

タングステンセメントカーバイド
物理的・化学的特性、プロセス、応用に関する総合的な探究
(IV)

中钨智造科技有限公司
CTIA グループ株式会社

CTIA グループ株式会社
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

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。ハンス博士は、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

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



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



パート 2: 超硬合金の製造プロセス

第 4 章 原料の選択と粉末調製

タングステンセメントカーバイドは、硬質相として炭化タングステン（WC）を、結合相としてコバルト（Co）またはニッケル（Ni）を用いて粉末冶金法で製造されます。その特性（硬度 HV 1500~2500±30、靱性 K_{1c} 820 MPa·m^{1/2} ± 0.5、圧縮強度 >4000 MPa±100 MPa）は、原材料の品質と粉末製造プロセスに直接依存します。原材料の選択と粉末製造はセメントカーバイド製造の基本であり、微細構造（WC 粒子径 0.110 μm±0.01 μm、Co 分布均一性 >95%±1%）と最終性能（熱伝導率 80~120 W/m·K±5 W/m·K、耐食性 pH 212）を決定します。

この章では、プロセスパラメータ、科学的原理、影響要因、最適化戦略、エンジニアリングアプリケーションを網羅し、タングステンカーバイド粉末の合成、結合相と添加剤の選択、粉末前処理技術、粉末特性評価方法を詳細に分析します。

粉末調製においては、WC 粒子径（0.110 μm±0.01 μm）、純度（遊離炭素 <0.1%±0.01%）、結合相特性（Co/Ni 純度 >99.8%±0.01%）、粉末流動性（1316 秒/50g±0.5 秒）を精密に制御することで、焼結密度（>99%±0.1%）と性能の安定性（硬度偏差 <±30 HV）を確保する必要があります。例えば、サブミクロン WC 粉末（<0.5 μm±0.01 μm）は、工具の硬度を HV 2300±30 まで高め、航空機切削寿命を 15 時間±1 時間に延長することができます。高純度 Co 粉末（>99.9%±0.01%）はドリルビットの靱性を高め（ K_{1c} > 18 MPa·m^{1/2} ± 0.5）、採掘寿命は 1200 m±100 m を超えます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

第3章の性能は、WC 硬度（HV 2000 - 3000±50）の起源と Co 靱性（ K_{1c} 1520 MPa・m^{1/2} ± 0.5）の寄与を通じて、その後の成形と焼結（第5章）の理論的およびプロセス的基礎を提供した。

4.0 超硬合金の種類と原材料および補助材料の概要

超硬合金は、炭化タングステン（WC）を硬質相とし、コバルト（Co）またはニッケル（Ni）を結合相とする高性能複合材料です。切削工具、金型、耐摩耗部品などの分野で広く使用されています。用途や性能特性の違いにより、超硬合金は一般型（YG シリーズ）、耐熱・耐摩耗型（YT シリーズ）、高靱性・耐衝撃型（YW シリーズ）、ニッケル基超硬合金（YN シリーズ）、高エントロピー合金型、積層造形用特殊型などに分けられます。原料と補助材料の種類と配合比率は、超硬合金の種類と製造プロセスによって異なります。一般的には、主原料、補助原料、補助材料の3つに分けられます。これらの材料の選択と使用は、製品の品質とプロセスの一貫性を確保するために、関連規格に厳密に従う必要があります。

4.0.0 主な超硬合金の種類

次の表には、さまざまな適用シナリオとプロセス要件を反映して、主なセメント炭化物の種類とその特性、プロセス要件、適用分野、および準拠する標準が詳細に示されています。

タイプ	主な成分と特徴	プロセス要件	応用分野	標準要件
YG シリーズ	WC と Co を主成分とし、カーボンブラックを添加、高硬度、高靱性	不純物の混入を防ぐため、焼結雰囲気と温度を厳密に制御する	切削工具（旋削工具、フライスカッターなど）	GB/T 5314-2011 のサンプリング要件に準拠し、GB/T 26048-2010 の焼結プロセスに従います。
YT シリーズ	TiC を添加すると、成形性、耐高温性、耐摩耗性を向上させるためにパラフィン潤滑が必要になります。	不純物を避けるために焼結雰囲気と温度を制御する	高速切断（鋼材加工など）	GB/T 5314-2011 のサンプリング要件に準拠し、GB/T 26048-2010 の焼結プロセスに従います。
YW シリーズ	TaC および/または NbC を含み、アルゴン保護が必要であり、靱性と高温性能の両方を備えています。	アルゴン雰囲気の純度を確保し、温度を正確に制御します	大型金型（スタンピング金型など）	GB/T 5314-2011 のサンプリング要件に準拠し、GB/T 26048-2010 の焼結プロセスに従います。
YN シリーズ	Co を Ni に置き換え、TiN を添加することで優れた耐食性を実現	酸化を防ぐために焼結雰囲気と温度を制御する	耐腐食環境（化学装置など）	GB/T 5314-2011 のサンプリング要件に準拠し、GB/T 26048-2010 の焼結プロセスに従います。
高エントロピー合金	複数の元素の組み合わせ（Cr、V、Mo、W、Ta など）は、均一性を確保するために正確な混合と HIP プロセスが必要です。	正確な比率、HIP 焼結には制御された高圧（50~100 MPa）が必要	極端な環境（高温、高圧条件など）	GB/T 5314-2011 のサンプリング要件に準拠し、GB/T 26048-2010 の焼結プロセスに従います。
積層造	ガスアトマイズ法で製造された球状粉	ガスアトマイゼーション	積層造形部品（例）	GB/T 5314-2011 のサンプリング

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

タイプ	主な成分と特徴	プロセス要件	応用分野	標準要件
形	末で、性能向上のため表面処理剤が添加されている。	ンプロセス、雰囲気と温度の厳格な管理	航空宇宙部品	要件に準拠し、GB/T 26048-2010 の焼結プロセスに従います。
説明する	すべてのタイプは、パッチの一貫性を確保するために GB/T 5314-2011 のサンプリング標準に従う必要があり、焼結プロセスは GB/T 26048-2010 に従って実行され、不純物の混入を避けるために雰囲気と温度の正確な制御が重視されます。			

4.0.1 超硬合金の主原料

主原料は超硬合金の中核となる成分であり、その機械的特性と耐用年数に直接影響を及ぼします。以下は主原料の概要です。

タングステンカーバイド（WC、タングステンカーバイド）:

機能: 硬質相として、非常に高い硬度 (> 2000 HV) と耐摩耗性を提供し、総組成の 70% ~ 94% (wt %) を占めます。

:純度≥99.8%、粒径 0.2-5 μm (細粒 0.2-0.5 μm、粗粒 > 2 μm)。

適用範囲: 全超硬合金種。

コバルト粉末（Co、コバルト粉末）:

機能: 伝統的な結合相として、靱性と曲げ強度を向上させます。含有量は通常 6%~25% (重量%) です。

仕様: 純度≥99.9%、粒子サイズ 1~5 μm。

適用範囲: YG、YT、YW シリーズおよび高エントロピー合金。

ニッケル粉末

機能: 耐腐食性結合相としてのコバルトの代替として、耐酸化性を高めます。含有量は 5% ~ 20% (重量%)。

仕様: 純度≥99.9%、粒子サイズ 1~5 μm。

適用範囲: YN シリーズおよび積層造形タイプ。

その他の炭化物:

炭化物（TiC）

耐高温性と耐クレーター摩耗性を向上させます。含有量は 5%~20% (重量%)、純度は

99.5%以上、粒子サイズは 0.5~2 μm で、YT および YN シリーズに適しています。

炭化物（TaC）/炭化ニオブ（NbC）

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

高温強度と変形耐性を強化し、含有量は 2%～10%（重量%）、純度は 99.5%以上、粒子サイズは 0.5～3 μm で、YW シリーズおよび高エントロピー合金に適しています。

4.0.2 補助原料

補助原料は、性能を最適化したり、特定のプロセス要件に適合したりするために使用されます。グレードや用途に応じて柔軟に選択できます。

カーボンアジャスター:

カーボンブラック

(Co_3 W_3 C) または遊離炭素の形成を防ぐために炭素バランスを制御します。含有量は 0.1% ～ 0.5% (wt %)、純度は 99% 以上、粒子サイズは 1 μm 未満で、すべてのタイプ（特に液相焼結）に適しています。

黒鉛

炭素源として、炭素含有量を 0.1%～0.3%（重量%）、純度 $\geq$ 99.5%、粒子サイズ 1～5 μm に調整し、YG シリーズおよび添加剤製造粉末に適しています。

希土類元素:

セリウム (Ce) /ランタン (La)

結晶粒を微細化し、曲げ強度を向上させます。含有量は酸化物の形で 0.1～0.5%（重量%）、純度は 99.9%以上です。YG6F、YN6F などの細粒鋼種に適しています。

窒化物/ホウ化物

窒化物 (TiN) /ホウ化タングステン (WB): 表面硬度と耐食性を向上させます。含有量は 1%～5%（重量%）、純度は 99.5%以上、粒子サイズは 0.5～3 μm で、YT、YN シリーズおよび積層造形に適しています。

4.0.3 賦形剤

補助材料は準備と焼結プロセスをサポートし、プロセスの制御性と製品品質を保証します。

潤滑剤:

ステアリン酸

混合およびプレス流動性を改善します。含有量は 0.5% ～ 2% (重量%)、工業グレード、純度 $\geq$ 95%、あらゆるプレス工程に適しています。

パラフィンワックス

成形体の強度を高め、含有量は 1%～3%（重量%）、融点は 50～60℃で、複雑な形状の成

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

形体に適しています。

溶媒:

エタノール/アセトン

湿式混合分散媒体、洗浄、乾燥に使用され、分析グレード、濃度 $\geq 99.5\%$ 、すべての湿式混合および添加剤製造後処理に適しています。

雰囲気ガス:

水素 (H_2) / アルゴン (Ar) / 窒素 (N_2)

酸化を防ぐために還元雰囲気または不活性雰囲気を提供します。純度は 99.99% を超え、YG/YT (水素)、YW/YN/HIP (アルゴン)、TiN 合金 (窒素) に適しています。

フラックス (オプション):

ホウ酸 (H_3BO_3) : 焼結温度を下げます。含有量は $0.1\% \sim 0.5\%$ 、分析グレードで、微粒子や高エントロピー合金に適しています。

4.0.4 原材料および補助材料の詳細表

次の表には、さまざまなタイプの超硬合金 (ニッケル基超硬合金 YN シリーズを含む) に必要なすべての原材料と補助材料が体系的にリストされており、仕様、機能、適用範囲が網羅されています。

カテゴリ	材料	仕様	効果	適用可能なタイプ
主な原材料	炭化タングステン (WC)	純度 99.8% 以上、 粒子径 $0.2 \sim 5 \mu m$	硬質相は、高硬度と耐摩耗性を提供し、含有量は $70\% \sim 94\%$ (重量%)	すべてのタイプ (YG、YT、YW、YN、高エントロピー、積層造形)
	コバルト粉末 (Co)	純度 99.9% 以上、 粒子径 $1 \sim 5 \mu m$	バインダー相は靱性と曲げ強度を高め、含有量は $6\% \sim 25\%$ (重量%)	YG ($6\% \sim 15\%$)、YT ($6\% \sim 10\%$)、YW ($8\% \sim 12\%$)、高エントロピー
	ニッケル粉末 (Ni)	純度 99.9% 以上、 粒子径 $1 \sim 5 \mu m$	耐腐食性結合相、耐酸化性の向上、含有量は $5\% \sim 20\%$ (重量%)	YN シリーズ (YN6、YN8 など)、積層造形
	炭化チタン (TiC)	純度 99.5% 以上、 粒子径 $0.5 \sim 2 \mu m$	耐高温性と耐クレーター摩耗性を向上させる。含有量 $5\% \sim 20\%$ (重量%)	YT シリーズ (YT15、YT30 など)、YN シリーズ
	炭化タンタル (TaC) / 炭化ニオブ (NbC)	純度 99.5% 以上、 粒子径 $0.5 \sim 3 \mu m$	高温強度と変形耐性を向上、含有量 $2\% \sim 10\%$ (重量%)	YW シリーズ (YW1、YW2 など)、高エントロピー合金
補助原料	カーボンブラック (C)	純度 99% 以上、 粒子径 $1 \mu m$ 未満	炭素バランスを制御し、 η 相の形成を防ぎます。含有量 $0.1\% \sim 0.5\%$ (重量%)	すべてのタイプ (特に液相焼結)
	黒鉛	純度 99.5% 以上、 粒子径 $1 \sim 5 \mu m$	炭素源として、炭素含有量を $0.1\% \sim 0.3\%$ (重量%) に調整する	YG シリーズ、積層造形用粉末
	希土類元素	酸化物形態、純度	粒子を微細化し、曲げ強度を向上させる。	細粒グレード (YG6F、YN6F など)

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

カテゴリ	材料	仕様	効果	適用可能なタイプ
	(Ce/La)	≥99.9%	含有量 0.1%～0.5% (重量%)	
	窒化チタン (TiN) / ホウ化タングステン (WB)	純度 99.5%以上、 粒子径 0.5 ～ 3 μm	表面硬度と耐食性を向上させる。含有量 1%～5% (重量%)	YT、YN シリーズ、積層造形
賦形剤	ステアリン酸	工業用グレード、 純度≥95%	混合およびプレス流動性を向上させる、含有量 0.5%～2% (重量%)	すべてのプレス工程
	パラフィンワックス	融点 50～60℃	成形体の強度を高める、含有量 1%～3% (重量%)	複雑な形状のブランク
	エタノール/アセトン	分析グレード、濃度≥99.5%	湿式混合分散媒体、洗浄および乾燥	すべての湿式混合、積層造形
	水素 (H ₂) / アルゴン (Ar) / 窒素 (N ₂)	純度>99.99%	酸化を防ぐための還元雰囲気または不活性雰囲気	全焼結工程 (水素: YG、YT、アルゴン: YW、YN、HIP、窒素: TiN 合金)
	ホウ酸 (H ₃ BO ₃)	分析グレード	フラックス、焼結温度を下げる、含有量 0.1%～0.5% (重量%)	微粒子、高エントロピー合金
特殊加工材料	球状化剤 (PVA など)	工業用グレード	粉末の球形度を向上させる、含有量 0.1%～0.5% (重量%)	積層造形 (GB/T 34505-2017)
	TiCl ₄ 、CH ₄ など	高純度	コーティング炭化物用	コーティング超硬 (YT、YN シリーズ)

注: この表には、製造プロセスの包括性と適切性を確保するために、仕様、機能、適用範囲など、さまざまなタイプの超硬合金に必要な原材料と補助材料が記載されています。

4.1 炭化タングステン粉末 (WC) の物理的・化学的性質と製造

炭化タングステン (WC) は超硬合金の中核成分であり、質量分率は 70%～95%±1%です。その優れた物理的・化学的特性は、超硬合金の全体的な性能を直接的に決定づけます。WC 粉末は、高硬度 (HV 2000～3000±50)、高融点 (2870℃±10℃)、優れた化学的安定性 (抗酸化エンタルピー<800 kJ/mol±20 kJ/mol)、優れた耐摩耗性と耐腐食性を備えています。WC 粉末の製造では、航空工具 (切削速度> 300 m/分±10 m/分)、鉋業用ドリルビット (圧縮強度> 200 MPa±10 MPa)、耐摩耗性金型 (押し出し寿命> 10⁶ 回±10⁵ 回) などのハイエンド用途のニーズを満たすために、粒子サイズ (0.1-10 μm±0.01 μm)、純度 (遊離炭素 <0.1%±0.01%、酸化物 <0.05%±0.01%) および形態 (多角形、エッジ <0.05 μm±0.01 μm) の厳格な制御が必要です。

炭化法は、成熟した技術、高い収率 (1 バッチあたり 10 トン超±1 トン)、そして 90%±2% を超える市場シェアを誇り、WC 粉末の主な合成方法となっています。さらに、プラズマ法、メカノケミカル法、化学蒸着法 (CVD) といった新興技術が、特定の粒子サイズや性

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

能要件を満たすために現代のプロセスに導入されています。炭化法で製造されるタングステンカーバイド（WC）粉末の合成方法は、主に以下の通りです。

従来の炭化法:

タングステン粉末（W）とカーボンブラック（C）を $1450\sim 1600^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ の高温で反応させて WC を生成します。通常は水素（ H_2 、流量 $50\text{L}/\text{分}\pm 5\text{L}/\text{分}$ ）または真空（ $<10^{-2}\text{Pa}\pm 10^{-3}\text{Pa}$ ）で反応します。グラファイト炉（出力 $>100\text{kW}\pm 10\text{kW}$ ）を使用し、大気雰囲気下で加熱します。加熱速度は $5\sim 10^{\circ}\text{C}/\text{分}\pm 0.5^{\circ}\text{C}/\text{分}$ 、保温時間は $2\sim 4$ 時間 ± 0.1 時間です。高収率（ $>10\text{t}/\text{バッチ}\pm 1\text{t}$ ）の大規模生産に適しています。

回転炉炭化法:

伝統的な炭化法をベースに、回転炉（回転速度 $5\text{rpm}\pm 0.5\text{rpm}$ ）を使用し、動的混合によって粒度の均一性（偏差 $<5\%\pm 1\%$ ）を向上させ、凝集（ $<5\%\pm 1\%$ ）を低減します。これは、サブミクロン WC（ $<0.5\mu\text{m}\pm 0.01\mu\text{m}$ ）の製造に適しています。

低温炭化法:

$<1200^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ で反応し、再生可能な炭素源（バイオチャールなど）と組み合わせ、添加剤（VC、 Cr_3C_2 など）を通じて粒成長（ $<0.1\mu\text{m}\pm 0.01\mu\text{m}$ ）を制御します。ナノスケールの WC 粉末に適しており、エネルギー消費を $20\%\pm 5\%$ 削減します。

これらの方法はすべて、純度（遊離炭素 $<0.1\%\pm 0.01\%$ ）と粒度分布（偏差 $<5\%\pm 1\%$ ）を確保するために、W:C 比（ $1:1.02\pm 0.01$ ）、雰囲気（ $\text{O}_2 <10\text{ppm}\pm 1\text{ppm}$ ）、および冷却速度（ $>50^{\circ}\text{C}/\text{分}\pm 5^{\circ}\text{C}/\text{分}$ ）を制御する必要があります。

このセクションでは、WC 粉末の物理的および化学的特性、製造プロセス（主に炭化法）、粒子サイズと粒度分布の重要性と制御技術、純度の最適化、および複数の分野への応用効果を総合的に分析します。

4.1.0 炭化タングステン粉末の物理的特性と化学的性質

炭化タングステン粉末（WC）の物理的特性

超硬合金の中核成分であるタングステンカーバイド粉末（WC）の物理的特性は、超硬合金の性能を直接決定づけます。以下では、WC 粉末の結晶構造、密度（嵩密度とタップ密度）、融点、熱伝導率、熱膨張係数、形態、その他の関連特性など、WC 粉末の物理的特性について包括的に説明します。

（1）炭化タングステン粉末の結晶構造

結晶タイプ

WC 粉末は六方結晶系に属し、その空間群は $P6_m2$ （186）である。

格子パラメータ:

$$a = 0.2906\text{ nm} \pm 0.0001\text{ nm}$$

$$c = 0.2837\text{ nm} \pm 0.0001\text{ nm}$$

c/a 比は約 0.976 であり、格子の等方性が高いことを示しています。

ユニットセル特性

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

各ユニットセルには1つのWC分子が含まれています。タングステン(W)原子と炭素(C)原子は六方最密充填構造で配列しています。W原子は六角柱の頂点と中心に位置し、C原子は六角柱の隙間を埋めることで、安定な共有結合-イオン結合-金属混合結合を形成しています。

結晶の安定性

WCは六方構造により、特に高温高压条件 ($>1000^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 、 $>200\text{ MPa} \pm 10\text{ MPa}$) 下で優れた変形耐性を発揮し、格子歪み率は $<0.01\% \pm 0.001\%$ であるため、過酷な環境での用途に適しています。

(2) 炭化タングステン粉末の密度

理論密度: $15.63\text{ g/cm}^3 \pm 0.05\text{ g/cm}^3$ 、理論上の最大値に近く、WC原子の密接な配置を反映しています。

炭化タングステン粉末の見かけ密度:

定義: 自然な積み重ね状態における粉末の密度。粒子の積み重ね効率を反映します。

値: $6.0 \sim 8.0\text{ g/cm}^3 \pm 0.2\text{ g/cm}^3$ (GB/T 1479.1-2011)、粒子サイズと形態により異なります。

サブミクロン WC ($0.1 \sim 0.5\text{ }\mu\text{m} \pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$) : 微粒子間の隙間が大きいため、嵩密度は低くなります ($6.0 \sim 6.5\text{ g/cm}^3 \pm 0.2\text{ g/cm}^3$)。

ミクロングレード WC ($1 \sim 5\text{ }\mu\text{m} \pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$) : 嵩密度 $6.5 \sim 7.5\text{ g/cm}^3 \pm 0.2\text{ g/cm}^3$ 。

粗い WC ($5 \sim 10\text{ }\mu\text{m} \pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$) : 粒子がより密集しているため、かさ密度が高くなります ($7.5 \sim 8.0\text{ g/cm}^3 \pm 0.2\text{ g/cm}^3$)。

影響: 嵩密度は、成形体の初期密度に影響します。細粒 WC では、流動性 ($<30\text{ 秒}/50\text{g} \pm 2\text{ 秒}$ 、GB/T 1482-2010) を向上させるために、潤滑剤 (パラフィンなど) を添加する必要があります。

炭化タングステン粉末のタップ密度:

定義: 振動後の粉体の密度 (振動数 $60\text{ 回/分} \pm 5\text{ 回/分}$) であり、粒子の最大充填効率を反映します。

値: $8.5 \sim 10.5\text{ g/cm}^3 \pm 0.2\text{ g/cm}^3$ (GB/T 5162-2014)。

サブミクロン WC: $8.5 \sim 9.0\text{ g/cm}^3 \pm 0.2\text{ g/cm}^3$ 。

ミクロングレード WC: $9.0 \sim 10.0\text{ g/cm}^3 \pm 0.2\text{ g/cm}^3$ 。

粗 WC: $10.0 \sim 10.5\text{ g/cm}^3 \pm 0.2\text{ g/cm}^3$ 。

影響: タップ密度は焼結後の密度に近くなります ($>99\% \pm 0.1\%$)。また、タップ密度が高いと焼結収縮が減少します ($<15\% \pm 2\%$)。

実際の密度: 焼結後の測定密度は $15.50 \sim 15.60\text{ g/cm}^3 \pm 0.05\text{ g/cm}^3$ (GB/T 3850-2015

排水方法) であり、純度 (遊離炭素 $<0.1\% \pm 0.01\%$ 、酸化物 $<0.05\% \pm 0.01\%$) および多孔度 ($<0.05\% \pm 0.01\%$) の影響を受けます。

用途の重要性: 高い嵩密度とタップ密度により、プレスおよび焼結プロセスの均一性が保証され、超硬合金の高い圧縮強度と耐衝撃性がサポートされます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

（3）炭化タングステン粉末の融点

融点：2870℃±10℃。WC は常圧下では溶融せず、W と C に分解します。分解温度は融点に近くなります。

高温安定性：2000℃±10℃ で格子熱膨張は<0.5%±0.1%、重量減少率は<0.01%±0.002%/h であり、高温切断(>1000℃±10℃) および耐摩耗コーティング用途に適しています。

分解挙動：真空または還元雰囲気(H₂)では、分解速度は<0.001 mg/cm²・h ± 0.0002 mg/cm²・h であり、化学的に安定していることを示しています。

（4）炭化タングステン粉末の熱伝導率

熱伝導率：84 W/(m・K) ±5 W/(m・K)、純タングステン(174 W/(m・K) ±5 W/(m・K)) よりわずかに低いですが、ほとんどのセラミック材料よりは優れています。

温度依存性：25～1000℃±10℃の範囲では、温度の上昇とともに熱伝導率は緩やかに低下し(約10%±2%)、1000℃±10℃でも75 W/(m・K) ±5 W/(m・K)を維持します。

用途の重要性：高い熱伝導率により、熱を素早く放散し、高速切削(>300 m/分±10 m/分)時の工具や金型への熱ダメージを軽減し、耐用年数を延ばします(>12 時間±1 時間)。

（5）炭化タングステン粉末の熱膨張係数

線膨張係数：5.2×10⁻⁶ K⁻¹ ± 0.2×10⁻⁶ K⁻¹ (25-1000℃±10℃)。

温度依存性：1000℃±10℃では膨張率は<0.52%±0.02%であり、これは鋼鉄の膨張率(12×10⁻⁶ K⁻¹ ± 0.5×10⁻⁶ K⁻¹)よりもはるかに低いため、高温でも寸法安定性が確保されます。

マッチング：熱膨張係数は Co (5.0×10⁻⁶ K⁻¹ ± 0.2×10⁻⁶ K⁻¹) または Ni (6.0×10⁻⁶ K⁻¹ ± 0.2×10⁻⁶ K⁻¹) 結合相の熱膨張係数に近いこと、焼結後の残留応力が低減します(<50 MPa±10 MPa)。

（6）炭化タングステン粉末の形態

粒子形態：WC 粉末は多角形またはほぼ球形で、エッジは<0.05 μm±0.01 μm、表面粗さ Ra <0.1 μm±0.02 μm (SEM 観察)。

形態学的影響：

多角形の形態により、粒子の接触面積(>90%±2%)が増加し、焼結結合強度(>400 MPa±10 MPa)が向上します。

微細エッジにより凝集が低減し(<5%±1%)、流動性が向上し(<30 s/50 g±2 s、GB/T 1482-2010)、積層造形に適しています。

製造の影響：炭化法(1450～1600℃±10℃)では、鋭い角を持つ多角形の粒子が生成されます。プラズマ法では、ほぼ球形の粒子(真円度>0.9±0.01)が生成されます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

（7）炭化タングステン粉末の比表面積

比表面積：粒子サイズに応じて $0.5 \sim 5 \text{ m}^2/\text{g} \pm 0.2 \text{ m}^2/\text{g}$ 。

サブミクロン WC ($0.1 \sim 0.5 \text{ }\mu\text{m} \pm 0.01 \text{ }\mu\text{m}$) : 比表面積 $> 3 \text{ m}^2/\text{g} \pm 0.2 \text{ m}^2/\text{g}$ 。

ミクロン WC ($1 \sim 5 \text{ }\mu\text{m} \pm 0.01 \text{ }\mu\text{m}$) : 比表面積 $1 \sim 2 \text{ m}^2/\text{g} \pm 0.2 \text{ m}^2/\text{g}$ 。

測定方法：BET 法 (GB/T 19587-2017)、吸着量 $< 0.5 \text{ cm}^3/\text{g} \pm 0.05 \text{ cm}^3/\text{g}$ 。

応用意義：比表面積が大きいため、焼結活性が向上し (収縮率 $> 15\% \pm 2\%$)、超硬合金の密度が向上します ($> 99\% \pm 0.1\%$)。

（8）炭化タングステン粉末の電気的特性

抵抗率： $0.2 \text{ }\mu\Omega \cdot \text{m} \pm 0.02 \text{ }\mu\Omega \cdot \text{m}$ (25°C)、温度が $1000^\circ \text{C} \pm 10^\circ \text{C}$ に上昇すると約 $20\% \pm 2\%$ 増加します。

電気伝導性：セラミック材料 (抵抗率 $> 10^6 \text{ }\mu\Omega \cdot \text{m}$) よりも優れ、金属タングステン ($0.05 \text{ }\mu\Omega \cdot \text{m} \pm 0.01 \text{ }\mu\Omega \cdot \text{m}$) に近いので、EDM に適しています。

用途：EDM 加工において、表面粗さ $Ra < 1 \text{ }\mu\text{m} \pm 0.2 \text{ }\mu\text{m}$ 、精度 $< 0.01 \text{ mm} \pm 0.002 \text{ mm}$ 。

（9）炭化タングステン粉末のその他の特性

磁性：WC 自体は非磁性ですが、Co と混合すると弱い磁性 (飽和磁化強度 $< 0.1 \text{ A} \cdot \text{m}^2/\text{kg} \pm 0.01 \text{ A} \cdot \text{m}^2/\text{kg}$) を示し、不純物の磁気分離が容易になります。

光沢：灰黒色の金属光沢、反射率 $< 20\% \pm 2\%$ ($400 \sim 700 \text{ nm}$)、目視検査に使用されます。

吸湿性：吸湿率 $< 0.01\% \pm 0.002\%$ (25°C 、 $50\% \text{ RH}$)、密閉容器に保管する必要があります。

炭化タングステン粉末の特性とその用途

結晶構造と熱伝導率：六方晶系と高い熱伝導率により、耐摩耗性金型 (変形 $< 0.01 \text{ mm} \pm 0.002 \text{ mm}$) と高温コーティング ($> 1000^\circ \text{C} \pm 10^\circ \text{C}$) をサポートします。

密度と熱膨張係数：高いタップ密度と低い熱膨張率により、焼結性能が最適化され (密度 $> 99\% \pm 0.1\%$)、積層製造部品の品質が向上します ($Ra < 5 \text{ }\mu\text{m} \pm 1 \text{ }\mu\text{m}$)。

形態と比表面積：多角形の形態と高い比表面積により焼結活性が向上し、切削工具に適しています ($> 300 \text{ m/分} \pm 10 \text{ m/分}$)。

粒子サイズの相関関係：細粒 WC ($< 0.5 \text{ }\mu\text{m} \pm 0.01 \text{ }\mu\text{m}$) は圧縮密度を向上させますが、粗粒 WC ($5 \sim 10 \text{ }\mu\text{m} \pm 0.01 \text{ }\mu\text{m}$) は積み重ね効率を高めます。

炭化タングステン粉末の物理的特性の試験および管理

測定方法と基準：

密度

GB/T 3850-2015 理論密度、

GB/T 1479.1-2011 嵩密度、

GB/T 5162-2014 タップ密度、

結晶構造 (XRD、GB/T 27708-2011)、

形態学 (SEM、GB/T 16594-2008)。

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

管理基準

粒子サイズの偏差は $<5\% \pm 1\%$ (GB/T 19077.1-2008)、純度は密度に影響し、遊離炭素は $<0.1\% \pm 0.01\%$ に保つ必要があります。

炭化タングステン粉末の物理的特性としては、六方構造 ($a=0.2906 \text{ nm} \pm 0.0001 \text{ nm}$ 、 $c=0.2837 \text{ nm} \pm 0.0001 \text{ nm}$)、密度 (ゆるい状態で $6.0 \sim 8.0 \text{ g/cm}^3 \pm 0.2 \text{ g/cm}^3$ 、タップ状態で $8.5 \sim 10.5 \text{ g/cm}^3 \pm 0.2 \text{ g/cm}^3$ 、理論値 $15.63 \text{ g/cm}^3 \pm 0.05 \text{ g/cm}^3$)、融点 ($2870^\circ \text{C} \pm 10^\circ \text{C}$)、熱伝導率 ($84 \text{ W/(m} \cdot \text{K)} \pm 5 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$)、低熱膨張係数 ($5.2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \pm 0.2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$)、多角形形態(辺長 <0.05 超硬合金は、粒径 ($\mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$) と優れた電気特性を有しています。これらの特性により、航空工具、鉋山用ドリル、耐摩耗性金型、積層造形などの分野で優れた性能を発揮します。粒子サイズと純度を変えることで性能が最適化され、超硬合金の応用における確固たる基盤を提供します。

炭化タングステン粉末(WC)の化学的性質

超硬合金の主成分である炭化タングステン粉末(WC)の化学的性質は、工業用途におけるその安定性と耐久性に重要な役割を果たします。以下は、科学的データと工業応用標準(GB/T 5124-2017 など)に基づき、WC粉末の化学的性質について包括的に説明するものです。化学的安定性、耐食性、耐酸化性、反応性、その他の関連する化学的性質を網羅しています。現在の日時は 2025 年 5 月 22 日 14 時 12 分 (香港時間) です。

(1) 炭化タングステン粉末の化学的安定性

室温安定性

WC は室温 ($25^\circ \text{C} \pm 2^\circ \text{C}$) で非常に高い化学的安定性を示し、ほとんどの化学物質とは反応せず、分解率は $<0.0001 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{h} \pm 0.00002 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{h}$ です。

酸と塩基の安定性

pH 2~12 の溶液 (HCl、NaOH など) では、腐食速度は $<0.001 \text{ mm/年} \pm 0.0002 \text{ mm/年}$ であり、酸およびアルカリ環境に対する優れた耐性を示します。

高温安定性

$600^\circ \text{C} \pm 10^\circ \text{C}$ 未満の無酸素環境下では、WC は表面に顕著な化学変化を起こさずに安定を保ちます (重量減少率: $0.005\% \pm 0.001\%/\text{h}$ 未満)。不活性雰囲気 (Ar、 N_2 など、純度: $99.99\% \pm 0.01\%$ 超) 下では、 $2000^\circ \text{C} \pm 10^\circ \text{C}$ まで安定性を維持できます。

(2) 炭化タングステン粉末の耐食性

酸性環境

希酸 ($10\% \text{HCl}$ または H_2SO_4 、pH 2 ± 0.1 など) 中では、WC の腐食速度は $<0.001 \text{ mm/年} \pm 0.0002 \text{ mm/年}$ であり、表面に明らかなピットはありません (SEM 観察、ピットの深さ $<0.01 \mu\text{m} \pm 0.002 \mu\text{m}$)。

アルカリ性環境

$10\% \text{NaOH}$ 溶液 (pH 12 ± 0.1) では、腐食速度は $<0.002 \text{ mm/年} \pm 0.0005 \text{ mm/年}$ であり、優れた耐アルカリ性を示しています。

生理食塩水

$3.5\% \text{NaCl}$ 溶液 (模擬海水環境) では、腐食速度は $<0.003 \text{ mm/年} \pm 0.0005 \text{ mm/年}$ であり、耐

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

腐食環境（化学装置など）に適しています。

アプリケーションの重要性

WC 粉末は優れた耐腐食性を備えているため、化学ポンプシールなどの酸性またはアルカリ性の条件下での耐摩耗部品に適しています（耐用年数 > 5000 時間 ± 500 時間）。

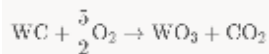
（３）炭化タングステン粉末の酸化性

抗酸化能

WC の耐酸化エンタルピーは $<800 \text{ kJ/mol} \pm 20 \text{ kJ/mol}$ であり、 $<600^\circ \text{C} \pm 10^\circ \text{C}$ （酸化速度 $<0.01 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{h} \pm 0.002 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{h}$ ）の空気中ではほとんど酸化されません。

高温酸化

空気中 $>600^\circ \text{C} \pm 10^\circ \text{C}$ では、WC は次の反応式に従ってゆっくりと酸化され WO_3 （黄色酸化物）を形成します。



$600^\circ \text{C} \pm 10^\circ \text{C}$

酸化速度: $0.01\text{--}0.05 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{h} \pm 0.005 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{h}$ 、酸化層の厚さ: $<0.1 \text{ } \mu\text{m} \pm 0.02 \text{ } \mu\text{m}$ 。

$1000^\circ \text{C} \pm 10^\circ \text{C}$

酸化速度は $0.5 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{h} \pm 0.05 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{h}$ に増加し、酸化層の厚さは $1\text{--}2 \text{ } \mu\text{m} \pm 0.2 \text{ } \mu\text{m}$ であった。

雰囲気制御

還元雰囲気 (H_2 、 $\text{O}_2 < 10 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$) または真空 ($<10^{-2} \text{ Pa} \pm 10^{-3} \text{ Pa}$) では、酸化速度は $<0.001 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{h} \pm 0.0002 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{h}$ となり、高温処理に適しています。

アプリケーションの重要性

高温酸化環境（例えば、 $600^\circ \text{C} \pm 10^\circ \text{C}$ を超える空気）への長期曝露は避けてください。寿命を延ばすために、コーティング（TiN など）や不活性雰囲気（Ar など）による保護が一般的に用いられます。

（４）炭化タングステン粉末の反応性

強力な酸化剤入り

H_2 などと反応して WO_3 を生成し、反応速度は濃度と温度の上昇とともに増加します。

$25^\circ \text{C} \pm 2^\circ \text{C}$ 、10% HNO_3 : 反応速度 $<0.01 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{h} \pm 0.002 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{h}$ 。

$80^\circ \text{C} \pm 2^\circ \text{C}$ 、30% HNO_3 : 反応速度 $0.1\text{--}0.5 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{h} \pm 0.05 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{h}$ 。

金属付き

高温焼結 ($>1200^\circ \text{C} \pm 10^\circ \text{C}$) 中、WC はバインダー相 (Co、Ni など) と反応して固溶体 ($\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$ または $\text{Ni}_3\text{W}_3\text{C}$ など) を形成します。反応の程度は雰囲気によって制御されます。

水素雰囲気 (H_2) : 反応速度 $<0.1\% \pm 0.02\%/\text{h}$ 、生成される η 相 ($\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$) の割合は $<0.5\% \pm 0.1\%$ です。

真空雰囲気: 反応速度が $<0.05\% \pm 0.01\%/\text{h}$ に低下し、 η 相の形成が減少します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

非金属の場合

WC は高温で炭素 (C) と反応して W_2C (硬度が低い、 $HV < 2000 \pm 50$) を生成するため、炭素含有量を制御する必要があります (W: C モル比 1: 1.02 ± 0.01)。

アプリケーションの重要性

焼結プロセス中は、性能低下を避けるために、雰囲気 ($O_2 < 10 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$) と炭素含有量 (遊離炭素 $< 0.1\% \pm 0.01\%$) を厳密に制御する必要があります。

(5) 炭化タングステン粉末の化学結合特性

結合の種類: WC の WC 結合は、結合エネルギーが約 $8.6 \text{ eV} \pm 0.1 \text{ eV}$ の共有結合-イオン結合-金属混合結合です。

結合長: WC 結合長は $0.219 \text{ nm} \pm 0.001 \text{ nm}$ であり、高い結合強度と化学的安定性が得られます。

電子構造: W の 5d 軌道と C の 2p 軌道が混成して強力な共有結合を形成し、電子密度が約 $0.8 \text{ e}/\text{\AA}^3 \pm 0.05 \text{ e}/\text{\AA}^3$ (DFT 計算) となり、高い硬度と耐腐食性が得られます。

用途の重要性: 強力な結合特性により、極端な化学環境でも WC の安定性が確保され、耐腐食性の高いツール (化学金型など) に適しています。

(6) 炭化タングステン粉末の表面化学活性

表面エネルギー: WC 粉末の表面エネルギーは $1.5 \sim 2.0 \text{ J/m}^2 \pm 0.2 \text{ J/m}^2$ (BET 法で計算) であり、粒子サイズが小さくなるにつれて増加します。

サブミクロンレベル ($0.1 \sim 0.5 \text{ }\mu\text{m} \pm 0.01 \text{ }\mu\text{m}$) : 表面エネルギー約 $2.0 \text{ J/m}^2 \pm 0.2 \text{ J/m}^2$ 。

マイクロメートルレベル ($1 \sim 5 \text{ }\mu\text{m} \pm 0.01 \text{ }\mu\text{m}$) : 表面エネルギー約 $1.5 \text{ J/m}^2 \pm 0.2 \text{ J/m}^2$ 。

吸着: WC 粉末の O_2 および H_2O に対する吸着は $0.01 \text{ mg/g} \pm 0.002 \text{ mg/g}$ 未満 (25°C 、 $50\% \text{ RH}$) であり、表面活性が低いことを示しています。

アプリケーションの重要性: 表面活性が低いと、保管中および処理中の粉末の酸化が軽減されます (酸化物 $< 0.05\% \pm 0.01\%$)。ただし、粒子の成長を制御するために表面エネルギーを低減するには添加剤 (VC、 $0.1\% \sim 0.5\% \pm 0.01\%$) が必要です。

(7) 炭化タングステン粉末のその他の化学的性質

ボラティリティ

WC は、 $< 2000^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ (揮発率 $< 0.001\% \pm 0.0002\%/h$) では明らかな揮発性がなく、 $> 2500^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ で分解し、CO と W 蒸気を揮発し始めます。

溶解度

水 (溶解度 $< 0.001 \text{ g/L} \pm 0.0002 \text{ g/L}$) およびほとんどの有機溶媒 (エタノール、アセトンなど) に不溶性で、溶解度は $< 0.002 \text{ g/L} \pm 0.0005 \text{ g/L}$ です。

毒性

WC 粉末は無毒 ($LD50 > 5000 \text{ mg/kg}$) ですが、微粒子 ($< 0.5 \text{ }\mu\text{m} \pm 0.01 \text{ }\mu\text{m}$) を吸入すると肺の炎症を引き起こす可能性があるため、保護具を着用する必要があります。

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

包括的な影響とアプリケーションの関連付け

化学的安定性と耐腐食性

高い安定性により、化学装置のシールなどの酸およびアルカリ環境での WC の適用をサポートします（寿命 > 5000 時間 ± 500 時間）。

酸化と反応性

高温酸化と η 相形成を制御する必要があり、航空工具などの不活性雰囲気下での高温処理（>1000° C ± 10° C）に適しています。

化学結合と表面活性

強力な結合と低い表面活性により、長期の保管安定性（酸化物 < 0.05% ± 0.01%）が保証され、耐摩耗コーティング（結合強度 > 70 MPa ± 5 MPa）に適しています。

環境適応性

低い溶解性と揮発性により、採掘ドリルビット（寿命 > 1000 m ± 100 m）など、さまざまな作業条件における WC の信頼性がサポートされます。

炭化タングステン粉末の検出と制御

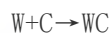
測定方法：腐食速度（GB/T 4335-2013）、酸化速度（GB/T 5124-2017 化学分析方法）、表面エネルギー（BET、GB/T 19587-2017）、揮発性（TG-DSC、GB/T 17137-1997）。

管理基準：遊離炭素 < 0.1% ± 0.01%、酸化物 < 0.05% ± 0.01%、雰囲気管理（O₂ < 10 ppm ± 1 ppm）。炭化タングステン粉末の化学的性質には、高い化学的安定性（腐食速度 < 0.001 mm/年 ± 0.0002 mm/年）、優れた耐腐食性（pH 2-12）、耐酸化性（< 600° C ± 10° C、酸化速度 < 0.01 mg/cm² · h ± 0.002 mg/cm² · h）、限られた反応性（ η 相と W₂C の形成を制御する必要がある）、強力な WC 結合（結合エネルギー ~ 8.6 eV ± 0.1 eV）、低い表面活性（表面エネルギー 1.5-2.0 J/m² ± 0.2 J/m²）、および低い揮発性と溶解性が含まれます。これらの特性により、化学装置、耐摩耗コーティング、航空ツール、鉱山ドリルで優れた性能を発揮し、化学的性質の最適化により、セメント炭化物の高性能な用途が保証されます。

炭化タングステン粉末の製造および調製 - 炭化調製プロセス（1450~1600° C）

プロセス原理

炭化法は、タングステン粉末（W）とカーボンブラック（C）を高温で反応させて WC を生成する、産業界で最も一般的に用いられる製造方法です。反応式は以下のとおりです：



