	ルエレクトロニクス	я э л е к т р о н и к а	粉末とポリマー複合材料を使用して、電気伝導率 10^{-5} S/m の柔軟な電極を製造します。
宇宙探査	宇宙探査	宇宙探査	2 タサ	福祉	И с с л е д о в а н и е к о с м о с а	タングステン粉末は、95% の遮断率を持つ放射線遮蔽材料の製造に使用されます。
積層造形	積層造形	アディティブ製造	ジュウ 2	添加剤施肥	А д д и т и в н о е п р о и з в о д с т в о	複雑な形状の部品を準備するには、3D プリント用のタングステン粉末を使用します。
耐摩耗コーティング	耐摩耗コーティング	耐摩耗コーティング	ナマミコイン	Verschleiß feste Beschichtung	И з н о с о с т о й к о е п о к р ы т и е	耐摩耗層は、硬度 HV1600〜2000 の炭化タングステン粉末を噴霧することによって形成されます。
バイオテクノロジー	バイオテクノロジー	バイオテクノロジー	韓国語	バイオテクノロジー	ベットフエア	ナノ酸化タングステン粉末は抗菌コーティングや薬剤送達に使用され、抗菌率は 99% です。

F.4 セキュリティと管理

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

中国語	英語	日本語	韓国語	ドイツ語	ロシア	定義/説明
可燃性固体	可燃性固体	可燃性固体	韓国語 고체	ブレーバーラー・フエストストフ	Горючий твердый материал	微細なタングステン粉末（＜10 μm）は空気中で自然発火する可能性があり、GHS クラス 4.1 危険物に分類されます。
粉塵爆発	粉塵爆発	粉塵爆発	2 볼	シュタウブ爆発	もっと見る	タングステンの粉塵雲は、密閉された空間で火災が発生すると爆発する恐れがあり、静電気防止処理が必要となります。
呼吸器保護具	呼吸器保護	呼吸器保護具	호 보호	保護	Респираторная защита	タングステン粉塵の吸入を防ぐために防塵マスク（N95 など）を使用してください。
暴露限界	露出限界	露出限界	2 韓国語	展示会の見どころ	Предел воздействия	OSHA PEL などの職場のタングステン粉塵濃度制限は 5 mg/m ³ です。
リサイクル	リサイクル	ライク	2	リサイクル	ペレラ・ボトカ	タングステン廃棄物からのタングステン粉末の回収率は 90% ～ 95% に達します。
安全データシート	安全データシート（SDS）	安全データシート	2 데이터	データシート	Паспорт безопасности	この MSDS など、タングステン粉末の安全な使用に関するガイダンスを提供します。
静電気防止	帯電防止	静電気防止	2 2	チンチン反国家主義	Антистатический	タングステン粉末の自然発火や爆発を防ぐため、静電気の蓄積を防止します。
漏水処理	流出処理	漏水処理	2 2	レケージハンドリング	Обработка утечек	タングステン粉末が漏れた場合の応急処置として、乾いた砂で覆い、密閉して回収する。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

F.5 化学成分および誘導体

中国語	英語	日本語	韓国語	ドイツ語	ロシア	定義/説明
酸化タングステン	酸化タングステン	酸性酸化タングステン	サンファテストター	ウルフラモキシド	開いた本	WO ₃ 、黄色の粉末、バンドギャップ 2.6–2.8 eV、オプトエレクトロニクスおよびセンシングに使用されます。
二酸化タンステン	二酸化タンステン	二酸化タンステン	2 タス	二酸化ウルフラム	Диоксид вольфрама	WO ₂ 、タングステン粉末を製造するための中間生成物、茶色の粉末。
炭化タングステン	炭化タングステン	炭化タングステン	ティファステター	タングスターバイド	Карбид вольфрама	WC、硬度 HV 1600–2000、超硬合金に使用されます。
炭化タングステン	二タングステン	二酸化炭素	イテフガター	ジウルフラムカルビド	Дикарбиди-борид	W ₂ CはWCよりも硬度がわずかに低く、耐摩耗コーティングに使用されます。
六フッ化タングステン	六フッ化タングステン	六フッ化タングステン	2 タス	六フッ化タングステン	Гексафторид вольфрама	気体化合物である WF ₆ は、タングステン膜を堆積するために使用されます。
タングステン酸	タングステン酸	タングステン酸	テスターサン	ヴォルフラムザル	Вольфрамовая кислота	H ₂ WO ₄ 、タングステン粉末の製造工程における中間生成物。
タングステン酸アンモニウム	タングステン酸アンモニウム	タングステン酸アンモニウム	テスターアモド	アンモニウムウルフラメート	Тунгстат аммония	(NH ₄) ₂ WO ₄ は、タングステン粉末の製造に一般的に使用される前駆物質である。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

中国語	英語	日本語	韓国語	ドイツ語	ロシア	定義/説明
		ム				
タングステン酸トリウム	タングステン酸トリウム	タングステム	テスター・サトウル	ウルフラメートナトリウム	トウングスタトゥ・ナトリティア	Na ₂ WO ₄ 、水熱法でタングステン粉末を製造するための原料。
タングステン合金	タングステン合金	タングステン合金	テスターフック	ヴォルフラムレギエリング	スブラーヴ・ヴォルフラマ	W-Ni-Fe など、密度 17 ～ 18.5 g/cm ³ 、カウンターウェイトやシールドに使用されます。
ドープングステン粉末	ドープングステン粉末	ドープングステンパウダー	ドピエスターブルマ	ドピエスター・ヴォルフラムブルヴァー	Допированный поронок вольфрама	モリブデンやコバルトなどの元素を添加して超伝導性を高めるなど、性能を向上させたタングステン粉末。

CTIA GROUP LTD
Tungsten Powder Introduction

1. Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's traditional tungsten powder complies with the GB/T 3458-2006 "Tungsten Powder" standard and is prepared using a hydrogen reduction process. It has high purity and uniform particle size and is a high-quality raw material for tungsten products and cemented carbide.