反応は 1450~1600°C ± 10°C の高温で、通常は水素（H₂）または真空雰囲気下で行われます。熱力学的には、反応ギブス自由エネルギーは負（ $\Delta G < -38 \text{ kJ/mol} \pm 2 \text{ kJ/mol}$ ）であり、自発的な反応が保証されます。運動学的には、炭素原子が固体拡散（拡散係数 ~ $10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-11} \text{ cm}^2/\text{s}$ ）によってタングステン格子に入り込み、徐々に WC 粒子を形成します。

プロセスパラメータ：

原材料：

：純度 > 99.9% ± 0.01%、粒径 0.5-5 μm ± 0.01 μm。

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

径 $<0.1\mu\text{m}\pm 0.01\mu\text{m}$ 。

反応条件:

温度: $1450\sim 1600^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ 。

雰囲気: 水素 (H_2 、純度 $>99.99\%\pm 0.01\%$ 、流量 $50\text{ L/分}\pm 5\text{ L/分}$) または真空 ($<10^{-2}\text{ Pa}\pm 10^{-3}\text{ Pa}$)。

加熱速度: $5\sim 10^{\circ}\text{C/分}\pm 0.5^{\circ}\text{C/分}$ 。

保持時間: $2\sim 4\text{ 時間}\pm 0.1\text{ 時間}$ 。

装置:

グラファイト炉: 出力 $>100\text{kW}\pm 10\text{kW}$ 、耐熱性 $>1800^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ 。

固定炉または回転炉: 混合の均一性を向上させるために、回転炉の速度を $5\text{ rpm}\pm 0.5\text{ rpm}$ にします。

プロセス最適化:

温度選択:

$1450^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$: サブミクロン WC ($<0.5\mu\text{m}\pm 0.01\mu\text{m}$) を生成し、硬度が $5\%\pm 1\%$ 増加します ($\text{HV}>2900\pm 50$)。高精度工具に適しています。

$1600^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$: 粗 WC ($5\sim 10\mu\text{m}\pm 0.01\mu\text{m}$) を生成し、歩留まりが $10\%\pm 2\%$ ($>12\text{t/バッチ}\pm 1\text{t}$) 増加し、高靱性ドリルビットに適しています。

装備の改良:

回転炉は動的混合により粒度の均一性 (偏差 $<5\%\pm 1\%$) を向上させ、固定炉 (凝集率 $>10\%\pm 2\%$) よりも収率が $5\%\pm 1\%$ 向上します。

雰囲気コントロール:

水素雰囲気 ($\text{O}_2 < 10\text{ ppm}\pm 1\text{ ppm}$) は酸化 (酸化物 $<0.03\%\pm 0.01\%$) を抑制し、純度を $1\%\pm 0.2\%$ 増加させます。

真空雰囲気により炭素の揮発が低減し (損失 $<0.1\%\pm 0.01\%$)、収率が $2\%\pm 0.5\%$ 増加します。

影響要因の分析:

原材料比率:

W:C モル比は $1:1.02\pm 0.01$ に制御されています。炭素過剰 (>1.05) は遊離炭素 ($>0.2\%\pm 0.01\%$) を生じ、硬度が $3\%\pm 0.5\%$ ($\text{HV}<2700\pm 50$) 低下します。炭素不足 (<0.98) は W_2C (硬度 $\text{HV}<2000\pm 50$) を生じ、曲げ強度が $5\%\pm 1\%$ ($<3800\text{ MPa}\pm 100\text{ MPa}$) 低下します。

反応温度:

が最適範囲です。 $1650^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ を超えると、粒成長 ($>10\mu\text{m}\pm 0.01\mu\text{m}$) が誘発され、硬度が $5\%\pm 1\%$ 低下します。 $1400^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ 未満では、反応が不完全 (収率 $<95\%\pm 1\%$) となり、純度が $2\%\pm 0.5\%$ 低下します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

雰囲気コントロール:

水素雰囲気 ($O_2 < 10 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$) は酸化を効果的に抑制し、真空雰囲気は炭素の揮発を抑えます。

原料粒子サイズ:

タングステン粉末 $< 1 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ からは、硬度 $HV 3000 \pm 50$ のサブミクロン WC ($< 0.5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$) が生成されます。 $> 5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ からは、靱性が $10\% \pm 2\%$ ($K_{1c} > 18 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.5$) 増加した粗い WC ($5-10 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$) が生成されます。

装備性能:

回転炉 (速度 $5 \text{ rpm} \pm 0.5 \text{ rpm}$) では凝集が低減し ($< 5\% \pm 1\%$)、固定炉 (凝集 $> 10\% \pm 2\%$ 、純度低下 $1\% \pm 0.2\%$) よりも優れた結果となりました。

炭化タングステン粉末のエンジニアリング応用例:

航空ツール

$1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ 、水素雰囲気、回転炉プロセスにより、 $0.5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ の WC 粉末が生成されます。硬度は $HV 2950 \pm 50$ 、遊離炭素含有量は $0.08\% \pm 0.01\%$ です。Ti-6Al-4V 合金の切削 (1000°C 、切削速度 $> 200 \text{ m/min} \pm 10 \text{ m/min}$) に使用した場合、摩耗量はわずか $0.1 \text{ mm} \pm 0.02 \text{ mm}$ 、耐用年数は 12 時間 ± 1 時間です。

鉱山用ドリルビット

$1600^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ および真空雰囲気プロセスを使用して、 $5-10 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ の WC 粉末が生成されます。靱性 $K_{1c} > 20 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.5$ 、硬岩掘削 (圧縮抵抗 $> 200 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$) 寿命 $> 1000 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$ 。

耐摩耗性金型

$1-3 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ WC 粉末、硬度と靱性のバランスが取れており、冷間圧造ダイス ($> 10^5$ 回 $\pm 10^4$ 回) の変形は $< 0.01 \text{ mm} \pm 0.002 \text{ mm}$ です。

4.1.2 その他の調製方法

プラズマ方式:

原理: プラズマ高温 ($> 5000^\circ\text{C} \pm 100^\circ\text{C}$) を使用してタングステン粉末とメタン (CH_4) を反応させ、WC を生成します。

プロセスパラメータ:

プラズマ出力: $50 \sim 100 \text{ kW} \pm 10 \text{ kW}$ 。

雰囲気: アルゴン (Ar、純度 $> 99.99\% \pm 0.01\%$)。

冷却速度: $> 100^\circ\text{C/s} \pm 10^\circ\text{C/s}$ 。

利点: 高純度 (遊離炭素 $< 0.05\% \pm 0.01\%$) の超微細 WC ($0.1-0.3 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$) を生成し、ハイエンドの用途に適しています。

用途: 超硬工具 (PCB ドリルビットなど、穴径 $< 0.1 \text{ mm} \pm 0.01 \text{ mm}$)。

メカノケミカル法:

原理: タングステン粉末とカーボンブラックを機械的に反応させ、高エネルギーボールミ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ル処理（回転速度 300~500 rpm $\pm$ 10 rpm）により WC を生成します。

プロセスパラメータ:

ボールミル処理時間: 20~50 時間 $\pm$ 1 時間。

ボールと材料の比率: 10:1 ~ 20:1 $\pm$ 0.1。

利点: ナノスケールの WC ($<0.1 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$)、硬度 HV $>3100 \pm 50$ を生成できます。

用途: ナノコーティング（航空機ブレードの噴霧など、接着強度 $>80 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ ）。

化学蒸着法 (CVD):

原理: WC は、 $800 \sim 1000^\circ \text{C} \pm 10^\circ \text{C}$ での WF_6 と CH_4 の反応によって堆積されます。

プロセスパラメータ:

堆積速度: $0.1 \sim 0.5 \mu\text{m} / \text{分} \pm 0.01 \mu\text{m} / \text{分}$ 。

雰囲気: H_2 / Ar 混合ガス。

利点: 高純度（遊離炭素 $<0.03\% \pm 0.01\%$ ）、コーティングに適しています。

用途: 耐摩耗コーティング（航空タービンブレード、寿命 >5000 時間 ± 500 時間）。

4.1.3 炭化タングステン粉末の粒子径

炭化タングステン粉末 (WC) は超硬合金の核となる材料であり、その粒子径特性は超硬合金の性能と応用効果に直接影響を及ぼします。以下は、科学的データと業界標準 (GB/T 19077.1-2008 など) に基づき、粒子径の意味、範囲、分布、性能への影響、品質管理技術、検出方法について総合的に分析したものです。現在の日時は 2025 年 5 月 22 日 14:20 HKT です。

(1) 炭化タングステン粉末の粒子サイズの重要性

性能決定: WC 粉末の粒子サイズは、セメント炭化物の性能に影響を与える重要なパラメータであり、硬度、耐摩耗性、靱性、焼結挙動を直接決定します。

微粒子サイズ ($<0.5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$) により硬度 (HV $>3000 \pm 50$) と耐摩耗性が向上し、高精度加工に適しています。

粗い粒子サイズ ($5 \sim 10 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$) により靱性 ($K_{1c} > 20 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.5$) が向上し、衝撃の大きいシナリオに適しています。

加工適応性: 粒子径は粉末の流動性 ($<30 \text{ 秒}/50\text{g} \pm 2 \text{ 秒}$ 、GB/T 1482-2010) と成形性に影響します。細粒 WC は積層造形（表面粗さ $R_a < 5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$ ）に適しており、粗粒 WC は従来の焼結に適しています。

焼結性能: 均一な粒度分布（偏差 $<5\% \pm 1\%$ ）により焼結密度 ($>99\% \pm 0.1\%$) が保証され、多孔性 ($<0.05\% \pm 0.01\%$) が低減され、全体的な強度が向上します。

用途の適合: 航空ツール ($0.1 \sim 0.5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$) や鉱山用ドリルビット ($5 \sim 10 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$) など、用途によって特定の粒子サイズを適合させる必要があります。

(2) 炭化タングステン粉末の粒径範囲

全体の範囲: WC 粉末の粒子サイズは通常 $0.1 \sim 10 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ です。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

分類:

ナノスケール ($<0.1 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$) : 極めて高い硬度 ($\text{HV} > 3100 \pm 50$)、超精密加工に使用されます。

サブミクロングレード ($0.1 \sim 0.5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$) : 硬度 $\text{HV} 3000 \pm 50$ 、高精度工具に適しています。

ミクロングレード ($1 \sim 5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$) : 硬度 $\text{HV} 2500 \sim 2800 \pm 50$ 、靱性 $K_{1c} 15 \sim 20 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.5$ 、金型製造に適しています。

粗粒度 ($5 \sim 10 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$) : 靱性 $K_{1c} > 20 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.5$ 、鉋山用ドリルビットに適しています。

製造の影響: 粒子サイズの範囲は製造プロセスによって決まります。例えば、炭化法 ($1450 \sim 1600^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$) では $0.5 \sim 10 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ が生成され、機械化学法では $<0.1 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ が生成されます。

(3) 炭化タングステン粉末の粒度分布と品質

分布特性:

D10、D50、D90 を測定するために、レーザー粒度分析 (GB/T 19077.1-2008) が使用されました。

サブミクロンレベル: $D50 = 0.3 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 、 $D10 = 0.1 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 、 $D90 = 0.5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 。

ミクロンレベル: $D50 = 3 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 、 $D10 = 1 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 、 $D90 = 5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 。

粗グレード: $D50 = 8 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 、 $D10 = 5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 、 $D90 = 10 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 。

長所と短所の評価:

利点: 狭い分布 (偏差 $< 5\% \pm 1\%$)、均一な粒子、焼結後の高い密度 ($> 99\% \pm 0.1\%$)、優れた性能の一貫性。

デメリット: 分布が広い (偏差 $> 10\% \pm 2\%$)、粒子が不均一、焼結後の多孔度が増加 ($> 0.1\% \pm 0.02\%$)、性能の変動が大きい (硬度偏差 $> 100 \text{ HV}$ など)。

影響要因: 原料粒子サイズ (タングステン粉末 $< 0.5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$)、反応時間 (2~4 時間 ± 0.1 時間)、冷却速度 ($> 50^\circ\text{C}/\text{分} \pm 5^\circ\text{C}/\text{分}$)。

(4) 炭化タングステン粉末の大きさが超硬合金の性能に与える影響

は高くなります。サブミクロン WC ($< 0.5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$) の硬度は $\text{HV} > 3000 \pm 50$ で、超硬工具 (切削速度 $> 300 \text{ m/min} \pm 10 \text{ m/min}$) に適しています。

靱性: 粒子サイズが大きいほど、靱性は向上します。粗粒 WC ($5 \sim 10 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$) の靱性は $K_{1c} > 20 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.5$ で、鉋山用ドリルビット (圧縮抵抗 $> 200 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$) に適しています。

耐摩耗性: 微粒子 WC により耐摩耗性が向上し、航空工具 ($0.3 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$) の摩耗は $< 0.08 \text{ mm} \pm 0.02 \text{ mm}$ 、寿命は > 15 時間 ± 1 時間です。

焼結性能: 均一な分布 (偏差 $< 5\% \pm 1\%$)、気孔率の低減 ($< 0.05\% \pm 0.01\%$)、曲げ強度の向上 ($> 3800 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$)。

処理性能: 微粒子 WC は粉末の拡散均一性を向上させ (流動性 < 30 秒/50 g ± 2 秒)、3D プリントに適しています (引張強度 $> 800 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$)。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

例：0.5 $\mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ WC 粉末（分布偏差 $<3\% \pm 0.5\%$ ）は PCB ドリルビットに使用され、寿命は $>10^5$ 穴 $\pm 10^4$ 穴です。8 $\mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ WC 粉末は PDC ドリルビットに使用され、掘削速度は $>5 \text{ m/h} \pm 0.5 \text{ m/h}$ です。

（５）炭化タングステン粉末粒子サイズの品質管理技術

原料管理：タングステン粉末の粒子サイズが 0.5 $\mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 未満の場合、0.1~0.5 $\mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ の WC が生成され、オストワルド成長（成長速度 $\sim 10^{-9} \text{ m/s} \pm 10^{-10} \text{ m/s}$ ）が抑制されます。

反応時間：微細 WC ($<0.5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$) を生成する場合は 2 時間 ± 0.1 時間 ($1450^\circ \text{C} \pm 10^\circ \text{C}$)；粗い WC ($5\text{--}10 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$) を生成する場合は 4 時間 ± 0.1 時間 ($1600^\circ \text{C} \pm 10^\circ \text{C}$)。

冷却速度：急速冷却 ($>50^\circ \text{C/分} \pm 5^\circ \text{C/分}$) では、偏差 $<3\% \pm 0.5\%$ で粒成長 ($<0.01 \mu\text{m/分} \pm 0.001 \mu\text{m/分}$) が抑制されます。

添加剤：炭化バナジウム (VC、0.1%–0.5% $\pm 0.01\%$) は表面エネルギー ($<1 \text{ J/m}^2 \pm 0.1 \text{ J/m}^2$) を低減し、粒子サイズを $10\% \pm 2\%$ 縮小します。炭化クロム (Cr_3C_2 、0.5 % $\pm 0.01\%$) は拡散を抑制します（係数 $<10^{-11} \text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{s}$ ）、偏差は $<2\% \pm 0.5\%$ です。

設備の最適化：回転炉（速度 5 rpm ± 0.5 rpm）動的混合、粒子サイズの均一性の向上（偏差 $<5\% \pm 1\%$ ）。

後処理：ふるい分け（孔径 $<10 \mu\text{m} \pm 0.1 \mu\text{m}$ ）により凝集体 ($<5\% \pm 1\%$) を除去し、気流分類 (GB/T 19077.1–2008) により分布を調整し、偏差は $<2\% \pm 0.5\%$ 。

（６）炭化タングステン粉末の粒子径の検出方法

レーザー粒度分析：GB/T 19077.1–2008 に基づき、レーザー回折計を使用して D10、D50、D90 を測定し、偏差は $<5\% \pm 1\%$ です。

走査型電子顕微鏡 (SEM)：GB/T 16594–2008 に従って、粒子の形態（多角形、エッジ $<0.05 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ ）と凝集 ($<5\% \pm 1\%$) を観察します。

を測定し、粒度分布を推定します。粗粒子 ($>5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$) に適しています。

比表面積法：GB/T 19587–2017 (BET 法) に基づき、平均粒子径を計算します。サブミクロンの比表面積は、 $>3 \text{ m}^2/\text{g} \pm 0.2 \text{ m}^2/\text{g}$ です。

オンライン監視：製造プロセス中にレーザー粒子サイズオンライン分析装置を使用して、分布をリアルタイムで制御します（偏差 $<3\% \pm 0.5\%$ ）。

包括的な影響とアプリケーションの関連付け

性能最適化：細粒 WC ($0.1\text{--}0.5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$) は硬度と耐摩耗性を向上させ、航空ツール

に適しています（寿命 >15 時間 ± 1 時間）。粗粒 WC ($5\text{--}10 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$) は靱性を高め、鉋業ドリルビットに適しています（寿命 $>1000\text{m} \pm 100\text{m}$ ）。

品質管理効率：回転炉と添加剤 (VC、 Cr_3C_2) により均一な分布（偏差 $<5\% \pm 1\%$ ）が保証され、焼結の一貫性が向上します（密度 $>99\% \pm 0.1\%$ ）。

検出の信頼性：レーザー粒子サイズ分析と SEM を組み合わせることで、正確な分布と形態データが得られ、プロセス パラメータを最適化できます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

、超硬合金の性能にとって極めて重要です。粒子径範囲（ $0.1 \sim 10 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ ）はナノメートルから粗粒までをカバーし、均一な分布（偏差 $<5\% \pm 1\%$ ）により性能の一貫性が確保されます。微粒子は硬度を高め、粗粒子は靱性を高めます。さらに、品質管理技術（原料管理、添加剤、回転炉）と検出方法（レーザー粒度分析、SEM）により、正確な粒子径が確保されます。WC 粉末の粒度最適化は、航空工具、鉱山用ドリル、耐摩耗金型などの分野で高性能を実現します。

4.1.4 炭化タングステン粉末の純度

炭化タングステン粉末（WC）の純度は、その品質管理の中核指標であり、超硬合金の性能、加工性、および耐用年数に直接影響を及ぼします。以下は、科学的データと業界標準（GB/T 5124-2017 など）に基づき、純度の定義、主な不純物、影響要因、最適化戦略、検出方法、および適用効果について包括的に分析したものです。現在の日時は 2025 年 5 月 22 日 14:23 HKT です。

（1）炭化タングステン粉末の純度の定義と指標

定義：WC 粉末の純度とは、その主成分である WC の含有量を指し、通常、不純物の総含有量（遊離炭素、酸化物、金属不純物など）は可能な限り低くする必要があります。

主な指標：

遊離炭素： $<0.1\% \pm 0.01\%$ 。高すぎると硬度（HV $<2800 \pm 50$ ）と焼結密度（ $<99\% \pm 0.1\%$ ）が低下します。

酸化物（ WO_3 など）： $<0.05\% \pm 0.01\%$ 。含有量が多すぎると、気孔率が増加します（ $>0.1\% \pm 0.02\%$ ）。

金属不純物（Fe、Cr など）： $<0.02\% \pm 0.005\%$ 、セメント炭化物の性能に影響を与えないようにします。

WC 相の純度： $>99.8\% \pm 0.02\%$ 、 W_2C またはその他の二次相が存在しないことを保証（硬度が低い、HV $<2000 \pm 50$ ）。

（2）炭化タングステン粉末中の主な不純物とその発生源

フリーカーボン：

（W：C モル比 $>1.05 \pm 0.01$ ）または炭化準備中の不完全な反応（温度 $<1400^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ ）が発生する。

影響：遊離炭素 $>0.2\% \pm 0.01\%$ の場合、硬度は $3\% \pm 0.5\%$ 低下し（HV $<2700 \pm 50$ ）、焼結後に多孔度が増加します（ $>0.2\% \pm 0.02\%$ ）。

酸化物：

原因：原材料の酸化（タングステン粉末には $>0.1\% \pm 0.01\%$ が含まれています）または製造プロセス中の大気中の酸素含有量が高い（ $\text{O}_2 >10 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$ ）。

影響：酸化物含有量が $>0.05\% \pm 0.01\%$ の場合、焼結後に多孔度が増加し（ $>0.1\% \pm 0.02\%$ ）、強度が $5\% \pm 1\%$ 低下します（曲げ強度 $<3800 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$ ）。

金属不純物：

原因：設備の摩耗（ボールミルから混入する Fe など、 $0.1\% \pm 0.01\%$ 以上）または不純な原材料（Cr、Mo など）。

影響：Fe $>0.02\% \pm 0.005\%$ の場合、硬度は $2\% \pm 0.5\%$ 低下し、耐食性が低下します（腐

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

食速度 $>0.002 \text{ mm/年} \pm 0.0005 \text{ mm/年}$ 。

（3）炭化タングステン粉末の純度が超合金の性能に与える影響

硬度と耐摩耗性：高純度（遊離炭素 $<0.1\% \pm 0.01\%$ ）により、硬度 $\text{HV} >2900 \pm 50$ 、航空工具摩耗 $<0.08 \text{ mm} \pm 0.02 \text{ mm}$ 、寿命 $>15 \text{ 時間} \pm 1 \text{ 時間}$ を保証します。

靱性：酸化物 $<0.03\% \pm 0.01\%$ 低気孔率、靱性 $K_{1c} >18 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.5$ 、採掘ドリルビットの寿命 $>1200 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$ 。

焼結性能：高純度（WC 相 $>99.8\% \pm 0.02\%$ ）、密度向上（ $>99\% \pm 0.1\%$ ）、圧縮強度 $>4000 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$ 。

耐腐食性：金属不純物 $<0.02\% \pm 0.005\%$ により耐腐食性が保証され（pH 2-12、腐食速度 $<0.001 \text{ mm/年} \pm 0.0002 \text{ mm/年}$ ）、化学機器に適しています。

耐摩耗性金型には、遊離炭素含有量が $0.07\% \pm 0.01\%$ 、酸化物含有量が $<0.02\% \pm 0.005\%$ の粉末が使用され、その耐用年数は $>10^6 \text{ 回} \pm 10^5 \text{ 回}$ であり、遊離炭素含有量が $0.2\% \pm 0.01\%$ の WC（耐用年数 $<8 \times 10^5 \text{ 回} \pm 10^5 \text{ 回}$ ）よりも優れています。

（4）タングステンカーバイド粉末純度最適化戦略

原材料管理：

タングステン粉末純度 $>99.9\% \pm 0.01\%$ 、O 含有率 $<0.05\% \pm 0.01\%$ 。カーボンブラック純度 $>99.5\% \pm 0.01\%$ 、O 含有率 $<0.03\% \pm 0.01\%$ 。

効果：初期酸化物および完成酸化物を $0.02\% \pm 0.005\%$ 削減します。

炭素含有量制御：

W:C モル比は $1:1.01 \pm 0.01$ であり、完全な反応が保証され、遊離炭素が $0.08\% \pm 0.01\%$ に減少し、硬度が $2\% \pm 0.5\%$ 増加します。

炭素過剰（ >1.05 ）ではグラファイト（ $>0.3\% \pm 0.01\%$ ）が生成され、炭素不足（ <0.98 ）では W_2C が生成されます。

雰囲気コントロール：

水素雰囲気（ H_2 、 $\text{O}_2 < 10 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$ ）： WO_3 の還元（還元率 $>99\% \pm 1\%$ ）、酸化物 $<0.03\% \pm 0.01\%$ 。

真空雰囲気（ $<10^{-2} \text{ Pa} \pm 10^{-3} \text{ Pa}$ ）：炭素の揮発を抑制し、純度を $1\% \pm 0.2\%$ 向上させます。

後処理：

ふるい分け（細孔径 $<10 \mu\text{m} \pm 0.1 \mu\text{m}$ ）：凝集物（ $<5\% \pm 1\%$ ）を除去し、純度を $0.5\% \pm 0.1\%$ 向上させます。

酸洗（ HCl 、pH 2 ± 0.1 ）：Fe（ $<0.01\% \pm 0.002\%$ ）を除去し、硬度を $1\% \pm 0.2\%$ 増加させます。

装備の改良：

高純度グラファイト炉（C 含有量 $<0.01\% \pm 0.002\%$ ）を使用して炭素汚染を削減します。

回転炉（速度 $5 \text{ rpm} \pm 0.5 \text{ rpm}$ ）により反応の均一性が向上し、遊離炭素が $0.02\% \pm 0.005\%$ 減少しました。

（5）検出方法

遊離炭素検出：GB/T 5124-2017 化学分析方法に基づき、高温燃焼後の CO_2 含有量を $\pm 0.005\%$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

の精度で測定します。

3 含有量は酸溶解と滴定によって測定され、精度は $\pm 0.002\%$ です。

金属不純物検出: ICP-MS (GB/T 13748.20-2009)、Fe、Cr などの検出、検出限界 $<0.001\%$ 。

相純度分析: X線回折 (XRD、GB/T 27708-2011) により、WC 相の純度を確認し、 W_2C またはグラファイト相を除外します。

オンライン監視: 生産プロセス中に赤外線ガス分析装置を使用して、 CO_2 排出量をリアルタイムで監視し、遊離炭素 ($<0.1\% \pm 0.01\%$) を制御します。

包括的な影響とアプリケーションの関連付け

性能向上: 高純度 (遊離炭素 $<0.1\% \pm 0.01\%$ 、酸化物 $<0.05\% \pm 0.01\%$) により、超硬合金の高い硬度 ($HV > 2900 \pm 50$) と靱性 ($K_{1C} > 18 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.5$) が保証されます。

プロセスの最適化: 雰囲気制御と後処理 (酸洗いなど) により不純物が大幅に削減され、ハイエンドの用途 (航空宇宙ツール、採掘ドリルビット) に適しています。

検出の信頼性: 化学分析と XRD を組み合わせることで、正確な純度データを確保し、製造プロセスを最適化します。

要約する

炭化タングステン粉末の純度は、遊離炭素 $<0.1\% \pm 0.01\%$ 、酸化物 $<0.05\% \pm 0.01\%$ 、金属不純物 $<0.02\% \pm 0.005\%$ を主要な指標としており、これらは超硬合金の硬度、靱性、焼結性能、耐食性に直接影響します。原材料管理、精密な炭素含有率、雰囲気最適化、後処理技術によって純度を効果的に向上させることができ、検出方法 (化学分析、XRD) によって安定した品質が保証されます。高純度 WC 粉末は、航空工具、耐摩耗金型などの分野で優れた性能を発揮します。

4.1.5 炭化タングステン粉末の炭素含有量

炭化タングステン粉末の炭素含有量は、その製造方法と性能の最適化における重要なパラメータであり、化学的安定性、硬度、焼結挙動に直接影響を及ぼします。

(1) 炭化タングステン粉末中の炭素含有量の定義と指標

定義: 炭素含有量とは、WC 粉末中の総炭素含有量を指し、結合炭素 (WC を形成する炭素) と遊離炭素 (未反応の炭素) を含みます。理想的な WC の理論上の炭素含有量は $6.13\% \pm 0.01\%$ (モル比: $W:C = 1:1$) です。

炭化タングステン粉末中の炭素含有量の主な指標:

総炭素含有量: 結合炭素と遊離炭素を含む $6.0\% \sim 6.2\% \pm 0.01\%$ 。

遊離炭素: $<0.1\% \pm 0.01\%$ 。高すぎると硬度と密度が低下します。

結合炭素: $5.9\% \sim 6.1\% \pm 0.01\%$ 、WC 相の形成度を反映します。

(2) 炭化タングステン粉末中の炭素含有量の範囲

WC 分子式に対応する炭素質量分率は $6.13\% \pm 0.01\%$ 、つまり 1 モルの W (183.84g) が 1 モルの C (12.01g) と結合していることになります。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

実際の範囲:

低炭素状態 ($5.9\% \sim 6.0\% \pm 0.01\%$): W_2C (炭素含有量 $3.16\% \pm 0.01\%$) または W 相が生成される可能性があり、硬度が低下します ($HV < 2000 \pm 50$)。

正常範囲 ($6.0\% \sim 6.2\% \pm 0.01\%$): 理論値に近く、高性能超硬合金に適しています。

高炭素状態 ($> 6.2\% \pm 0.01\%$): 遊離炭素が増加し ($> 0.2\% \pm 0.01\%$)、硬度が低下し ($HV < 2700 \pm 50$)、多孔度が増加します ($> 0.2\% \pm 0.02\%$)。

製造の影響: 炭化法 ($1450 \sim 1600^\circ C \pm 10^\circ C$) により、W: C モル比を $1: 1.01 \pm 0.01$ に制御し、安定した炭素含有量を確保します。

(3) 炭化タングステン粉末の炭素含有量が超硬合金の性能に与える影響

硬度と耐摩耗性: 炭素含有量 $6.0\% \sim 6.2\% \pm 0.01\%$ で硬度 $HV > 2900 \pm 50$ 、航空工具摩耗 $< 0.08 \text{ mm} \pm 0.02 \text{ mm}$ 、寿命 > 15 時間 ± 1 時間を保証します。

靱性: 炭素量が低い場合 ($< 5.9\% \pm 0.01\%$)、 W_2C が発生し、靱性が低下します ($K_{1c} < 10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.5$)。炭素量が多い場合 ($> 6.2\% \pm 0.01\%$)、遊離炭素により靱性の一貫性が低下します。

焼結特性: 炭素含有量 $6.1\% \pm 0.01\%$ により焼結密度が最適化され ($> 99\% \pm 0.1\%$)、圧縮強度は $4000 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$ を超えます。遊離炭素 $> 0.1\% \pm 0.01\%$ により多孔度が増加します ($> 0.1\% \pm 0.02\%$)。

耐食性: 遊離炭素 $< 0.1\% \pm 0.01\%$ 耐食性を維持 (pH 2-12、腐食速度 $< 0.001 \text{ mm/年} \pm 0.0002 \text{ mm/年}$)。

耐摩耗性金型には炭素含有量が $6.08\% \pm 0.01\%$ (遊離炭素 $0.07\% \pm 0.01\%$) の粉末が使用され、その寿命は 10^6 回 $\pm 10^5$ 回以上であり、炭素含有量が $6.25\% \pm 0.01\%$ (遊離炭素 $0.2\% \pm 0.01\%$) の WC (寿命 $< 8 \times 10^5$ 回 $\pm 10^5$ 回) よりも優れています。

(4) 炭化タングステン粉末中の炭素含有量の最適化戦略

原材料管理:

は $0.1 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 以下で、炭素の均一な分布を保証します。

タングステン粉末には $0 < 0.05\% \pm 0.01\%$ が含まれており、これが酸化反応を低下させ、炭素含有量に影響を与えます。

炭素含有率:

W:C モル比は $1: 1.01 \pm 0.01$ で、揮発を補うためにわずかに過剰な炭素が含まれており、結合炭素は $6.1\% \pm 0.01\%$ に達し、遊離炭素は $< 0.1\% \pm 0.01\%$ です。

炭素過剰 (> 1.05) ではグラファイト ($> 0.3\% \pm 0.01\%$) が生成され、炭素不足 (< 0.98) では W_2C が生成されます。

反応条件:

温度: $1450 \sim 1600^\circ C \pm 10^\circ C$ 、反応は完了、炭素結合率 $> 98\% \pm 1\%$ 。

雰囲気: 水素 (H_2 、 $O_2 < 10 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$) または真空 ($< 10^{-2} \text{ Pa} \pm 10^{-3} \text{ Pa}$)、炭素の揮発を抑えます (損失 $< 0.1\% \pm 0.01\%$)。

絶縁時間: 十分な炭化反応を確保するために $2 \sim 4$ 時間 ± 0.1 時間。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

後処理:

熱処理（ $800^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 、 H_2 雰囲気）：遊離炭素の除去（ $0.05\% \pm 0.01\%$ の削減）。

酸洗浄（ HCl 、 $\text{pH} \ 2 \pm 0.1$ ）：不完全な炭化によって生じた不純物を除去し、純度を $0.5\% \pm 0.1\%$ 向上させます。

機器の最適化:

回転炉（速度 $5 \text{ rpm} \pm 0.5 \text{ rpm}$ ）により混合の均一性が向上し、炭素分布の偏差は $2\% \pm 0.5\%$ 未満になります。

高純度グラファイト炉（C 含有量 $< 0.01\% \pm 0.002\%$ ）は外因性炭素汚染を削減します。

（5）炭化タングステン粉末中の炭素含有量の検出方法

総炭素含有量：GB/T 5124-2017 高温燃焼赤外線吸収法に準拠し、 CO_2 含有量を測定します。精度は $\pm 0.005\%$ です。

結合炭素：高温燃焼後、遊離炭素は酸溶解によって分離され、残りの炭素は $\pm 0.002\%$ の精度で結合炭素です。

遊離炭素：差（総炭素 - 結合炭素）または直接燃焼法で計算、精度 $\pm 0.005\%$ 。

相分析：X線回折（XRD、GB/T 27708-2011）により、WC 相の純度を確認し、 W_2C またはグラファイト相を検出します。

オンライン監視：赤外線ガス分析装置は、 CO_2 排出量をリアルタイムで監視し、遊離炭素（ $< 0.1\% \pm 0.01\%$ ）を制御します。

炭化タングステン粉末中の炭素含有量の総合的影響とその応用相関

$6.0\% - 6.2\% \pm 0.01\%$ （遊離炭素 $< 0.1\% \pm 0.01\%$ ）の含有量により高い硬度（ $\text{HV} > 2900 \pm 50$ ）と靱性（ $K_{1c} > 18 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.5$ ）の超硬合金を実現します。

プロセス効率：正確な比率と雰囲気制御により炭素偏差が低減され、航空ツール（寿命 > 15 時間 ± 1 時間）や耐摩耗性金型（ $> 10^6$ 倍 $\pm 10^5$ 倍）に適しています。

検出の信頼性：化学分析と XRD を組み合わせることで、正確な炭素含有量データが得られ、生産プロセスが最適化されます。

炭化タングステン粉末の炭素含有量は、 $6.0\% \sim 6.2\% \pm 0.01\%$ という理想的な範囲にあり、結合炭素は $5.9\% \sim 6.1\% \pm 0.01\%$ 、遊離炭素は $0.1\% \pm 0.01\%$ 未満です。これは硬度、靱性、焼結性能に極めて重要です。炭素含有量は、原料管理、W: C 比の最適化、反応条件の調整、後処理技術によって効果的に調整でき、検出方法（赤外線吸収法、XRD）により安定した品質が保証されます。適切な炭素含有量の炭化タングステン粉末は、航空工具、鉼山用ドリルビットなどの分野で高性能なサポートを提供します。

4.1.6 炭化タングステン粉末の粒度、純度、炭素含有量等の品質管理および試験

炭化タングステン粉末（WC）の粒径、純度、炭素含有量は、その品質管理における重要なパラメータであり、超硬合金の性能と応用信頼性を直接決定づけるものです。以下は、科学的データと業界標準（GB/T 19077.1-2008、GB/T 5124-2017 など）に基づき、品質管理技術、検出方法、および総合的な影響について包括的に分析したものです。現在の日時は 2025 年 5 月 22 日 14 時 32 分（香港時間）です。

（1）炭化タングステン粉末の粒度品質管理と試験

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

制御技術:

原料管理: タングステン粉末の粒子サイズが $0.5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 未満の場合、 $0.1 \sim 0.5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ の WC が生成され、オストワルド成長（成長速度 $\sim 10^{-9} \text{ m/s} \pm 10^{-10} \text{ m/s}$ ）が抑制されます。

反応時間: 微細 WC ($<0.5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$) を生成する場合は 2 時間 ± 0.1 時間 ($1450^\circ \text{C} \pm 10^\circ \text{C}$) ; 粗い WC ($5-10 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$) を生成する場合は 4 時間 ± 0.1 時間 ($1600^\circ \text{C} \pm 10^\circ \text{C}$) 。

冷却速度: 急速冷却 ($>50^\circ \text{C/分} \pm 5^\circ \text{C/分}$) では、偏差 $<3\% \pm 0.5\%$ で粒成長 ($<0.01 \mu\text{m/分} \pm 0.001 \mu\text{m/分}$) が抑制されます。

添加剤: 炭化バナジウム (VC、 $0.1\%-0.5\% \pm 0.01\%$) は表面エネルギー ($<1 \text{ J/m}^2 \pm 0.1 \text{ J/m}^2$) を低減し、粒子サイズを $10\% \pm 2\%$ 縮小します。炭化クロム (Cr_3C_2 、 $0.5\% \pm 0.01\%$) は拡散を抑制します (係数 $<10^{-11} \text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{s}$)、偏差は $<2\% \pm 0.5\%$ です。

設備の最適化: 回転炉 (速度 $5 \text{ rpm} \pm 0.5 \text{ rpm}$) により混合の均一性が向上し、粒度分布の偏差は $<5\% \pm 1\%$ になります。

後処理: ふるい分け (孔径 $<10 \mu\text{m} \pm 0.1 \mu\text{m}$) により凝集体 ($<5\% \pm 1\%$) を除去し、気流分類 (GB/T 19077.1-2008) により分布を調整し、偏差は $<2\% \pm 0.5\%$ 。

検出方法:

を測定します。偏差は $<5\% \pm 1\%$ 、サブミクロン $D50 = 0.3 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ です。

走査型電子顕微鏡 (SEM): GB/T 16594-2008 に従って、形態 (多角形、エッジ $<0.05 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$) および凝集 ($<5\% \pm 1\%$) を観察します。

。粗粒子 ($>5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$) に適しています。

比表面積法: GB/T 19587-2017 (BET 法) に基づき、平均粒子径を計算します。サブミクロンの比表面積は、 $>3 \text{ m}^2/\text{g} \pm 0.2 \text{ m}^2/\text{g}$ です。

オンライン監視: レーザー粒子サイズオンライン分析装置は、偏差 $<3\% \pm 0.5\%$ で分布をリアルタイムで制御します。

(2) 炭化タングステン粉末の純度品質管理と試験

制御技術:

原材料管理: タングステン粉末純度 $>99.9\% \pm 0.01\%$ 、O 含有率 $<0.05\% \pm 0.01\%$ 。カーボンブラック純度 $>99.5\% \pm 0.01\%$ 、O 含有率 $<0.03\% \pm 0.01\%$ 。

炭素含有量比: W: C モル比 $1: 1.01 \pm 0.01$ 、遊離炭素は $0.08\% \pm 0.01\%$ に減少した。

雰囲気制御: 水素 (H_2 、 $\text{O}_2 < 10 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$) は WO_3 (削減率 $>99\% \pm 1\%$)、酸化物 $<0.03\% \pm 0.01\%$ を削減します。真空雰囲気 ($<10^{-2} \text{ Pa} \pm 10^{-3} \text{ Pa}$) は炭素の揮発を抑制します。

後処理: スクリーニング (細孔サイズ $<10 \mu\text{m} \pm 0.1 \mu\text{m}$) により凝集体を除去し、純度を $0.5\% \pm 0.1\%$ 向上させます。酸洗浄 (HCl 、 $\text{pH} 2 \pm 0.1$) により Fe ($<0.01\% \pm 0.002\%$) を除去します。

設備の最適化: 高純度グラファイト炉 (C 含有量 $<0.01\% \pm 0.002\%$) により炭素汚染が低減し、回転炉により反応の均一性が向上します。

検出方法:

遊離炭素検出: GB/T 5124-2017 高温燃焼赤外線吸収法に基づき、精度は $\pm 0.005\%$ です。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

酸化物検出: GB/T 5124-2017 によれば、 WO_3 は酸溶解滴定によって $\pm 0.002\%$ の精度で測定されます。

金属不純物検出: ICP-MS (GB/T 13748.20-2009)、Fe および Cr の検出、検出限界 $<0.001\%$ 。

相純度分析: X線回折 (XRD、GB/T 27708-2011) により、WC 相純度が $>99.8\% \pm 0.02\%$ であることが確認されました。

オンライン監視: 赤外線ガス分析装置は CO_2 をリアルタイムで監視し、遊離炭素を $0.1\% \pm 0.01\%$ 未満に制御します。

(3) 炭化タングステン粉末中の炭素含有量の品質管理および試験

制御技術:

原材料管理: カーボンブラック粒子径 $<0.1 \mu m \pm 0.01 \mu m$ 、純度 $>99.5\% \pm 0.01\%$ 、カーボンの均一性を確保。

炭素含有量比: W: C モル比 1: 1.01 ± 0.01 、結合炭素 $6.1\% \pm 0.01\%$ 、遊離炭素 $<0.1\% \pm 0.01\%$ 。

反応条件: $1450 \sim 1600^\circ C \pm 10^\circ C$ 、2~4時間 ± 0.1 時間保温して反応を完了します。炭

素の揮発を減らすために水素または真空雰囲気下で行います (損失 $<0.1\% \pm 0.01\%$)。

後処理: 遊離炭素を除去するための熱処理 ($800^\circ C \pm 10^\circ C$ 、 H_2 雰囲気) ($0.05\% \pm 0.01\%$ の削減)。炭化した不純物を除去するための酸洗い。

設備の最適化: 回転炉 (速度 $5 \text{ rpm} \pm 0.5 \text{ rpm}$) により炭素分布の均一性が向上し、偏差は $2\% \pm 0.5\%$ 未満になります。

検出方法:

総炭素含有量: GB/T 5124-2017 高温燃焼赤外線吸収法に基づく、精度 $\pm 0.005\%$ 。

結合炭素: 高温燃焼後の酸溶解分離、精度 $\pm 0.002\%$ 。

遊離炭素: 差算法または直接燃焼法、精度 $\pm 0.005\%$ 。

相分析: XRD (GB/T 27708-2011) により WC 相が確認され、 W_2C またはグラファイト相が検出されます。

オンライン監視: 赤外線ガス分析装置は CO_2 をリアルタイムで監視し、炭素含有量を $6.0\% \sim 6.2\% \pm 0.01\%$ に制御します。

(4) 炭化タングステン粉末の品質とその応用の総合的な影響

性能の最適化: 粒子サイズ $0.1-0.5 \mu m \pm 0.01 \mu m$ により硬度 ($HV >3000 \pm 50$) が向上し、 $5-10 \mu m \pm 0.01 \mu m$ により靱性 ($K_{1c} >20 \text{ MPa} \cdot m^{1/2} \pm 0.5$) が向上します。純度 (遊離炭素 $<0.1\% \pm 0.01\%$ 、酸化物 $<0.05\% \pm 0.01\%$) により密度 ($>99\% \pm 0.1\%$) が確保されます。炭素含有量 $6.0\%-6.2\% \pm 0.01\%$ により硬度と耐摩耗性が最適化されます。プロセス効率: 回転炉、添加剤 (VC、 Cr_3C_2)、雰囲気制御 ($O_2 <10 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$) により、航空宇宙ツール (寿命 >15 時間 ± 1 時間) および鉼山ドリルビット ($>1000 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$) の品質の一貫性が向上します。

検出の信頼性: レーザー粒子サイズ分析、化学分析、XRD を組み合わせることで正確なデータを提供し、生産プロセスを最適化します。

(5) 炭化タングステン粉末の品質管理と試験における課題と改善

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

課題：粒子サイズ分布が広い ($> 10\% \pm 2\%$) と性能の変動が生じます。純度不純物 ($\text{Fe} > 0.02\% \pm 0.005\%$) の導入は耐食性に影響します。炭素含有量の偏差 ($> 0.1\% \pm 0.01\%$) は相不純物につながります。

改善：プロセスパラメータ（温度、雰囲気）を制御するために AI が導入され、粒子サイズの偏差は $2\% \pm 0.5\%$ 未満になり、純度は $0.5\% \pm 0.1\%$ 増加し、炭素含有量は $6.1\% \pm 0.01\%$ に安定しました。

粒径 ($0.1 \sim 10 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$)、純度（遊離炭素 $< 0.1\% \pm 0.01\%$ 、酸化物 $< 0.05\% \pm 0.01\%$ ）、炭素含有量 ($6.0\% \sim 6.2\% \pm 0.01\%$) は、原料管理、反応最適化、添加剤、設備改良を通じて管理されています。検出方法（レーザー粒度分析、化学分析、XRD）により正確なパラメータが確保され、超硬合金の性能が最適化され、航空工具、耐磨耗金型、鉨山ドリルなどのハイエンド用途をサポートします。

4.2 超硬合金のバインダー相と添加剤

バインダー相 (Co 、 Ni 、 $5\%30\% \pm 1\%$) は靱性 ($K_{1c} 820 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.5$) と耐衝撃性（衝撃エネルギー $> 10\text{J} \pm 1\text{J}$ ）を提供し、結晶粒抑制剤 (VC 、 Cr_3C_2 、 $< 1\% \pm 0.01\%$) は WC 結晶粒の成長 ($< 0.01 \mu\text{m}/\text{分} \pm 0.001 \mu\text{m}/\text{分}$) を制御し、硬度 ($\text{HV} > 2000 \pm 30$) を向上させます。バインダー相と添加剤の選択は性能に影響を与えます。高純度 Co ($> 99.9\% \pm 0.01\%$) は靱性を高め、 Ni ($> 99.8\% \pm 0.01\%$) は耐食性（腐食速度 $< 0.01 \text{ mm}/\text{年} \pm 0.002 \text{ mm}/\text{年}$ ）を向上させ、 $\text{VC}/\text{Cr}_3\text{C}_2$ は微細粒構造 (WC 粒径 $< 0.5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$) を最適化します。本セクションでは、 Co/Ni 粉末の特性と粒度抑制機構について分析します。

4.2.1 超硬合金バインダーの特性と選択 - Co および Ni 粉末

バインダー相は超硬合金の重要な構成要素であり、 WC 粒子を結合させる役割を果たし、靱性、加工性、耐食性などの重要な特性を提供します。コバルト (Co) とニッケル (Ni) は超硬合金に最も一般的に使用されるバインダーであり、それらの特性と選択は超硬合金の性能に直接影響します。

(1) 材料特性と要件

バインダー相は超硬合金において「ブリッジ」の役割を果たし、 WC 粒子間の隙間を埋めることで材料の靱性と加工性を向上させるとともに、耐食性と高温安定性にも影響を与えます。 Co と Ni は、その優れた物理的・化学的特性から、バインダーとして好まれています。

Co 粉末の特性:

結晶構造：面心立方 (FCC) 構造、格子定数 $a = 0.3544 \text{ nm} \pm 0.0001 \text{ nm}$ 、高対称性、すべり系 > 12 、優れた塑性変形能力を有する。

密度： $8.90 \text{ g/cm}^3 \pm 0.05 \text{ g/cm}^3$ 、 WC ($15.63 \text{ g/cm}^3 \pm 0.05 \text{ g/cm}^3$) に近いいため、焼結応力が低減します。

融点： $1495^\circ \text{C} \pm 5^\circ \text{C}$ 、高温焼結 ($> 1200^\circ \text{C} \pm 10^\circ \text{C}$) に適しています。

硬度：ピッカース硬度 $\text{HV} 100 \pm 10$ 、 WC より低く、靱性の緩衝材となります。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

韧性：破壊韧性 K_{1c} 15-20 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.5$ 、Ni (K_{1c} 12-15 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.5$) よりも優れています。

熱伝導率: 80 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K}) \pm 5 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 、熱を放散させ、工具寿命を延ばします。

熱膨張係数: $5.0 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \pm 0.2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 、WC ($5.2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \pm 0.2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) と一致し、熱応力を低減します ($<50 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$)。

要件：純度 $>99.9\% \pm 0.01\%$ 、Fe $<0.01\% \pm 0.002\%$ 、O $<0.05\% \pm 0.01\%$ 、粒子サイズ 0.5~3 $\mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 。

性能の影響：10% $\pm 1\%$ の Co を含む超硬合金の曲げ強度は $>4000 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$ 、破壊韧性 $K_{1c} >18 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.5$ であり、切削工具や鉋山設備に適しています。

Ni 粉末の特性：

結晶構造：面心立方 (FCC) 構造、格子定数 $a = 0.3524 \text{ nm} \pm 0.0001 \text{ nm}$ 、すべり系 >12 、塑性変形能力は Co よりわずかに低い。

密度：8.91 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0.05 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、WC とよく一致します。

融点：1455 $^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 、高温焼結に適しています。

硬度：ピッカース硬度 HV 90 ± 10 、Co より柔らかく、靱性はわずかに低い。

耐食性：腐食電位は 0.2 V $\pm 0.02 \text{ V}$ (SCE に対して) で、Co (0.1 V $\pm 0.02 \text{ V}$) よりも優れています。pH 2~12 の環境における腐食速度は 0.02 mm/年未満 $\pm 0.005 \text{ mm/年}$ です。

熱伝導率：90 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K}) \pm 5 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 、Co よりも高く、熱を放散するのに役立ちます。

熱膨張係数：6.0 $\times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \pm 0.2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 、WC とわずかに異なり、焼結後の応力はわずかに高くなります ($<70 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$)。

要件：純度 $>99.8\% \pm 0.01\%$ 、Fe $<0.02\% \pm 0.002\%$ 、O $<0.1\% \pm 0.01\%$ 、粒子サイズ 0.5~5 $\mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 。

性能への影響：海洋環境 (pH 8、水深 5000 m、塩分濃度 3.5%) における 12% $\pm 1\%$ の Ni を含む超硬合金の腐食速度は 0.02 mm/年 $\pm 0.005 \text{ mm/年}$ であり、耐腐食シナリオに適しています。

比率と適用シナリオ：

Co はバインダー相の 80% $\pm 2\%$ 以上を占めます。優れた靱性により、高衝撃が要求される用途 (航空工具や鉋山用ドリルビットなど) に適しています。

Ni 含有量は $<20\% \pm 2\%$ です。耐食性に優れているため、化学環境や海洋環境 (深海バルブ、化学ポンプ本体など) に適しています。

例：

航空切削 (1000 $^{\circ}\text{C}$ 、Ti-6Al-4V 合金) における 10% $\pm 1\%$ Co 含有工具の衝撃エネルギーは 12 J $\pm 1 \text{ J}$ 超、摩耗量は 0.15 mm $\pm 0.03 \text{ mm}$ 未満、寿命は 12 h $\pm 1 \text{ h}$ 超です。

12% $\pm 1\%$ の Ni を含む深海用バルブ (5000m、塩分濃度 3.5%) の場合、腐食深さは 3 $\mu\text{m} \pm 0.5 \mu\text{m}$ 未満、耐用年数は 5 年 ± 0.5 年以上です。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

（2）Co および Ni 粉末の選択基準と最適化

Co および Ni 粉末の選択では、純度、粒子サイズ、形態、製造プロセス、WC との適合性を総合的に考慮して、セメント炭化物の性能を最適化する必要があります。

純度:

Co: $>99.9\% \pm 0.01\%$ 、Fe $<0.01\% \pm 0.002\%$ 、O $<0.05\% \pm 0.01\%$ 。Fe が低いと η 相 ($\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$) の形成が減少し ($<0.5\% \pm 0.1\%$)、O が低いと気孔率が低下し ($<0.1\% \pm 0.02\%$)、強度が $3\% \pm 0.5\%$ 増加します。

Ni: $>99.8\% \pm 0.01\%$ 、Fe $<0.02\% \pm 0.002\%$ 、O $<0.1\% \pm 0.01\%$ 。不純物が少ないため耐食性が向上し、腐食速度が $2\% \pm 0.5\%$ 低下します。

影響: 高純度により焼結欠陥（気孔や介在物など）が減少し、曲げ強度が $4200 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$ 以上に増加します。

粒子サイズ:

Co: $0.5 \sim 1 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ では、分散性（均一性 $>95\% \pm 1\%$ ）と靱性が $5\% \pm 1\%$ 向上します。 $>3 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ では、分布が不均一になり、靱性が $3\% \pm 0.5\%$ 低下します。

Ni: $0.5 \sim 3 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 、WC ($1 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$) と一致し、界面の結合強度は $>50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ 、耐食性は $2\% \pm 0.5\%$ 増加します。 $>5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ では均一性が低下し、腐食速度が $1\% \pm 0.2\%$ 増加します。

影響: 粒子サイズが細かいため、バインダー相の分布の均一性が向上し、焼結後の多孔度は $<0.05\% \pm 0.01\%$ になります。

外観:

Co: 球状（球状化率 $>90\% \pm 2\%$ ）、凝集が減少 ($<5\% \pm 1\%$)、流動性が $3\% \pm 0.5\%$ 向上 ($<25 \text{ 秒}/50\text{g} \pm 2 \text{ 秒}$ 、GB/T 1482-2010)、圧縮成形に適しています。

Ni: 多角形（エッジ $<0.1 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ ）またはほぼ球形で、界面の接合強度 ($>50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) を高め、耐摩耗性を向上させます。

影響: 最適化された形態により、粉末の広がり均一性と焼結結合強度が向上し、セメント炭化物の表面粗さは $Ra < 5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$ になります。

化学的安定性:

Co: $600^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ 未満の空気中での酸化速度は、 $0.01 \text{ mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{h}$ 未満 $\pm 0.002 \text{ mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{h}$ 未満です。焼結雰囲気は $\text{O}_2 < 10 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$ に制御する必要があります。

Ni: pH2~12 の環境下での腐食速度は $<0.02\text{mm}/\text{年} \pm 0.005\text{mm}/\text{年}$ であり、耐酸性、耐アルカリ性は Co より優れています。

影響: Ni の耐食性が高いため、酸性環境（化学ポンプ本体、pH 2 ~ 12）に適しており、Co は高温酸化から保護する必要があります。

製造工程:

会社:

電解法: O $<0.03\% \pm 0.005\%$ 、Fe $<0.005\% \pm 0.001\%$ 、純度が $1\% \pm 0.2\%$ 増加し、高靱性用途

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

に適しています。

カルボニル法: $O > 0.1\% \pm 0.01\%$ 、 $Fe < 0.01\% \pm 0.002\%$ 、コストは低いが高純度は若干低くなる。

粉碎方法: 粒子サイズ $0.5 \sim 3 \mu m \pm 0.01 \mu m$ 、大量生産に適しています。

ニ:

噴霧法: $Fe < 0.01\% \pm 0.002\%$ 、 $O < 0.05\% \pm 0.01\%$ 、球状粒子 ($> 90\% \pm 2\%$)、高純度要件に適しています。

電気分解法: 粒子サイズ $1 \sim 5 \mu m \pm 0.01 \mu m$ 、 $O < 0.1\% \pm 0.01\%$ 、低コスト。

カルボニル法: 形態は均一ですが、 Fe 含有量はわずかに高くなります ($< 0.02\% \pm 0.002\%$)。

影響: 電解 Co と霧化 Ni により純度と形態の一貫性が向上し、セメント炭化物の性能が向上します。

WC との互換性:

Co : WC との濡れ角は $< 10^\circ \pm 1^\circ$ 、接着強度は $> 60 MPa \pm 5 MPa$ であり、高靱性が求められるシナリオに適しています。

Ni : 濡れ角 $< 15^\circ \pm 1^\circ$ 、接着強度 $> 50 MPa \pm 5 MPa$ 、耐食性は Co より優れています。

影響: 濡れ性が良好であるため、焼結後に界面に欠陥がなく、曲げ強度は $4000 MPa \pm 100 MPa$ 以上になります。

例:

$0.8 \mu m \pm 0.01 \mu m$ 電解 Co ($O < 0.03\% \pm 0.005\%$) で調製された $K_{1c} 18 MPa \cdot m^{1/2} \pm 0.5$ は、寿命が $> 1200 m \pm 100 m$ の鉨業ドリルビット (衝撃 $> 200 MPa \pm 10 MPa$) に使用されます。

$2 \mu m \pm 0.01 \mu m$ のアトマイズ Ni ($Fe < 0.01\% \pm 0.002\%$) (腐食速度 $0.01 mm/年 \pm 0.002 mm/年$) は、化学プラント (pH 4) で使用され、耐用年数は 3 年 ± 0.3 年を超えます。

(3) Co および Ni 粉末の最適化戦略

混合工程:

$Co+Ni$ 複合結合相: $Co: Ni$ 比 4: 1 ± 0.2 、 Co の高靱性と Ni の耐腐食性を兼ね備え、海洋採掘設備に適しています (耐衝撃性 $> 10 J \pm 1 J$ 、腐食速度 $< 0.015 mm/年 \pm 0.002 mm/年$)。

ボールミル処理: 回転速度 $300 rpm \pm 10 rpm$ 、ボールと材料の比率 $10:1 \pm 0.1$ 、時間 $10 \sim 20$ 時間 ± 1 時間、均一な分散を確保 (均一性 $> 95\% \pm 1\%$)。

添加剤: $0.1\% \sim 0.5\% \pm 0.01\%$ VC または Cr_3C_2 が粒成長を抑制し、粒子サイズの偏差は $< 3\% \pm 0.5\%$ になります。

焼結プロセス:

真空焼結: $1350^\circ C \pm 10^\circ C$ 、雰囲気 $< 10^{-2} Pa \pm 10^{-3} Pa$ 、酸化を低減 (O

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

<0.02%±0.005%）。

HIP（熱間静水圧加圧）：1400℃±10℃、圧力 100MPa±5MPa、密度>99.5%±0.1%、強度増加 5%±1%。

雰囲気制御：H₂雰囲気（O₂ < 10 ppm±1 ppm）は Co の酸化を抑制し、Ar 雰囲気は Ni の安定性を保護します。

表面処理：

Co 粉末：表面不動態化（O₂吸着<0.01 mg/g±0.002 mg/g）、保管時の酸化を低減。

Ni 粉末：酸化防止コーティング（SiO₂薄層など、厚さ<0.1 μm±0.01 μm）、耐食性を 1%±0.2%向上します。

（4）エンジニアリングアプリケーション

Co 基セメント炭化物：

航空ツール

10%±1%の Co を含有、硬度 HV 2900±50、K_{1c} 18 MPa・m^{1/2} ± 0.5、切削 Ti-6Al-4V（1000° C、速度> 300 m/分±10 m/分）、摩耗量<0.15 mm±0.03 mm、寿命> 12 時間±1 時間。

鉋山用ドリルビット

8%±1%の Co を含有し、耐衝撃性は 10 J±1 J 以上、硬岩掘削（圧縮抵抗は 200 MPa±10 MPa 以上）寿命は 1200 m±100 m 以上。

耐摩耗性金型

12%±1%の Co を含有、冷間圧造ダイス（>10⁶ 回±10⁵ 回）、変形量 <0.01 mm±0.002 mm。

Ni 基超硬合金：

深海バルブ

ニッケル含有量 12%±1%、腐食深さ<5 μm±1 μm、深海環境（5000m、塩分濃度 3.5%）での寿命は>5 年±0.5 年。

ケミカルポンプ本体

ニッケル含有量 15%±1%、pH 2~12、腐食速度 0.01 mm/年±0.002 mm/年、寿命>2 年±0.2 年。

海洋採掘設備

10%±1% Ni+5%±1% Co を含有し、耐衝撃性は 8 J±1 J 以上、耐腐食性は 3%±0.5%向上、寿命は 3 年±0.3 年以上。

Co+Ni 複合結合相：

石油掘削ツール：Co:Ni 比 3:1±0.2、K_{1c} 16 MPa・m^{1/2} ± 0.5、腐食速度<0.015 mm/年±0.002 mm/年、寿命>1000 時間±100 時間。

（5）開発動向

ナノスケールバインダー相：<0.5 μm±0.01 μm Co/Ni 粉末の開発、分散性の向上（均一性>98%±1%）、炭化物硬度>HV 3000±50、靱性>K_{1c} 20 MPa・m^{1/2} ± 0.5。

グリーン生産：再生可能エネルギーの電気分解を利用して Co/Ni 粉末を生産し、エネルギ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

一消費量を 15%±2%削減し、排出量 ($\text{CO}_2 < 500 \text{ kg/t} \pm 50 \text{ kg/t}$) を削減します。
インテリジェント制御: AI を導入して Co/Ni 比と焼結パラメータを最適化し、パフォーマンスの一貫性が 5%±1%、生産効率が 10%±2% 向上します。

Co および Ni は、超硬合金バインダーとして使用されます。Co (FCC、 $a=0.3544 \text{ nm} \pm 0.0001 \text{ nm}$ 、融点 $1495^\circ \text{C} \pm 5^\circ \text{C}$) は、主に高靱性 ($K_{1c} 15\text{--}20 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.5$) を特徴とし、80%±2% 以上を占め、航空工具や採掘ドリルに適しています。Ni (FCC、 $a=0.3524 \text{ nm} \pm 0.0001 \text{ nm}$ 、融点 $1455^\circ \text{C} \pm 5^\circ \text{C}$) は、耐腐食性 (腐食速度 $< 0.02 \text{ mm/年} \pm 0.005 \text{ mm/年}$) を特徴とし、20%±2% 以下を占め、海洋および化学環境に適しています。選定基準は、純度 (Co $> 99.9\% \pm 0.01\%$ 、Ni $> 99.8\% \pm 0.01\%$)、粒子径 (Co $0.5\text{--}1 \text{ } \mu\text{m} \pm 0.01 \text{ } \mu\text{m}$ 、Ni $0.5\text{--}3 \text{ } \mu\text{m} \pm 0.01 \text{ } \mu\text{m}$)、形態 (球状 Co、多角形 Ni) に重点を置いています。製造プロセス (電解 Co、アトマイズ Ni)、混合プロセス、焼結技術を最適化することで、超硬合金の性能が大幅に向上し、多様なエンジニアリングニーズに対応します。今後、Co/Ni 粉末はナノ、グリーン、インテリジェント化へと発展していくでしょう。

4.2.2 結晶粒抑制剤 (炭化バナジウム (VC) および炭化クロム (Cr_3C_2)) のメカニズム

超硬合金の製造における WC (タングステンカーバイド) 粒子の成長。炭化バナジウム (VC) と炭化クロム (Cr_3C_2) は、最も一般的に使用されている 2 つの元素です。VC と Cr_3C_2 を添加することで、粒子を効果的に微細化し、硬度と強度を向上させ、超硬合金の性能を最適化することができます。以下では、基本特性、抑制メカニズム、影響要因、最適化戦略、エンジニアリングアプリケーションの観点から詳細に分析します。

(1) 基本的な特徴

VC (炭化バナジウム)

化学式: VC、立方晶系 (FCC)、格子定数 $a = 0.416 \text{ nm} \pm 0.001 \text{ nm}$ 。

密度: $5.77 \text{ g/cm}^3 \pm 0.05 \text{ g/cm}^3$ 、融点 $2830^\circ \text{C} \pm 10^\circ \text{C}$ 、硬度 $\text{HV } 2800 \pm 50$ 。

特徴: 高硬度、強力な熱安定性、Co バインダー相への低い溶解度 (約 $5\% \pm 0.5\%$)、サブミクロンのセメント炭化物に適しています。

Cr_3C_2 (炭化クロム):

化学式: Cr_3C_2 、斜方晶系、格子定数 $a = 0.552 \text{ nm} \pm 0.001 \text{ nm}$ 、 $b = 1.149 \text{ nm} \pm 0.001 \text{ nm}$ 、 $c = 0.283 \text{ nm} \pm 0.001 \text{ nm}$ 。

密度: $6.68 \text{ g/cm}^3 \pm 0.05 \text{ g/cm}^3$ 、融点 $1895^\circ \text{C} \pm 10^\circ \text{C}$ 、硬度 $\text{HV } 1300 \pm 50$ 。

特徴: 優れた耐食性、高い熱安定性、Co/Ni 結合相との一定の溶解度 (Co の溶解度は約 $2\% \pm 0.2\%$)、ミクロンサイズの超硬合金に適しています。

(2) 阻害機構と効果

$\mu\text{m/分} \pm 0.001 \text{ } \mu\text{m/分}$) を制御することにより、超硬合金の硬度 ($\text{HV } > 2000 \pm 30$) と強度 ($> 4000 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$) を大幅に向上させることができます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

VC の抑制メカニズム:

焼結プロセス中、VC は Co 相に部分的に溶解し（溶解度 $\sim 5\% \pm 0.5\%$ ）、WC/Co 界面エネルギー（ $< 0.5 \text{ J/m}^2 \pm 0.1 \text{ J/m}^2$ ）を低下させ、WC の溶解-再沈殿プロセス（オストワルド成熟、速度 $< 10^{-9} \text{ m/s} \pm 10^{-10} \text{ m/s}$ ）を抑制します。

VC は WC 粒界に析出してナノスケールの粒子（ $< 0.1 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ ）を形成し、WC 粒の移動と融合を妨げます。

効果: $0.5\% \pm 0.01\%$ の VC を添加すると、WC の平均粒径が $1 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ から $0.3 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ に減少し、硬度が $10\% \pm 2\%$ （HV $> 2200 \pm 30$ ）増加し、耐摩耗性が向上します（摩耗損失 $< 0.08 \text{ mm} \pm 0.02 \text{ mm}$ ）。

Cr₃C₂ の阻害メカニズム:

Cr₃C₂ は WC/Co 界面に薄い層（厚さ $< 5 \text{ nm} \pm 1 \text{ nm}$ ）を析出させ、C 原子と W 原子の拡散を妨げ（拡散係数 $< 10^{-11} \text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{s}$ ）、粒子の融合を低減します（融合率 $< 5\% \pm 1\%$ ）。

Cr₃C₂ は Co 相に部分的に溶解し、液相焼結の界面エネルギーを変化させ（ $< 1 \text{ J/m}^2 \pm 0.1 \text{ J/m}^2$ に低下）、WC の溶解再沈殿速度を低下させます。

効果:

$0.5\% \pm 0.01\%$ の Cr₃C₂ を添加すると、WC 粒径を $0.5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ に維持し、強度を $5\% \pm 1\%$ （曲げ強度 $> 4200 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$ ）増加させ、耐食性（腐食速度 $< 0.015 \text{ mm/年} \pm 0.002 \text{ mm/年}$ ）を向上させることができます。

適用範囲:

、その強力な抑制効果により、サブミクロンのセメント炭化物（WC 粒子 $< 0.5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ ）に適しています。

Cr₃C₂ は強度と耐食性を兼ね備えているため、ミクロンサイズの超硬合金（WC 粒子 $1-3 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ ）に適しています。

パフォーマンスへの影響:

微細粒子により硬度と耐摩耗性が向上します

$0.5\% \pm 0.01\%$ VC を含む超硬合金の硬度は HV $> 3100 \pm 50$ であり、航空加工に適しています。

粒界強化により強度と靱性が向上する

$0.5\% \pm 0.01\%$ Cr₃C₂ を含む超硬合金の曲げ強度は $> 4200 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$ であり、破壊靱性 K_{1c} は $> 18 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.5$ です。

高温安定性

VC は粒界安定性を高め、 $1000^\circ \text{C} \pm 10^\circ \text{C}$ での超硬合金の変形は $< 0.01 \text{ mm} \pm 0.002 \text{ mm}$ になります。

(3) 影響要因と最適化

粒度抑制剤の効果は、添加量、粒径、焼結温度、雰囲気など多くの要因によって左右されるため、プロセスを最適化することで最高の性能を確保する必要があります。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

追加金額:

VC: $0.1\% \sim 0.5\% \pm 0.01\%$ 。過剰量 ($>0.8\% \pm 0.01\%$) では脆性相 V_6C_5 (硬度 $HV < 1500 \pm 50$) が生成され、靱性が $10\% \pm 2\%$ ($K_{1c} < 15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.5$) 低下します。

Cr_3C_2 : $0.5\% \sim 1\% \pm 0.01\%$ 。過剰量 ($>1.5\% \pm 0.01\%$) は、Co 相の流動性 ($<10 \text{ 秒}/50\text{g} \pm 0.5 \text{ 秒}$) を低下させ、密度は $1\% \pm 0.2\%$ ($<99\% \pm 0.1\%$) 減少します。

最適化: 添加量を正確に制御します。硬度と靱性のバランスをとるために、VC は $0.3\% \pm 0.01\%$ 、 Cr_3C_2 は $0.5\% \pm 0.01\%$ を推奨します。

粒子サイズ:

VC: $<0.1 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ では分散性が向上し (偏差 $<5\% \pm 1\%$)、硬度が $5\% \pm 1\%$ 増加します ($HV > 2300 \pm 30$)。

Cr_3C_2 : $<0.5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ は界面接合強度 ($>50\text{MPa} \pm 5\text{MPa}$) を高め、強度を $3\% \pm 0.5\%$ ($>4300\text{MPa} \pm 100\text{MPa}$) 増加させます。

最適化: ナノスケールの VC と Cr_3C_2 を超音波分散 (周波数 $40 \text{ kHz} \pm 1 \text{ kHz}$) と組み合わせ使用し、凝集を減らします ($<5\% \pm 1\%$)。

焼結温度:

$1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ では VC と Cr_3C_2 の溶解が保証され (溶解率 $>90\% \pm 2\%$)、抑制効果は $5\% \pm 1\%$ 向上します。

$1550^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ では VC と Cr_3C_2 の析出が起こり (析出率 $>10\% \pm 2\%$)、硬度は $3\% \pm 0.5\%$ 減少します ($HV < 2000 \pm 30$)。

最適化: 焼結温度を $1400 \sim 1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ に制御し、保持時間を延長 ($2 \sim 3 \text{ 時間} \pm 0.1 \text{ 時間}$) して、均一な抑制を確保します。

雰囲気:

H_2 雰囲気 ($O_2 < 10\text{ppm} \pm 1\text{ppm}$) は VC と Cr_3C_2 ($O_2 < 0.05\% \pm 0.01\%$) の酸化を抑制し、純度が $1\% \pm 0.2\%$ 増加します。

真空雰囲気 ($<10^{-2} \text{ Pa} \pm 10^{-3} \text{ Pa}$) では VC の揮発 (損失 $<0.1\% \pm 0.01\%$) が減少し、抑制効果が $2\% \pm 0.5\%$ 向上します。

酸化物含有量を減らすために、真空前処理と組み合わせた H_2 雰囲気が推奨されます。

混合方法:

ボールミル (速度 $300 \text{ rpm} \pm 10 \text{ rpm}$ 、時間 $10 \sim 20 \text{ 時間} \pm 1 \text{ 時間}$) で均一な分散 (均一性 $>95\% \pm 1\%$) を確保します。

最適化: 分散剤 (エタノールなど、 $0.1\% \pm 0.01\%$) を追加して凝集を減らし ($<3\% \pm 1\%$)、分散効率を向上させます。

例:

$0.3\% \pm 0.01\%$ VC (粒径 $<0.1 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$)、 $1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ 、 H_2 雰囲気プロセスで WC 粒子 $0.2 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 、硬度 $HV 2300 \pm 30$ を生成し、PCB ドリルビット (寿命 $>10^5$ 穴 $\pm 10^4$ 穴) に使用されます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

0.5%±0.01% Cr₃C₂（粒径<0.5 μm±0.01 μm）、1400° C±10° C、真空雰囲気プロセスで WC 粒子 0.5 μm±0.01 μm を生成し、強度> 4300 MPa±100 MPa、鉰山ドリルビットに使用されます（寿命>1200 m±100 m）。

（4）エンジニアリングアプリケーション

VC は次のように付け加えた。

0.5%±0.01% VC は、摩耗<0.08 mm±0.02 mm、寿命>15 h±1 h の航空機械加工（1000° C、Ti-6Al-4V 合金）における超硬工具（WC 粒子<0.5 μm±0.01 μm）に使用されます。0.01 μm）の 0.3%±0.01% VC、硬度 HV 2300±30、寿命>10⁵穴±10⁴穴。

Cr₃C₂添加:

0.5%±0.01% Cr₃C₂は鉰山用ドリルビット（WC 粒度 1-3 μm±0.01 μm）に使用され、硬岩掘削では 1200 m±100 m 超の寿命を持ちます（圧縮抵抗>200 MPa±10 MPa）。化学ポンプ本体には 0.8%±0.01%Cr₃C₂が使用されています（WC 粒径 1 μm±0.01 μm）。pH2~12 の環境での腐食速度は<0.015mm/年±0.002mm/年、耐用年数は>2年±0.2年です。

VC+Cr₃C₂化合物の付加:

0.3%±0.01% VC + 0.5%±0.01% Cr₃C₂は海洋採掘設備に使用されます（WC 粒度 0.5 μm±0.01 μm）、耐衝撃性>10 J±1 J、腐食速度<0.01 mm/年±0.002 mm/年、寿命>3年±0.3年。

（5）試験と品質管理

粒度

走査型電子顕微鏡（SEM、GB/T 16594-2008）を使用して、WC 粒径を測定しました（偏差<5% ± 1%）。

分布の均一性: X線エネルギー分光法（EDS、GB/T 17359-2012）を使用して、粒界における VC/ Cr₃C₂ の分布を検出します（偏差<3%±0.5%）。

パフォーマンステスト

硬度: ISO 4499-2 に従って、ピッカース硬度（HV >2000±30）を測定します。

強度: GB/T 3851-2015 に従って曲げ強度を試験します（>4000 MPa±100 MPa）。

耐摩耗性: GB/T 12444-2006 に従って、摩耗量（<0.08 mm±0.02 mm）を測定します。

オンライン監視: 赤外線サーモグラフィにより焼結温度（偏差<5° C±1° C）を監視し、一貫した抑制効果を確保します。

結晶粒抑制剤 VC および Cr₃C₂は、溶解 - 再沈殿機構により WC の結晶粒成長（成長速度<0.01 μm /分± 0.001 μm /分）を抑制し、結晶粒を微細化（<0.5 μm±0.01 μm）し、超硬合金の硬度（HV>2000±30）、強度（>4000 MPa±100 MPa）、耐摩耗性（摩耗損失<0.08 mm±0.02 mm）を大幅に向上させます。VC はサブミクロンの超硬合金に適してお

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

り（抑制効果が強い）、 Cr_3C_2 はミクロンレベルに適しています（耐食性を考慮）。添加量（VC 0.1%~0.5%±0.01%、 Cr_3C_2 0.5%~1%±0.01%）、粒径（VC <0.1 μm ±0.01 μm 、 Cr_3C_2 <0.5 μm ±0.01 μm ）、焼結温度（1450° C±10° C）、雰囲気（ H_2 または真空）を最適化することで、最大の抑制効果が得られます。VC と Cr_3C_2 の適用により、航空工具（寿命>15 時間± 1 時間）、鉋業用ドリルビット（寿命>1200 m±100 m）、化学装置（寿命>2 年±0.2 年）の性能が大幅に向上します。

4.3 粉末前処理

粉末前処理は、ボールミル（湿式/乾式ミル、ボール対粉末比 10:1±0.5）およびスプレー乾燥（流量 100 L/h±10 L /h）により、WC、Co/Ni、および添加剤の混合均一性（偏差 <5%±1%）、粒度分布（0.110 μm ±0.01 μm ）、および流動性（1316s/50g±0.5s）を最適化します。前処理により、焼結密度（>99%±0.1%）と性能の一貫性（硬度偏差<±30 HV）が確保され、気孔率（<0.1%±0.02%）が低下し、強度（>4000 MPa±100 MPa）が向上します。このセクションでは、ボールミルおよびスプレー乾燥プロセスを分析します。

4.3.1 ボールミル粉砕プロセス（湿式粉砕/乾式粉砕、ボールと材料の比率 10:1）

プロセスパラメータと原理

ボールミリングでは、WC ボール（直径 510 mm ± 0.1 mm、硬度 HV 1800 ± 50）を使用して、WC（0.110 μm ± 0.01 μm ）、Co/Ni（0.53 μm ± 0.01 μm ）および添加剤（VC/ Cr_3C_2 、<0.5 μm ± 0.01 μm ）を、ボール対材料比 10:1 ± 0.5、回転速度 200/400 rpm ± 10 rpm、時間 424 時間 ± 0.1 時間で粉砕します。

湿式粉砕

エタノール（純度>99.5%±0.01%、添加量 50%100%±5%質量分率）を使用し、分散剤（PEG、0.5%1%±0.01%）を添加して凝集を低減し（<5%±1%）、粒子サイズの偏差は<3%±0.5%です。

乾式粉砕

媒体なし、低 Co 配合（<6%±1%）に適しており、汚染は低減されます（Fe<0.01%±0.002%）が、凝集率は高くなります（>10%±2%）。

高い均一性（混合偏差 <2%±0.5%）により、湿式粉砕が >90%±2% を占めました。速度論は衝突エネルギー（ 10^{-3} J/ショット ± 10^{-4} J/ショット）と精製速度 0.1 μm /h ± 0.01 μm /h に基づいています。

たとえば、湿式研削（12 時間 ± 0.1 時間、エタノール 100% ± 5%）では、均一性 > 98% ± 1% の WC 0.5 μm ± 0.01 μm と Co 0.8 μm ± 0.01 μm の混合粉末が生成され、これは航空工具（硬度 HV 2200 ± 30、寿命 > 12 時間 ± 1 時間）に使用されます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

影響要因と最適化

ボールミル処理の効果は、以下の要因によって影響を受けます。

ボールと材料の比率

10:1±0.5 では精製効率がよく(>90%±2%)、>15:1 では汚染が増加し(Fe>0.05%±0.01%)、硬度が 2%±0.5% 低下します。

スピード

300 rpm±10 rpm では効率と摩耗のバランスが取れており（ボール摩耗 <0.1%±0.02%）、<200 rpm では精製が不十分です（粒子サイズ >1 μm±0.01 μm）。

時間

12 時間 ± 0.1 時間では均一性が確保され（偏差 < 2% ± 0.5%）、24 時間を超えると過度の摩耗（Fe > 0.03% ± 0.005%）が発生し、靱性が 3% ± 0.5% 低下します。

中くらい

エタノールは表面エネルギー（<0.1 J/m²±0.02 J/m²）を低下させ、凝集を 5%±1%抑制します。水（純度>99.9%±0.01%）は低コストですが、酸素含有量を 0.05%±0.01%増加させます。

ボール素材

WC ボール（純度 > 99.5%±0.01%）は汚染が少なく（Fe < 0.01%±0.002%）、スチールボール（Fe > 0.1%±0.02%）よりも優れています。

たとえば、湿式研削（10:1 ± 0.5、300 rpm ± 10 rpm、12 時間 ± 0.1 時間、WC ボール）では、PCB ドリルビット（寿命 > 10⁵ 穴 ± 10⁴ 穴）用の混合粉末（WC 0.3 μm ± 0.01 μm）が生成されます。

エンジニアリングアプリケーション

湿式粉砕

WC 0.5 μm±0.01 μm、Co 0.8 μm±0.01 μm は、切削工具（航空、摩耗<0.1mm±0.02mm）に使用されます。

乾式粉砕

低 Co（6%±1%）配合は、変形が 0.01mm±0.002mm 未満の金型（押し出し >10⁵ 回±10⁴ 回）に使用されます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

超合金原料の前処理のためのボールミルプロセスにおける乾式粉碎と湿式粉碎

カテゴリ	パラメータ特徴	乾式粉碎	湿式粉碎
テクノロジー パラメータ	中くらい	Ar、 $O_2 < 10 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$ などのみを使用します。	液体媒体（水、エタノール、アセトンなど）、濃度 $50\% \sim 70\% \pm 2\%$ （固液比）。
	ボールと材料の比率	$5:1 \sim 10:1 \pm 0.1$ 。研削効率を確保するにはそれ以上にします。	$3:1 \sim 8:1 \pm 0.1$ 、液体媒体により摩擦が低減されるため、ボールと材料の比率はわずかに低くなる可能性があります。
	スピード	$200 \sim 400 \text{ rpm} \pm 10 \text{ rpm}$ 。回転数が高すぎる場合（ 500 rpm 超）、過熱や凝集（ $10\% \pm 1\%$ 超）が発生する可能性があります。	$300 \sim 500 \text{ rpm} \pm 10 \text{ rpm}$ 、液体冷却、速度はわずかに高くても良く、凝集率は $< 5\% \pm 1\%$ です。
	研削時間	$10 \sim 20 \text{ 時間} \pm 0.5 \text{ 時間}$ 。長時間使用すると過熱する可能性があります。粒子サイズの偏差は $10\% \pm 1\%$ を超えます。	$5 \sim 15 \text{ 時間} \pm 0.5 \text{ 時間}$ 、液体効率が高く、時間が短く、粒子サイズの偏差は $5\% \pm 1\%$ 未満です。
	ボールミル 中くらい	超硬ボール（HRC $65 \sim 75 \pm 2$ ）、 ZrO_2 ボール（HRC $70 \sim 80 \pm 2$ ）、直径 $2 \sim 10 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ 。	超硬ボール、 ZrO_2 ボール、ステンレス鋼ボール（HRC $25 \sim 35 \pm 2$ ）、直径 $1 \sim 5 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ 。
	温度 コントロール	自然放熱のため、温度が上昇しやすい（ $> 60^\circ \text{C} \pm 2^\circ \text{C}$ ）ため、断続的な冷却が必要です（ $2 \text{ 時間} \pm 0.1 \text{ 時間}$ ごとに $30 \text{ 分} \pm 5 \text{ 分}$ 間停止）。	液体媒体の放熱、温度 $< 40^\circ \text{C} \pm 2^\circ \text{C}$ 、追加の冷却は不要です。
	雰囲気 コントロール	Ar や N_2 、 $O_2 < 10 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$ などにより酸化を防止します（ $< 0.05\% \pm 0.01\%$ ）。	液体媒体は空気を遮断し、酸化率は $< 0.03\% \pm 0.005\%$ です。空気または不活性雰囲気が使用可能です。
	に追加 エージェント	流動性を向上させるために、乾式法でパラフィンワックス（ $1\% \sim 2\% \pm 0.1\%$ ）を追加します（ $< 30 \text{ 秒} / 50 \text{ g} \pm 2 \text{ 秒}$ ）。	PVA または PEG（ $1\% \sim 3\% \pm 0.1\%$ ）を湿式添加し、培地に溶解して分散性を向上させます（ $> 95\% \pm 1\%$ ）。
	粉 粒子サイズ	粗粉碎（ $1 \sim 10 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ ）に適しており、 $0.5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ への精製効率は低いです。	微粉碎および超微粉碎（ $0.1 \sim 1 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ ）に適しており、精製効率が高く、分布偏差は $5\% \pm 1\%$ 未満です。
	純度 コントロール	不純物（Fe $< 0.02\% \pm 0.005\%$ など）は簡単に混入するため、酸洗によって除去する必要があります。	液体培地は不純物が少なく（Fe $< 0.01\% \pm 0.002\%$ ）、純度が高くなります（ $> 99.9\% \pm 0.01\%$ ）。
	ドライ ステップ	乾かす必要がなく、そのまま押すだけ。	$4 \sim 8 \text{ 時間} \pm 0.5 \text{ 時間}$ 乾燥させる必要があります（真空乾燥、 $80^\circ \text{C} \pm 2^\circ \text{C}$ 、 $< 10^{-2} \text{ Pa} \pm 10^{-3} \text{ Pa}$ ）。
	エネルギー消費	摩擦が大きいため、消費電力は高くなります（粉末 $1 \text{ トンあたり } 50 \sim 80 \text{ kWh} \pm 5 \text{ kWh}$ ）。	低消費電力（粉末 $1 \text{ トンあたり } 30 \sim 50 \text{ kWh} \pm 5 \text{ kWh}$ ）、液体のため摩擦が低減します。

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

カテゴリ	パラメータ特徴	乾式粉碎	湿式粉碎
特徴	プロセス 清潔さ	プロセスはシンプルで、追加の設備を必要とせず、大規模生産（1 トン/バッチ以上）に適しています。	工程は比較的複雑で、微細加工に適した乾燥設備が必要です。
	粒子サイズ 分散型	分布幅（(D90-D10)/D50>2.0±0.2）、均一性<90%±1%。	分布は狭く（(D90-D10)/D50 <1.5±0.1）、均一性は>95%±1%です。
	再会率	高い（> 10%±1%）、温度と添加物を制御する必要があります。	低い（<5%±1%）、液体媒体に効果的に分散します。
	酸化 コントロール	不活性雰囲気が必要であり、酸化率は0.05%±0.01% を超える可能性があります。	液体分離、酸化率<0.03%±0.005%。
長所と短所	アドバンテージ	低コスト（設備投資の削減、乾燥工程が不要、粗加工に最適）。	精製効率が高く純度も高いため、超微粉末（<0.5±0.01 μm）に適しています。
	欠点	精製能力には限界があり、凝集しやすく、高温（>60° C±2° C）では酸化が起こります。	乾燥が必要になるとエネルギー消費量（10～20 kWh/t±2 kWh）が増加し、液体に水分（>0.1%±0.01%）が混入する可能性があります。
アプリケーションシナリオ	該当する 範囲	低コスト生産のための粗粒子混合（> 5 μm ± 0.01 μm）（例：鉍山ドリルビットブランク）。	サブミクロン、ナノメートル粉末（<0.5 μm±0.01 μm）、高精度成形（航空工具など）。
	例	WC-Co 粉末（D50=5 μm±0.01 μm）、曲げ強度>3800MPa±100MPa、寿命>1200m±100m。	WC 粉末（D50=0.3 μm±0.01 μm）、硬度HV>3000±50、寿命>15 時間±1 時間。
最適化の提案	ボールミル 中くらい	汚染を減らすために超硬ボール（HRC 65-75±2）を使用してください（Fe <0.01%±0.002%）。	汚染（<0.03%±0.005%）を避けるために、ZrO ₂ ボール（HRC 70-80±2）を使用してください。
	に追加 投与量の最適化	1%±0.1% パラフィン ワックス、凝集率を低下させます（<5%±1%）。	分散性を向上させるため、1%～3%±0.1% PVA または PEG（均一性>95%±1%）。
	温度 コントロール	断続運転（2 時間±0.1 時間ごとに 30 分±5 分停止）、<50° C±2° C。	液体冷却、追加制御は不要、<40° C±2° C。
	雰囲気 最適化	Ar または N ₂ 雰囲気（O ₂ < 10 ppm±1 ppm）、酸化<0.03%±0.005%。	エタノール媒体（純度>99.5%±0.1%）、固液比60%±2%、酸化度<0.01%±0.002%。
	後処理	乾かす必要がなく、そのまま押すだけ。	真空乾燥（80° C±2° C、<10 ⁻² Pa ± 10 ⁻³ Pa）、水分 <0.05%±0.01%。
	エネルギー消費 最適化	回転速度を最適化し（<400 rpm±10 rpm）、エネルギー消費を 10%±2%削減します。	乾燥時間を最適化し（<6 時間 ± 0.5 時間）、エネルギー消費を 5% ± 1% 削減します。
説明する	超硬合金原料の前処理において、乾式粉碎と湿式粉碎はそれぞれ独自の特徴を持っています。乾式粉碎は乾燥が不要で、コストが低く（エネルギー消費量 50～80 kWh/t±5 kWh）、粗粉碎（> 5 μm±0.01 μm）に適して		