2. Tungsten Powder Characteristics

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.9\%$, oxygen content ≤ 0.20 wt% (fine particles ≤ 0.10 wt%), and extremely low impurities.

Accurate particle size: Fisher particle size 0.4-20 μm , 6 levels to choose from, with a deviation of only $\pm 10\%$.

Excellent performance: bulk density 6.0-10.0 g/cm^3 , uniform grains, excellent sinterability.

Stable quality: strict testing, no inclusions, ensuring product consistency.

3. Tungsten Powder Specifications

Brand	Fisher particle size (μm)
FW-1	0.4-1.0
FW-2	1.0-2.0
FW-3	2.0-4.0
FW-4	4.0-6.0
FW-5	6.0-10.0
FW-6	10.0-20.0

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner sealed plastic bag, outer iron drum, net weight 25kg or 50kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition and particle size data, and the shelf life is 12 months.

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

For more information about tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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 LTD
Spherical Tungsten Powder Product Introduction

1. Overview of Spherical Tungsten Powder

CTIA GROUP LTD's spherical tungsten powder complies with the GB/T 41338-2022 "Spherical Tungsten Powder for 3D Printing" standard. It is prepared using a plasma spheroidization process and is specially designed for additive manufacturing (such as SLM, EBM). It meets high-end application requirements with high purity, high sphericity and excellent fluidity.

2. Excellent Properties of Spherical Tungsten Powder

Ultra-high purity: tungsten content $\geq 99.95\%$, oxygen content $\leq 0.05 \text{ wt}\%$, and extremely low impurities.

High sphericity: $\geq 90\%$, uniform particles, excellent powder spreading performance.

Precise particle size: D50 range 5-63 μm , stable distribution, deviation $\pm 10\%$.

Excellent fluidity: $\leq 25 \text{ s/50g}$, bulk density $\geq 9.0 \text{ g/cm}^3$, ensuring printing efficiency.

3. Specifications of Spherical Tungsten Powder

Brand	D50 particle size (μm)
SWP-15	5-15
SWP-25	15-25
SWP-45	25-45
SWP-63	45-63

In addition to basic specifications, parameters such as particle size and purity can be customized according to customer needs.

4. Spherical Tungsten Powder Packaging and Quality Assurance

Packaging: Inner vacuum aluminum foil bag, outer iron drum, net weight 5kg or 10kg, moisture-proof and shock-proof.

Warranty: Each batch comes with a quality certificate, including chemical composition, particle size distribution and sphericity data, and the shelf life is 12 months.

5. Contact Information of CTIA GROUP LTD

Email: sales@chinatungsten.com

Tel: +86 592 5129696

For more information about spherical tungsten powder, please visit the website of CTIA GROUP LTD (www.ctia.com.cn)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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 LTD

Introduction of High Purity Tungsten Powder

1. High Purity Tungsten Powder Overview

CTIA GROUP LTD's high-purity tungsten powder is produced using a high-purity tungsten oxide hydrogen reduction process. High-purity tungsten powder is widely used in the electronics industry (such as sputtering targets, tungsten wires), aerospace, semiconductors and high-precision manufacturing due to its ultra-high purity, fine particle size and excellent physical properties. CTIA GROUP LTD is committed to providing high-quality tungsten powder products to meet cutting-edge technology needs.

2. High Purity Tungsten Powder Features

- Chemical composition: Tungsten (W), high purity metal powder.
- Purity: ≥99.99% (4N), with extremely low impurity content.
- Appearance: Grey or dark grey powder, uniform color.
- Ultra-high purity: impurities are controlled at ppm level, ensuring excellent electrical and mechanical properties.
- Fine particles: The particle size can reach 0.1-5 μm, which can meet high-precision applications.
- Low oxygen content: oxygen content ≤ 0.02%, improving sintering performance and material stability.

3. High Purity Tungsten Powder Specifications

Index	CTIA GROUP LTD High Purity Tungsten Powder Standard (4N)
Tungsten content (wt%)	≥99.99
Impurities (wt%, max)	Fe≤0.0010, Mo≤0.0010, Si≤0.0005, Al≤0.0005, Ca≤0.0005, Mg≤0.0005, Na≤0.0010, K≤0.0010, O≤0.0200, C≤0.0050, N≤0.0020, P≤0.0005, S≤0.0005
Water content (wt%)	≤0.02
Particle size (μm, FSSS)	0.1-5.0 (superfine 0.1-1.0, fine 1.0-5.0)
Bulk density (g/ cm³)	4.5-6.5
Particle size	Provide ultra-fine (0.1-1.0 μm) and fine (1.0-5.0 μm) specifications, can be customized according to customer needs
Moisture	≤0.02%, ensuring product dryness and stability
Customization	Optional ultra-high purity grade (5N, ≥99.999%), with further reduction of impurities (e.g. O≤0.01%)

4. Packaging and Quality Assurance

- Packaging: Inner sealed vacuum aluminum foil bag, outer iron barrel or plastic barrel, net weight 5kg, 10kg or 25kg, moisture-proof and oxidation-proof.
- Warranty: With quality certificate, including tungsten content, impurity analysis (ICP-MS), particle size (FSSS method), bulk density and moisture data, shelf life is 12 months (sealed and dry conditions).

5. Procurement Information

- Email: sales@chinatungsten.com Tel: +86 592 5129696
- For more tungsten powder information, please visit China Tungsten Online website (www.tungsten-powder.com)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



1

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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