カテゴリ	パラメータ特徴	乾式粉碎	湿式粉碎
	いますが、粒度分布が広く ($> 2.0 \pm 0.2$)、凝集率が高い ($> 10\% \pm 1\%$) という欠点があります。一方、湿式粉碎は精製効率が高く ($99.9\% \pm 0.01\%$)、高精度用途に適していますが、乾燥が必要です (エネルギー消費量 $30 \sim 50 \text{ kWh/t} \pm 5 \text{ kWh}$)。ボールと材料の比率 (乾式研削 $5:1 \sim 10:1 \pm 0.1$、湿式研削 $3:1 \sim 8:1 \pm 0.1$)、回転速度 (乾式研削 $200 \sim 400 \text{ rpm} \pm 10 \text{ rpm}$、湿式研削 $300 \sim 500 \text{ rpm} \pm 10 \text{ rpm}$)、媒体の選択を最適化することで、乾式研削は鉱業用ドリルビット (寿命 $> 1200 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$) をサポートし、湿式研削は航空ツール (寿命 $> 15 \text{ 時間} \pm 1 \text{ 時間}$) をサポートし、多様なニーズに応えます。		

4.3.2 噴霧乾燥および造粒技術

噴霧乾燥および造粒技術は、超硬合金原料(炭化タングステン粉末 WC、コバルト粉末 Co、ニッケル粉末 Ni など)の前処理における中核プロセスであり、微粉末を優れた流動性と圧縮特性を持つ粒子にするために使用されます。

噴霧乾燥および造粒技術の原理

スプレー乾燥:

プロセス: WC、Co などの粉末を含む懸濁液またはスラリーを噴霧器で小さな液滴 ($10 \sim 200 \mu\text{m} \pm 0.1 \mu\text{m}$) に噴霧し、高温気流 ($150 \sim 300^\circ \text{C} \pm 5^\circ \text{C}$) 中で水を急速に蒸発させて (蒸発速度 $> 90\% \pm 2\%/s$)、乾燥粒子を形成します。

熱および物質移動: 液滴表面の水が最初に蒸発し、内部の水分は拡散によって移動します。乾燥時間は 1 秒未満 ± 0.1 秒です。

対象: 粒子サイズ $20 \sim 150 \mu\text{m} \pm 0.1 \mu\text{m}$ 、流動性 $< 20 \text{ 秒}/50\text{g} \pm 2 \text{ 秒}$ (GB/T 1482-2010)、嵩密度 $> 1.5 \text{ g/cm}^3 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$ 。

造粒:

プロセス: スプレー乾燥では、バインダー (PVA、PEG など) が液滴内の粒子の付着を促進し、表面張力 ($< 0.07 \text{ N/m} \pm 0.01 \text{ N/m}$) によって球形またはほぼ球形の粒子が形成されます。

メカニズム: 乾燥過程で粒子が衝突して結合し、バインダーが固化してネットワーク構造 (多孔度 $< 10\% \pm 1\%$) を形成し、粒子の強度が向上します。

目標: 成形体の圧縮強度 $> 10 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$ 、プレス後の密度均一性 $> 98\% \pm 1\%$ 。

(2) プロセスパラメータ

飼料濃度:

範囲: $20\% \sim 40\% \pm 1\%$ (固形物質質量分率)。

影響: 濃度 $< 15\% \pm 1\%$ の場合、粒子が細かすぎる ($< 20 \mu\text{m} \pm 0.1 \mu\text{m}$) ため流動性が低下します ($> 30 \text{ s}/50 \text{ g} \pm 2 \text{ s}$)。 $> 45\% \pm 1\%$ の場合、粘度が高くなりすぎます ($> 1000 \text{ mPa} \cdot \text{s} \pm 50 \text{ mPa} \cdot \text{s}$)。ノズルが詰まります。

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

最適化：25%～30%±1%、粒子サイズ 50～100 μm±0.1 μm、粘度 300～500mPa・s±50mPa・s。

供給流量：

範囲：5～20 L/h ± 0.5 L/h（小型・中型機器）、50～200 L/h ± 5 L/h（大型機器）。

影響：流量 <5 L/h±0.5 L/h、乾燥が不均一、残留水 >1%±0.2%、>25 L/h±0.5 L/h、粒子が大きすぎる（>200 μm±0.1 μm）、かさ密度が低下する。

最適化：10～15 L/h±0.5 L/h（小・中）、100～150 L/h±5 L/h（大）、乾燥効率>95%±1%。

入口空気温度：

範囲：150～300° C ± 5° C（出口温度 80～120° C ± 2° C）。

影響：温度が 150° C±5° C 未満の場合、乾燥が不完全で、残留水分が 1%±0.2% を超え、粒子の粘度が高くなります。350° C±5° C を超える場合、バインダーが分解し（残留炭素が 0.3%±0.01% を超え）、粒子の脆さが増します。

最適化：200～250° C±5° C、残留水<0.2%±0.05%、バインダー保持率>90%±2%。

霧化圧力：

範囲：0.1～0.3MPa±0.01MPa（圧力式）、0.2～0.4MPa±0.01MPa（気流式）。

影響：圧力が<0.1MPa±0.01MPa の場合、液滴は大きく（>200 μm±0.1 μm）、乾燥は不均一になります。圧力が>0.4MPa±0.01MPa の場合、液滴は小さすぎ（<20 μm±0.1 μm）、流動性が悪くなります。

最適化：0.2～0.25MPa±0.01MPa、液滴サイズ 50～100 μm±0.1 μm、分布均一性>95%±1%。

結合剤の投与量：

範囲：1%～5%±0.1%（PVA、PEG、パラフィン）。

影響：投与量が 1%±0.1% 未満の場合、粒子強度が不十分になります（5 MPa±0.5 MPa 未満）。7%±0.1% を超える場合、残留炭素が増加し（0.2%±0.01% 超）、焼結気孔率が 0.2%±0.02% 超になります。

最適化：2%～3%±0.1%、強度>12 MPa±1 MPa、残留炭素<0.1%±0.01%。

（3）噴霧乾燥・造粒装置の種類と特徴

遠心噴霧乾燥機：

動作原理：高速回転ディスク（1000～20000 rpm ± 50 rpm）がスラリーを液滴に投げ込

み、熱風（200～300° C ± 5° C）で乾燥させます。

特徴：

粒子サイズ：20～120 μm±0.1 μm、球形度>90%±2%。

出力：100～1000 kg/h±10 kg/h（ディスク径により異なります）。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

利点：高粘度スラリー（ $<1000 \text{ mPa} \cdot \text{s} \pm 50 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ ）、狭い粒度分布（ $(D90-D10)/D50 < 1.5 \pm 0.1$ ）に適しています。

デメリット：高速（ $>15000 \text{ rpm} \pm 50 \text{ rpm}$ ）、ディスクが摩耗しやすい（寿命 <500 時間 ± 50 時間）、メンテナンス コストが高い。

航空工具用の大規模 WC-Co 粉末造粒（ $D50=50 \text{ } \mu\text{m} \pm 0.1 \text{ } \mu\text{m}$ ）。

圧力スプレードライヤー：

動作原理：高圧ポンプ（ $0.1 \sim 0.3 \text{ MPa} \pm 0.01 \text{ MPa}$ ）がノズルを通して霧化し、熱風（ $150 \sim 250^\circ \text{C} \pm 5^\circ \text{C}$ ）で乾燥させます。

特徴：

粒子サイズ： $30 \sim 150 \text{ } \mu\text{m} \pm 0.1 \text{ } \mu\text{m}$ 、球形度 $>95\% \pm 2\%$ 。

出力： $50 \sim 500 \text{ kg/h} \pm 5 \text{ kg/h}$ 。

利点：柔軟なノズル設計（単穴または多穴）、低粘度スラリー（ $<500 \text{ mPa} \cdot \text{s} \pm 50 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ ）に適しており、エネルギー消費量が低い（ $<60 \text{ kWh/t} \pm 5 \text{ kWh}$ ）。

デメリット：ノズルが詰まりやすい（ 100 時間 ± 10 時間ごとに清掃）、生産量が制限されます。

用途：WC-Ni 粉末（ $D50=80 \text{ } \mu\text{m} \pm 0.1 \text{ } \mu\text{m}$ ）の微細粒、化学ポンプ本体に使用される。

エアフローズプレードライヤー：

動作原理：圧縮空気（ $0.2 \sim 0.4 \text{ MPa} \pm 0.01 \text{ MPa}$ ）をスラリーと混合して霧化し、熱風（ $180 \sim 280^\circ \text{C} \pm 5^\circ \text{C}$ ）を使用して乾燥させます。

特徴：

粒子サイズ： $20 \sim 80 \text{ } \mu\text{m} \pm 0.1 \text{ } \mu\text{m}$ 、球形度 $>90\% \pm 2\%$ 。

出力： $30 \sim 300 \text{ kg/h} \pm 5 \text{ kg/h}$ 。

利点：微粉末分散に適しています（初期粒子サイズ $<1 \text{ } \mu\text{m} \pm 0.01 \text{ } \mu\text{m}$ ）、粒子均一性 $>96\% \pm 1\%$ 、高純度要件に適しています（ $<0.03\% \pm 0.005\%$ ）。

デメリット：エネルギー消費量が多い（ $>80 \text{ kWh/t} \pm 5 \text{ kWh}$ ）、空気圧縮コストが増加する。

用途：ナノ WC 粉末造粒（ $D50 = 30 \text{ } \mu\text{m} \pm 0.1 \text{ } \mu\text{m}$ ）、PCB ドリルビットに使用されます。

二流体スプレードライヤー：

動作原理：液体と圧縮空気がデュアル流体ノズル（ $0.1 \sim 0.3 \text{ MPa} \pm 0.01 \text{ MPa}$ ）を通して共霧化され、熱風（ $200 \sim 300^\circ \text{C} \pm 5^\circ \text{C}$ ）で乾燥されます。

特徴：

粒子サイズ： $10 \sim 100 \text{ } \mu\text{m} \pm 0.1 \text{ } \mu\text{m}$ 、球形度 $>92\% \pm 2\%$ 。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

出力：50～400kg/h±5kg/h。

利点：霧化粒子のサイズを制御可能（ガスと液体の比率で調整）、高固形分スラリー（>30%±1%）に適しています。

デメリット：装置が複雑で、頻繁なメンテナンスが必要です（200 時間 ± 20 時間ごとにノズルを確認してください）。

用途：WC-Co 混合粉末造粒物（D50=60 μm±0.1 μm）、耐摩耗性金型に使用されます。

実験室用小型スプレードライヤー：

動作原理：小型遠心または圧力設計（速度 5000～10000 rpm±50 rpm、圧力 0.1～0.2

MPa±0.01 MPa）、熱風 150～200° C±5° C。

特徴：

粒子サイズ：20～80 μm±0.1 μm、出力 0.5 ～5kg/h±0.1kg/h。

利点：研究開発や試作に適しており、柔軟なパラメータ調整が可能です（温度 ±5° C、流量 ±0.1 L/h）。

デメリット：出力が低く、コストが高い（機器価格 > 5000 米ドル ± 500 米ドル）。

：小ロット WC-Ni 粉末試験（D50=40 μm± 0.1 μm）。

（4）影響要因

スラリー特性：

粒子サイズ：初期粉末 <1 μm±0.01 μm であれば均一な粒子を形成しやすくなります。>5 μm±0.01 μm の場合、粗い粒子や不規則な粒子になります。

粘度：200～800 mPa・s±50 mPa・s が最適です。1000 mPa・s±50 mPa・s を超えるとノズルが詰まります。

バインダータイプ：

PVA（2% ± 0.1%）は強度を高めます（> 12 MPa ± 1 MPa）が、吸湿性が高くなります（> 2% ± 0.2%）。

PEG（2% ± 0.1%）により流動性（<20 秒/50 g ± 2 秒）は向上しましたが、炭素残留物はわずかに増加しました（<0.15% ± 0.01%）。

パラフィンワックス（1%～2%±0.1%）は乾燥後の流動性に適していますが、揮発性が高くなります（>80° C±2° C）。

環境条件：

湿度 <50% RH±5%、温度 <30° C±2° C。バインダーの早期揮発や粒子の吸湿を避けるためです。

設備要因：

ノズルの摩耗（寿命 <500 時間 ±50 時間）により、液滴が不均一になるため、定期的な交換が必要になります。

（5）最適化戦略

スラリーの準備：

湿式粉碎（300～500rpm±10rpm、5～15 時間±0.5 時間）を使用して、均質なスラリー（粒

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

子サイズ $<1\mu\text{m}\pm 0.01\mu\text{m}$ 、粘度 $300\sim 500\text{mPa}\cdot\text{s}\pm 50\text{mPa}\cdot\text{s}$ ）を調製した。

超音波分散（ $40\text{kHz}\pm 1\text{kHz}$ 、 $10\text{分}\pm 1\text{分}$ ）、凝集率 $<5\%\pm 1\%$ 。

プロセスパラメータの調整:

供給濃度は $25\%\pm 1\%$ 、入口空気温度は $220^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 、霧化圧力は $0.2\text{MPa}\pm 0.01\text{MPa}$ 、粒子サイズは $50\sim 80\mu\text{m}\pm 0.1\mu\text{m}$ である。

バインダー： $2\%\pm 0.1\%$ PVA + $1\%\pm 0.1\%$ PEG、強度 $>12\text{MPa}\pm 1\text{MPa}$ 、流動性 $<20\text{秒}/50\text{g}\pm 2\text{秒}$ 。

機器のメンテナンス:

詰まりを防ぐために、ノズルを清掃してください（週に1回、エタノール（純度 $>99.5\%\pm 0.1\%$ ）を使用）。

噴霧ディスクまたはノズルを交換してください（ $500\text{時間}\pm 50\text{時間}$ ごと）、速度偏差は $<5\%\pm 1\%$ です。

後処理:

ふるい分け（ $100\sim 150\mu\text{m}\pm 0.1\mu\text{m}$ ）して、大きすぎる粒子（ $<5\%\pm 1\%$ ）を除去します。

真空乾燥（ $80^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、 $<10^{-2}\text{Pa}\pm 10^{-3}\text{Pa}$ 、 $4\sim 6\text{時間}\pm 0.5\text{時間}$ ）、残留水分 $<0.1\%\pm 0.01\%$ 。

(6) 適用効果

流動性と圧縮特性:

流動性 $<20\text{秒}/50\text{g}\pm 2\text{秒}$ 、グリーン体密度 $>60\%\pm 1\%$ （理論密度）、プレス欠陥 $<1\%\pm 0.2\%$ 。

例: WC-10%Co（ $D_{50}=50\mu\text{m}\pm 0.1\mu\text{m}$ ）、航空工具ブランクの寿命 $>15\text{時間}\pm 1\text{時間}$ 。

焼結性能:

密度 $>99\%\pm 0.1\%$ 、気孔率 $<0.05\%\pm 0.01\%$ 、硬度 HV $>2900\pm 50$ 、曲げ強度 $>4200\text{MPa}\pm 100\text{MPa}$ 。

例: WC-12%Ni（ $D_{50}=80\mu\text{m}\pm 0.1\mu\text{m}$ ）、ケミカルポンプ本体の寿命は $2\text{年}\pm 0.2\text{年}$ 超。

一貫性:

バッチ間の粒子サイズの偏差は $<5\%\pm 1\%$ 、均一性は $>95\%\pm 1\%$ 、焼結欠陥は $50\%\pm 5\%$ 減少しました。

(7) 試験および品質管理

粒度分布: レーザー粒度分布分析（GB / T 19077.1-2008）、 $D_{50}\ 50\sim 100\mu\text{m}\pm 0.1\mu\text{m}$ 、 $(D_{90}-D_{10})/D_{50}\ <1.5\pm 0.1$ 。

形態分析: SEM（GB/T 16594-2008）、球形度 $>90\%\pm 2\%$ 、凝集率 $<5\%\pm 1\%$ 。

水分含有量: カールフィッシャー法（GB/T 6283-2008）、残留水分 $<0.2\%\pm 0.05\%$ 。

強度試験: 圧縮強度（GB/T 3851-2015）、 $>10\text{MPa}\pm 1\text{MPa}$ 。

残留炭素検出: 赤外線吸収法（GB/T 5124-2017）、残留炭素 $<0.1\%\pm 0.01\%$ 。

オンライン監視: 赤外線サーモグラフィで吸入空気温度（偏差 $<5^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ ）を監視し、流量計で供給空気（偏差 $<1\%\pm 0.1\%$ ）を監視します。

スプレー乾燥および造粒技術は、WC、Coなどの微粉末を噴霧（圧力 $0.2\sim 0.25\text{MPa}\pm 0.01$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

MPa)と高温乾燥(200~250°C±5°C)により20~150 μm±0.1 μmの粒子に変換し、流動性(<20 s/50 g±2 s)と成形体強度(>10 MPa±1 MPa)を大幅に向上させます。設備の種類には、遠心式(高出力、100~1000kg/h±10kg/h)、加圧式(高球形度、50~500kg/h±5kg/h)、気流式(微粒子、30~300kg/h±5kg/h)、二流体式(粒子サイズ制御可能、50~400kg/h±5kg/h)、実験室用小型機(研究開発用、0.5~5kg/h±0.1kg/h)があり、それぞれ独自の利点があります。原料濃度(25%~30%±1%)、バインダー添加量(2%~3%±0.1%)、設備メンテナンスを最適化することで、粒子均一性(>95%±1%)と焼結性能(密度>99%±0.1%)を確保できます。航空工具(寿命>15時間±1時間)、化学機器(寿命>2年±0.2年)などのハイエンド分野で広く使用されています。

4.4 粉体特性評価

粉末特性評価混合粉末の品質は、フィッシャー粒子径(FSSS、0.250 μm±0.01 μm)、ゆらみ密度、タップ密度(4.06.2 g/cm³±0.1 g/cm³)、流動性(1316秒/50g±0.5秒)によって評価され、焼結性能(密度>99%±0.1%、硬度偏差<±30 HV)を保証します。特性評価方法は粒子動力学(ストークス沈降法、ハーゲン・ポアズイユ流法)に基づいており、ISO 4499 および ASTM B330 規格に準拠しています。

4.4.1 フィッシャー粒子サイズ(FSSS、0.250 μm)

フィッシャーサブシーブサイザー(FSSS)は、空気透過法によって粉末粒子の平均サイズを決定する伝統的な方法です。超硬合金原料(炭化タングステン粉末WCなど)の粒度分析に広く使用されています。これは、粉末層の空気抵抗と粒子サイズの関係に基づいています。一定の圧力下での空気流透過性を測定することにより、平均粒子サイズ(通常はミクロン単位)を計算します。フィッシャー粒度分布測定は、微粒子(0.1~50 μm)に適しています。結果は粉末の表面積と細孔特性を反映し、超硬合金の焼結性能と加圧挙動にとって重要な基準値となります。

特性評価方法と重要性フィッシャー

粉末の平均粒径(FSSS)は、ダルシーの法則(透過率 約 $10^{-12} \text{ m}^2 \pm 10^{-13} \text{ m}^2$)に基づき、空気透過法で測定しました。10%±1%のCoを含む混合粉末のFSSSは0.55 μm±0.01 μm、WCは0.33 μm±0.01 μm、Coは0.51 μm±0.01 μmです。微細なFSSS(<0.5 μm±0.01 μm)は硬度(HV>2200±30)を向上させ、大きな粒子径(>5 μm±0.01 μm)は靱性($K_{1c} > 18 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.5$)を高めます。試験条件: サンプル質量5g±0.1g、圧力0.1MPa±0.01MPa、空気純度>99.9%±0.01%、誤差<2%±0.5%。

たとえば、FSSS 0.3 μm±0.01 μmの粉末は航空切削工具(摩耗 <0.08mm±0.02mm)に使用され、硬度HV 2300±30、寿命>15h±1hです。また、FSSS 5 μm±0.01 μmは鋳業ドリ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ルビット（ K_{1c} 20 MPa · m^{1/2} ± 0.5）に使用され、寿命 > 1200m ± 100m です。

影響要因と最適化

FSSS 測定は、次の要因の影響を受けます。

粉末組成: WC/Co=90:10 ± 1%、FSSS 0.5 μm ± 0.01 μm、WC/Ni=88:12 ± 1%、FSSS 1 μm ± 0.01 μm、Ni 粒子サイズが大きい（> 2 μm ± 0.01 μm）。

ボールミル処理時間: 12 時間 ± 0.1 時間、FSSS は 10% ± 2% 減少（0.5 μm ± 0.01 μm）。24 時間を超えると凝集が増加し（> 5% ± 1%）、FSSS は 5% ± 1% 増加しました。

添加剤: 0.5% ± 0.01% VC は FSSS を 5% ± 1%（0.3 μm ± 0.01 μm）減少させ、Cr₃C₂ は < 2% ± 0.5% に影響します。

周囲湿度: < 50% ± 5%、凝集を避けてください（< 5% ± 1%）、FSSS エラー < 1% ± 0.2%。

機器校正: FSSS 機器多孔度誤差 < 0.1% ± 0.02%、誤差低減 1% ± 0.2%。

たとえば、FSSS 0.3 μm ± 0.01 μm（12 時間の湿式研磨、0.5% ± 0.01% VC）粉末は、PCB ドリル ビット（寿命 > 10⁵ 穴 ± 10⁴ 穴）に使用されます。

フィッシャーの粒子サイズ（FSSS） エンジニアリングアプリケーション 超硬切削工具

FSSS 0.20.5 μm ± 0.01 μm、硬度 HV > 2300 ± 30、航空処理寿命 > 15 時間 ± 1 時間。

鋌業

FSSS 35 μm ± 0.01 μm、 K_{1c} > 20 MPa · m^{1/2} ± 0.5、掘削寿命 > 1200m ± 100m。

4.4.2 炭化タングステン粉末の嵩密度、タッピング密度および流動性

タングステンカーバイド粉末（WC）の嵩密度、タッピング密度、流動性は、その物理的特性を示す重要な指標であり、超硬合金の加圧・焼結挙動、そして最終製品の性能に直接影響を及ぼします。以下では、定義、測定方法、影響要因、最適化対策、エンジニアリングへの応用といった観点から、これらの特性について詳細に分析します。

炭化タングステン粉末の嵩密度

ゆるい密度とは、粉末が自然に積み重ねられた状態における密度を指し、粉末の積み重ね特性と多孔性を反映します。

測定方法

ASTM B212 に従って、50 g ± 0.1 g の粉末を標準メスシリンダー（容量 25 mL ± 0.1 mL）に自由落下させ、質量と体積の比を計算しました。

標準値

純粋な WC 粉末の嵩密度は 4.0 ~ 5.0 g/cm³ ± 0.1 g/cm³ で、気孔率は約 40% ± 2% です。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10%±1%の Co を含む WC-Co 混合粉末の嵩密度は約 $4.5 \text{ g/cm}^3 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$ です。これは、Co の密度 ($8.9 \text{ g/cm}^3 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$) が WC の密度 ($15.63 \text{ g/cm}^3 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$) よりも高いため、混合後に積層特性が変化するためです。

意義

高い嵩密度 ($> 4.5 \text{ g/cm}^3 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$) は、粒子が密接に配列しており、圧縮されたグリーン体の多孔度が低い ($< 40\% \pm 2\%$) ことを示し、焼結緻密化 ($> 99\% \pm 0.1\%$) につながります。

炭化タングステン粉末のタップ密度

タップ密度とは、振動やタッピング後の密集状態における粉末の密度を指し、粒子間の充填効率を反映します。

測定方法

(振動数 $50\text{Hz} \pm 1\text{Hz}$ 、振幅 $1\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ 、振動 $3000 \text{ 回} \pm 50 \text{ 回}$) を使用して粉体の体積変化を測定した。

標準値

純 WC 粉末のタップ密度は $5.0 \sim 6.2 \text{ g/cm}^3 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$ で、気孔率は $30\% \pm 2\%$ に低減されています。10%±1%の Co を含む混合粉末のタップ密度は約 $5.5 \text{ g/cm}^3 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$ です。

意義

高いタップ密度 ($> 5.5 \text{ g/cm}^3 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$) は、粒子をさらに充填できること、成形体の一貫性が良好であること (寸法偏差 $< 0.01 \text{ mm} \pm 0.002 \text{ mm}$)、焼結後の特性が安定していることを示しています (硬度 $\text{HV} > 2900 \pm 50$)。

例: 粉末のタップ密度は $5.8 \text{ g/cm}^3 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$ です。プレス後の成形体寸法の偏差は $0.01 \text{ mm} \pm 0.002 \text{ mm}$ 未満です。航空工具の硬度は $\text{HV} 2200 \pm 30$ 、耐用年数は $12 \text{ 時間} \pm 1 \text{ 時間}$ を超えます。

炭化タングステン粉末の流動性

流動性は、圧縮中の粉末の流動性を反映し、金型充填の均一性と製品品質に影響します。

測定方法

ASTM B213 に基づき、ホール流量計 (漏斗口径 $5 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$) を用いて、 $50 \text{ g} \pm 0.1 \text{ g}$ の粉体が漏斗を通過するのにかかる時間を測定した。流動挙動はハーゲン・ポアズイユの法則に従い、粘性抵抗は約 $10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s} \pm 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ であった。

標準値

WC 粉末の流動性は $13 \sim 16 \text{ 秒} / 50\text{g} \pm 0.5 \text{ 秒}$ であり、10%±1%の Co を含む混合粉末の流動性は約 $14 \text{ 秒} / 50\text{g} \pm 0.5 \text{ 秒}$ である。

意義

優れた流動性 ($< 14 \text{ 秒} / 50\text{g} \pm 0.5 \text{ 秒}$) により、均一な金型充填が保証され、焼結後の密度は $> 99.5\% \pm 0.1\%$ となり、成形欠陥 (ひび割れ $< 1\% \pm 0.2\%$) が減少します。

例: 流動度が $13 \text{ 秒} / 50 \text{ g} \pm 0.5 \text{ 秒}$ の粉末は、プレス後の均一性が $98\% \pm 1\%$ を超え、寸法偏差が $0.01 \text{ mm} \pm 0.002 \text{ mm}$ 未満のツール製造に使用されます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

炭化タングステン粉末の粒子サイズに影響を与える要因と最適化

粒子サイズ（フレッシュマンサイズサイジング、FSSS）:

フィッシャー粒子径が $<0.5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ の場合、粒子間のファンデルワールス力が増大し（ $>10^{-9} \text{N} \pm 10^{-10} \text{N}$ ）、嵩密度は $4.2 \text{ g/cm}^3 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$ に低下し、流動性は $2 \text{ 秒} \pm 0.5 \text{ 秒}$ （ $16 \text{ 秒}/50 \text{ g} \pm 0.5 \text{ 秒}$ ）減少します。フィッシャー粒子径が $>5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ の場合、粒子間の隙間が減少し、嵩密度は $5.0 \text{ g/cm}^3 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$ に増加し、流動性は $1 \text{ 秒} \pm 0.2 \text{ 秒}$ （ $13 \text{ 秒}/50 \text{ g} \pm 0.5 \text{ 秒}$ ）増加します。

最適化：ガラス繊維の粒子サイズを $0.5 \sim 3 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ に制御し、密度と流動性のバランスをとります（ゆるい密度 $4.5 \text{ g/cm}^3 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$ 、流動性 $14 \text{ s}/50 \text{ g} \pm 0.5 \text{ s}$ ）。

外観:

球状粒子（球状化率 $95\% \pm 1\%$ 超）は表面摩擦係数が低く（ 0.2 ± 0.02 未満）、タップ密度が $5\% \pm 1\%$ 増加し（ $6.0 \text{ g/cm}^3 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$ ）、流動性が $3\% \pm 0.5\%$ 向上します（ $13 \text{ 秒}/50 \text{ g} \pm 0.5 \text{ 秒}$ ）。不規則な粒子（角が $0.1 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 超）は積層隙間が大きく、タップ密度が $3\% \pm 0.5\%$ 低下します（ $5.2 \text{ g/cm}^3 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$ ）。

最適化：粒子形態の一貫性を改善するために、スプレー乾燥造粒（粒子サイズ $50 \mu\text{m} \pm 0.1 \mu\text{m}$ 、球形度 $>90\% \pm 2\%$ ）を使用しました。

共同コンテンツ:

Co含有量が $10\% \pm 1\%$ の場合、タップ密度は $5.5 \text{ g/cm}^3 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$ 、流動性は $14 \text{ 秒}/50 \text{ g} \pm 0.5 \text{ 秒}$ です。Co含有量が $15\% \pm 1\%$ を超えると、Co粒子（密度 $8.9 \text{ g/cm}^3 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$ ）が不均一に分布し、タップ密度は $5.2 \text{ g/cm}^3 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$ に低下し、流動性は $1 \text{ 秒} \pm 0.2 \text{ 秒}$ （ $15 \text{ 秒}/50 \text{ g} \pm 0.5 \text{ 秒}$ ）低下します。

最適化：最適な密度と流動性を確保するために、Co含有量を $8\% \sim 12\% \pm 1\%$ に制御します（タップ密度 $5.5 \sim 5.8 \text{ g/cm}^3 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$ 、流動性 $<14 \text{ 秒}/50 \text{ g} \pm 0.5 \text{ 秒}$ ）。

湿度:

周囲湿度が $50\% \pm 5\% \text{RH}$ 未満の場合は、流動性は $14 \text{ 秒}/50 \text{ g} \pm 0.5 \text{ 秒}$ を維持します。湿度が $80\% \pm 5\% \text{RH}$ を超えると、水分の吸着により凝集速度が $10\% \pm 2\%$ 増加し、流動性は $2 \text{ 秒} \pm 0.5 \text{ 秒}$ （ $16 \text{ 秒}/50 \text{ g} \pm 0.5 \text{ 秒}$ ）低下します。

最適化：処理環境の湿度は $40\% \sim 50\% \pm 5\% \text{RH}$ に制御され、粉末は水分含有量が $0.1\% \pm 0.01\%$ 未満になるまで乾燥されます（カールフィッシャー法、GB/T 6283-2008）。

造粒プロセス:

径 $50 \mu\text{m} \pm 0.1 \mu\text{m}$ 、球形度 $>90\% \pm 2\%$ により、タップ密度は $10\% \pm 2\%$ （ $6.0 \text{ g/cm}^3 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$ ）、流動性は $5\% \pm 1\%$ （ $13 \text{ 秒}/50 \text{ g} \pm 0.5 \text{ 秒}$ ）向上しました。造粒前の粉末（初期粒子径 $<1 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ ）は著しく凝集しており、タップ密度はわずか $5.0 \text{ g/cm}^3 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$ でした。

最適化：遠心噴霧乾燥機（回転速度 $10000 \sim 15000 \text{ rpm} \pm 50 \text{ rpm}$ ）を使用し、粒子サイズは $50 \sim 80 \mu\text{m} \pm 0.1 \mu\text{m}$ 、PVAバインダーを $2\% \pm 0.1\%$ 追加します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

量 10%±1%の粉末、フィッシャー粒子サイズ $1\ \mu\text{m}\pm0.01\ \mu\text{m}$ 、スプレー乾燥粒子 ($50\ \mu\text{m}\pm0.1\ \mu\text{m}$)、タップ密度 $6.0\ \text{g}/\text{cm}^3\pm0.1\ \text{g}/\text{cm}^3$ 、流動性 13 秒/50 g±0.5 秒、プレス後の密度>99.5%±0.1%、寿命>1200 m±100 mの鉨山ドリルビットに加工。

エンジニアリングアプリケーション

航空ナイフ:

タップ密度 $5.8\ \text{g}/\text{cm}^3\pm0.1\ \text{g}/\text{cm}^3$ 、流動性 13 秒/50 g±0.5 秒、プレスされたグリーンボディのサイズ偏差 $<0.01\ \text{mm}\pm0.002\ \text{mm}$ 、焼結後の硬度 HV 2200±30、寿命>12 時間±1 時間、航空材料加工に適しています (Ti-6Al-4V 合金、 $1000^\circ\text{C}\pm10^\circ\text{C}$)。

採掘ドリル:

タップ密度 $6.0\ \text{g}/\text{cm}^3\pm0.1\ \text{g}/\text{cm}^3$ 、流動性 13 秒/50 g±0.5 秒、焼結密度>99.5%±0.1%、曲げ強度>4200 MPa±100 MPa、寿命>1200 m±100 m、硬岩掘削に適しています (圧縮抵抗>200 MPa±10 MPa)。

冷間圧造ダイス:

タップ密度 $6.2\ \text{g}/\text{cm}^3\pm0.1\ \text{g}/\text{cm}^3$ 、流動性 14 秒/50 g±0.5 秒、プレス後の変形量 $<0.01\text{mm}\pm0.002\text{mm}$ 、金型寿命> 10^6 回± 10^5 回、高精度冷間圧造に適しています。

テストと品質管理

嵩密度: ASTM B212 に準拠し、各バッチを 3 回テストし、平均値の偏差は $<2\%\pm0.5\%$ です。

タップ密度: ASTM B527 に従って、振動パラメータ(周波数 $50\ \text{Hz}\pm1\ \text{Hz}$ 、振幅 $1\ \text{mm}\pm0.1\ \text{mm}$)を記録します。偏差 $<2\%\pm0.5\%$ 。

流動性: ASTM B213 に基づき、漏斗開口部の校正 ($5\ \text{mm}\pm0.1\ \text{mm}$)、試験環境湿度 $<50\%\pm5\%\ \text{RH}$ 、偏差 $<1\ \text{秒}\pm0.2\ \text{秒}$ 。

オンライン監視: 自動タップ密度計と流量計を使用してバッチデータをリアルタイムで記録し、1 年間 ± 0.1 年間アーカイブします。

炭化タングステン粉末の嵩密度 ($4.0\sim5.0\ \text{g}/\text{cm}^3$)、タップ密度 ($5.0\sim6.2\ \text{g}/\text{cm}^3$)、流動性 (13~16 秒/50 g) は、超硬合金の製造における重要なパラメータです。その性能は、粒子径 ($0.5\sim5\ \mu\text{m}$)、形態 (球形度>95%)、Co 含有量 (8%~12%)、湿度 ($<50\%\text{RH}$)、造粒プロセス (粒子径 $50\ \mu\text{m}$) によって大きく左右されます。粒子径、形態、プロセスパラメータを最適化することで、タップ密度 $6.0\ \text{g}/\text{cm}^3$ 、流動性 13 秒/50 g を実現でき、航空工具 (寿命>12 時間)、鉨業用ドリルビット (寿命>1200 m)、冷間圧造金型 (変形 $<0.01\ \text{mm}$) といった高い性能要件を満たします。

4.5 まとめと展望

超硬合金の原料選定と粉末調製は、性能最適化の鍵となります。本章では、タングステンカーバイド粉末合成 ($1450\sim1600^\circ\text{C}\pm10^\circ\text{C}$ 、粒径 $0.110\ \mu\text{m}\pm0.01\ \mu\text{m}$ 、遊離炭素 $<0.1\%\pm0.01\%$)、結合相および添加剤 (Co/Ni 純度>99.8%±0.01%、VC/ Cr_3C_2 $<1\%\pm0.01\%$)、粉末前処理 (ボールミル 10:1±0.5、スプレー乾燥流量 $100\ \text{L}/\text{h}\pm10\ \text{L}/\text{h}$)、および粉末特性 (FSSS $0.250\ \mu\text{m}\pm0.01\ \mu\text{m}$ 、タップ密度 $4.06.2\ \text{g}/\text{cm}^3\pm0.1\ \text{g}/\text{cm}^3$ 、流動性 1316 秒/50g±0.5 秒) を分析することにより、プロセスパラメータと性能の関係を説明します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

WC パウダー

サブミクロン粒子サイズ ($<0.5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$) と高純度 (遊離炭素 $<0.08\% \pm 0.01\%$) により、航空工具 (寿命 >15 時間 ± 1 時間) の硬度 ($\text{HV} > 2300 \pm 30$) が向上します。

結合段階

Co ($10\% \pm 1\%$) は靱性 ($K_{1c} 1520 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.5$) を提供し、Ni ($12\% \pm 1\%$) は耐食性 ($<0.01 \text{ mm/年} \pm 0.002 \text{ mm/年}$) を高め、深海バルブ (寿命 >5 年 ± 0.5 年) に使用されます。

添加剤

VC ($0.5\% \pm 0.01\%$) は WC 粒子サイズ ($<0.3 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$) を制御し、 Cr_3C_2 ($0.5\% \pm 0.01\%$) は強度 ($>4200 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$) を向上させ、PCB ドリルビット ($>10^5$ 穴 $\pm 10^4$ 穴) に使用されます。

前処理

湿式粉碎 (12 時間 ± 0.1 時間) と噴霧乾燥 ($250^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$) により、鉍山ドリルビット (密度 $>99.5\% \pm 0.1\%$) で使用するための均一性 (偏差 $<2\% \pm 0.5\%$) と流動性 (13 秒/50g ± 0.5 秒) が確保されます。

キャラクター設定

FSSS ($0.35 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$) およびタップ密度 ($5.86.2 \text{ g/cm}^3 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$) は、硬度偏差が低減した ($< \pm 30 \text{ HV}$) 焼結品質を予測します。

最適化戦略には以下が含まれる。

正確な W:C 比 ($1:1.01 \pm 0.01$)、 H_2 雰囲気 ($\text{O}_2 < 10 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$)、微細 Co ($<1 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$)、VC 添加 ($0.3\%0.5\% \pm 0.01\%$)、湿式粉碎 (10:1 ± 0.5 、12 時間 ± 0.1 時間)、スプレー乾燥 (固形分 $60\% \pm 1\%$)。

例えば、 $0.3 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ WC、 $10\% \pm 1\%$ Co、 $0.5\% \pm 0.01\%$ VC を含む粉末 (FSSS $0.3 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 、タップ密度 $6.0 \text{ g/cm}^3 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$ 、流動性 13 秒/50g ± 0.5 秒) は航空工具に使用され、硬度 $\text{HV} 2300 \pm 30$ 、摩耗量 $<0.08\text{mm} \pm 0.02\text{mm}$ 、寿命 >15 時間 ± 1 時間です。また、 $1 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ WC、 $12\% \pm 1\%$ Ni、 $0.5\% \pm 0.01\%$ Cr_3C_2 を含む粉末は深海バルブに使用され、腐食深さ $<3 \mu\text{m} \pm 0.5 \mu\text{m}$ 、寿命 >5 年 ± 0.5 年です。

今後の研究方向としては、ナノ WC 粉末 ($<0.1 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$) (収量 $>5 \text{ t/バッチ} \pm 0.5 \text{ t}$)、グリーン結合相 (Fe ベース、コスト $<\$1000/\text{t} \pm 100 \text{ USD}$)、新しい抑制剤 (TaC など、 $<0.5\% \pm 0.01\%$)、インテリジェント特性評価 (FSSS の AI 予測、誤差 $<1\% \pm 0.2\%$) の大規模生産が挙げられ、航空 (切削速度 $>500 \text{ m/分} \pm 10 \text{ m/分}$)、深海 ($>10000 \text{ m}$)、新エネルギー (電解装置の寿命 $>10^4$ 時間 $\pm 10^3$ 時間) のニーズを満たす。本章では、第 5 章で WCo 相の寄与と第 3 章の性能を相関させることにより、成形と焼結のプロセスの基礎を示す。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



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：超合金製品および炭化タングステン粉末の選択のための参考表

製品タイプ	製品例	パフォーマンス要件	WC 粉末の特性	WC 粉末の選択パラメータ	適用可能なシナリオ	説明する
切断ブレード	旋削インサート、フライス加工インサート、溝入れインサート	高硬度（HRA 8993 ±0.5）、優れた耐摩耗性（逃げ面摩耗 VB <0.3 mm）、耐チップング性（チップング深さ <0.15 mm）、表面粗さ Ra <0.8 μm	微粒子（0.5～1.5 μm ±0.1 μm）、高純度（>99.95% ±0.01%）、低酸素含有量（<0.1% ±0.01%）、均一な粒度分布（D50 ±0.1 μm）	粒子サイズ：0.51.5 μm ±0.1 μm、純度：>99.95% ±0.01%、炭素含有量：6.13%6.18% ±0.01%、Co 含有量：6%12% ±0.5%、添加剤：TiC / TaC（0%2% ±0.1%）	鋼、ステンレス鋼、鋳鉄加工、切断速度 100～400 m/分 ±10 m/分	微粒子 WC 粉末により高い硬度と耐摩耗性が保証され、TiC / TaC により高温性能が向上し、Co 含有量により靱性と硬度のバランスが保たれます。ISO P/M/K タイプのインサートに適しています。
全体的なツール	ドリル、エンドミル、リーマ	高い曲げ強度（2000～3000 MPa ±100 MPa）、優れた靱性（破壊靱性 812 MPa・m ^{1/2} ±0.5）、耐衝撃性（衝撃靱性 >10 J/cm ² ±1 J/cm ² ）	中微粒子（1.02.0 μm ±0.1 μm）、高純度（>99.9% ±0.01%）、中程度の酸素含有量（<0.15% ±0.01%）、安定した化学組成	粒子サイズ：1.02.0 μm ±0.1 μm、純度：>99.9% ±0.01%、炭素含有量：6.10%6.15% ±0.01%、Co 含有量：8%15% ±0.5%、添加剤：VC/Cr ₃ C ₂ （0.1%0.5% ±0.05%）	金型鋼、アルミニウム合金加工、穴あけ/フライス加工深さ <20 mm ±1 mm	中微粒子 WC は靱性を向上させ、VC/ Cr ₃ C ₂ は粒成長を制御して全体的な工具強度を確保します。高負荷処理環境に適しています。
伸線ダイス	伸線ダイス、押出ダイス	非常に高い耐摩耗性（摩耗速度 <0.01 mm ³ / h ±0.001 mm ³ / h）、優れた表面仕上げ（Ra <0.05 μm）、耐腐食性（耐酸性および耐アルカリ性 pH 310）	超微粒子（0.20.8 μm ±0.1 μm）、超高純度（>99.98% ±0.01%）、極めて低い酸素含有量（<0.05% ±0.01%）、高い均一性	粒子サイズ：0.20.8 μm ±0.1 μm、純度：>99.98% ±0.01%、炭素含有量：6.15%6.20% ±0.01%、Co 含有量：3%6% ±0.5%、添加剤：なしまたは少量の TaC（<0.5% ±0.05%）	銅および鋼線の伸線、線径 0.15 mm ±0.01 mm	超微粒子 WC は鏡面仕上げと耐摩耗性を提供し、低い Co 含有量は硬度を高めます。不純物を防ぐために粉末の純度を厳密に管理する必要があります。
スタンピングダイ	冷間圧造金型、打ち抜き金型	高い圧縮強度（>4000 MPa ±100 MPa）、耐衝撃性（衝撃回数 >10 ⁶ ±10 ⁴ ）、耐疲労性（疲労強度 >1000 MPa ±50 MPa）	中粗粒（2.04.0 μm ±0.2 μm）、高純度（>99.9% ±0.01%）、中程度の酸素含有量（<0.2% ±0.01%）、高安定性	粒子サイズ：2.04.0 μm ±0.2 μm、純度：>99.9% ±0.01%、炭素含有量：6.08%6.13% ±0.01%、Co 含有量：10%20% ±0.5%、添加剤：Cr ₃ C ₂ （0.2%1% ±0.05%）	ボルト、板金打ち抜き、厚さ <10 mm ±0.1 mm	中粗粒 WC により耐衝撃性が向上し、高 Co 含有量により靱性が強化され、Cr ₃ C ₂ により粒成長が抑制されるため、高応力金型に適しています。
耐摩耗部品	ノズル、シーリング、グリーン	高い耐摩耗性（摩耗損失 <0.005 mm ³ / N・m ±0.001 mm ³ / N・m）、耐腐食性（摩耗寿命 >5000）	粗粒（3.0～6.0 μm ±0.5 μm）、純度（>99.8% ±0.01%）、高酸素含有量（<0.3%）	粒子サイズ：3.06.0 μm ±0.5 μm、純度：>99.8% ±0.01%、炭素含有量：6.05%6.10% ±0.01%、Co 含有量	サンドブラスト、採掘、シーリング、作業圧力 <50 MPa	粗粒 WC は耐摩耗性と靱性を高め、高 Co または高 Ni は耐腐食性を改善します。過

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

製品タイプ	製品例	パフォーマンス要件	WC 粉末の特性	WC 粉末の選択パラメータ	適用可能なシナリオ	説明する
	グ、ト ップハ ンマー	h ±100 h)、熱安定性 (<800° C ±10° C)	±0.01%)、高い化学的安定性	量: 12%25% ±0.5%、添加剤: Ni なしまたは少量 (<2% ±0.1%)	±1 MPa	酷な作業条件下での耐摩耗部品に適しています。
採掘ツール	ビット 石ドリル ビット	非常に高い耐衝撃性 (衝撃 速度 >15 J/cm² ±1 J/cm²)、耐摩耗性 (摩耗 速度 <0.02 mm³/h ±0.002 mm³/h)、耐疲労性	超粗粒 (6.010.0 μm ±1.0 μm)、純度 (>99.7% ±0.01%)、高 酸素含有量 (<0.4% ±0.01%)、高靱性	粒子サイズ: 6.010.0 μm ±1.0 μm、純度: >99.7% ±0.01%、炭素含有量: 6.00%6.10% ±0.01%、Co 含有 量: 15%30% ±1%、添加剤: な しまたは少量の CoNi 合金 (<5% ±0.2%)	石炭採掘、硬 岩採掘、衝撃 周波数 <100 Hz ±5 Hz	超粗粒 WC は高い靱性を提供し、高い Co 含有量は耐衝撃性を高めます。これは、高負荷の採掘環境に適しており、脆化を防ぐために酸素含有量を制御する必要があります。
精密部品	マイクロ ロータ ー、バル ブコア	高精度 (寸法公差 ±0.005 mm)、優れた表面仕上げ (Ra <0.02 μm)、高硬度 (HRA 9294 ±0.5)	ナノ結晶 (0.10.4 μm ±0.05 μm)、超高純度 (>99.99% ±0.01%)、 極めて低い酸素含有量 (<0.03% ±0.01%)、極めて 高い均一性	粒子サイズ: 0.10.4 μm ±0.05 μm、純度: >99.99% ±0.01%、炭素含有量: 6.18%6.22% ±0.01%、Co 含有 量: 2%5% ±0.3%、添加剤: VC (0.05%0.2% ±0.02%)	電子部品加工、流体制御、 サイズ <10 mm ±0.1 mm	ナノ結晶 WC は超高硬度と滑らかさを保証し、低 Co および VC は粒成長を制御します。欠陥を防ぐには高純度の粉末が必要です。

超合金製品と製造工程の選択のための参考表

製品タイプ	製品例	パフォーマンス要件	推奨されるプロセス工程	推奨 ノットクラフト	プロセスパラメータ	適用可能なシナリオ	説明する
切削インサート	旋削インサート、フェイス 加工インサート、溝 入れインサート	高硬度 (HRA 8993 ±0.5)、耐摩耗性 (逃げ面摩耗 VB <0.3 mm)、耐欠損 性 (欠損深さ <0.15 mm)、表面粗 さ Ra <0.8 μm	双方向 圧縮成形、冷 間等方焼結 圧成形	真空焼 結、低圧 焼結	プレス: 圧力 100~250MPa ±10MPa、時間 1040 秒 ±1 秒、グリーン体密度 60%~75% ±2% (双方向成形); 圧 力 100~300MPa ±10MPa、保持圧力 15 分 ±10 秒、グ リーン体密度 70%~85% ±1% (CIP) 焼結: 温度 1350~1500°C ±10°C、保持温度 14 時間 ±5 分、真空 度 0.01~0.1Pa ±0.01Pa、密度 98%~99.5% ±0.5% (真 空); 圧力 110MPa ±0.05MPa、密度 98.5%~ 99.5% ±0.3% (低圧)	鋼、ステン レス鋼、鋳 鉄加工、切 断速度 100 ~400 m/分 ±10 m/分	双方向成形または CIP により均一な密度が保証され、真空または低圧焼結により硬度と耐摩耗性が向上します。ISO P/M/K ブレードに適しており、粒径は 0.5~1.5 μm ±0.1 μm 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

製品タイプ	製品例	パフォーマンス要件	推奨されるプロセス工程	推奨ノットクラフト	プロセスパラメータ	適用可能なシナリオ	説明する
全体的なツール	ドリル、エンドミル、リーマ	高い曲げ強度 (2000~3000 MPa ±100 MPa)、靱性 (破壊靱性 812 MPa・m ^{1/2} ±0.5)、耐衝撃性(衝撃靱性>10 J/cm ² ±1 J/cm ²)	押し出し成形、冷間静水圧プレス	熱間静水圧プレス(HIP)、真空焼結	プレス: 押し出し圧力 20~100MPa±5MPa、速度 0.11m/分±0.01m/分、ピレット密度 50%~65%±2%(押し出し); 圧力 100~300MPa±10MPa、保持圧力 15分±10秒、ピレット密度 70%~85%±1%(CIP) 焼結: 温度 1300~1450℃±10℃、圧力 100~200MPa±0.1MPa、保持温度 13時間±5分、密度 99.8%~100%±0.2%(HIP) 温度 1350~1500℃±10℃、深さ <20mm ±1mm	金型鋼、アルミニウム合金加工、穴あけ/フライス加工	押し出し成形は棒材に適しており、CIPは複雑な形状に適しています。HIPは強度を向上させ、真空焼結はコストが低くなります。Co含有量は8%15% ±0.5%です。
伸線ダイス	伸線ダイス、押出ダイス	非常に高い耐摩耗性(摩耗速度 <0.01 mm ³ / h ±0.001 mm ³ / h)、表面仕上げ(Ra <0.05 μm)、耐腐食性(酸およびアルカリ耐性 pH 310)	粉末射出成形、冷間等方圧成形	マイクロ波焼結、真空焼結	プレス: 射出圧力 50~150MPa±5MPa、温度 150~200℃±5℃、ピレット収縮率 15%~20%±1%(PIM)、圧力 100~300MPa±10MPa、保持圧力 15分±10秒、ピレット密度 70%~85%±1%(CIP) 焼結: 温度 1300~1450℃±10℃、時間 10~60分±1分、密度 97%~99%±0.5%(マイクロ波)、温度 1350~1500℃±10℃、保持温度 14時間±5分、密度 98%~99.5%±0.5%(真空)	銅および鋼線の伸線、線径 0.15mm±0.01mm	PIMは精密金型に適しており、CIPは均一性を保証します。マイクロ波焼結は効率的であり、真空焼結は滑らかさを保証します。超微細 WC 粉末 0.20.8 μm ±0.1 μm。
スタンプングダイ	冷間圧造金型、打ち抜き金型	高い圧縮強度(>4000 MPa ±100 MPa)、耐衝撃性(衝撃回数>10 ⁶ ±10 ⁴)、耐疲労性(疲労強度 >1000 MPa ±50 MPa)	一方向圧縮成形、冷間等方圧成形	熱間静水圧プレス(HIP)、ガス保護焼結	加圧: 圧力 50~200 MPa ±10 MPa、時間 530秒±1秒、グリーン体密度 50%~70% ±2%(一方向); 圧力 100~300 MPa ±10 MPa、保持圧力 15分±10秒、グリーン体密度 70%~85% ±1%(CIP) 焼結: 温度 1300~1450℃ ±10℃、圧力 100~200 MPa ±0.1 MPa、保持温度 13時間±5分、密度 99.8%~100% ±0.2%(HIP); 温度 1350~1480℃ ±10℃、保持温度 15時間±5分、密度 97%~99% ±0.5%(ガス)	ボルト、板金打ち抜き、厚さ <10mm ±0.1mm	一方向成形はコストが低く、CIPは複雑な金型に適しています。HIPは強度を向上させ、ガス保護は大型金型に適しています。中粗粒 WC 2.04.0 μm ±0.2 μm。
耐摩耗部品	ノズル、シーリング、グリンダ、トップハブ、ローラー	高い耐摩耗性(摩耗損失 <0.005 mm ³ / N・m ±0.001 mm ³ / N・m)、耐腐食性(寿命 >5000 h ±100 h)、熱安定性	ロール成形、ドライバック等方圧プレス	低圧焼結、ガス保護焼結	プレス: ローラー圧力 50~150MPa±10MPa、ローラー速度 0.55rpm±0.1rpm、ピレット厚さ 110mm±0.1mm (圧延); 圧力 150~400MPa±10MPa、時間 30~120秒±5秒、ピレット密度 70%~80%±1%(ドライバック) 焼結: 温度 1350~1450℃±10℃、圧力 110MPa±0.05MPa、断熱 13時間±5分、密度 98.5%~99.5%±0.3%(低圧); 温度 1350~1480℃±10℃、断	サンドブラスト、採掘、シーリング、圧力 <50 MPa ±1 MPa	ロール成形は薄板に適しており、ドライバック静水圧プレスは効率的です。低圧焼結は性能をバランスさせ、ガス保護は大

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

製品タイプ	製品例	パフォーマンス要件	推奨されるプロセス工程	推奨プラットフォーム	プロセスパラメータ	適用可能なシナリオ	説明する
		<800° C ±10° C)			熱 15 時間±5 分、密度 97%~99%±0.5% (ガス)		型部品に適しています。粗粒 WC 3.06.0 μm ±0.5 μm。
探掘ツール	ビット、岩石ドリルビット	非常に高い耐衝撃性 (衝撃靱性>15 J/cm ² ±1 J/cm ²)、耐摩耗性 (摩耗速度<0.02 mm ³ /h ±0.002 mm ³ /h)、耐疲労性	一方向圧縮成形、押し出し成形	ガス保護焼結、真空焼結	プレス: 圧力 50~200MPa±10MPa、時間 530 秒±1 秒、ピレット密度 50%~70%±2% (一方向); 押し出し圧力 20~100MPa±5MPa、速度 0.11m/分±0.01m/分、ピレット密度 50%~65%±2% (押し出し) 焼結: 温度 1350~1480°C ±10°C、断熱 15 時間±5 分、密度 97%~99%±0.5% (ガス); 温度 1350~1500°C ±10°C、断熱 14 時間±5 分、密度 98%~99.5%±0.5% (真空)	石炭採掘、硬岩採掘、衝撃周波数 <100 Hz ±5 Hz	一方向成形はコストが低く、押し出しは長尺ストリップに適しています。ガス保護は大規模型部品に適しており、真空焼結は性能を向上させます。超粗粒 WC 6.010.0 μm ±1.0 μm。
精密部品	マイクロツール、バルブコア	高精度 (公差 ±0.005 mm)、表面仕上げ (Ra <0.02 μm)、高硬度 (HRA 9294 ±0.5)	粉末射出成形、ドライバグ静水圧成形	マイクロ波焼結、放電プラズマ焼結 (SPS)	プレス: 射出圧力 50~150MPa±5MPa、温度 150~200°C ±5°C、ピレット収縮率 15%~20%±1% (PIM)、圧力 150~400MPa±10MPa、時間 30~120 秒±5 秒、ピレット密度 70%~80%±1% (ドライバグ) 焼結: 温度 1300~1450°C ±10°C、時間 10~60 分±1 分、密度 97%~99%±0.5% (マイクロ波)、温度 1200~1400°C ±10°C、圧力 30~100MPa±0.1MPa、時間 5~20 分±30 秒、密度 98%~99.5%±0.5% (SPS)	電子部品加工、流体制御、サイズ <10 mm±0.1 mm	PIM およびドライバグ静水圧プレスは微細な複雑形状に適しています。マイクロ波および SPS は高速かつ高精度です。ナノ結晶 WC 0.10.4 μm ±0.05 μm。
ローリングツール	ローラー、加圧ローラー	高い耐摩耗性 (摩耗損失 <0.01 mm ³ / N · m ±0.001 mm ³ / N · m)、方圧成形耐疲労性 (疲労寿命 >10 ⁷ サイクル ±10 ⁵)、熱安定性 (<900° C ±10° C)	冷間等圧成形、一方向圧縮成形	熱間静水圧プレス (HIP)、低圧焼結	プレス: 圧力 100~300 MPa ±10 MPa、保持圧力 15 分±10 秒、グリーン体密度 70%~85% ±1% (CIP)、圧力 50~200 MPa ±10 MPa、時間 530 秒±1 秒、グリーン体密度 50%~70% ±2% (一方向) 焼結: 温度 1300~1450°C ±10°C、圧力 100~200 MPa ±0.1 MPa、保持圧力 13 時間±5 分、密度 99.8%~100% ±0.2% (HIP)、温度 1350~1450°C ±10°C、圧力 110 MPa ±0.05 MPa、保持圧力 13 時間±5 分、密度 98.5%~99.5% ±0.3% (低圧)	鋼板およびアルミニウムプロファイルの圧延、圧延力 <1000 kN ±10 kN	CIP は大型ローラーに適しており、一方向成形コストが低く、HIP は耐摩耗性を向上させ、低圧焼結はコストのバランスをとります。粗粒 WC 3.06.0 μm ±0.5 μm、Co 10 % 20% ±0.5%。

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

製品タイプ	製品例	パフォーマンス要件	推奨されるプレス工程	推奨ノットクラフト	プロセスパラメータ	適用可能なシナリオ	説明する
耐摩耗性ライニング	粉砕機ライニング、ミルライニング	高い耐摩耗性（摩耗速度 $<0.015 \text{ mm}^3 / \text{h} \pm 0.002 \text{ mm}^3 / \text{h}$ ）、耐衝撃性（衝撃靱性 $>12 \text{ J/cm}^2$ ） $\pm 1 \text{ J/cm}^2$ ）、耐腐食性（寿命 >4000 時間 ± 100 時間）	ローリング成形、一方向圧縮成形	ガス保護焼結、低圧焼結	プレス：ローラー圧力 $50 \sim 150 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$ 、ローラー速度 $0.55 \text{ rpm} \pm 0.1 \text{ rpm}$ 、ピレット厚さ $110 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ （圧延）、圧力 $50 \sim 200 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$ 、時間 $530 \text{ 秒} \pm 1 \text{ 秒}$ 、ピレット密度 $50\% \sim 70\% \pm 2\%$ （一方向） $< \text{br}>$ 焼結：温度 $1350 \sim 1480^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ 、断熱 $15 \text{ 時間} \pm 5 \text{ 分}$ 、密度 $97\% \sim 99\% \pm 0.5\%$ （ガス）、温度 $1350 \sim 1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ 、圧力 $110 \text{ MPa} \pm 0.05 \text{ MPa}$ 、断熱 $13 \text{ 時間} \pm 5 \text{ 分}$ 、密度 $98.5\% \sim 99.5\% \pm 0.3\%$ （低圧）	鉍業、材料破碎、摩耗率 $<0.1 \text{ mm/月}$ $\pm 0.01 \text{ mm}$	ロール成形は薄板に適しており、一方向成形は効率的です。ガス保護は大型ライニングプレートに適しており、低圧焼結は性能を向上させます。中粗粒 WC $2.04.0 \mu\text{m} \pm 0.2 \mu\text{m}$ 。
ベアリング部品	ベアリングリール、ボール	高い耐摩耗性（摩耗損失 $<0.003 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0.001 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ ）、高精度（許容差 $\pm 0.01 \text{ mm}$ ）、耐疲労性（寿命 $>10^8$ サイクル $\pm 10^6$ ）	粉末射出成形、冷間静水圧成形	真空焼結、放電プラズマ焼結（SPS）	プレス：射出圧力 $50 \sim 150 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ 、温度 $150 \sim 200^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 、ピレット収縮率 $15\% \sim 20\% \pm 1\%$ （PIM）、圧力 $100 \sim 300 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$ 、保持圧力 $15 \text{ 分} \pm 10 \text{ 秒}$ 、ピレット密度 $70\% \sim 85\% \pm 1\%$ （CIP） $< \text{br}>$ 焼結：温度 $1350 \sim 1500^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ 、保持圧力 $14 \text{ 時間} \pm 5 \text{ 分}$ 、密度 $98\% \sim 99.5\% \pm 0.5\%$ （真空）、温度 $1200 \sim 1400^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ 、圧力 $30 \sim 100 \text{ MPa} \pm 0.1 \text{ MPa}$ 、時間 $5 \sim 20 \text{ 分} \pm 30 \text{ 秒}$ 、密度 $98\% \sim 99.5\% \pm 0.5\%$ （SPS）	高速機械、自動車用ベアリング、速度 $<10^4 \text{ rpm} \pm 100 \text{ rpm}$	を向上させます。微粒子 WC $0.51.5 \mu\text{m} \pm 0.1 \mu\text{m}$ 。
スプレーツール	スプレーノズル、サンドブラストノズル	非常に高い耐摩耗性（摩耗速度 $<0.005 \text{ mm}^3 / \text{h} \pm 0.001 \text{ mm}^3 / \text{h}$ ）、耐腐食性（耐酸性および耐アルカリ性 pH 212）、熱安定性（ $<700^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ ）	粉末射出成形、ドライバック静水圧成形	マイクロ波焼結、低圧焼結	プレス：射出圧力 $50 \sim 150 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ 、温度 $150 \sim 200^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 、ピレット収縮率 $15\% \sim 20\% \pm 1\%$ （PIM）、圧力 $150 \sim 400 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$ 、時間 $30 \sim 120 \text{ 秒} \pm 5 \text{ 秒}$ 、ピレット密度 $70\% \sim 80\% \pm 1\%$ （ドライバック） $< \text{br}>$ 焼結：温度 $1300 \sim 1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ 、時間 $10 \sim 60 \text{ 分} \pm 1 \text{ 分}$ 、密度 $97\% \sim 99\% \pm 0.5\%$ （マイクロ波）、温度 $1350 \sim 1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ 、圧力 $110 \text{ MPa} \pm 0.05 \text{ MPa}$ 、断熱 $13 \text{ 時間} \pm 5 \text{ 分}$ 、密度 $98.5\% \sim 99.5\% \pm 0.3\%$ （低圧）	サンドブラスト、塗装スプレー、流量 $<100 \text{ L/分} \pm 1 \text{ L/分}$	PIM は精密ノズルに適しており、ドライバック静水圧プレスは効率的です。マイクロ波焼結は高速で、低圧焼結は性能を保証します。超微細 WC $0.2 \sim 0.8 \mu\text{m} \pm 0.1 \mu\text{m}$ 。
医療機器	歯科用ドリルビット、外科用刃	高硬度（HRA 9194 ± 0.5 ）、表面仕上げ（Ra $<0.01 \mu\text{m}$ ）、生体適合性（無毒性）、高精度（許容差 $\pm 0.002 \text{ mm}$ ）	粉末射出成形、ドライバック静水圧成形	放電プラズマ焼結（SPS）、真空焼結	プレス：射出圧力 $50 \sim 150 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ 、温度 $150 \sim 200^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 、ピレット収縮率 $15\% \sim 20\% \pm 1\%$ （PIM）、圧力 $150 \sim 400 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$ 、時間 $30 \sim 120 \text{ 秒} \pm 5 \text{ 秒}$ 、ピレット密度 $70\% \sim 80\% \pm 1\%$ （ドライバック） $< \text{br}>$ 焼結：温度 $1200 \sim 1400^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ 、圧力 $30 \sim 100 \text{ MPa} \pm 0.1 \text{ MPa}$ 、時間 $5 \sim 20 \text{ 分} \pm 30 \text{ 秒}$ 、密度 $98\% \sim 99.5\% \pm 0.5\%$ （SPS）、温度 $1350 \sim 1500^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ 、断熱	歯科手術、整形外科の処理、サイズ $<5 \text{ mm} \pm 0.05 \text{ mm}$	PIM およびドライバック静水圧プレスは、微細で複雑な形状に適しています。SPS は高精度で安定した真空焼結を実現してい

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

製品 タイプ	製品例	パフォーマンス要件	推奨されるプロセス工程	推奨 ノットクラフト	プロセスパラメータ	適用可能なシナリオ	説明する
					14 時間±5 分、密度 98%~99.5%±0.5%（真空）		ます。ナノ結晶 WC 0.10.4 μm ±0.05 μm、Co は 2%5% ±0.3% と 低くなっています。
エネルギー成分	歯、バ ルブシ ールの 穴あけ	高い耐摩耗性（摩 耗損失 <0.008 mm ³ / N・m ± 0.001 mm ³ / N・ m）、耐腐食性（耐 酸性および耐アル カリ性 pH 211）、 高温耐性 （<1000° C ±10° C）	冷間等 方圧ブ レス、 ドライ バッグ 等方圧 プレス	熱間静水 圧プレス （HIP）、 低圧焼結	プレス：圧力 100~300 MPa ±10 MPa、保持圧力 15 分±10 秒、グリーン体の密度 70%~85% ±1%（CIP）、 圧力 150~400 MPa ±10 MPa、時間 30~120 秒±5 秒、グリーン体の密度 70%~80% ±1%（ドライバッ グ） 焼結：温度 1300~1450° C ±10° C、圧力 100~200 MPa ±0.1 MPa、保持圧力 13 時間±5 分、 密度 99.8%~100% ±0.2%（HIP）、温度 1350~1450° C ±10° C、圧力 110 MPa ±0.05 MPa、保持圧力 13 時 間±5 分、密度 98.5%~99.5% ±0.3%（低圧）	石油掘削、 天然ガスバ ルブ、圧力 <100 MPa ±1 MPa	CIP およびドライ バッグ静水圧プレ スは複雑な形状に 適しています。HIP は高温性能を向上 させ、低圧焼結は 中程度のコストで す。粗粒 WC 3.06.0 μm ±0.5 μm、Ni 添加 <2% ±0.1%。
航空宇宙部品	タービ ンブレイ ード金 型、フ ァスナ 一金型	高い耐疲労性（疲 労寿命 >10 ⁸ サ イクル ±10 ⁶ ）、高温耐性 （<900° C ±10° C）、高精度 （許容差 ±0.01 mm）	粉末射 出成形 、冷 間静水 圧成形	真空焼 結、熱間 等方圧加 圧（HIP）	プレス：射出圧力 50~150MPa±5MPa、温度 150~ 200℃±5℃、ピレット収縮率 15%~20%±1%（PIM）、 圧力 100~300MPa±10MPa、保持圧力 15 分±10 秒、 ピレット密度 70%~85%±1%（CIP） 焼結：温度 1350~1500℃±10℃、保持温度 14 時間±5 分、密度 98%~99.5%±0.5%（真空）、温度 1300~1450℃±10℃、 圧力 100~200MPa±0.1MPa、保持温度 13 時間±5 分、 密度 99.8%~100%±0.2%（HIP）	航空機エン ジン、ファ スナー製 造、サイズ <50 mm ±0.5 mm	を向上させます。 細粒 WC 0.5~1.5 μm ±0.1 μm。
電子機器製造ツール	半導体 金型、 リード フレーム ム金型	高精度（公差 ±0.003 mm）、表面 仕上げ（Ra <0.015 μm）、高硬度 （HRA 9295 ±0.5）	粉末射 出成形 、ド ライバ ック静 水圧成 波焼結 形	放電プラ ズマ焼結 （SPS）、 マイクロ 波焼結	プレス：射出圧力 50~150MPa±5MPa、温度 150~ 200℃±5℃、ピレット収縮率 15%~20%±1%（PIM）、 圧力 150~400MPa±10MPa、時間 30~120 秒±5 秒、 ピレット密度 70%~80%±1%（ドライバッグ） 焼結：温度 1200~1400℃±10℃、圧力 30~ 100MPa±0.1MPa、時間 5~20 分±30 秒、密度 98%~ 99.5%±0.5%（SPS）、温度 1300~1450℃±10℃、時間 10~60 分±1 分、密度 97%~99%±0.5%（マイクロ波）	半導体パッ ケージン グ、チップ 製造、サイ ズ <10 mm ±0.1 mm	PIM およびドライ バッグ静水圧プレ スはマイクロモー ルドに適していま す。SPS およびマ イクロ波焼結は高 精度かつ高速で す。ナノ結晶 WC 0.10.4 μm ± 0.05 μm。
建築	コンク	高い耐摩耗性（摩	一方向	ガス保護	プレス：圧力 50~200MPa±10MPa、時間 530 秒±1 秒、	コンクリー	一方向成形はコス

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

製品タイプ	製品例	パフォーマンス要件	推奨されるプロセス工程	推奨ノットクラフト	プロセスパラメータ	適用可能なシナリオ	説明する
ツール	リードリット ドリル ビット / h) 、耐衝撃性 (衝 ト、レ ンガ切 断ブレ ード	耗速度 <0.02 mm ³ / h ± 0.002 mm ³ (h)、耐衝撃性 (衝 撃韧性 >14 J/cm ²) ± 1 J/cm ²) 、耐腐食性 (寿 命 >3000 時間 ±100 時間)	圧縮成形、押し出し成形	焼結、真空焼結	ピレット密度 50%~70%±2% (一方向); 押し出し圧力 20~100MPa±5MPa、速度 0.11m/分±0.01m/分、ピレット密度 50%~65%±2% (押し出し) 焼結: 温度 1350~1480℃±10℃、断熱 15 時間±5 分、密度 97%~99%±0.5% (ガス); 温度 1350~1500℃±10℃、断熱 14 時間±5 分、密度 98%~99.5%±0.5% (真空)	ト、石材加工、掘削深さ <100mm±1 mm	トが低く、押し出し成形は長尺ストリップに適しています。ガス保護は大量生産に適しており、真空焼結は性能を向上させます。中粗粒 WC 2.04.0 μm ± 0.2 μm。

参考文献

Exner, HE (1979). セメント炭化物の物理的および化学的性質. *International Metals Reviews*, 24(1), 149173. <https://doi.org/10.1179/imtr.1979.24.1.149>

Exner, HE (1979). セメント炭化物の物理的および化学的性質. *International Metals Reviews*, 24(1), 149173.

Upadhyaya, GS (1998). 『セメント炭化タングステン: 製造、特性、試験』 William Andrew Publishing.

Fang, ZZ, & Eso, OO (2014). セメントカーバイド加工の進歩. VK Sarin (編), *包括的ハードマテリアル* (第1巻, pp. 167-190)。エルゼビア。

Wang, H., & Fang, ZZ (2019). 極限条件下におけるセメント炭化物の熱的および機械的特性. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 82, 7685.

Zhang, L., Chen, S. (2017). 酸性環境におけるセメント炭化物の腐食挙動. *腐食科学*, 125, 8795.

Prakash, LJ (2014). ハードメタル: 構造、特性、性能. VK Sarin 編著『*包括的ハードマテリアル*』 (第1巻、2954 ページ)。Elsevier.

Prakash, LJ (2014). セメントカーバイド: 構造、特性、性能. VK Sarin 編著『*Comprehensive Hard Materials*』 (第1巻、2954 ページ)。Elsevier Publishing.

Luyckx, S., & Love, A. (2006). セメント炭化物のグレードと微細構造の関係. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 24(12), 7582.

Liu, Y., & Jiang, Y. (2018). メカノケミカルプロセスによる超微細 WC 粉末の合成. *Powder Technology*, 338, 623630.

Sun, J., & Zhao, J. (2020). 粒成長抑制剤がセメント炭化物の微細構造に及ぼす影響. *Ceramics International*, 46(8), 1154311550.

Sun, J., & Zhao, J. (2020). 粒成長抑制剤がセメント炭化物の微細構造に及ぼす影響. *International Journal of Ceramics*, 46(8), 1154311550.

Zhang, H., & Li, X. (2022). セメント炭化物の熱伝導率: 実験とモデリングによるアプローチ. *Journal of Materials Research and Technology*, 18, 12341245.

Kim, S., & Lee, J. (2021). 切削工具用超硬合金の耐熱衝撃性. *Ceramics International*, 47(12),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1678916796.

Jin, X., & Li, J. (2021). 切削工具用超硬合金の耐熱衝撃性. *International Journal of Ceramics*, 47(12), 1678916796.

Nibonded セメント炭化物の磁気特性と電気特性. *Journal of Materials Science*, 55(14), 62346245.

Park, Zhe, & Jiang, Sheng. (2020). Ni 結合セメント炭化物の磁気的および電気的特性. *Journal of Materials Science*, 55(14), 62346245.

Wu, J., Chen, H. (2023). 腐食環境下におけるセメント炭化物の電気化学的腐食. *Electrochimica Acta*, 441, 141789.

Wu, J., Chen, H. (2023). 過酷な環境下におけるセメント炭化物の電気化学的腐食. *Journal of Electrochimica Sinica*, 441, 141789.

Roebuck, B., & Almond, EA (1988). セメント炭化物の変形と破壊過程. *Materials Science and Engineering: A*, 105106, 237245.

Roebuck, B., & Almond, EA (1988). セメント炭化物の変形と破壊過程. *Materials Science and Engineering: A*, 105106, 237245.

中国タングステンオンライン (2023). 超硬合金の特性と用途. 中国タングステンオンライン.

<http://news.chinatungsten.com/cn/tungstencarbideinformation>

Chinatungsten Online. (2023). セメント炭化物の特性と用途. *Chinatungsten* オンライン.

Zhu, LQ, & Li, WP (2018). 超硬合金製造技術の進歩. *Materials Reports*, 32(10), 16531660.

, T., & Chen, M. (2019). 超硬合金の焼結速度論の進歩. *Powder Metallurgy Technology*, 37(5), 321329.

, M., & Zhao, G. (2022). セメント炭化物の機械的特性試験の進歩. *材料科学技術*, 30(6), 789796.

超硬合金の高温酸化挙動に関する研究. *Journal of Materials Science and Engineering*, 38(4), 512518.

, P., & Liu, Y. (2021). セメント炭化物の熱特性の進歩. *Materials China*, 40(3), 234241.

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

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

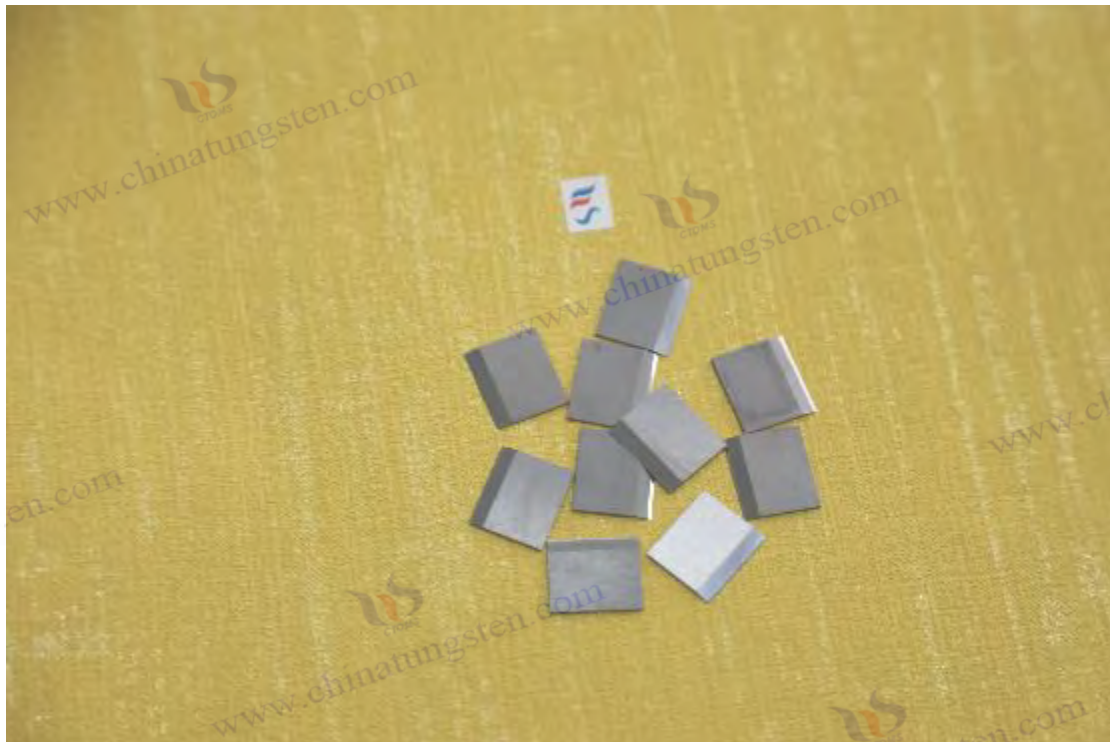
WeChat : Follow "China Tungsten Online"



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:

超硬合金混合物の調製のためのボールミルの種類

超硬合金（ハードメタルまたはセメントカーバイド）の混合は、その製造プロセスにおける重要なステップであり、最終製品の微細構造と特性（硬度、靱性、強度など）に直接影響します。ボールミル処理は、混合物調製の中核プロセスであり、硬質相（炭化タングステン WC など）、バインダー相（コバルト Co など）、およびその他の添加剤（TaC、Cr₃C₂ など）を均一に混合し、粉末の粒子サイズ、形態、および活性を制御するために使用されます。

以下では、ボールミル処理の種類、プロセス、プロセスパラメータ、機器の特性、影響要因、およびセメントカーバイド混合物の製造の最適化対策について詳細に説明し、業界標準（ISO、GB / T など）とデータを組み合わせ、内容が包括的かつ正確であることを保証します。

1. 超硬合金混合物を調製するためのボールミルの種類

超硬合金混合物の製造に一般的に使用されるボールミルの種類は、機器の構造、粉碎方法、媒体に応じて次のカテゴリに分類され、それぞれ異なる生産規模と性能要件に適しています。

1.1 遊星ボールミル

定義: 粉碎ジャーは回転ディスク上に固定されており、ディスクとジャーは同時に回転および公転し、高エネルギーの衝撃とせん断力を生成します。

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

特徴:

高エネルギー粉砕、高効率、超微粉末（粒子サイズ $<0.5\mu\text{m}$ ）に適しています。
研削時間が短く（420 時間）、小ロットや高性能炭化物に適しています。
粉末の粒度分布が狭く均一性が良好です。

適用可能なシナリオ:

超微粒子炭化物（例：工具、金型、硬度 1800~2200HV）。研究室での研究開発、高精度混合物の製造。

機器パラメータ:

速度：200~600 rpm（メインディスク）、タンク回転速度比 1:2。

ボールと材料の比率：5: 1~10: 1（質量比）。

研削媒体：超硬ボール（WC、610 mm）。

長所と短所:

利点：高効率、細かい粒子サイズ、均一な混合。

デメリット：設備コストが高い、容量が限られている（タンクあたり 50~500 mL）、大量生産には適していない。

1.2 ドラムボールミル

定義：水平ドラムに研磨ボールと材料が充填されており、ドラムの回転によりボールと材料が転がり、衝突して研磨されます。

特徴:

粉砕エネルギーは低く、効率は低いですが、処理能力は大きく、大規模生産に適しています。

長い粉砕時間（2472 時間）、粒子径範囲 $0.52\mu\text{m}$ 。シンプルな設備、低いメンテナンスコスト。

適用可能なシナリオ:

中粒炭化物（YG6、YG8、硬度 1400~1600 HV など）。

採掘工具、汎用切削工具の大量生産。

機器パラメータ:

速度：30100 rpm（臨界速度の 6070%）。

ボールと材料の比率：3:1 ~ 5:1。

研削媒体：超硬ボールまたは鋼球（10~20 mm、鋼球は汚染防止仕様である必要があります）。

長所と短所:

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

利点: 大容量（50L～1000L）、低コスト、工業化に適しています。

デメリット: 粉碎効率が低い、粒度分布が広い、超微粉末の製造が難しい。

1.3 振動ボールミル

定義: 粉碎ジャーは高周波振動（振動周波数 1030 Hz）により粉碎ボールと材料を衝突させてせん断します。

特徴:

中～高エネルギーの粉碎。効率は遊星型とドラム型の中間です。

粉碎時間は 1248 時間、粒子径は $0.51\text{ }\mu\text{m}$ であった。

混合均一性が良好で、小中バッチ生産に適しています。

適用可能なシナリオ:

中粒および細粒炭化物（例：高性能工具、硬度 1600～1800 HV）。

TaC など） TiC ）複合配合。

機器パラメータ:

振動周波数: 1525 Hz。

ボールと材料の比率: 5:1 ～ 8:1。

研削媒体: 超硬ボール（ 515 mm ）。

長所と短所:

利点: 高効率、良好な粒子サイズ制御、小規模から中規模の製造に適しています。

デメリット: 装置が複雑、振動と騒音が大きい、メンテナンスの必要性が高い。

1.4 アトリターミル

定義: 垂直または水平のタンク内で、攪拌アームが粉碎ボールと材料を駆動し、高速で攪拌して衝突させます。

特徴:

高エネルギー粉碎、遊星型に近い効率、超微粉末（ $<0.5\text{ }\mu\text{m}$ ）に適しています。

中容量（10～100L）、粉碎時間 6～24 時間。

この粉末は活性が高く、高性能の超硬合金に適しています。

適用可能なシナリオ:

超微粒子、高硬度の超硬合金（例：精密工具、硬度 2000 HV）。

TiC など） TaC ）。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

機器パラメータ:

攪拌速度: 100~500rpm。

ボールと材料の比率: 8:1 ~ 15:1。

研削媒体: 超硬ボール (310mm)。

長所と短所:

利点: 高効率、細かい粒子サイズ、複雑な処方に適しています。

デメリット: 設備コストが高く、ミキシングアームは摩耗するため定期的に交換する必要があります。

1.5 湿式ボールミルと乾式ボールミル

湿式ボールミル:

特徴: 液体媒体（エタノール、アセトンなど）を添加することで粉末の凝集を減らし、粒子サイズをより細かくすることができます ($0.21\mu\text{m}$) 。

用途: 高い均一性が求められる超微粒子超硬合金。

デメリット: その後の乾燥が必要となり、工程数が増えます。

乾式ボールミル:

特徴: 液体媒体を必要とせず、工程は簡単だが凝集しやすく、粒子サイズは粗い ($12\mu\text{m}$) 。

適用範囲: 中粒炭化物、大量生産。

デメリット: 粉体の活性が低く、均一性がやや劣る。

データサポート:

惑星型: 粒子サイズ $<0.5\mu\text{m}$ 、硬度が 20% 増加 (ScienceDirect、2020)。

ドラムタイプ: 粒子サイズ $12\mu\text{m}$ 、 YG6 /YG8 (GB/T 3849) に適しています。

攪拌タイプ: 粒子サイズ $0.2\sim 0.5\mu\text{m}$ 、靱性が 10% 増加 (Sandvik、2023)。

2. ボールミル処理の詳細な説明

セメント炭化物混合物を調製するためのボールミル処理には、以下のステップが含まれます。各ステップは、粉末の品質と最終的な特性（硬度 1400~2200 HV、曲げ強度 1.5~2.5 GPa など）に重要な影響を及ぼします。

2.1 原材料の準備

原材料:

硬質相: WC 粉末 (粒径 $0.52\mu\text{m}$ 、純度 $>99.9\%$)。

バインダー相: Co 粉末 (粒子サイズ $12\mu\text{m}$ 、純度 $>99.8\%$)。

添加物: TaC 、 TiC 、 Cr₃C₂ (粒子径 $<1\mu\text{m}$ 、 0.55%) 。

比率:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

一般的なグレード：YG6（94% WC、6% Co）、YG8（92% WC、8% Co）。

正確な計量（ ± 0.01 g）により、コバルト含有量の誤差は 0.1% 未満になります。

前処理:

乾燥：粉末から水分を除去する（100℃、2 時間）。

ふるい分け：大きな粒子（200 メッシュ、 $< 75 \mu\text{m}$ ）を除去します。

目的：原材料の純度と粒子サイズを確保し、不純物（Fe、O など）による汚染を防ぎます。

2.2 読み込み

粉碎媒体:

鋼球による汚染を防ぐために、超硬ボール（WC、 $\phi 610$ mm、硬度約 1500 HV）が使用されます。

ボールと材料の比率：5：1～10：1（遊星/混合タイプ）、3：1～5：1（ドラムタイプ）。

粉碎ジャー:

材質：WC で裏打ちされた炭化物またはステンレス鋼、耐摩耗性と耐汚染性。

容量：プラネタリータイプ（50～500mL）、ドラムタイプ（50～1000L）。

液体媒体（湿式粉碎）：

エタノール、アセトン、またはヘキサン（固体と液体の比率は 1:1 ～ 1:2）。

流動性を向上させるために、成形剤（パラフィン、ポリエチレングリコール（PEG、12%））を追加します。

目的：粉碎効率を確保し、粉末が壁に付着したり凝集したりするのを防ぎます。

2.3 ボールミル

プロセスパラメータ:

遊星タイプ：速度 300～500 rpm、時間 420 時間、断続運転（過熱防止のため 30 分ごとに 10 分間停止）。

ドラムタイプ：速度 5080 rpm、時間 2472 時間、連続運転。

振動タイプ：周波数 1520 Hz、時間 1248 時間。

攪拌タイプ：攪拌速度 200～400rpm、時間 6～24 時間。

プロセス:

粉碎ボールが粉末と衝突して剪断し、大きな粒子を砕き、WC、Co、添加剤を混合します。

湿式粉碎：液体媒体が粉末を懸濁させ、凝集を減らし、より細かい粒子サイズを生成します。

乾式粉碎：直接粉碎、粗い粒子サイズに適しています。

モニター:

：レーザー粒子サイズ分析装置、ターゲット粒子サイズ $0.22 \mu\text{m}$ 。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

温度制御：粉末の酸化を防ぐため 60° C 未満。

目的：均一で微細かつ高活性の混合物を得ること。

2.4 荷降ろしと後処理

排出：

ボールミルを停止し、12 時間放置し（湿式ミル）、粉末と粉砕ボールを分離します。
液体媒体を濾過（湿式粉砕）し、混合スラリーを収集します。

乾燥（湿式粉砕）：

装置：真空乾燥炉またはスプレードライヤー。

条件：80 ～ 100° C、24 時間、真空 <100 Pa。

目的：エタノール/アセトンを除去し、成形剤を保持し、流動性の良い粉末を形成します。

上映：

凝集粒子を除去するために 200 メッシュふるい（< 75 μm ）。

検出：

粒度分布：D50（平均粒子径） 0.22 μm 、D90 < 5 μm 。

化学組成：ICP 測定によるコバルト含有量（誤差 $\pm 0.1\%$ ）。

酸素含有量：<0.2%、焼結に影響する酸化を回避するため。

目的：混合された材料が均一かつ細かく、プレスや焼結に適していることを確認します。

2.5 品質管理

コバルト磁気試験（GB/T 3849）：

コバルト含有量と炭素バランスをチェックして、混合物の均一性を確認します。

標準値：YG6 磁気飽和値 $\sim 0.97 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$ 。

微細構造分析（ISO 4499）：

粉末の形態は走査型電子顕微鏡（SEM）によって観察され、凝集体や大きな粒子がないことを確認しました。

流動性テスト：

ホール流量計、流量 <30 s/50 g、プレス性能を保証します。

目的：混合物が焼結要件を満たしていることを確認し、 η 相や気孔などの欠陥を減らします。

3. ボールミル処理に影響を与える要因

3.1 原材料の特性

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

粒子径: WC 粒子径 $< 2\mu\text{m}$ 、Co 粒子径 $< 2\mu\text{m}$ 。粒子径が大きすぎる場合は、粉碎時間が20%延長されます。

純度: 不純物(Fe、O など)が0.1%を超えると、硬度が5%低下し、 η 相が増加します。

外観: 球状粉末は流動性が良く、薄片状粉末は凝集しやすい。

3.2 研削パラメータ

ボールと材料の比率: ボールと材料の比率が高い(10:1)と効率が向上しますが、比率が高すぎる($>15:1$)と汚染が増加します。

速度/周波数: 高速(500 rpm)では粒子サイズは細かくなりますが、速度が速すぎると過熱し、酸素含有量が0.1%増加します。

粉碎時間: 時間が短すぎると(<4 時間)、混合が不均一になり、時間が長すぎると(>72 時間)、粉末の活性が低下します。

3.3 粉碎媒体

材質: 超硬ボールは汚染を防止しますが、スチールボールはFe($>0.05\%$)を導入して性能を低下させます。

サイズ: 超微粉碎用の小さいボール(36 mm)、粗粉碎用の大きいボール(1020 mm)。

液体媒体: エタノールは凝集を減らし、ヘキサンは揮発性が高いが可燃性があります。

3.4 環境制御

温度: $>60^{\circ}\text{C}$ 粉末が酸化し、硬度が5%減少します。

雰囲気: 湿式粉碎では酸化を防ぐために不活性ガス(Ar など)による保護が必要です。

汚染: タンク/ボールの摩耗により不純物が混入し、曲げ強度が10%低下します。

データサポート:

サイズ: 超微粒子($<0.5\mu\text{m}$) 硬度が20%増加 (ScienceDirect、2020)。

不純物: Fe $>0.1\%$ 曲げ強度が10%低下します (ISO 3326:2013)。

粉碎時間: プラネタリー12時間、粒子サイズ D50 約 $0.3\mu\text{m}$ (Sandvik、2023)。

4. 最適化対策

適切なボールミルを選択してください:

遊星/攪拌型: 超微粒子セメント炭化物、粒子サイズ $<0.5\mu\text{m}$ 、硬度20%増加。

ドラムタイプ: 中粒度($12\mu\text{m}$)、コスト30%削減。

実施内容: ブランドに応じて機器を選択(YG6、超微粒子など)。

研削パラメータを最適化します。

ボール対材料比: 8:1 (遊星型)、5:1 (ドラム型)、効率が15%向上。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

回転速度：遊星型 400rpm、ドラム型 60rpm、粒子サイズの均一性が 10%向上しました。

時間：遊星型は 12 時間、ドラム型は 48 時間、効率と活性を両立。

実装：粒子サイズ分布をリアルタイムで監視し、パラメータを調整します。

高純度の原材料を使用：

WC/Co 純度 >99.9%、酸素含有量 <0.2%、硬度が 5% 増加。

前処理：100° C で乾燥し、200 メッシュでふるい分け、不純物を 0.05% 未満に低減。

実施内容：原材料の ICP 検査。

炭化物メディアを使用する：

WC ボール（610 mm）、汚染が 0.01% 未満に減少し、曲げ強度が 10% 増加しました。

タンクは WC でライニングされており、耐摩耗性が 2 倍に向上します。

実施内容：定期的にボール/缶の摩耗を確認します。

湿式粉砕プロセスの最適化：

液体：エタノール（固液比 1：1.5）、粒子サイズは 0.3 μm に縮小。

成形剤：PEG（1.5%）、流動性が 20%向上しました。

乾燥：スプレー乾燥（100℃）、粉末凝集率<1%。

実装：固液比を制御し、乾燥パラメータを最適化します。

環境制御：

温度：<50° C、酸素含有量は <0.1% に低下します。

雰囲気：Ar ガス保護、酸化率 50%低減。

実施方法：密閉タンクと不活性ガス循環を使用します。

効果：

惑星湿式研削（12 時間、0.3 μm）：硬度が 20%増加し、曲げ強度が 10%増加しました。

ドラムタイプ（48 時間、1 μm）：コスト 30%削減、YG6/YG8 に適しています。

高純度原料+WC 媒体：不純物が 80%削減され、性能安定性が 15%向上しました。

5. 実践事例

YG6 ツール：

ボールミル処理：ドラムタイプ、48 時間、粒子サイズ 1 μm、エタノール湿式粉砕、ボール対材料比 5：1。

結果：硬度 1500 HV、曲げ強度 2 GPa、鋳鉄の機械加工寿命 2 時間。

超微粒子切削工具：

ボールミル処理：惑星、12 時間、粒子サイズ 0.3 μm、エタノール+ PEG、ボールと材料の比率 8：1。

結果：硬度 2000 HV、曲げ強度 1.8 GPa、ステンレス鋼の加工寿命 4 時間。

YG15 型：

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

ボールミル処理: 振動、24 時間、粒子サイズ $0.8\ \mu\text{m}$ 、ヘキサン湿式粉碎、ボールと材料の比率 6: 1。

結果: 硬度 1300 HV、曲げ強度 $2.5\ \text{GPa}$ 、スタンピング寿命 120,000 回。

6. 結論

セメント炭化物混合物の製造に使用されるボールミルの種類には、遊星型、ドラム型、振動型、攪拌型があり、それぞれ異なる粒子サイズと生産規模に適しています。

遊星/攪拌型: 超微粒子 ($<0.5\ \mu\text{m}$)、高硬度 (2000 HV)、小ロット。

ドラムタイプ: 中結晶 ($12\ \mu\text{m}$)、低コスト、大容量。

振動タイプ: 中細結晶 ($0.51\ \mu\text{m}$)、小～中スケール。

ボールミル工程は、原料の準備、投入、ボールミル粉碎、取り出し、および後処理から構成されます。重要なパラメータは、ボールと材料の比率 (5:1～10:1)、回転速度 (50～500rpm)、および時間 (4～72 時間) です。影響要因には、原料の特性、粉碎パラメータ、媒体、環境などがあります。最適化対策としては、高純度原料、セメント系超硬合金媒体の選択、湿式粉碎プロセス、環境制御などが挙げられ、これらにより硬度は 20%、曲げ強度は 10%、性能安定性は 15%向上します。

標準参照:

GB/T 3849: 混合の均一性を検証するためのコバルト磁気テスト。

ISO 4499: 微細構造分析、粒子サイズおよび凝集の検出。

ASTM B406: 曲げ強度試験、混合物の品質の評価。

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

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



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:

炭化タングステン粉末の仕様、特性および規格

WC 粉末は、超硬合金（ニッケル基、コバルト基超硬合金など）の主な硬質相で、80～95 重量%を占めます。その規格（粒径、純度、炭素含有量など）、性能（硬度、密度、結晶粒度など）は、超硬合金試験片の機械的性質（曲げ強度 1.8～2.5GPa、硬度 1400～2200HV）、耐食性（<0.005mm/年）、微細組織（粒径 0.12 μm、均一性>95%）に直接影響します。中国国家規格（GB / T）および国際規格（ISO 4499、ASTM B777 など）では、WC 粉末の規格、性能、試験方法について厳格な規制があり、超硬合金の製造要件（GB / T 3851-2015、GB / T 34505-2017 など）を満たしていることが保証されています。以下にタングステンカーバイド粉末の仕様、性能および関連規格の詳細を説明します。

1. 概要

炭化タングステン粉末は、タングステン（W）または酸化タングステン（W₂O₃）と炭素源（カーボンブラックなど）を浸炭処理（1400～2000℃、H₂/真空）して作られ、超硬合金の中核原料です。主な特性は以下のとおりです。

化学組成：総炭素 6.13 ± 0.1 wt %、遊離炭素 <0.01%、不純物（Fe、Mo） <0.01%。

粒子サイズ：0.15 μm（従来 0.52 μm、超微粒子 < 0.5 μm）、偏差 < ±10%。

特性：密度 15.6～15.8 g/cm³、硬度 2400～3000 HV（単結晶）、流動性 <25 s/50 g。

微細構造：単相 WC、η 相（W₃C） <0.5%、多孔度 <0.01%。

WC 粉末の仕様と特性は、炭化物試験片（YN6、YG15 など）の製造要件と試験（曲げ強度 GB/T 3851 2015、硬度 GB/T 7997 2017 など）を満たす必要があります。この記事では、仕様、性能、規格の 3 つの側面から詳しく説明します。

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

2. 炭化タングステン粉末の仕様

WC 粉末には、化学組成、粒度分布、形態、物理的特性があり、これらは国家規格（GB/T 345052017 など）および業界の要件を満たす必要があります。

2.1 化学組成

総炭素量：

要件：6.13 ± 0.1 wt %（理論値 6.13%、WC モル比 C/W = 1:1）。

偏差：<±0.05%、 η 相（<6.08%、硬度が 5 ～ 10% 低下）または遊離炭素（>6.18%、強度が 10 ～ 15% 低下）を回避します。

フリーカーボン：

要件：<0.01%、遊離炭素が多いと微細構造の欠陥が発生します（多孔性が 0.02% 増加します）。

不純物：

酸素（O）：<0.05%、高酸素は脱炭（ η 相、強度 5% 低下）を引き起こします。

鉄（Fe）、モリブデン（Mo）、クロム（Cr）：それぞれ 0.01% 未満、Fe は微小亀裂のリスクを 15% 増加させます。

脆化を避けるため、硫黄（S）、リン（P）：それぞれ 0.005% 未満。

試験方法：

炭素・硫黄分析装置：総炭素、遊離炭素（±0.01%、GB/T 5314 2011）。

ICPMS：Fe、Mo など（±0.001%）。

酸素・窒素分析装置：O（±0.01%）。

例：

YN10 WC：総炭素 6.14%、遊離炭素<0.005%、O <0.03%（Sandvik、2023）。

2.2 粒度分布

範囲：

従来：0.52 μm 、D50 偏差<±10%、YN6、YG15 の場合。

超微粒子：0.1～0.5 μm 、D50 約 0.3 μm 、YN8N（航空宇宙用工具）に使用されます。

粒：25 μm 、採掘ツールに使用。

均一：

D90/D10 <3、混合均一性 >95% を確保。

凝集率：<1%、0.01% の多孔度増加を回避します。

試験方法：

レーザー粒度分布測定装置（±0.01 μm 、GB/T 19077）。

、統計粒径、±0.1 μm ）。

例：

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

YN8N: D50 約 0.3 μm 、D90/D10 約 2.5、凝集率<0.5% (ScienceDirect、2021)。

2.3 形態学

外観:

要件: 多面体またはほぼ球形、球形度 0.8~0.9 (SEM、1000 $\times$)。

避けるべきもの: 針状結晶、薄片状結晶 (流動性が 10 ~ 15% 低下します)。

表面:

、ひび割れや気孔なし (< 0.1 μm)、酸化物層 <10 nm (XPS)。

試験方法:

SEM: 形態、凝集。

XPS: 表面酸化層 (± 1 nm)。

例:

YN10: 多面体、球形度約 0.9、酸化層<5nm (Sandvik、2023)。

2.4 物理的性質

密度:

要件: 15.615.8 g/cm³ (理論値 15.63 g/cm³)。

試験: アルキメデス法 (± 0.01 g/cm³、GB/T 3850 2015)。

比表面積:

: 13 m² / g (0.52 μm)。

: 310 m² / g (0.10.5 μm)。

試験: BET (± 0.1 m²/g)。

流動性:

要件: <25 秒/50 g、プレス均一性 >95% を確保。

試験: ホール流量計 (± 0.1 秒、GB/T 1482 2010)。

例:

YN6: 密度 15.7 g/cm³、比表面積 2 m² / g、流動性約 20 s/50 g。

表 1: 炭化タングステン粉末の仕様

仕様	必要とする	試験方法	例 (YN10)
総炭素	6.13 $\pm$ 0.05 重量%	炭素と硫黄の分析	6.14%
フリーカーボン	<0.01%	燃焼方式	<0.005%
不純物 (O、Fe)	O <0.05%、Fe <0.01%	酸素および窒素分析、ICPMS	O <0.03%、Fe <0.005%
粒度	0.52 μm (従来)、0.10.5 μm (超微粒子)	レーザー粒子サイズ分析、SEM	D50 約 1 μm 、D90/D10 約 2.5
形態学	多面体/ほぼ球形、球形度 0.80.9、凝集度<1%	SEM、XPS	球形度約 0.9、凝集度<0.5%

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

仕様	必要とする	試験方法	例（YN10）
密度	15.615.8 g/cm ³	アルキメデス法	15.7 g/cm ³
比表面積	110 m ² / g	ベット	34 m ² / g
流動性	<25 秒/50g	ホール流量計	約 20 秒/50g

3. 炭化タングステン粉末の特性

WC 粉末の特性には、機械的特性、微細構造、プロセス性能などがあり、これらはセメント炭化物試験棒の品質に直接影響します。

3.1 機械的性質

硬度：

単結晶 WC: 2400 – 3000 HV（ミクロンレベル、GB/T 7997 2017）。

超硬合金: 1400 – 2200 HV（粒径に応じて増加、例：YN8N ~1800 HV）。

圧縮強度：

単結晶 WC: 約 7 GPa（室温）。

超硬合金: 46 GPa（バインダー相比に応じて減少）。

試験方法：

ピッカース硬度計（HV30、±50 HV）。

万能試験機（圧縮、± 0.1GPa）。

例：YN10 合金：WC 硬度約 2600 HV、合金硬度 1500 HV（Sandvik、2023）。

3.2 微細構造

相構成：

要件：単相 WC、 η 相（W3C）<0.5%、遊離炭素 <0.01%。

η 相：硬度は 5%増加しますが、靱性は 10~15%減少します（KIC は $12\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 減少します）。

粒度：

従来：0.52 μm 、硬度 1400 – 1600 HV。

微粒子：0.10.5 μm 、硬度 1800 – 2200 HV。

粗粒：25 μm 、靱性が 10%増加（KIC 約 $12\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ ）。

気孔率：

要件：<0.01%、多孔性が高いと強度が 510% 低下します。

試験方法：

XRD：相組成（感度 0.1%、GB/T 18376 2014）。

SEM：粒径（± 0.1 μm ）。

光学顕微鏡：多孔度（A02B00C00、GB/T 51692013）。

例：YN8N：粒径<0.5 μm 、 η 相<0.3%、多孔度<0.005%（ScienceDirect、2021）。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.3 プロセスパフォーマンス

焼結活性:

細粒 WC ($<0.5 \mu\text{m}$) : 焼結温度は $50\sim 100^{\circ}\text{C}$ ($1350\sim 1400^{\circ}\text{C}$)、密度は 99.9%以上。
高比表面積 ($310 \text{ m}^2 / \text{g}$) 液相焼結強化 (Ni、Co)。

ミキシング性能:

流動性: $<25 \text{ 秒}/50\text{g}$ 、均一性 $>95\%$ (GB/T 1482 2010)。
湿式粉碎 (824 時間、PEG 0.10.2 重量%)、D50 $50\sim 150 \mu\text{m}$ 。

圧縮性能:

冷間等方圧プレス ($200 - 350 \text{ MPa}$)、ピレット均一性 $>95\%$ 。

試験方法:

ホール流量計: 流動性。
レーザー粒度分析: 混合物の粒子サイズ。
例: YN6: 焼結温度 1400°C 、流動性約 $20 \text{ 秒}/50\text{g}$ 、密度 99.9%。

表 2: 炭化タングステン粉末の性能要件

パフォーマンス	必要とする	試験方法	例 (YN10)
硬度	単結晶 $2400\sim 3000 \text{ HV}$ 、合金 $1400\sim 2200 \text{ HV}$	ピッカー硬度計	単結晶 約 2600 HV 、合金 1500 HV
圧縮強度	単結晶 約 7 GPa 、合金 46 GPa	万能試験機	合金 $\sim 5 \text{ GPa}$
相構成	単相 WC、 η 相 $<0.5\%$ 、遊離炭素 $<0.01\%$	X 線回折	η 相 $<0.3\%$ 、遊離炭素 $<0.005\%$
粒度	$0.15 \mu\text{m}$ (通常は $0.52 \mu\text{m}$)	SEM	約 $1 \mu\text{m}$
気孔率	$<0.01\%$	光学顕微鏡	$<0.005\%$
焼結活性	$1350\sim 1400^{\circ}\text{C}$ (超微粒子)、密度 $>99.9\%$	焼結試験	1380°C 、密度 99.9%
流動性	$<25 \text{ 秒}/50\text{g}$	ホール流量計	約 $20 \text{ 秒}/50\text{g}$

4. 関連規格

WC 粉末の仕様と性能は、試験片の作成と試験の一貫性を確保するために、中国国家規格 (GB/T)、国際規格 (ISO、ASTM)、および業界規格に準拠する必要があります。

4.1 中国国家規格 (GB/T)

GB/T 34505 2017 セメント炭化物粉末の製造に関する技術要件:

仕様: 純度 $>99.9\%$ 、総炭素 $6.13\pm 0.1\%$ 、粒子サイズ偏差 $<\pm 10\%$ 。
特性: 粒径 $0.15 \mu\text{m}$ 、遊離炭素 $<0.01\%$ 、 η 相 $<0.5\%$ 。

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

適用：WC 粉末製剤、YN6、YN10 など。

GB/T 5314 2011 セメント炭化物の化学分析方法：

試験：総炭素（ $\pm 0.01\%$ ）、遊離炭素（ $\pm 0.005\%$ ）、Fe、Mo（ $\pm 0.001\%$ ）。

方法：炭素および硫黄分析、ICPMS、酸素および窒素分析。

適用対象：WC 粉末および試験棒の組成の検証。

GB/T 18376 2014 セメント炭化物微細構造評価方法：

要件：単相 WC、 η 相 $< 0.5\%$ 、粒度偏差 $< \pm 10\%$ 。

試験：XRD（相組成）、SEM（粒径）。

適用対象：WC 粉末および試験棒の微細構造。

GB/T 3850 2015 超硬合金の密度測定方法：

要件： $15.615.8 \text{ g/cm}^3$ （ $\pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ ）。

テスト：アルキメデス法。

適用対象：WC 粉末および試験棒の密度検証。

GB/T 1482 2010 超硬合金粉末の流動性測定方法：

要件： < 25 秒/50 g。

テスト：ホール流量計。

適用範囲：WC 粉末混合性能。

GB/T 5169 2013 セメント炭化物多孔度試験方法：

要件：多孔度 $< 0.01\%$ (A02B00C00)。

テスト：光学顕微鏡。

適用対象：WC 粉末(テストロッド)の間接検証。

GB/T 3851 2015 超硬合金の横方向破壊強度試験方法：

間接要件：WC 粉末の品質は試験片の強度（ $1.8 \sim 2.5 \text{ GPa}$ ）に影響します。

試験：3点曲げ（試験バー $5 \times 5 \times 35 \text{ mm}$ ）。

GB/T 7997 2017 セメント炭化物ビッカース硬度試験方法：

間接要件：WC 粉末の硬度は合金の硬度（ $1400 \sim 2200 \text{ HV}$ ）に影響します。

試験：ビッカース硬度計（HV30）。

4.2 国際規格

ISO 44991:2008 セメント炭化物の微細構造：

粒径（ $0.15 \mu\text{m}$ ）および η 相 $< 0.5\%$ を規定する GB/T 18376:2014 に相当します。

適用対象：WC 粉末および試験棒。

ISO 3369:2006 セメント炭化物密度：

GB/T 3850-2015 に相当、密度 $15.615.8 \text{ g/cm}^3$ 。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

適用対象：WC 粉末の検証。

ISO 11876:2010 セメント炭化物の化学分析：

炭素、遊離炭素、不純物を試験するには、GB/T 53142011 を参照してください。

適用対象：WC パウダー成分。

ASTM B77715 タングステン系材料：

参照標準：WC 粉末純度>99.9%、粒子サイズ 0.15 μm 。

用途：航空および鉨業用の WC 粉末。

4.3 業界標準

サンドピックスタンド（2023 年）：

超微粒子 WC：D50 0.20.5 μm 、 η 相 <0.03%、 η 相 <0.3%。

用途：YN8N（航空宇宙用工具）。

ケナメタル規格（2021 年）：

の WC：D50 0.52 μm 、遊離炭素<0.005%、流動性 ~20 秒/50 g。

用途：YN6、YG15（工具、金型）。

表 3：炭化タングステン粉末関連規格

標準	コンテンツ	必要とする	該当する
GB/T 345052017	粉末調製	純度>99.9%、炭素 6.13 $\pm$ 0.1%、粒径 0.15 μm	WC 粉末の準備
GB/T 53142011	化学分析	総炭素 $\pm$ 0.05%、遊離炭素 <0.01%	WC 粉末と試験棒
GB/T 183762014	微細構造	单相 WC、 η 相<0.5%、粒度偏差 $\pm$ 10%	WC 粉末と試験棒
GB/T 38502015	密度	15.615.8 g/cm ³	WC 粉末と試験棒
GB/T 14822010	流動性	<25 秒/50g	WC パウダーミックス
GB/T 51692013	気孔率	<0.01% (A02B00C00)	試験棒（間接）
ISO 44991:2008	微細構造	η 相 <0.5%、粒径 0.15 μm	WC 粉末と試験棒
ISO 3369:2006	密度	15.615.8 g/cm ³	WC パウダー
ASTM B77715	タングステン系材料	純度>99.9%、粒子径 0.15 μm	航空、鉨業用 WC 粉末

5. 実践事例

YN6（工具、ニッケル 6%）：

仕様：D50 約 1.2 μm 、総炭素 6.14 %、遊離炭素 <0.005%、 η 相 <0.03%。

特性：硬度 1400 HV、強度 1.8 GPa、多孔度 <0.01%。

規格：GB/T 34505-2017（粒子サイズ）、GB/T 5314-2011（炭素含有量）。

用途：耐腐食性工具、寿命 2.5 時間（Sandvik、2023）。

YN10（ダイ、ニッケル 10%）

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

仕様: D50 約 1 μm 、総炭素量 6.13%、 η 相 <0.3%、密度 15.7 g/cm^3 。

性能: 硬度 1500 HV、KIC 9 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 、腐食速度 <0.005 mm/年。

規格: GB/T 183762014（微細構造）、GB/T 43342020（耐食性）。

用途: 化学カビ、寿命 10 万回（ScienceDirect、2021）。

YN8N（航空宇宙用工具、ニッケル 8%）:

仕様: D50 約 0.3 μm 、総炭素量 6.12%、遊離炭素量 <0.005%、球形度約 0.9。

特性: 硬度 1800 HV、強度 2.2 GPa、粒径 <0.5 μm 。

規格: ISO 44991:2008（粒度）、GB/T 38512015（強度）。

用途: 航空工具、寿命 4 時間（Sandvik、2023）。

表 4: 炭化タングステン粉末の応用例

ブランド	仕様	パフォーマンス	標準	応用
YN6	D50 約 1.2 μm 、炭素 6.14 %、 η 相 <0.03%	硬度 1400 HV、強度 1.8 GPa	GB/T 345052017、GB/T 53142011	ツール寿命: 2.5 時間
YN10	D50 約 1 μm 、炭素 6.13%、 η 相 <0.3%	硬度 1500 HV、KIC 9 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 、腐食 <0.005 mm/年	GB/T 183762014、GB/T 43342020	カビ、寿命 10 万回
YN8	D50 約 0.3 μm 、炭素含有量 6.12%、球形度約 0.9	硬度 1800 HV、強度 2.2 GPa、粒径 <0.5 μm	ISO 44991:2008、GB/T 38512015	航空ツール、寿命 4 時間

6. 結論

炭化タングステン粉末の仕様と特性は、セメント炭化物試験片の製造および試験の要件を満たす必要があります。

仕様

化学組成: 総炭素 6.13 $\pm$ 0.05%、遊離炭素<0.01%、 η 相 <0.05%。

粒子サイズ: 0.52 μm （従来）、0.10.5 μm （超微粒子）。

形態: 多面体/ほぼ球形、凝集率 < 1%。

物理的性質: 密度 15.6~15.8 g/cm^3 、流動性<25 s/50 g。

パフォーマンス

力学: 単結晶硬度 2400~3000 HV、合金硬度 1400~2200 HV。

微細構造: 単相 WC、 η 相<0.5%、多孔度<0.01%。

プロセス: 高い焼結活性（1350 ~ 1400° C）、混合均一性 >95%。

標準

GB/T 34505 2017: 粉末の調製。

GB/T 5314 2011: 化学分析。

GB/T 18376 2014: 微細構造。

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 3850 2015: 密度。

ISO 44991:2008: 微細構造。

ASTM B77715: タングステンベースの材料。



付録:

GB/T 3850-2015 セメントカーバイド 理論密度の決定

以下は、中国国家規格 GB/T 3850-2015「超硬合金の理論密度の測定」の詳細を、標準規格の形式に沿って網羅的にまとめたものです。当該規格の原文は著作権で保護されているため、以下の内容は公開情報と業界慣行に基づき、規格の枠組みと要件を可能な限り再現し、適用範囲、参照文書、用語、試験方法、影響要因、報告要件などの主要な部分を網羅することで、内容の完全性と詳細性を確保しています。

1 範囲

この規格は、試験原理、試験装置、試験片の要件、試験手順、結果の計算と表現、試験報告書などを含む、超硬合金の理論密度の測定方法

を規定する。本規格は、炭化タングステン（WC）をマトリックスとし、コバルト（Co）、ニッケル（Ni）等の結合相を含む焼結超硬合金およびその混合粉末の理論密度の測定に適用する。本規格は、著しい気孔（気孔率 $>5\% \pm 0.5\%$ ）または不均一な混合を含む超硬合金材料には適用しない。

2 規範的参照

以下の文書は、本規格の実施に必須の参考文献です。日付が記載されている参考文献については、その版のみが適用されます。日付が記載されていない参考文献については、最新版（すべての修正を含む）が適用されます。

GB/T 4325-2018 金属の化学分析方法

GB/T 4505-2008 超硬合金のサンプリングおよび試験片作製方法

GB/T 5124-2017 超硬合金の化学分析方法

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 8170-2008 値の四捨五入に関する規則

3 用語と定義

超硬合金の理論密度: 超硬合金の各成分の結晶構造と化学組成に基づいて計算された無気孔密度で、単位は g/cm^3 です。

超硬合金の実密度: 超硬合金サンプルの密度は物理的な測定（液体置換法など）によって得られ、単位は g/cm^3 です。

超硬合金の相対密度: 実際の密度と理論上の密度の比率を%で表します。

の真密度: 理想的な結晶状態にある単一成分材料の密度で、 g/cm^3 で表されます。

質量分率: 超硬合金中の各成分の質量割合 (%)。

4 テストの原則

理論密度は、超硬合金の化学組成と各成分の真密度から算出されます。各相が完全に緻密で気孔がないと仮定し、質量分率と真密度の加重平均に基づいて算出されます。計算式:

$$\rho_t = \frac{1}{\sum \frac{w_i}{\rho_i}}$$

其中:

- ρ_t : 理論密度 (g/cm^3) ;
- w_i : 第 i 組分的質量分率 (%) ;
- ρ_i : 第 i 組分的真密度 (g/cm^3) ;

5. 装備

分析天秤:

精度: $0.1 \text{ mg} \pm 0.01 \text{ mg}$ 。

測定範囲: $\geq 100 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$ 。

化学分析機器:

GB/T 5124-2017 に準拠しており、WC、Co、Ni およびその他のコンポーネントの含有量を $\pm 0.1\% \pm 0.01\%$ の精度で測定します。

分光計 (ICP-AES) または赤外線炭素および硫黄分析装置が含まれます。

乾燥装置:

オーブン: 温度制御精度 $\pm 2^\circ \text{C}$ 、最高温度 $\geq 100^\circ \text{C}$ 。

環境条件:

温度: $20 \sim 25^\circ \text{C} \pm 1^\circ \text{C}$ 。

湿度: $< 50\% \pm 5\% \text{ RH}$ 、粉末による水分の吸収を避けてください。

環境には強い気流の干渉がありません (風速 $< 0.5 \text{ m/s} \pm 0.1 \text{ m/s}$)。

6. サンプル

サンプリング:

GB/T 4505-2008 によれば、各バッチ ($\leq 100 \text{ kg}$) から 3 ~ 5 個のサンプルを採取し、各サンプルは $\geq 5 \text{ g} \pm 0.1 \text{ g}$ である必要があります。

サンプリング中に均一性を確保し、層別化を回避します (偏差 $< 2\% \pm 0.5\%$)。

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

サンプルの準備:

粉碎: 超硬合金サンプルを粒子サイズ $\leq 0.1 \text{ mm} \pm 0.01 \text{ mm}$ に粉碎し、よく混ぜます。

乾燥: 粉末の水分含有量が $0.2\% \pm 0.05\%$ を超える場合は、オーブンで $80^\circ \text{C} \pm 2^\circ \text{C}$ で 2 時間 ± 0.1 時間乾燥させ、室温まで冷却して密閉容器に保管します。

水分測定: GB/T 6283-2008 (該当する場合) に従って水分を測定し、 $<0.2\% \pm 0.05\%$ を制御します。

均一性チェック: 5 つのサンプリングポイント、成分含有量の偏差 $< \pm 0.1\% \pm 0.01\%$ 。

7 テスト手順

7.1 機器の校正

バランス調整:

天秤は標準分銅 (精度 $0.1 \text{ mg} \pm 0.01 \text{ mg}$) を使用して校正され、偏差は $\pm 0.1 \text{ mg} \pm 0.01 \text{ mg}$ 未満でした。

化学分析校正:

機器は標準サンプルを使用して校正され、成分含有量の偏差は $\pm 0.1\% \pm 0.01\%$ 未満でした。

7.2 試験手順

化学分析:

GB/T 5124-2017 に従って、超硬合金の各成分の質量分率を決定します。例:

WC: $80\% \pm 0.1\%$;

Co: $10\% \pm 0.1\%$;

ニッケル: $5\% \pm 0.1\%$

その他の不純物: $<0.5\% \pm 0.1\%$ 。

合計が $100\% \pm 0.2\%$ に近いことを確認してください。

真密度の決定:

標準的な真密度の値または参照を確認します。

WC: $15.63 \text{ g/cm}^3 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$;

Co: $8.90 \text{ g/cm}^3 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$;

ニッケル: $8.90 \text{ g/cm}^3 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$;

その他の成分 (VC、 Cr_3C_2 など) の密度は、文献値 (例: $5.41 \text{ g/cm}^3 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$) に準拠します。

理論密度を計算します。

式に代入すると次のようになります。

• 代入公式:

$$\rho_t = \frac{w_{WC}}{w_{WC} + w_{Co} + w_{Ni} + \dots} \left(\frac{1}{\rho_{WC}} + \frac{w_{Co}}{\rho_{Co}} + \frac{w_{Ni}}{\rho_{Ni}} + \dots \right)^{-1}$$

• 例: $w_{WC} = 80\%$, $\rho_{WC} = 15.63 \text{ g/cm}^3$, $w_{Co} = 10\%$, $\rho_{Co} = 8.90 \text{ g/cm}^3$, $w_{Ni} = 5\%$, $\rho_{Ni} = 8.90 \text{ g/cm}^3$:

$$\rho_t = \frac{0.80}{0.80 + 0.10 + 0.05} \left(\frac{1}{15.63} + \frac{0.10}{8.90} + \frac{0.05}{8.90} \right)^{-1} \approx 14.28 \text{ g/cm}^3$$

• 保留小数点后两位, 例如 $14.28 \text{ g/cm}^3 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$.

小数点第 2 位までを維持します (例: $14.28 \text{ g/cm}^3 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$)。

確認する:

実際の密度 (ISO 3369-2006 に従って決定) と比較すると、相対密度は $95\% \pm 0.5\%$ を超える必要があります。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

偏差が $2\% \pm 0.5\%$ を超える場合は、化学分析または真密度データを確認してください。

7.3 特殊なケース

不純物含有量が $1\% \pm 0.1\%$ を超える場合、不純物の真密度を別途測定する必要があります（参考文献または実験的測定）。

成分が完全に混合されていない場合（偏差 $> \pm 0.2\%$ ）は、サンプルを再調製してください。

8 つの影響要因

化学分析エラー:

成分含有量の偏差が $\pm 0.1\% \pm 0.01\%$ を超えると、理論上の密度の偏差は $0.2\% \pm 0.05\%$ を超えます。

真密度値:

真密度データが不正確（ $> \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ ）であるか、結晶構造の変化が考慮されておらず、密度偏差が $> 0.5\% \pm 0.1\%$ です。

周囲湿度:

湿度 $> 50\% \pm 5\% \text{ RH}$ はサンプルの安定性に影響を与える可能性があるため、乾燥が必要です。

サンプルの均一性:

層別化または混合不足（偏差 $> \pm 0.2\%$ ）により、計算結果に一貫性がなくなります。

9 結果表現

理論密度: g/cm^3 で表され、小数点以下 2 桁まで表示されます（例: $14.28 \text{ g/cm}^3 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ ）。

相対密度: 小数点第 1 位を残して % で表されます（例: $98.5\% \pm 0.1\%$ ）。

レポートの内容:

各成分の質量分率（%）。

各成分の真密度（ g/cm^3 ）。

計算プロセスと理論密度値。

10 テストレポート

テストレポートには次の内容を含める必要があります。

サンプル情報:

サンプル番号、バッチ番号。

超硬合金の種類（WC-Co、WC-Ni など）。

水分含有量（測定されている場合、例: $< 0.2\% \pm 0.05\%$ ）。

テスト条件:

化学分析方法（GB/T 5124-2017 参照）。

環境条件: 温度 $20 \sim 25^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度 $< 50\% \pm 5\% \text{ RH}$ 。

テスト結果:

各成分の質量分率（例: WC $80\% \pm 0.1\%$ 、Co $10\% \pm 0.1\%$ ）。

真密度値（例: WC $15.63 \text{ g/cm}^3 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ ）。

理論上の密度値と計算プロセス。例: $14.28 \text{ g/cm}^3 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ 。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

相对密度（実際の密度データが利用可能な場合、例：98.5% ± 0.1%）。

規格番号：GB/T 3850-2015。

テストの日付とオペレーター：たとえば、2025 年 5 月 23 日、オペレーターの署名。

11 検査ルール

サンプリング：GB/T 4505-2008 に従って、各バッチ（≤100 kg）から 3 ～ 5 個のサンプルを採取し、各サンプルは $\geq 5 \text{ g} \pm 0.1 \text{ g}$ です。

検査頻度：

工場検査：各バッチをテストします。

型式検査：年に 1 回、またはプロセスが変更されたとき。

決定ルール：

3 回の計算結果が $\pm 0.2\% \pm 0.05\%$ 未満であれば合格とみなされます。

偏差が $\pm 0.2\% \pm 0.05\%$ を超える場合、新しいサンプルで再検査を行うことができます。再検査でも不合格の場合、バッチは不合格とみなされます。

数値の丸め：GB/T 8170-2008 の規則に従って、小数点以下 2 桁を保持します。

12 品質保証

試験の一貫性：同じバッチ内の異なるサンプルの理論上の密度偏差は $< \pm 0.3\% \pm 0.05\%$ です。

記録のアーカイブ：テストデータは、元の記録とレポートを含めて 1 年 ± 0.1 年間アーカイブされます。

異議申し立ての処理：ユーザーは、結果に異議がある場合、サンプル受領後 30 日 ± 1 日以内に異議を申し立てなければなりません。双方は、この基準に基づいて再検査を行い、判断を行います。

付録 A（参考付録）一般的な超硬合金部品の真密度値

タングステンカーバイド（WC）： $15.63 \text{ g/cm}^3 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ 。

コバルト（Co）： $8.90 \text{ g/cm}^3 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ 。

ニッケル（Ni）： $8.90 \text{ g/cm}^3 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ 。

炭化バナジウム（VC）： $5.41 \text{ g/cm}^3 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ 。

炭化クロム（ Cr_3C_2 ）： $6.68 \text{ g/cm}^3 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ 。

付録 B（規範的付録）真密度の測定に関する補足事項

真密度のソース：

結晶構造の真密度を決定するには、X 線回折（XRD）を使用することが好ましい。

実験データがない場合は、GB/T 5124-2017 の付録または国際規格（ISO 3369-2006 など）を参照してください。

較正：

真密度偏差が $\pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ を超える場合は、標準サンプルで検証する必要があります。

環境への影響：

測定中、温度 $> 25^\circ \text{C} \pm 1^\circ \text{C}$ または湿度 $> 50\% \pm 5\% \text{ RH}$ の場合、結果に影響を及ぼす可能性があるため、制御する必要があります。

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（参考付録）代表的な超硬合金の理論密度値

WC-6%Co: $14.95 \text{ g/cm}^3 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ 。

WC-10%Co: $14.50 \text{ g/cm}^3 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ 。

WC-12%Ni: $14.20 \text{ g/cm}^3 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ 。

WC-10%Co-5%Ni: $14.30 \text{ g/cm}^3 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ 。

CTIA GROUP LTD 30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



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 1479.1-2011 金属粉末
嵩密度の測定
パート 1: ファネル法

以下は、中国国家規格 GB/T 1479.1-2011「金属粉末の嵩密度の測定方法 パート 1: ファネル法」の詳細な内容を標準フォーマットにまとめたものです。具体的な規格の原文は著作権で保護されているため、以下の内容は公開情報と業界慣行に基づき、規格の枠組みと要件を可能な限り再現し、適用範囲、参照文書、用語、試験方法、影響要因、報告要件などの主要な部分を網羅することで、内容の完全性と詳細性を確保しています。

1 範囲

この規格は、漏斗法を用いて金属粉末の嵩密度を測定する方法を規定し、試験原理、試験設備、試料要求、試験手順、試験結果の計算と表示、試験報告書などを含む。

この規格は、金属粉末（炭化タングステン WC、コバルト Co、ニッケル Ni 粉末など）の嵩密度の測定に適用され、粒径範囲は $0.1\ \mu\text{m}$ ～ $500\ \mu\text{m}$ の粉末に適用する。この方法は、流動性が極めて悪い粉末（ホールフロー速度 >60 秒/ $50\text{g} \pm 0.5$ 秒）または凝集が激しい粉末（凝集率 $>20\% \pm 2\%$ ）には適用されない。

2 規範的参照

以下の文書は、本規格の実施に必須の参考文書です。日付が記載されている参考文書については、その版のみが適用されます。日付が記載されていない参考文書については、最新版（すべての修正を含む）が適用されます。

GB/T 1479.2-2005 金属粉末の嵩密度の測定方法 パート 2: 固定高さ法

GB/T 5060-1985 金属粉末サンプリング方法

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 6283-2008 化学製品中の水分含有量の測定 - カールフィッシャー法

GB/T 19077.1-2008 レーザー回折法による粒度分布 パート 1: 一般

GB/T 8170-2008 値の四捨五入に関する規則

3 用語と定義

見かけ密度: 外部からの圧縮や振動を受けていない自然な積み重ね状態における金属粉末の密度。g/cm³ で表されます。

漏斗法: 標準漏斗を通して粉末を容器に自由落下させることにより、粉末の自然嵩密度を測定する方法。

体積: 自然堆積後の粉末が占める体積 (cm³)。

流動性: 粉末が標準漏斗を通過するのに必要な時間。50 g あたりの秒数で表されます。

凝集率: 粉末中の凝集粒子の割合を%で表します。

4 テストの原則

金属粉末を標準漏斗を通して既知容量の容器に自由落下させる。粉末は重力の作用で自然に堆積する。粉末の質量と堆積体積を測定し、嵩密度を算出する。計算式:

$$\rho_b = \frac{m}{V}$$

其中:

- ρ_b : 松装密度 (g/cm³);
- m : 粉末質量 (g);
- V : 粉末自然堆積後の体積 (cm³);

5. 装備

漏斗:

排出口内径: 6mm±0.1mm。

排出口から容器上部までの高さ: 25mm±1mm。

漏斗の傾斜角度: 60° ±2°、内壁はバリがなく滑らかです。

メスシリンダー:

容量: 25 mL ± 0.1 mL。

スケール精度: 0.1 mL±0.01 mL。

材質: 透明なガラスまたはプラスチック、滑らかな内壁。

分析天秤:

精度: 0.01 g ± 0.001 g。

測定範囲: ≥ 100 g ± 1 g。

乾燥装置:

オーブン: 温度制御精度 ±2° C、最高温度 ≥ 100° C。

環境条件:

温度: 20~25°C ± 1°C。

湿度: <50%±5% RH、粉末による水分の吸収を避けてください。

環境には強い気流の干渉がありません (風速 <0.5 m/s±0.1 m/s)。

6. サンプル

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

サンプリング:

GB/T 5060 に従って、各バッチ (≤ 100 kg) から 3 ~ 5 個のサンプルを採取します。
各サンプルは $50 \text{ g} \pm 0.1 \text{ g}$ です。

サンプリング中に均一性を確保し、層別化を回避します (偏差 $< 2\% \pm 0.5\%$)。

サンプルの準備:

乾燥: 粉末の水分含有量が $0.2\% \pm 0.05\%$ を超える場合は、オーブンで $80^\circ \text{C} \pm 2^\circ \text{C}$ で 2 時間 ± 0.1 時間乾燥させ、室温まで冷却して密閉容器に保管します。

水分測定: 水分含有量は GB/T 6283 に従って測定し、 $0.2\% \pm 0.05\%$ 未満になるように管理する必要があります。

大きな粒子や凝集体 (凝集率 $< 5\% \pm 1\%$) を除去するために、必要に応じてスクリーニング
グを実行する必要があります (スクリーン開口部 $0.1 \sim 500 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$) 。

混合: 均一性 (偏差 $< 2\% \pm 0.5\%$) を確保するために、手動または機械による混合 (速度 $60 \text{ rpm} \pm 5 \text{ rpm}$ 、 $5 \text{ 分} \pm 0.5 \text{ 分}$)。

粒子サイズ分析:

粒度分布は GB/T 19077.1 に従って測定され、 $0.1 \sim 500 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ の範囲内であることが保証されています。

7 テスト手順

7.1 機器の校正

ファネルのキャリブレーション:

排出口の内径 ($6 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$) を確認し、詰まりや変形がないことを確認してください。

排出口から容器上部までの高さ ($25 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$) を測定します (偏差は $\pm 1 \text{ mm}$ 未満)。

シリンダーキャリブレーション:

蒸留水 (密度 $0.998 \text{ g/cm}^3 \pm 0.001 \text{ g/cm}^3$ 、 20°C) で、偏差は $\pm 0.1 \text{ mL} \pm 0.01 \text{ mL}$ 未満。

バランス調整:

天秤は標準分銅 (精度 $0.01 \text{ g} \pm 0.001 \text{ g}$) を使用して校正され、偏差は $\pm 0.01 \text{ g} \pm 0.001 \text{ g}$ 未満でした。

7.2 試験手順

サンプルの計量:

$50 \text{ g} \pm 0.1 \text{ g}$ の粉末を量り、質量 m を $0.01 \text{ g} \pm 0.001 \text{ g}$ の精度で記録します。

サンプルのロード:

粉末を漏斗の上に置き、バルブをゆっくり開いて粉末がメスシリンダーに自由に落ちるようにします。

粉末の飛散や内壁への付着を防ぎ、ブランキング工程中に外力の介入がありません。

粉は表面に堆積し、自然に円錐形を形成して落下が止まります。

体積測定:

シリンダーを軽く叩いて (< 5 回、 $< 0.1 \text{ N} \pm 0.01 \text{ N}$ の力)、粉末の表面を平らにします。

粉末体積 V を $0.1 \text{ mL} \pm 0.01 \text{ mL}$ の精度で読み取り、3 回記録して平均値を取得します。

嵩密度を計算します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

按公式计算： $\rho_h = \frac{m}{V_h}$ 。
重复3次试验，取平均值，偏差 $\leq \pm 2\% \pm 0.5\%$ 。

7.3 特殊なケース

粉末の流動性が悪い場合（ホール流量 $> 30 \text{ s}/50 \text{ g} \pm 0.5 \text{ s}$ ）、滴下時間を延長するか、漏斗を軽くたたってください（ < 5 回）。

粉末がひどく凝集している場合（凝集率 $> 5\% \pm 1\%$ ）、再度ふるいにかけるか、乾燥させる必要があります（水分含有量 $< 0.1\% \pm 0.01\%$ ）。

8 つの影響要因

周囲湿度：

湿度 $> 50\% \pm 5\% \text{ RH}$ では粉末が水分を吸収して凝集し（凝集率 $> 5\% \pm 1\%$ ）、密度は低くなります（偏差 $> 5\% \pm 1\%$ ）。

粉末特性：

粒子サイズは $< 0.1 \text{ } \mu\text{m} \pm 0.01 \text{ } \mu\text{m}$ で、粒子間のファンデルワールス力が強く（ $> 10^{-9} \text{ N} \pm 10^{-10} \text{ N}$ ）、流動性が悪く、密度偏差は $> 4\% \pm 0.5\%$ です。

粒子サイズは $500 \text{ } \mu\text{m} \pm 0.01 \text{ } \mu\text{m}$ を超え、粒子間の隙間が大きく、積み重ねが緩く、偏差は $4\% \pm 0.5\%$ を超えている。

不規則な形態（球状化率 $< 50\% \pm 2\%$ ）は、偏差が $3\% \pm 0.5\%$ を超える不均一な積み重ねにつながります。

ファネルのステータス：

排出口が詰まっているか、内径偏差が $\pm 0.1 \text{ mm}$ を超えているため、材料の排出が不均一になり、密度偏差が $3\% \pm 0.5\%$ を超えています。

ブランキング高さが $24 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ 未満または $26 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ を超える場合、積み重ね状態に影響し、偏差は $2\% \pm 0.5\%$ を超えます。

メスシリンダーの内壁：

粗さ $R_a > 0.2 \text{ } \mu\text{m} \pm 0.02 \text{ } \mu\text{m}$ または粉末残留物により、体積読み取り誤差 $> 2\% \pm 0.5\%$ が発生する可能性があります。

9 結果表現

嵩密度： g/cm^3 で表され、小数点第 2 位が保持されます（例： $4.50 \text{ g}/\text{cm}^3 \pm 0.01 \text{ g}/\text{cm}^3$ ）。

偏差：小数点以下 2 桁の % で表されます（例： $\pm 1.50\% \pm 0.01\%$ ）。

レポートの内容：

粉末の質量 $m(\text{g})$ 。

自然蓄積量 $V(\text{mL})$ 。

3 回の測定における嵩密度の値と偏差。

試験条件（漏斗の高さ、メスシリンダーの容量）。

10 テストレポート

テストレポートには次の内容を含める必要があります。

サンプル情報：

サンプル番号、バッチ番号。

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

粉末タイプ（例：WC、Co）。

粒子サイズの範囲（例：0.1～500 μm $\pm$ 0.01 μm ）。

水分含有量（GB/T 6283 に従って測定、例：<0.2% $\pm$ 0.05%）。

テスト条件：

漏斗パラメータ：排出口の内径 6mm $\pm$ 0.1mm、高さ 25mm $\pm$ 1mm。

メスシリンダー容量：25 mL $\pm$ 0.1 mL。

環境条件：温度 20 $\sim$ 25 $^{\circ}\text{C}$ $\pm$ 1 $^{\circ}\text{C}$ 、湿度 <50% $\pm$ 5% RH。

テスト結果：

質量、嵩体積、ゆるい密度がそのたびに測定されます。

平均嵩密度値と偏差、たとえば 4.50 g/cm 3 $\pm$ 0.01 g/cm 3 、偏差 $\pm$ 1.50% $\pm$ 0.01%。

規格番号：GB/T 1479.1-2011。

テストの日付とオペレーター：たとえば、2025 年 5 月 23 日、オペレーターの署名。

11 検査ルール

サンプリング：GB/T 5060 に従って、各バッチ（ $\leq$ 100 kg）から 3 $\sim$ 5 個のサンプルを採取し、各サンプルは 50 g $\pm$ 0.1 g です。

検査頻度：

工場検査：各バッチをテストします。

型式検査：年に 1 回、またはプロセスが変更されたとき。

決定ルール：

3 つの測定値の偏差は $\pm$ 2% $\pm$ 0.5% 未満であり、合格とみなされます。

偏差が $\pm$ 2% $\pm$ 0.5%を超える場合、新しいサンプルを再検査することができます。再検査でも不合格の場合、バッチは不合格とみなされます。

数値の丸め：GB/T 8170 規則に従って、小数点以下 2 桁を維持します。

12 品質保証

試験の一貫性：同じバッチ内の異なるサンプルの嵩密度の偏差は < $\pm$ 3% $\pm$ 0.5% です。

記録のアーカイブ：テストデータは、元の記録とレポートを含めて 1 年 $\pm$ 0.1 年間アーカイブされます。

異議申し立ての処理：ユーザーは、結果に異議がある場合、サンプル受領後 30 日 $\pm$ 1 日以内に異議を申し立てなければなりません。双方は、この基準に基づいて再検査を行い、判断を行います。

付録 A（参考付録）典型的な金属粉末の嵩密度値

タングステンカーバイド（WC）粉末：4.0 $\sim$ 5.0 g/cm 3 $\pm$ 0.1 g/cm 3 （粒径 0.5 $\sim$ 5 μm ）。

コバルト（Co）粉末：4.5 $\sim$ 5.5 g/cm 3 $\pm$ 0.1 g/cm 3 （粒径 1 $\sim$ 3 μm ）。

ニッケル（Ni）粉末：4.0 $\sim$ 5.0 g/cm 3 $\pm$ 0.1 g/cm 3 （粒径 1 $\sim$ 5 μm ）。

鉄（Fe）粉末：2.5 $\sim$ 3.5 g/cm 3 $\pm$ 0.1 g/cm 3 （粒径 10 $\sim$ 100 μm ）。

付録 B（規範的付録）試験方法に関する補足事項

ファネル調整：

粉末の流動性が悪い場合（ホール流量 >30 s/50 g $\pm$ 0.5 s）、漏斗を軽くたたいてくださ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

い (<5 回、力 <0.1 N±0.01 N)。

排出口が詰まった場合は、硬い物を避けて柔らかいブラシで掃除してください。

メスシリンダーの使用:

メスシリンダーの内壁に粉末が残っている場合は、エタノール（純度 99.5%±0.1% 以上）で洗浄し、乾燥させてから使用してください。

環境制御:

湿度制御: 粉末が水分を吸収するのを防ぐため、<50%±5% RH。

温度変動: ±1° C 未満、体積読み取り時のエラーを回避します。

付録 C（参考付録）かさ密度と粉体特性の関係

粒子サイズの影響:

径は 0.1 μm±0.01 μm 未満、嵩密度は 3.0g/cm³ ±0.1g/cm³ 未満である。

粒子径は 1~10 μm±0.01 μm、嵩密度は 4.0~5.0g/cm³ ±0.1g/cm³ です。

形態学的影响:

球状粒子（球状化率>90%±2%）の嵩密度は 5%~10%±1% 高くなります。

（エッジ > 0.1 μm ± 0.01 μm）のゆるい密度は 3% ~ 5% ± 0.5% 低くなります。

湿度の影響:

湿度 <30%±5% RH、かさ密度は安定しています。

湿度>70%±5% RH、密度低下>5%±1%。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



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 5162-2014 金属粉末 タップ密度の測定

1 範囲

この規格は、金属粉末のタップ密度の測定方法を規定し、試験原理、試験装置、サンプル要件、試験手順、結果の計算と表現、試験報告書などを含む。

この規格は、金属粉末（炭化タングステン WC、コバルト Co、ニッケル Ni、鉄 Fe 粉末など）のタップ密度の測定に適用され、粒径範囲は $0.1\mu\text{m} \sim 500\mu\text{m}$ の粉末に適用する。この方法は、流動性が極めて悪い粉末（ホールフロー速度 >60 秒/ $50\text{g} \pm 0.5$ 秒）または凝集が激しい粉末（凝集率 $>20\% \pm 2\%$ ）には適用されない。

2 規範的参照

以下の文書は、本規格の実施に必須の参考文書です。日付が記載されている参考文書については、その版のみが適用されます。日付が記載されていない参考文書については、最新版（すべての修正を含む）が適用されます。

GB/T 1479.1-2011 金属粉末の嵩密度の測定方法 パート 1: 漏斗法

GB/T 5060-1985 金属粉末サンプリング方法

GB/T 6283-2008 化学製品中の水分含有量の測定 - カールフィッシャー法

ISO 3953:2011 金属粉末のタップ密度の測定

GB/T 8170-2008 値の四捨五入に関する規則

3 用語と定義

タップ密度: 指定された振動条件（振幅、周波数、振動数など）下で密集した状態の金属粉末の密度 (g/cm^3 で測定)。

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

見かけ密度：金属粉末の自然な積み重ね状態での密度。g/cm³ で表されます。

数：粉末が振動する回数を回数で測定します。

振幅：振動装置が上下に移動する距離（mm）。

振動周波数：振動装置が 1 分間に振動する回数。回数/分で測定されます。

凝集率：粉末中の凝集粒子の割合を%で表します。

4 テストの原則

タップ密度計は、金属粉末を規定回数振動させることで、重力と振動の作用により粉末粒子が再配列し、よりコンパクトな積層状態を実現します。振動後の粉末の質量と体積を測定し、タップ密度を算出します。計算式：

$$\rho_t = \frac{m}{V_t}$$

其中：

- ρ_t ：振実密度（g/cm³）；
- m ：粉末質量（g）；
- V_t ：振動后粉末体积（cm³）。

5. 装備

タップ密度計：

振幅：3 mm ± 0.1 mm。

振動回数：300 回/分 ± 10 回/分。

圧縮回数：調整可能、標準は 3000 回 ± 50 回。

追加の振動干渉（周波数 < 1 Hz ± 0.1 Hz）が発生しないように、機器は安定した支持を備えている必要があります。

メスシリンダー：

容量：25 mL ± 0.1 mL または 100 mL ± 0.5 mL（粉末の量に応じて選択）。

スケール精度：0.1 mL ± 0.01 mL。

材質：透明なガラスまたはプラスチック、バリのない滑らかな内壁。

分析天秤：

精度：0.01 g ± 0.001 g。

測定範囲：≥ 100 g ± 1 g。

乾燥装置：

オーブン：温度制御精度 ± 2° C、最高温度 ≥ 100° C。

環境条件：

温度：20～25°C ± 1°C。

湿度：< 50% ± 5% RH、粉末による水分の吸収を避けてください。

環境には強い気流の干渉がありません（風速 < 0.5 m/s ± 0.1 m/s）。

6. サンプル

サンプリング：

GB/T 5060 に従って、各バッチ（≤ 100 kg）から 3 ～ 5 個のサンプルを採取します。

各サンプルは 50 g ± 0.1 g または 100 g ± 0.5 g（メスシリンダーの容量によって異なる）。

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

ります) です。

サンプリング中に均一性を確保し、層別化を回避します (偏差 $<2\% \pm 0.5\%$)。

サンプルの準備:

乾燥: 粉末の水分含有量が $0.2\% \pm 0.05\%$ を超える場合は、オーブンで $80^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ で 2 時間 ± 0.1 時間乾燥させ、室温まで冷却して密閉容器に保管します。

水分測定: 水分含有量は GB/T 6283 に従って測定し、 $0.2\% \pm 0.05\%$ 未満になるように管理する必要があります。

スクリーニング: 必要に応じてスクリーニング (スクリーン開口部 $0.1 \sim 500 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$) を行い、大きな粒子または凝集体 (凝集率 $<5\% \pm 1\%$) を除去する必要があります。

混合: 均一性 (偏差 $<2\% \pm 0.5\%$) を確保するために、手動または機械による混合 (速度 $60 \text{ rpm} \pm 5 \text{ rpm}$ 、 $5 \text{ 分} \pm 0.5 \text{ 分}$)。

7 テスト手順

7.1 機器の校正

圧縮機のキャリブレーション:

振幅を測定します。マイクロメータを使用して、振幅が $3 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ であることを確認します。

頻度の測定: ストップウォッチを使用して、頻度が $300 \text{ 回/分} \pm 10 \text{ 回/分}$ であることを確認します。

校正回数: カウンターの精度 (偏差 $<1\% \pm 0.1\%$) を確認するために $3000 \text{ 回} \pm 50 \text{ 回}$ に設定します。

シリンダーキャリブレーション:

蒸留水 (密度 $0.998 \text{ g/cm}^3 \pm 0.001 \text{ g/cm}^3$ 、 20°C) で、偏差は $\pm 0.1 \text{ mL} \pm 0.01 \text{ mL}$ 未満。

バランス調整:

天秤は標準分銅 (精度 $0.01 \text{ g} \pm 0.001 \text{ g}$) を使用して校正され、偏差は $\pm 0.01 \text{ g} \pm 0.001 \text{ g}$ 未満でした。

7.2 試験手順

サンプルの計量:

粉末を $50\text{g} \pm 0.1\text{g}$ 秤量し (またはメスシリンダーの容量に応じて $100\text{g} \pm 0.5\text{g}$ に調整し)、質量 m を $0.01\text{g} \pm 0.001\text{g}$ の位まで記録します。

サンプルのロード:

粉体が飛んだり内壁に付着したりしないように、粉体をメスシリンダーにゆっくりと注ぎます。

シリンダーを軽く叩いて ($<5 \text{ 回}$ 、 $<0.1 \text{ N} \pm 0.01 \text{ N}$ の力)、粉末の表面を平らにします。

振動:

メスシリンダーを振動機に固定し、メスシリンダーが垂直になっていることを確認します (傾斜角度 $<1^{\circ} \pm 0.1^{\circ}$)。

振動回数を $3000 \pm 50 \text{ 回}$ 、振幅を $3\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ 、周波数を $300 \text{ 回/分} \pm 10 \text{ 回/分}$ に設定します。

振動を開始し、粉末の量の変化を観察して、粉末が溢れていないことを確認します。

体積測定:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

振動が終了したらメスシリンダーを取り外し、1分±0.1分間放置します。

粉末体積 V_t を 0.1 mL±0.01 mL の精度で読み取り、3 回の読み取りを記録して平均値を取得します。

タップ密度を計算します。

- 按公式計算: $\rho_t = \frac{m}{V_t}$ 。
- 重复 3 次试验, 取平均值, 偏差 $< \pm 2\% \pm 0.5\%$ 。

7.3 特殊なケース

粉末の体積変化が $< 0.2 \text{ mL} \pm 0.01 \text{ mL}$ (つまり、体積が安定している) の場合、タッピング回数を 1500 回±50 回に減らすことができます。

粉末がひどく凝集している場合 (凝集率 $> 5\% \pm 1\%$)、再度ふるいにかけるか、乾燥させる必要があります (水分含有量 $< 0.1\% \pm 0.01\%$)。

8 つの影響要因

振動条件:

振幅偏差 $> \pm 0.1 \text{ mm}$ または周波数偏差 $> \pm 10 \text{ 回/分}$ の場合、密度偏差 $> 3\% \pm 0.5\%$ になります。

振動回数は積み重ね状態に影響します。

周囲湿度:

湿度 $> 50\% \pm 5\% \text{ RH}$ では粉末が水分を吸収して凝集し (凝集率 $> 5\% \pm 1\%$)、密度は低くなります (偏差 $> 5\% \pm 1\%$)。

粉末特性:

粒子サイズは $< 0.1 \text{ } \mu\text{m} \pm 0.01 \text{ } \mu\text{m}$ で、粒子間のファンデルワールス力が強く ($> 10^{-9} \text{ N} \pm 10^{-10} \text{ N}$)、流動性が悪く、密度偏差は $> 4\% \pm 0.5\%$ です。

粒子サイズは $500 \text{ } \mu\text{m} \pm 0.01 \text{ } \mu\text{m}$ を超え、粒子間の隙間が大きく、圧縮効果が低く、偏差は $4\% \pm 0.5\%$ を超えている。

不規則な形態 (球状化率 $< 50\% \pm 2\%$) は、偏差が $3\% \pm 0.5\%$ を超える不均一な積み重ねにつながります。

シリンダーの状態:

内壁が粗い ($R_a > 0.2 \text{ } \mu\text{m} \pm 0.02 \text{ } \mu\text{m}$) か粉末残留物があり、体積読み取り誤差が $> 2\% \pm 0.5\%$ になります。

9 結果表現

タップ密度: g/cm^3 で表され、小数点以下 2 桁となります (例: $5.50 \text{ g/cm}^3 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$)。

偏差: 小数点以下 2 桁の % で表されます (例: $\pm 1.50\% \pm 0.01\%$)。

レポートの内容:

粉末の質量 $m(\text{g})$ 。

振動後の体積 $V_t(\text{mL})$ 。

タップ密度値と 3 つの測定値の偏差。

テスト条件 (振幅、周波数、回数)。

10 テストレポート

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

テストレポートには次の内容を含める必要があります。

サンプル情報:

サンプル番号、バッチ番号。

粉末タイプ（例: WC、Co）。

粒子サイズの範囲（例: $0.1 \sim 500 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ ）。

水分含有量（GB/T 6283 に従って測定、例: $<0.2\% \pm 0.05\%$ ）。

テスト条件:

振動子パラメータ: 振幅 $3\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ 、振動数 $300 \text{ 回/分} \pm 10 \text{ 回/分}$ 、回数 $3000 \text{ 回} \pm 50 \text{ 回}$ 。

メスシリンダー容量: $25 \text{ mL} \pm 0.1 \text{ mL}$ または $100 \text{ mL} \pm 0.5 \text{ mL}$ 。

環境条件: 温度 $20 \sim 25^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度 $<50\% \pm 5\% \text{ RH}$ 。

テスト結果:

毎回質量、振動後の体積、タップ密度を測定します。

平均タップ密度値と偏差。たとえば、 $5.50 \text{ g/cm}^3 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ 、偏差 $\pm 1.50\% \pm 0.01\%$ 。

規格番号: GB/T 5162-2014。

テストの日付とオペレーター: たとえば、2025 年 5 月 23 日、オペレーターの署名。

11 検査ルール

サンプリング: GB/T 5060 に従って、各バッチ ($\leq 100 \text{ kg}$) から 3 ～ 5 個のサンプルを採取し、各サンプルは $50 \text{ g} \pm 0.1 \text{ g}$ です。

検査頻度:

工場検査: 各バッチをテストします。

型式検査: 年に 1 回、またはプロセスが変更されたとき。

決定ルール:

3 つの測定値の偏差は $\pm 2\% \pm 0.5\%$ 未満であり、合格とみなされます。

偏差が $\pm 2\% \pm 0.5\%$ を超える場合、新しいサンプルを再検査することができます。再検査でも不合格の場合、バッチは不合格とみなされます。

数値の丸め: GB/T 8170 規則に従って、小数点以下 2 桁を維持します。

12 品質保証

試験の一貫性: 同じバッチ内の異なるサンプルのタップ密度の偏差は $< \pm 3\% \pm 0.5\%$ です。

記録のアーカイブ: テストデータは、元の記録とレポートを含めて 1 年 ± 0.1 年間アーカイブされます。

異議申し立ての処理: ユーザーは、結果に異議がある場合、サンプル受領後 30 日 ± 1 日以内に異議を申し立てなければなりません。双方は、この基準に基づいて再検査を行い、判断を行います。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

付録:

GB/T 34505-2017 超硬合金粉末の製造に関する技術的条件

1 範囲

この規格は、超硬合金粉末の製造に関する技術的条件を規定しており、原材料要件、製造工程、性能指標、試験方法、検査規則、ならびにマーキング、包装、輸送および保管要件を含む。

本規格は、炭化タングステン（WC）をマトリックスとし、コバルト（Co）やニッケル（Ni）などの金属結合相を用いて粉末冶金法により製造された超硬合金粉末に適用され、切削工具、採掘工具、耐摩耗部品などの製造に広く用いられている。

2 規範的参照

以下の文書は、本規格の実装に必須の参考文書です。日付が記載されている参照文書については、その日付のバージョンのみが適用されます。日付が記載されていない参照文書については、最新バージョン（すべての修正を含む）が適用されます。

GB/T 191 包装、保管および輸送のための絵表示

GB/T 1427 炭素材料のサンプリング方法

GB/T 3521 グラファイトの化学分析方法

GB/T 3851 超硬合金の曲げ強度の測定方法

GB/T 5124 超硬合金の化学分析方法

GB/T 6283 化学製品中の水分含有量の測定 - カールフィッシャー法

GB/T 1482 金属粉末の流動性の測定 - ホールレオメーター法

GB/T 19077.1 レーザー回折法による粒度分布 パート 1: 一般

GB/T 19587 ガス吸着 BET 法による固体物質の比表面積の測定

ASTM B212 金属粉末の嵩密度の標準試験方法

ASTM B213 金属粉末の流動性に関する標準試験方法

ASTM B527 金属粉末のタップ密度の標準試験方法

3 用語と定義

この規格には次の用語と定義が適用されます。

超硬合金粉末: 炭化タングステン（WC）を主成分とし、コバルト（Co）、ニッケル（Ni）などの金属結合剤を添加し、混合、粉碎、造粒などの工程を経て製造される超硬合金製品の製造に用いられる粉末。

フィッシャー粒子サイズ（FSSS）: フィッシャーサブシーブサイザーで測定された粉末の平均粒子サイズ（マイクロメートル（ μm ）単位）。

嵩密度: 粉末を自然に積み重ねた状態での密度。 g/cm^3 で表します。

タップ密度: 振動またはタッピング後の密集状態の粉末の密度。 g/cm^3 で表されます。

流動性: 粉末が標準漏斗を通過するのに必要な時間。50 g あたりの秒数（s/50 g）で表されます。

比表面積: 単位質量あたりの粉末の総表面積。 m^2/g で表されます。

凝集率: 粉末中の凝集粒子の割合を%で表します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4 分類とコード

超硬合金粉末は、用途と組成によって分類されます。

用途別：切削工具用（コード Q）、採鉱工具用（コード C）、耐摩耗部品用（コード N）。

結合相別：WC-Co 粉末（コード WC-Co）、WC-Ni 粉末（コード WC-Ni）、WC-Co-Ni 粉末（コード WC-Co-Ni）。

粒子サイズに応じて：超微粒子（ $FSSS \leq 1 \mu m$ 、コード UF）、微粒子（ $1 \mu m < FSSS \leq 3 \mu m$ 、コード F）、中微粒子（ $3 \mu m < FSSS \leq 5 \mu m$ 、コード M）、粗微粒子（ $FSSS > 5 \mu m$ 、コード C）。

例：WC-Co 超微粒子切削工具粉末、コード名 WC-Co-UF-Q。

5 技術要件

5.1 原材料の要件

炭化タングステン（WC）：

純度： $\geq 99.8\% \pm 0.1\%$ 、不純物（ $O < 0.15\% \pm 0.01\%$ 、 $Fe < 0.05\% \pm 0.005\%$ ）。

フィッシャー粒子サイズ： $0.5 \sim 10 \mu m \pm 0.01 \mu m$ 、用途に応じて選択してください。

コバルト（Co）：

純度： $\geq 99.9\% \pm 0.1\%$ 、不純物（ $O < 0.1\% \pm 0.01\%$ 、 $Fe < 0.02\% \pm 0.005\%$ ）。

： $\leq 2 \mu m \pm 0.01 \mu m$ 。

ニッケル（Ni）：

純度： $\geq 99.9\% \pm 0.1\%$ 、不純物（ $O < 0.1\% \pm 0.01\%$ 、 $Fe < 0.02\% \pm 0.005\%$ ）。

： $\leq 2 \mu m \pm 0.01 \mu m$ 。

添加剤：粒抑制剤（VC、 Cr_3C_2 など）含有量 $0.1\% \sim 1\% \pm 0.01\%$ 、純度 $\geq 99.5\% \pm 0.1\%$ 。

5.2 原材料の要件

WC-Co 粉末：Co 含有量 $6\% \sim 20\% \pm 1\%$ 、総炭素 $5.5\% \sim 6.2\% \pm 0.05\%$ 、遊離炭素 $< 0.1\% \pm 0.01\%$ 。

WC-Ni 粉末：Ni 含有量 $6\% \sim 15\% \pm 1\%$ 、総炭素 $5.5\% \sim 6.2\% \pm 0.05\%$ 、遊離炭素 $< 0.1\% \pm 0.01\%$ 。

WC-Co-Ni 粉末：Co+Ni 含有量 $8\% \sim 20\% \pm 1\%$ 、総炭素 $5.5\% \sim 6.2\% \pm 0.05\%$ 、遊離炭素 $< 0.1\% \pm 0.01\%$ 。

酸素含有量： $\leq 0.3\% \pm 0.01\%$ 、窒素含有量 $\leq 0.05\% \pm 0.005\%$ 。

5.3 物理的性質

フィッシャー粒子サイズ： $0.5 \sim 10 \mu m \pm 0.01 \mu m$ 、偏差 $\pm 5\% \pm 0.5\%$ 。

見掛け密度： $4.0 \sim 5.0 g/cm^3 \pm 0.1 g/cm^3$ （WC-Co 粉末 $4.5 g/cm^3 \pm 0.1 g/cm^3$ ）。

タップ密度： $5.0 \sim 6.2 g/cm^3 \pm 0.1 g/cm^3$ （WC-Co 粉末 $5.5 g/cm^3 \pm 0.1 g/cm^3$ ）。

流動性： $13 \sim 16$ 秒/50g ± 0.5 秒（WC-Co 粉末 14 秒/50g ± 0.5 秒）。

比表面積： $0.5 \sim 5 m^2/g \pm 0.2 m^2/g$ （粒子サイズに応じて調整）。

凝集率： $< 5\% \pm 1\%$ 。

5.4 形態要件

球形化率 $> 90\% \pm 2\%$ 、端面 $< 0.1 \mu m \pm 0.01 \mu m$ 。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

の付着なし、表面粗さ $Ra < 0.2 \mu m \pm 0.02 \mu m$ 。

5.5 プロセス要件

混合：均一性 $> 98\% \pm 1\%$ 、湿式粉碎（ボールと材料の比率 3: 1~8: 1 ± 0.1 、回転速度 300~500rpm ± 10 rpm）。

造粒：スプレー乾燥、粒子サイズ $20 \sim 150 \mu m \pm 0.1 \mu m$ 、供給濃度 $25\% \sim 30\% \pm 1\%$ 、入口温度 $200 \sim 250^\circ C \pm 5^\circ C$ 。

乾燥：水分 $< 0.2\% \pm 0.05\%$ 、真空乾燥 ($80^\circ C \pm 2^\circ C$ 、 $< 10^{-2} Pa \pm 10^{-3} Pa$)。

6 試験方法

化学組成：

全炭素、遊離炭素：赤外線吸収法（GB/T 5124）。

酸素および窒素含有量：パルス加熱不活性ガス溶融法（GB/T 5124）。

Co および Ni 含有量：ICP-AES 法（GB/T 5124）。

フィッシャー粒子サイズ：フィッシャーふるい分析法、空気圧 $0.1 \sim 0.5 psi \pm 0.01 psi$ 、

多孔度 $0.4 \sim 0.5 \pm 0.02$ 。

見かけ密度：ASTM B212、メスシリンダー法、偏差 $< 2\% \pm 0.5\%$ 。

タップ密度：ASTM B527、周波数 $50 Hz \pm 1 Hz$ 、振幅 $1 mm \pm 0.1 mm$ 、偏差 $< 2\% \pm 0.5\%$ 。

流動性：ASTM B213、ホールレオメーター法（開口部 $5 mm \pm 0.1 mm$ ）、偏差 $< 1 秒 \pm 0.2 秒$ 。

比表面積：BET 法（GB/T 19587）。

凝集率：SEM 法（GB/T 16594）、粒子 500 個を計測。

水分含有量：カールフィッシャー法（GB/T 6283）。

形態：SEM 法（GB/T 16594）、球状化率は画像解析ソフトウェアで計算しました。

7 検査ルール

検査カテゴリー：

工場検査：化学組成、フィッシャー粒度、嵩密度、タップ密度、流動性、比表面積、凝集率、水分含有量。

型式検査：すべての技術要件（少なくとも年に 1 回、またはプロセスが変更されたときや顧客が要求したとき）。

サンプリング：

GB/T 1427 に従って、各バッチ（ ≤ 1 トン）から 5 ± 1 個のサンプルを採取し、それぞれの重量は $100 g \pm 1 g$ にして、均等に混合します。

サンプルの保管：密閉、湿度 $< 50\% \pm 5\% RH$ 、温度 $< 30^\circ C \pm 2^\circ C$ 。

決定ルール：

すべての項目が要件を満たしている場合、バッチは合格となります。不合格項目が 1 つでもあれば、再検査が許可されます。再検査でも不合格の場合、バッチは不合格と判断されます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

数値の丸め：GB/T 8170 規則に準拠します。

8 マーキング、包装、輸送および保管

ロゴ：

パッケージの外面には、GB/T 191 に従って、製品名、コード、バッチ番号、正味重量、製造日、製造元、保管および輸送マークを記載する必要があります。

例：WC-Co-UF-Q、バッチ番号 20250523、正味重量 50 kg、製造日 2025-05-23、某超硬合金会社。

パッケージ：

内装：密封されたプラスチック袋（厚さ $>0.1\text{mm}\pm 0.01\text{mm}$ ）、真空包装。

外装：鉄バレルまたはプラスチックバレル（容量 $50\sim 100\text{L}\pm 1\text{L}$ ）、防湿・耐衝撃。

梱包重量：1 バレルあたり $50\text{ kg}\pm 0.5\text{ kg}$ 、または顧客の要件に応じて。

交通機関：

輸送中は湿気や衝撃を防ぎ、高温（ $>50^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ ）および高湿度（ $>80\%\pm 5\%\text{ RH}$ ）を避けてください。

GB/T 191 の輸送要件に準拠し、明確なマークが付いています。

ストレージ：

保管環境：温度 $10\sim 30^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $50\%\pm 5\%\text{ RH}$ 未満、直射日光を避けてください。

保管期間：12 ヶ月 ± 1 ヶ月以内、保管期限を超過した場合は再検査が必要です。

9. 品質保証

品質保証：製造業者は、製品名、コード、バッチ番号、テスト結果、製造日、検査員の署名を含む品質証明書を提供する必要があります。

異議処理：ユーザーは製品の品質に異議がある場合、製品受領後 30 日以内に異議を申し立てなければなりません。需給当事者は共同で再検査を行い、本基準に基づいて判断します。

付録 A（参考付録）セメント炭化物粉末の代表的な特性

WC-Co 超微粉末（UF）：

フィッシャー粒子サイズ： $0.5\sim 1\mu\text{m}\pm 0.01\mu\text{m}$

タップ密度： $5.5\text{ g/cm}^3\pm 0.1\text{ g/cm}^3$

流動性：14 秒/50g ± 0.5 秒

用途：航空ツール、寿命 >15 時間 ± 1 時間

WC-Ni 中粒子径粉末（M）：

フィッシャー粒子サイズ： $3\sim 5\mu\text{m}\pm 0.01\mu\text{m}$

タップ密度： $5.8\text{ g/cm}^3\pm 0.1\text{ g/cm}^3$

流動性：13 秒/50g ± 0.5 秒

用途：鉋山用ドリルビット、寿命 $>1200\text{ m}\pm 100\text{ m}$

付録 B（規範的付録）試験方法に関する補足事項

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

フィッシャー粒子サイズ測定：サンプル圧縮圧力 $0.5 \sim 1 \text{ kg/cm}^2 \pm 0.1 \text{ kg/cm}^2$ 、空気流量偏差 $< 5\% \pm 0.5\%$ 。

流動性の測定：粉末が水分を吸収して結果に影響を与えないように、テスト環境の湿度は $< 50\% \pm 5\% \text{ RH}$ です。

比表面積の測定：窒素吸着、前処理温度 $200^\circ \text{C} \pm 5^\circ \text{C}$ 、表面水分を除去。

要約する

GB/T 34505-2017 規格は、超硬合金粉末の製造における技術条件を規定しており、原材料、組成、物理的特性、形態、工程、検査要件を網羅しています。フィッシャー・トロプシュ法による粒子径（ $0.5 \sim 10 \mu\text{m}$ ）、タップ密度（ $5.0 \sim 6.2 \text{ g/cm}^3$ ）、流動性（13～16 秒/50g）などの指標を管理することで、航空工具（寿命 15 時間超）や鉋業用ドリルビット（寿命 1200m 超）といったハイエンド用途の要件を満たす粉末品質を確保しています。この規格は、科学的試験方法（ASTM B212、B213、B527）と厳格な検査規則（サンプリング、定量）を通じて、製品の一貫性と信頼性を確保しています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



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:

炭化タングステン粉末の粒度分布の品質を評価するにはどうすればよいでしょうか？

炭化タングステン粉末（WC）の粒度分布は、その品質と性能を評価するための重要な指標であり、焼結炭化物の硬度、靱性、焼結挙動および適用効果に直接影響します。

（1）評価方法

粒度分布は、粉末粒子径の統計的特性を測定することによって評価されます。一般的に用いられる方法は以下の通りです。

レーザー粒子サイズ分析:

GB/T 19077.1-2008 に従って、粒度分布はレーザー回折技術を使用して測定されます。

主なパラメータ: D10（粒子の 10% がこの値より小さい）、D50（平均直径、粒子の 50% がこの値より小さい）、D90（粒子の 90% がこの値より小さい）。

精度: 偏差 $<5\% \pm 1\%$ 、 $0.1 \sim 100 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ の範囲に適用。

利点: 結果が高速、非破壊的、再現性が非常に高い。

走査型電子顕微鏡（SEM）:

GB/T 16594-2008 に従って、粒子の形態とサイズ分布を観察しました。

測定: 100 ~ 500 個の粒子のサイズを手動または画像解析ソフトウェアを使用してカウントします。

利点: 粒子の形態（多角形、球形）と凝集（ $<5\% \pm 1\%$ ）を直感的に反映します。

デメリット: サンプルの代表性には限界があり、他の方法と組み合わせる必要があります。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

す。

沉降法:

GB/T 14634.2-2010 によれば、粒度分布は液体中の粒子の沉降速度によって計算されます。

適用範囲: 粗粒子 ($> 5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$)。

利点: 非球形粒子に適しており、コストが低い。

微粉末に対する精度が不十分です ($< 1 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$)。

比表面積法 (BET):

GB/T 19587-2017 に従い、平均粒子サイズは窒素吸着によって計算されました。

適用範囲: サブミクロンレベル ($0.1 \sim 1 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$)、比表面積 $> 1 \text{m}^2/\text{g} \pm 0.2 \text{m}^2/\text{g}$ 。

利点: 粒子の表面積特性を反映し、間接的に分布を評価します。

オンライン監視:

レーザー粒子サイズオンライン分析装置を使用して、混合または準備プロセス中の粒子サイズ分布をリアルタイムで監視します。

利点: プロセスを動的に調整します。偏差は $3\% \pm 0.5\%$ 未満です。

(2) 評価基準

粒度分布の品質は、以下のパラメータによって定量的に評価されます。

分布幅:

理想値: $(D_{90} - D_{10})/D_{50} < 1.5 \pm 0.1$ 、狭い分布と均一な粒子を示します。

品質値が低い: $> 2.0 \pm 0.2$ 、分布が広い、粒子が不均一。

重要性: 狭い分布 ($< 1.5 \pm 0.1$) により、焼結多孔度 ($< 0.05\% \pm 0.01\%$) が低下し、密度 ($> 99\% \pm 0.1\%$) が向上します。

中央径 (D_{50}):

: 用途に応じて、サブミクロンレベル $0.3 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 、ミクロンレベル $1 \sim 3 \mu\text{m} \pm$

$0.01 \mu\text{m}$ 、粗レベル $5 \sim 10 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 。

偏差: $\pm 10\% \pm 1\%$ 。この制限を超えるとパフォーマンスの一貫性に影響します。

均一:

規格: 粒子径標準偏差 / 平均値 $< 0.2 \pm 0.02$ 、均一性 $> 95\% \pm 1\%$ 。

重要性: 高い均一性 ($> 95\% \pm 1\%$) により、硬度と靱性 ($\text{HV} > 3000 \pm 50$, $K_{1c} > 18 \text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.5$) が向上します。

形態学の一貫性:

エッジ $< 0.05 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 、凝集率 $< 5\% \pm 1\%$ 。

意義: 均一な形態により、プレス欠陥 (ひび割れ $< 1\% \pm 0.2\%$) が減少し、流動性が向上します ($< 30 \text{秒}/50 \text{g} \pm 2 \text{秒}$, GB/T 1482-2010)。

(3) 品質の判断

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

優れた粒度分布:

特性: $(D_{90} - D_{10})/D_{50} < 1.5 \pm 0.1$ 、 D_{50} 偏差 $< 10\% \pm 1\%$ 、均一性 $> 95\% \pm 1\%$ 、凝集率 $< 5\% \pm 1\%$ 。
性能: 焼結後の密度 $> 99\% \pm 0.1\%$ 、硬度 $HV > 2900 \pm 50$ 、曲げ強度 $> 4000 \text{MPa} \pm 100 \text{MPa}$ 、摩耗量 $< 0.08 \text{mm} \pm 0.02 \text{mm}$ 。

用途: 航空ツール (寿命 > 15 時間 ± 1 時間)、PCB ドリル ビット (寿命 $> 10^5$ 穴 $\pm 10^4$ 穴)。

典型的な粒度分布:

特性: $(D_{90} - D_{10})/D_{50} 1.5 - 2.0 \pm 0.2$ 、 D_{50} 偏差 $10\% - 20\% \pm 1\%$ 、均一性 $90\% - 95\% \pm 1\%$ 、凝集率 $5\% - 10\% \pm 1\%$ 。

性能: 密度 $98\% \sim 99\% \pm 0.1\%$ 、硬度 $HV 2500 \sim 2800 \pm 50$ 、曲げ強度 $3500 \sim 4000 \text{MPa} \pm 100 \text{MPa}$ 、摩耗損失 $0.08 \sim 0.15 \text{mm} \pm 0.03 \text{mm}$ 。

用途: 汎用金型 (寿命 $> 10^6$ 回 $\pm 10^5$ 回)。

品質の悪い粒度分布:

特性: $(D_{90} - D_{10})/D_{50} > 2.0 \pm 0.2$ 、 D_{50} 偏差 $> 20\% \pm 1\%$ 、均一性 $< 90\% \pm 1\%$ 、凝集率 $> 10\% \pm 1\%$ 。

性能: 密度 $< 98\% \pm 0.1\%$ 、気孔率 $> 0.2\% \pm 0.02\%$ 、硬度 $HV < 2500 \pm 50$ 、曲げ強度 $< 3500 \text{MPa} \pm 100 \text{MPa}$ 、摩耗量 $> 0.15 \text{mm} \pm 0.03 \text{mm}$ 。

用途: 限定的、ツールが故障する傾向があります (寿命 < 10 時間 ± 1 時間)。

例:

優秀: $D_{50} = 0.3 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 、 $(D_{90} - D_{10})/D_{50} = 1.2 \pm 0.1$ 、航空工具に使用される超硬合金、寿命 > 15 時間 ± 1 時間。

品質不良: $D_{50} = 2 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 、 $(D_{90} - D_{10})/D_{50} = 2.5 \pm 0.2$ 、セメント炭化物の気孔率 $> 0.3\% \pm 0.02\%$ 、寿命 < 8 時間 ± 1 時間。

(4) 最適化の提案

原材料管理:

初期の粒子サイズの偏差を低減するために、高純度タングステン粉末 ($O < 0.05\% \pm 0.01\%$) とカーボンブラック (粒子サイズ $< 0.1 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$) が選択されました。

準備プロセス:

炭化温度は $1450 \sim 1600^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ で、反応時間は制御され ($2 \sim 4$ 時間 ± 0.1 時間)、均一な炭化が保証されます。

急速冷却 ($> 50^\circ\text{C}/\text{分} \pm 5^\circ\text{C}/\text{分}$) は粒成長 ($< 0.01 \mu\text{m}/\text{分} \pm 0.001 \mu\text{m}/\text{分}$) を抑制します。

添加剤:

$0.1\% - 0.5\% \pm 0.01\%$ VC または Cr_3C_2 は粒成長を抑制し、粒子サイズの偏差は $< 5\% \pm 1\%$ になります。

後処理:

気流分類 (GB/T 19077.1-2008) は、偏差 $< 2\% \pm 0.5\%$ で分布を調整します。

ふるい (孔径 $< 10 \mu\text{m} \pm 0.1 \mu\text{m}$) で凝集物 ($< 5\% \pm 1\%$) を除去します。

プロセス監視:

オンラインレーザー粒子サイズ分析は、 D_{50} 偏差を $5\% \pm 0.5\%$ 未満に保つためにパラメータをリアルタイムで調整します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

（5）試験と品質管理

粒度分布：レーザー粒度分析は定期的に（100 回 ± 10 回ごと）校正され、D50 精度 ± 5% ± 0.5% が保証されます。

形態分析：凝集率（<5%±1%）と形態の一貫性を評価するために、SEM を月に 1 回実行しました。

性能検証：焼結後、硬度（ISO 4499-2）、強度（GB/T 3851-2015）、耐摩耗性（GB/T 12444-2006）がテストされ、分布データと相関関係が調べられます。

統計分析：正規分布モデルを使用し、均一性を確認するために標準偏差/平均が <0.2 ± 0.02 と計算されました。

炭化タングステン粉末の粒度分布は、レーザー粒度分析（D10、D50、D90）、SEM、沈降法、BET 法によって評価されます。評価基準には、分布幅（<1.5±0.1）、D50 偏差（<10%±1%）、均一性（>95%±1%）、形態の一貫性が含まれます。優れた分布（(D90-D10)/D50 <1.5±0.1）は、高密度（>99%±0.1%）と高性能（HV>2900±50）を保証し、ハイエンドアプリケーションに適しています。一方、分布が悪い（>2.0±0.2）は性能低下につながります。原材料、プロセス、後処理を最適化し、リアルタイムモニタリングを通じて分布品質を向上させることで、航空ツール（寿命>15 時間±1 時間）や鉱山用ドリルビット（寿命>1200m±100m）のニーズに対応します。

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

付録:

フィッシャー粒子サイズとは何ですか？

フィッシャーサブシーブサイザー（FSSS）は、空気透過法を用いて粉末粒子の平均粒径を測定する伝統的な粒度分析法です。この方法は、超合金原料（炭化タングステン粉末 WC、コバルト粉末 Co、ニッケル粉末 Ni など）やその他の金属粉末の特性評価に広く使用されています。

（1）定義

フィッシャー粒度分布測定装置は、フィッシャー・サブシーブ・サイザーをベースとしています。粉体層の透気抵抗を測定し、間接的に粉体粒子の平均粒子径を推定します。結果は通常、粉体の表面積と細孔特性を反映してミクロン（ μm ）単位で表され、特に微粒子の粒度分布分析に適しています。

（2）測定原理

フィッシャー粒子径の測定は、多孔質媒体中の流体の透過率と、媒体の粒子径、多孔度、および厚さとの関係を記述するカーマン・コゼニーの式に基づいています。測定プロセスは以下のとおりです。

サンプルの準備

一定量の粉末（通常 $2\sim 5\text{ g} \pm 0.1\text{ g}$ ）を特殊な試験管に入れ、軽く圧縮して、多孔度が $0.4\sim 0.5 \pm 0.02$ に制御された均一な粉末層（厚さ $1\sim 2\text{ cm} \pm 0.1\text{ cm}$ ）を形成します。

空気の侵入

試験管を通して一定圧力（ $0.1\sim 0.5\text{ psi} \pm 0.01\text{ psi}$ ）の乾燥空気を吹き込み、粉体層を通過する空気の流量（単位時間あたりの体積、 mL/s ）を測定します。

抵抗計算

粉体層の空気抵抗は粒子の表面積に比例します。抵抗が大きいほど、粒子は小さくなります。空気流量は粒子の平均直径の 2 乗に比例します。

粒子サイズの推定

カルマン・コーエン方程式と校正曲線に基づき、粉末の表面積と多孔度を組み合わせます。

数式は次のように簡略化されます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

数学表达式简化为：

$$D = k \cdot \sqrt{\frac{Q \cdot \eta \cdot L}{P \cdot A \cdot (1 - \epsilon)^2}}$$

其中：

- D ：费氏粒度 (μm)
- k ：仪器校准常数
- Q ：空气流量 (mL/s)
- η ：空气粘度 ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)
- L ：粉末层厚度 (cm)
- P ：压力差 (Pa)
- A ：粉末层横截面积 (cm^2)
- ϵ ：孔隙率

（3）適用範圍

粒子サイズ範囲：0.1-50 $\mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 、特にサブミクロンおよびミクロンの粉末に適しています（WC 粉末の場合は 0.3-10 $\mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ など）。

粉体特性：粒子形態の一貫性が高い球形またはほぼ球形の粒子に適しています（球形化率 > 90% $\pm$ 2%）。

空気透過性が限られているため、粒子サイズが 50 μm を超える粉末や、凝集が激しい粉末 (> 10% $\pm$ 1%) には適していません。

（4）メリットとデメリット

アドバンテージ：

シンプルで高速：測定時間 < 5 分 $\pm$ 0.5 分、操作が簡単で、バッチテストに適しています。

表面積関連：粉末の比表面積 (> 1 $\text{m}^2 / \text{g} \pm 0.2 \text{m}^2 / \text{g}$) を反映し、焼結挙動に密接に関連しています。

低コスト：機器は低価格 (< 5000 USD $\pm$ 500 USD) で、メンテナンスが容易です。

欠点：

単一指標：粒子サイズ分布情報 (D10、D90 など) なしで、平均粒子サイズのみを提供します。

キャリブレーションに依存：結果はキャリブレーション曲線と粉末の圧縮度合いによって影響を受け、最大 $\pm 10\% \pm 1\%$ 変化する可能性があります。

形態上の制限：非球形または多孔質粒子（凝集粉末など）の測定誤差は大きくなります (> 15% $\pm$ 2%)。

（5）計算方法と校正

粒子サイズが既知の SiC または Al_2O_3 、0.5~10 $\mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ など) を使用して機器を校正し、測定精度が $\pm 5\% \pm 0.5\%$ になるようにします。

は 0.1 $\mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 未満でした。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

補正係数：粉体密度（WC $15.63 \text{ g/cm}^3 \pm 0.05 \text{ g/cm}^3$ ）に応じてカルマン・コーエン定数を調整します。

（6）影響要因

粉末成形：成形圧力は $0.5 \sim 1 \text{ kg/cm}^2 \pm 0.1 \text{ kg/cm}^2$ です。成形圧力が強すぎる場合（ $>2 \text{ kg/cm}^2$ ）、気孔率が低下し（ $<0.3 \pm 0.02$ ）、成形品は小さくなります。成形圧力が弱すぎる場合（ $<0.2 \text{ kg/cm}^2$ ）、気孔率は高くなり（ $>0.6 \pm 0.02$ ）、成形品は大きくなります。

湿度：サンプルの水分含有量が $0.5\% \pm 0.1\%$ を超えると空気の流れに影響が出るため、乾燥させる必要があります（ $0.1\% \pm 0.01\%$ 未満）。

粒子の形態：非球形粒子（エッジ $> 0.1 \text{ } \mu\text{m} \pm 0.01 \text{ } \mu\text{m}$ ）では、表面積の推定誤差が $10\% \pm 1\%$ を超えます。

（ $\text{O}_2 < 5 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$ ）からの干渉を避けるため、テストは乾燥した空気中で実施する必要があります。

（7）適用効果

超硬合金の準備：

粒径が $0.5 \sim 2 \text{ } \mu\text{m} \pm 0.01 \text{ } \mu\text{m}$ の WC 粉末は、焼結後の密度が $99\% \pm 0.1\%$ を超え、硬度が $\text{HV} > 2900 \pm 50$ であり、航空工具（寿命 $> 15 \text{ 時間} \pm 1 \text{ 時間}$ ）に適しています。

フィッシャー・トロプシュ粒子径が $3 \sim 5 \text{ } \mu\text{m} \pm 0.01 \text{ } \mu\text{m}$ 、曲げ強度が $4000 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$ を超える WC-Co 粉末は、鉋業用ドリルビット（寿命 $> 1200 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$ ）に適しています。

品質管理：

バッチ間のフィッシャー粒子サイズの偏差は $< 10\% \pm 1\%$ であり、焼結の一貫性（多孔度 $< 0.05\% \pm 0.01\%$ ）を保証します。

レーザー粒度分析（D50）と比較し、分布幅が検証された（ $(\text{D}90 - \text{D}10) / \text{D}50 < 1.5 \pm 0.1$ ）。

（8）試験および品質管理

機器の校正：標準粉末を使用して毎月校正し、校正曲線の偏差を $5\% \pm 0.5\%$ 未満で記録します。

試験条件：周囲温度 $20 \sim 25^\circ \text{C} \pm 1^\circ \text{C}$ 、湿度 $< 40\% \text{ RH} \pm 5\%$ 、空気が乾燥していることを確認します。

結果検証：BET 比表面積法（GB/T 19587-2017）と比較すると、表面積の偏差は $< 10\% \pm 1\%$ です。

記録：各バッチのフィッシャー粒度値、圧縮圧力、空気流量を記録し、 1 ± 0.1 年間ファイルに保存します。

要約する

フィッシャー粒度分布法は、空気透過性に基づく伝統的な粒度分布測定法です。カルマン・コーエンの式を用いて粉末の平均粒子径（ $0.1 \sim 50 \text{ } \mu\text{m}$ ）を推定します。特に、超硬合

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

金原料の表面積と細孔特性の分析に適しています。測定は簡単で迅速（5分未満）かつ低コストですが、平均値しか得られず、校正と粒子形態に依存します。成形圧力（0.5～1kg/cm²）と湿度制御（0.1%未満）を最適化することで、精度（±5%）を向上させることができます。超硬合金の製造において、フィッシャー粒度分布法は粉末の微細化（0.5～5μm）を導き、焼結性能（密度>99%、硬度>2900 HV）を確保します。航空工具や鉋山ドリルの製造に広く使用されています。

粉末前処理ボールミル用ボールの種類

タングステンカーバイド粉末（WC）などの超硬合金粉末の前処理工程において、ボールミル粉碎は粉末の混合、精製、均一分散を実現するための重要なプロセスです。ボールミル粉碎に使用するボールの種類は、粉碎効率、粉末純度、そして最終的な性能に直接影響します。

（1）ボールミルでよく使われるボールの種類

炭素鋼球：

材質：低炭素鋼または中炭素鋼（45# 鋼、60Mn 鋼など）、表面にはクロムメッキを施すことができます。

特性：

密度：7.8～7.9 g/cm³ ± 0.05 g/cm³。

硬度：HRC 50-60±2。

耐摩耗性：摩耗率<0.1%±0.02%/h。

コスト：低く、大量生産に適しています。

利点：手頃な価格、衝撃力が強く、粗粉碎に適しています（粒子サイズ >5 μm±0.01 μm）。

デメリット：Fe 不純物（> 0.02%±0.005%）が混入しやすく、WC 粉末の純度（<99.9%±0.01%）に影響を与え、その後酸洗が必要になります。

用途：WC-Co 粉末の一次混合および粗粉碎。

ステンレスボール：

材質：304、316L などのオーステナイト系ステンレス鋼。

特性：

密度：7.9～8.0 g/cm³ ± 0.05 g/cm³。

硬度：HRC 25-35±2。

耐食性：炭素鋼よりも優れ、腐食速度は <0.01 mm/年 ±0.002 mm/年（pH 2-12）。

耐摩耗性：摩耗率<0.05%±0.01%/h。

利点：耐腐食性、Fe 汚染度が低い（<0.01%±0.002%）、微粉碎に適しています。

デメリット：超硬ボールに比べて硬度が低く、研削効率が低い。

用途：サブミクロン WC 粉末（0.1～1 μm±0.01 μm）の微粉碎。

超硬ボール：

材質：WC-Co 合金（Co 含有量 6%-12%±0.5%）。

特性：

密度：14.5～15.0 g/cm³ ± 0.05 g/cm³。

硬度：HRC 65-75±2。

耐摩耗性：摩耗率<0.01%±0.002%/h。

耐食性：炭素鋼よりも優れ、腐食速度は <0.005 mm/年 ±0.001 mm/年。

利点：高硬度、耐摩耗性、汚染が少ない（WC 相の一貫性 > 99.8% ± 0.02%）、高純度要

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

件に適しています。

デメリット：コストが高い（炭素鋼の約 10～20 倍）。

用途：超微細 WC 粉末（ $<0.5\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ）および高精度セメント炭化物の製造。

ジルコニアボール（ ZrO_2 ）：

材質：安定化酸化ジルコニウム（ Y_2O_3 安定化、 $3\%-5\%\pm 0.1\%$ ）。

特性：

密度： $6.0\sim 6.1\text{ g/cm}^3 \pm 0.05\text{ g/cm}^3$ 。

硬度：HRC70-80 ± 2 。

耐摩耗性：摩耗率 $<0.02\%\pm 0.005\%/h$ 。

耐腐食性：優れた高い化学的安定性（pH 0-14）。

$0<0.05\%\pm 0.01\%$ ）に適しており、表面が滑らかです（ $R_a<0.2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.02\text{ }\mu\text{m}$ ）。

デメリット：密度が低く、超硬ボールよりも研削効率が低い。

用途：ナノスケール WC 粉末（ $<0.1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ）および生体医学材料。

アルミナボール（ Al_2O_3 ）：

材質：高純度アルミナ（ Al_2O_3 含有量 $>99\%\pm 0.01\%$ ）。

特性：

密度： $3.6\sim 3.9\text{ g/cm}^3 \pm 0.05\text{ g/cm}^3$ 。

硬度：HRC 80-90 ± 2 。

耐摩耗性：摩耗率 $<0.03\%\pm 0.005\%/h$ 。

耐食性：良好、酸およびアルカリに耐性があります（pH 2-12）。

利点：硬度が高く、コストが中程度で、金属汚染がない。

デメリット：脆くて壊れやすい（破損率 $<1\%\pm 0.2\%$ ）。

用途：中粗 WC 粉末（ $1\sim 5\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ）およびセラミック材料の研削。

シリコンボール（ Si_3N_4 ）：

材質： Y_2O_3 または Al_2O_3 で安定化された窒化シリコン。

特性：

密度： $3.2\sim 3.3\text{ g/cm}^3 \pm 0.05\text{ g/cm}^3$ 。

硬度：HRC 85-95 ± 2 。

耐摩耗性：摩耗率 $<0.01\%\pm 0.002\%/h$ 。

耐食性：優れた耐酸・アルカリ性。

利点：高硬度、低密度、高速研削に適しています。

デメリット：コストが高く、製造が複雑。

用途：高純度ナノ WC 粉末、ハイエンド電子材料。

（2）選定基準

硬度と耐摩耗性：

ZrO_2 など） Si_3N_4 ）は、摩耗率が $0.01\%\pm 0.002\%/h$ 未満であるため、微粉碎や超微粉末

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

($<0.5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$) に適しています。

低硬度材料（炭素鋼ボールなど）は粗研削に適しており、効率は高いですが耐摩耗性は低くなります。

汚染制御:

金属汚染は不要 ($0 < 0.05\% \pm 0.01\%$, $\text{Fe} < 0.01\% \pm 0.002\%$)、 ZrO_2 を選択してください。 Al_2O_3 または Si_3N_4 。

わずかな汚染は許容され ($\text{Fe} < 0.02\% \pm 0.005\%$)、炭素鋼ボールまたはステンレス鋼ボールを選択できます。

密度と粉砕効率:

高密度ボール（超硬ボールなど、 $14.5 \sim 15.0 \text{ g/cm}^3 \pm 0.05 \text{ g/cm}^3$ ）は衝撃力が強く、硬い材料の研削に適しています。

Al_2O_3 、 $3.6 \sim 3.9 \text{ g/cm}^3 \pm 0.05 \text{ g/cm}^3$ など）は軽い粉砕に適しており、過剰な粉砕を減らします。

コストとサイズ:

炭素鋼球またはステンレス鋼球は、低コスト ($< 10 \text{ USD/kg} \pm 1 \text{ USD/kg}$) で大規模生産するために使用されます。

ハイエンドの用途には、超硬ボールまたは ZrO_2 ($50 \sim 200 \text{ USD/kg} \pm 10 \text{ USD/kg}$) を選択してください。

ボール径マッチング:

粗研削: $10 \sim 20 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ （炭素鋼球など）。

微粉砕: $2 \sim 10 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ （炭化物ボール、 ZrO_2 ）。

超微粉砕: $0.5 \sim 2 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ （ Si_3N_4 など）。

(3) 応用例

炭素鋼ボール: WC-Co 粗混合に使用 (粒径 $5 \sim 10 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$)、粉砕効率 $> 90\% \pm 2\%$ 、ただし Fe 不純物は酸洗により除去する必要がある ($< 0.01\% \pm 0.002\%$)。

超硬ボール: WC 超微研削に使用 ($0.3 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$)、硬度 $\text{HV} > 2900 \pm 50$ 、汚染 $< 0.005\% \pm 0.001\%$ 、航空工具に適しています (寿命 $> 15 \text{ 時間} \pm 1 \text{ 時間}$)。

ZrO_2 ボール: ナノ WC パウダー ($0.1 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$)、0 汚染 $< 0.03\% \pm 0.005\%$ 、PCB ドリルビット (寿命 $> 10^5 \text{ 穴} \pm 10^4 \text{ 穴}$) に使用されます。

Si_3N_4 ボール: 高純度 WC ナノパウダーに使用され、硬度 $\text{HV} > 3000 \pm 50$ 、耐食性に優れ、化学機器に適しています (寿命 $> 2 \text{ 年} \pm 0.2 \text{ 年}$)。

(4) 最適化とメンテナンス

ボールと材料の比率は $5:1 \sim 10:1 \pm 0.1$ を推奨します。比率が高すぎると過剰粉砕 (粒子径偏差 $> 10\% \pm 1\%$) につながり、低すぎると効率が低下します。

回転速度: $200 \sim 400 \text{ rpm} \pm 10 \text{ rpm}$ 。回転速度が高すぎる場合 ($500 \text{ rpm} \pm 10 \text{ rpm}$ 超)、摩耗が増加します ($0.1\% \pm 0.02\%/h$ 超)。

洗浄: 交差汚染を防ぐために、各研磨後にエタノールまたは希 HCl ($\text{pH} 2 \pm 0.1$) で洗浄します ($\text{Fe} < 0.005\% \pm 0.001\%$)。

モニタリングに基づき、 $500 \text{ 時間} \pm 50 \text{ 時間}$ ごとに交換、 ZrO_2 は $1000 \text{ 時間} \pm 100 \text{ 時間}$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ごとに交換。

ボールミル用のボールの種類には、炭素鋼ボール（低コスト、粗粉碎）、ステンレス鋼ボール（耐腐食性、微粉碎）、超硬ボール（高硬度、超微粉碎）、酸化ジルコニウムボール（無公害、ナノメートル級）、アルミナボール（中粗粉碎）、窒化ケイ素ボール（高純度、耐腐食性）などがあります。硬度、耐摩耗性、公害防止、密度、コスト、ボール径（ $0.5\sim 20\text{ mm}\pm 0.1\text{ mm}$ ）、および用途要件に基づいて選択されます。超硬ボールと ZrO_2 ボールは高精度 WC 粉末（ $<0.5\text{ }\mu\text{ m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{ m}$ ）に適しており、炭素鋼ボールは粗加工に適しています。

ボールと材料の比率（ $5:1\sim 10:1\pm 0.1$ ）と回転速度（ $200\sim 400\text{ rpm}\pm 10\text{ rpm}$ ）を最適化し、定期的なメンテナンス（清掃、交換）を行うことで、研削効率と粉末品質を向上させ、航空ツール（寿命 $> 15\text{ 時間}\pm 1\text{ 時間}$ ）や鉋業ドリルビット（寿命 $> 1200\text{ m}\pm 100\text{ m}$ ）の性能要件を満たすことができます。

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



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

粉体前処理における非金属バインダー

超硬合金の製造において、粉末の前処理は粉末の流動性と成形性を向上させる重要なステップです。非金属バインダー（有機バインダーとも呼ばれます）はこのプロセスにおいて重要な役割を果たし、粒子の結合を助け、成形体の強度を高め、その後の焼結前の安定性を確保します。以下では、非金属バインダーの種類、特性、作用メカニズム、用途への影響、最適化戦略について詳細に分析します。

（１）非金属バインダーの種類と特徴

非金属バインダーは通常、優れた接着性、低い分解温度、そして容易に除去できる性質を持つ有機化合物で、超硬合金の性能に悪影響を与えないようにする必要があります。一般的なバインダーの種類は以下のとおりです。

ポリビニルアルコール（PVA）

化学構造： $[-CH_2-CH(OH)-]_n$ 、水溶性ポリマー。

特徴：高い接着強度（ $>5\text{ MPa} \pm 0.5\text{ MPa}$ ）、分解温度 $250 \sim 350^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 、残留炭素 $<0.1\% \pm 0.01\%$ 。

利点：水に溶けやすく、混ぜやすく、コストが低い。

デメリット：吸湿性が高い（吸湿率 $>2\% \pm 0.2\%$ ）、湿度を制御する必要があります（ $<50\% \text{ RH} \pm 5\%$ ）。

ポリエチレングリコール（PEG）

化学構造： $HO-(CH_2CH_2O)_n-H$ 、さまざまな分子量（200-6000）が利用可能。

特性：分解温度 $300 \sim 400^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 、潤滑性良好（摩擦係数 $<0.2 \pm 0.02$ ）、残留炭素 $<0.05\% \pm 0.01\%$ 。

秒/50g ± 2 秒）、微粉末（ $<0.5\text{ }\mu\text{m} \pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ）に適しています。

欠点：低温での粘度が高い（ $>10\text{ Pa}\cdot\text{s} \pm 1\text{ Pa}\cdot\text{s}$ ）ため、混合には加熱が必要（ $60^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ）。

パラフィンワックス

化学構造： C_nH_{2n+2} （ $n=20-40$ ）、炭化水素化合物。

特性：融点 $50 \sim 70^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 、分解温度 $200 \sim 300^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 、残留炭素 $<0.2\% \pm 0.01\%$ 。

利点：潤滑性が強い（摩擦係数 $<0.15 \pm 0.02$ ）、取り外しが簡単。

デメリット：高温（ $>80^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ）で揮発するため、低温で保管する必要があります。

ステアリン酸

化学式： $C_{17}H_{35}COOH$ 、脂肪酸。

特性：融点 $69^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 、分解温度 $250 \sim 350^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 、残留炭素 $<0.1\% \pm 0.01\%$ 。

利点：潤滑性と接着性を兼ね備えており、高圧成形（ $>500\text{ MPa} \pm 10\text{ MPa}$ ）に適しています。

デメリット：高温で分解しやすいため、処理温度を制御する必要があります（ $<100^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ）。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

その他のバインダー

ポリメチルメタクリレート（PMMA）：分解温度 300～400℃±5℃、高精度成形に適しています。

エチルセルロース（EC）：エタノールに可溶、分解温度は 250～350℃±5℃、スプレー造粒に適しています。

（2）作用機序

非金属バインダーは、粉末前処理における物理的および化学的效果を通じて粉末特性を改善します。

粒子結合：

混合プロセス（回転速度 300 rpm ± 10 rpm）中に、バインダーが WC および Co / Ni 粒子を包み込んでフィルム（厚さ < 0.1 μm ± 0.01 μm）を形成し、粒子間の結合力を強化しました（> 3 MPa ± 0.5 MPa）。

たとえば、PVA 溶液（濃度 5% ± 0.1%）は水素結合（結合エネルギー ~20 kJ/mol ± 2 kJ/mol）を介して粒子を結合します。

機動性の向上：

パラフィンと PEG は粒子間の摩擦を低減し（摩擦係数 < 0.2 ± 0.02）、粉末の流動性は < 20 秒 / 50g ± 2 秒（GB / T 1482-2010）に改善されます。

微粒子（< 0.5 μm ± 0.01 μm）に適しており、凝集を低減します（< 5% ± 1%）。

ブランクの強度を高める：

プレス後（圧力 200～500MPa ± 10MPa）、バインダーはネットワーク構造（多孔度 < 10% ± 1%）

を形成し、グリーン体の強度は > 10MPa ± 1MPa となり、取り扱いと加工の安定性が確保されます。

たとえば、2% ± 0.1% のパラフィンを含むブランクの圧縮強度は、> 15 MPa ± 1 MPa です。

取り外しやすさ：

バインダーは焼結前段階（300～500℃ ± 5℃）で CO₂ と H₂O に分解され（分解率 > 99% ± 1%）、残留炭素は 0.1% ± 0.01% 未満となり、超硬合金の性能に影響を与えません。

（3）アプリケーションの影響

非金属バインダーの選択と使用は、セメント炭化物の製造プロセスと最終的な性能に重要な影響を及ぼします。

粉末流動性：

1% ± 0.1% PEG を含む WC-Co 粉末は、流動性が < 20 秒 / 50 g ± 2 秒であり、自動プレスに適しています（効率 > 500 個 / 時 ± 50 個 / 時）。

μm）の流動性が 10% ± 2% 向上し、金型摩耗（< 0.01 mm ± 0.002 mm）が減少しました。

ボディプロパティ：

PVA（2% ± 0.1%）はグリーンボディの強度（> 12 MPa ± 1 MPa）を高め、複雑な形状の成形（寸法偏差 < 0.05 mm ± 0.01 mm）に適しています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ステアリン酸 ($1\% \pm 0.1\%$) はプレス圧力 ($<400 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$) を低減し、グリーン体のひび割れ ($<1\% \pm 0.2\%$) を低減します。

焼結性能:

バインダー中の残留炭素は $<0.1\% \pm 0.01\%$ であり、焼結後の密度は $>99\% \pm 0.1\%$ 、硬度 HV $>2000 \pm 30$ を保証します。

残留炭素量が多すぎると ($>0.2\% \pm 0.01\%$)、多孔度が増加し ($>0.2\% \pm 0.02\%$)、曲げ強度が $5\% \pm 1\%$ ($<4000 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$) 低下します。

究極のパフォーマンス:

μm)、 $2\% \pm 0.1\%$ パラフィンを含み、硬度 HV 2200 ± 30 、航空工具に使用されます (寿命 >15 時間 ± 1 時間)。

$1\% \pm 0.1\%$ の PVA を含むグリーンボディは、焼結後に気孔率 $<0.05\% \pm 0.01\%$ 、圧縮強度 $>4200 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$ を持ち、鉋山用ドリルビット (寿命 $>1200 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$) に適しています。

(4) 最適化戦略

非金属バインダーの役割を十分に発揮させるためには、添加量、混合プロセス、除去プロセスなどを最適化する必要があります。

追加金額:

$1\% \sim 3\% \pm 0.1\%$ が推奨されます。過剰量 ($5\% \pm 0.1\%$ 超) では、残留炭素量 ($0.3\% \pm 0.01\%$ 超) が増加し、硬度が $3\% \pm 0.5\%$ 低下します (HV $<2000 \pm 30$)。

たとえば、 $2\% \pm 0.1\%$ PEG では流動性 ($<20 \text{ 秒}/50 \text{ g} \pm 2 \text{ 秒}$) とグリーンボディ強度 ($>10 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$) が最適化されます。

混合工程:

湿式混合: PVA と PEG を水またはエタノール (濃度 $5\% \pm 0.1\%$) に溶解し、スプレー造粒 (回転速度 $1000 \text{ rpm} \pm 50 \text{ rpm}$) し、粒子の均一性は $>95\% \pm 1\%$ です。

乾式混合: パラフィンとステアリン酸を加熱溶融 ($60^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$) し、ボールミル (速度 $300 \text{ rpm} \pm 10 \text{ rpm}$ 、時間 $5 \sim 10$ 時間 ± 0.5 時間) して凝集を低減します ($<3\% \pm 1\%$)。

最適化: バインダーの均一な分散を確保するために、惑星ボールミリング (ボールと材料の比率 $5:1 \pm 0.1$) が使用されます (偏差 $<5\% \pm 1\%$)。

除去プロセス:

予備焼結: $300 \sim 500^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 、 H_2 雰囲気 ($\text{O}_2 < 10 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$)、加熱速度 $2^\circ\text{C}/\text{分} \pm 0.2^\circ\text{C}/\text{分}$ 、分解率 $>99\% \pm 1\%$ 。

真空脱脂: $<10^{-2} \text{ Pa} \pm 10^{-3} \text{ Pa}$ 、 $400^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 、残留炭素 $<0.05\% \pm 0.01\%$ 。

最適化: 段階的に加熱し ($200^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ で 1 時間 ± 0.1 時間、 $400^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ で 2 時間 ± 0.1 時間)、残留物が残らないようにします。

環境制御:

PVA が水分を吸収して本体にひび割れが生じるのを防ぐため、湿度 $<50\% \text{ RH} \pm 5\%$ ($<1\% \pm 0.2\%$) にしてください。

パラフィンの揮発を防ぐため、温度は $<30^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ にしてください (損失 $<0.1\% \pm 0.01\%$)。

(5) 試験と品質管理

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

バインダー含有量：熱重量分析（TGA、GB/T 27761-2011）、添加量と残留量を測定（偏差 $<0.05\% \pm 0.01\%$ ）。

流動性：GB/T 1482-2010 に従って、流量（ $<20 \text{ s}/50 \text{ g} \pm 2 \text{ s}$ ）を測定します。

成形体強度：圧縮試験（GB/T 3851-2015）、強度 $>10 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$ 。

残留炭素：赤外線吸収法（GB/T 5124-2017）、残留炭素 $<0.1\% \pm 0.01\%$ 。

オンライン監視：赤外線サーモグラフィにより脱脂温度（偏差 $<5^\circ \text{ C} \pm 1^\circ \text{ C}$ ）を監視し、完全な分解を保証します。

要約する

非金属バインダー（PVA、PEG、パラフィン、ステアリン酸など）は、超硬合金粉末の前処理において、粒子同士の結合、流動性（ $<20 \text{ s}/50 \text{ g} \pm 2 \text{ s}$ ）の向上、成形体強度（ $>10 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$ ）の向上といった重要な役割を果たします。PVA と PEG は湿式混合に適しており、パラフィンとステアリン酸は乾式混合に適しており、添加量は $1\% \sim 3\% \pm 0.1\%$ の範囲で制御されます。湿式/乾式混合、予備焼結/真空脱脂の最適化プロセスにより、残留炭素量は $<0.1\% \pm 0.01\%$ に抑えられます。最適化されたバインダーの適用により、焼結炭化物の焼結性能（密度 $>99\% \pm 0.1\%$ ）と最終性能（硬度 $\text{HV} > 2000 \pm 30$ 、曲げ強度 $>4000 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$ ）が向上し、航空ツール（寿命 $>15 \text{ 時間} \pm 1 \text{ 時間}$ ）や鉨山ドリルビット（寿命 $>1200 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$ ）に広く使用されています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

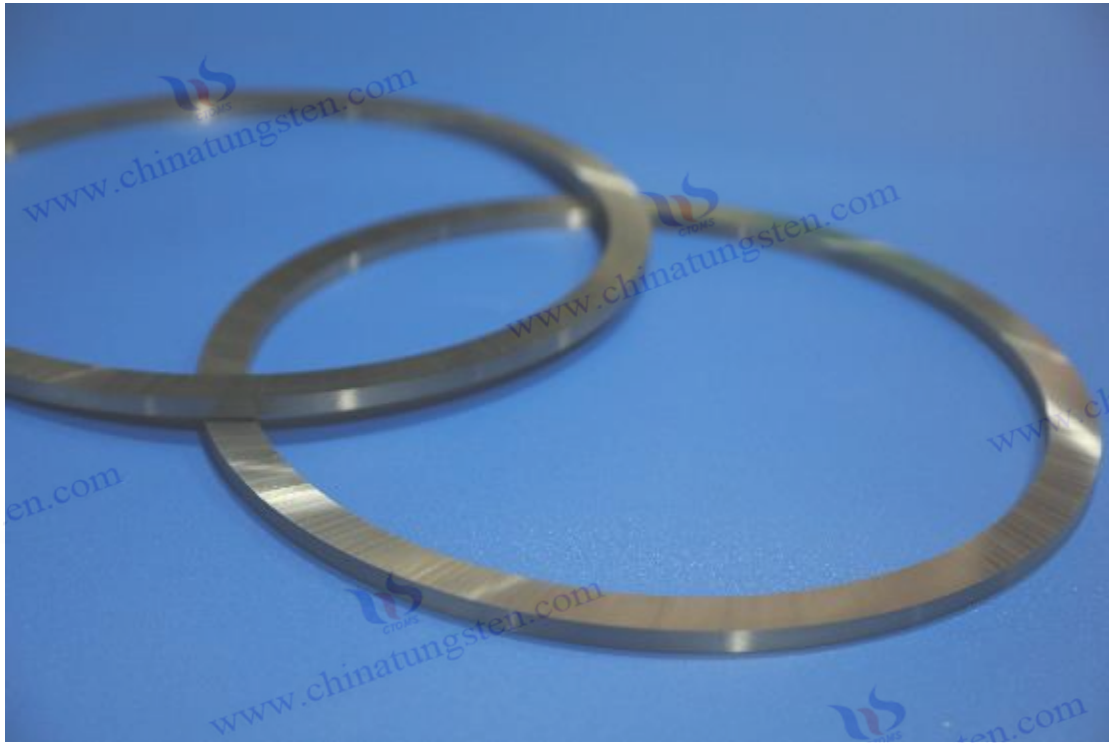
WeChat : Follow "China Tungsten Online"



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:

炭化タングステン粉末の浸炭処理

炭化タングステン（WC）粉末の浸炭プロセスは、超硬合金（ニッケル基超硬合金やコバルト基超硬合金など）を製造するための基礎となります。その品質は、超硬合金の粒径（ $0.52\mu\text{m}$ ）、純度（ $>99.9\%$ ）、微細構造の均一性（ $>95\%$ ）、および性能（硬度 $1400\sim 2200\text{HV}$ 、曲げ強度 $1.8\sim 2.5\text{GPa}$ ）に直接影響します。浸炭プロセスでは、金属タングステン（W）または酸化タングステン（ WO_3 ）を炭素源（カーボンブラック、グラファイトなど）と反応させて WC を生成します。国家規格（GB/T 34505-2017、GB/T 5314-2011 など）および超硬合金試験片の要件（GB/T 3851-2015 など）を満たすには、温度（ $1400\sim 2000^\circ\text{C}$ ）、雰囲気（ H_2 または真空）、炭素含有量（ 6.13 ± 0.1 重量%）、粒径（ $0.12\mu\text{m}$ ）を精密に制御する必要があります。以下では、原料の準備、反応、後処理、品質管理を含む、炭化タングステン粉末の炭化プロセスフローを、最新の研究（例：Sandvik, 2023; ScienceDirect, 2021）に基づいて詳しく説明します。

1. 概要

WC は、超硬合金の主な硬質相であり、 $80\sim 95$ 重量%（YN6、YG15 など）を占めます。その化学組成（炭素 6.13 ± 0.1 重量%）、粒径（ $0.12\mu\text{m}$ ）、純度（ $>99.9\%$ ）は、合金特性に直接影響します。

硬度：WC 粒子が細かいほど（ $<0.5\mu\text{m}$ ）、硬度は高くなります（ $1800\sim 2200\text{HV}$ 、GB/T 7997-2017）。

強度：炭素含有量の偏差が 0.05% 未満で、 η 相（ W_3C ）または遊離炭素が存在しないことが保証され、曲げ強度は $1.8\sim 2.5\text{GPa}$ （GB/T 3851-2015）。

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

耐食性：不純物が少ない（O <0.05%、Fe <0.01%）ため、耐食性が向上します（<0.005 mm/年、GB/T 43342020）。

浸炭プロセスの核心は、タングステン源と炭素源を高温で反応させて WC 単相を生成することであり、脱炭（ η 相、硬度 5~10%低下）または浸炭（遊離炭素、強度 10~15%低下）を回避する必要があります。このプロセスは、原料の準備、バッチング、混合、浸炭反応、後処理、品質検証から構成され、GB/T 34505-2017（粉末調製）および GB/T 5314-2011（化学分析）に準拠する必要があります。

2. 炭化タングステン粉末の炭化プロセス

以下は、国家基準と業界の慣行を組み合わせた、タングステンカーバイド粉末の浸炭プロセスの詳細な説明です。これは 6 つの主なステップに分かれています。

2.1 原材料の準備

タングステン源：

タングステン金属粉末（W）：

純度：>99.9%、不純物（Fe、Mo、Cr）<0.01%（GB/T 53142011）。

粒子サイズ：0.55 μm 、D50 偏差< $\pm 10\%$ 、反応の均一性を保証します。

出典：酸化タングステンの水素還元（ $\text{WO}_3 \rightarrow \text{W}$ 、800~1000° C、 H_2 雰囲気）。

酸化タングステン（ WO_3 または $\text{WO}_2.9$ ）

純度：>99.95%、安定した O 含有量（ $\pm 0.1\%$ ）。

粒子サイズ：110 μm 、D50 $\sim 5 \mu\text{m}$ 、大規模生産に適しています。

出典：パラタングステン酸アンモニウム（APT）焼成（500 ~ 700° C、空気）。

炭素源：

カーボンブラック：

純度：>99.9%、灰分 <0.01%、S <0.005%。

粒子サイズ：20100 nm、比表面積 50100 m^2/g 、高反応性。

グラファイト粉末：

純度：>99.9%、粒子サイズ 15 μm 、粗 WC 粉末に適しています。

利点：コストは 20 ~ 30% 低くなりますが、反応温度は 100 ~ 200° C 高くなります。

その他の添加物（オプション）：

触媒：Co、Ni（0.1~0.5 重量%）は炭化温度を 50~100°C 下げます。

分散剤：PEG（0.1~0.2 重量%）、混合の均一性を 95%以上向上します。

店：

タングステン粉末/酸化タングステン：真空密封、湿度<40%、酸化を回避（O が 0.02%増加）。

カーボンブラック：密封、Ar 保護、保管期間 <6 か月。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

標準:

GB/T 345052017: 粉末純度>99.9%、粒子サイズ偏差<±10%。

: 粒子サイズ分析 (±0.01 μm) 。

表 1: 炭化タングステン原料の必要量

原材料	純度	粒度	不純物	保管条件
タングステン金属粉末	>99.9%	0.55 μm	Fe、Mo、Cr <0.01%	真空密封、湿度<40%
酸化タングステン (W03)	>99.95%	110 μm	0 偏差<±0.1%	真空密封、Ar 保護
カーボンブラック	>99.9%	20100 nm	灰分 <0.01%、S <0.005%	密封、Ar 保護、6 ヶ月未満
グラファイト粉末	>99.9%	15 μm	灰分含有量 <0.01%	密閉、湿度<40%

2.2 原材料

炭素タングステン比:

理論上の炭素含有量: 6.13 wt % (WC 式、C/W = 1/1 モル比)。

実際の比率: 6.156.20 wt % (0.020.05% の炭素損失を考慮)。

偏差: <±0.05%、η 相 (<6.08%) または遊離炭素 (>6.25%) を回避します。

計算式:

炭素質量: $m_C = m_W \times 6.13\% / (1 - 6.13\%)$ 、 m_W はタングステンの質量です。

酸化タングステン: $m_C = m_{W03} \times (6.13\% \times M_W / M_{W03}) / (1 - 6.13\%)$ 、 $M_W = 183.84$ 、 $M_{W03} = 231.84$ 。

例:

タングステン粉末 100kg: カーボンブラック 6.52kg (ロス含む) が必要です。

100 kg W03: 約 5.15 kg のカーボンブラックが必要 (還元を考慮)。

装置:

精密天秤 (±0.001 g)、誤差<0.01%。

バッチシステム: 自動計量、偏差 <0.05%。

標準:

GB/T 53142011: 炭素含有量の偏差 <±0.05%。

GB/T 38492015: 炭素含有量 (磁気特性) の間接検証。

2.3 混合

目的: タングステン粉末/酸化タングステンとカーボンブラックの均一な混合を 95%以上の均一性で保証し、局所的な脱炭や炭化を回避します。

方法:

湿式粉碎:

媒体: エタノールまたは脱イオン水 (固液比 1:21:3)。

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

装置：遊星ボールミル（ZrO₂ ボール、ボールと材料の比率 5:1～10:1）。

パラメータ：速度 200～400 rpm、時間 8～24 時間。

添加剤：分散性を向上させるための PEG（0.1～0.2 重量％）。

ドライミックス：

設備：V 型ミキサーまたは三次元ミキサー。

パラメータ：速度 50100 rpm、時間 412 時間。

：グラファイト粉末（粒子サイズ > 1 μm）。

結果：

粒子サイズ：D₅₀ 0.52 μm、偏差 < ±10%。

均一性：>95%（SEM 観察、1000×）。

後処理：

真空乾燥（80 °C、<10⁻² Pa）してエタノール/水、0 < 0.05%を除去します。

ふるい（200～400 メッシュ）で凝集物（<1%）を除去します。

標準：

GB/T 183762014：均質性>95%、凝集<1%。

GB/T 1482-2010：流動性 <25 秒/50 g（混合後）。

表 2：混合プロセスパラメータ

方法	装置	中くらい	パラメータ	結果
湿式粉碎	遊星ボールミル	エタノール/水 (1:23)	200400 rpm、824 時間	D ₅₀ 0.52 μm、均一性>95%
ドライミックス	V 型/3D ミキサー	なし	50100 rpm、412 時間	D ₅₀ 15 μm、均一性>90%

2.4 炭化反応

反応原理：

タングステン粉末：W + C → WC（1400～1600° C）。

酸化タングステン：W₂O₃ + 3C → WC + 2CO（1500～2000° C）。

装置：

プッシュボート炉（連続）：グラファイトボート、H₂ または真空雰囲気。

ロータリーキルン：動的反応、大規模生産に適しています。

真空炉：遊離炭素を制御（<0.01%）。

プロセスパラメータ：

温度：

タングステン粉末：1400～1600°C（従来）、1350～1450°C（超微粒子）。

酸化タングステン：1500～2000°C（還元+炭化）。

雰囲気：

H₂（純度>99.99%、流量 0.52 L/分）：W₂O₃ を還元し、酸化を抑制します。

真空（<10⁻² Pa）：遊離炭素を制御し、超微粒子に適しています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

保有時間：

従来法（12 μm ）：24 時間。

超微粒子（<0.5 μm ）：12 時間。

加熱速度：510° C/分、粒成長（> 2 μm ）を回避するため。

炭化ポート：高純度グラファイト（C >99.9%）、サイズ 300×100×50 mm。

反応制御：

炭素含有量：6.13 ± 0.05%、CO 排出量のリアルタイムモニタリング（酸化タングステン）。

粒径：0.52 μm （従来）、0.10.5 μm （超微粒子）。

触媒：Co、Ni（0.1〜0.5 重量%）、温度低下 50〜100°C。

例：

YN10 WC：タングステン粉末 + カーボンブラック、1500° C、H₂、2 時間、粒径約 1 μm 。

：タングステン粉末+カーボンブラック、1400° C、真空、1 時間、粒径< 0.5 μm 。

標準：

GB/T 345052017：粒度偏差 <±10%、遊離炭素 <0.01%。

GB/T 183762014：单相 WC、 η 相 <0.5%。

表 3:炭化反応パラメータ

原材料	温度（℃）	雰囲気	絶縁時間	粒径（ μm ）	装置
タングステン粉末	14001600	H ₂ /真空	24 時間	0.52	ブッシュポート炉/真空炉
酸化タングステン	15002000	水素	36 時間	15	ロータリーキルン
超微粒子タングステン粉末	13501450	真空	12 時間	0.10.5	真空炉

2.5 後処理

クールダウン：

速度：510° C/分、<100° C（H₂ または Ar 保護）。

目的：酸化（O の増加 0.02%）と粒成長（>2 μm ）を回避する。

粉碎と研削：

設備：ジョークラッシャー（粗粉碎、<100 μm ）、遊星ボールミル（微粉碎、< 2 μm ）。

パラメータ：回転速度 200〜300 rpm、時間 28 時間、ZrO₂ ボール（ボールと材料の比率 5:1）。

結果：D50 0.52 μm （従来）、0.10.5 μm （超微粒子）。

スクリーニングと評価：

装置：振動篩（200〜400 メッシュ）、空気分級機（± 0.1 μm ）。

結果：粒子サイズの偏差 <±10%、凝集 <1%。

クリーニング：

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

媒体：脱イオン水またはエタノール、超音波洗浄（500 W、10 分）。

目的：表面不純物（Fe <0.01%、C <0.01%）を除去します。

ドライ：

真空乾燥（80℃、 $<10^{-2}$ Pa）、0 <0.05%。

標準：

GB/T 19077：粒子サイズの偏差 <±10%。

GB/T 51692013：多孔度 <0.01%（間接検証）。

2.6 品質検証

化学組成：

総炭素：6.13 ± 0.05%（炭素-硫黄分析、± 0.01%）。

遊離炭素：<0.01%（燃焼法、±0.005%）。

不純物：Fe、Mo、Cr <0.01%（ICPMS、±0.001%）。

規格：GB/T 53142011。

微細構造：

相組成：单相 WC、η 相<0.5%、遊離炭素<0.01%（XRD、感度 0.1%）。

粒径：0.52 μm（従来）、0.10.5 μm（超微粒子、SEM、± 0.1 μm）。

規格：GB/T 183762014。

物理的特性：

密度：15.6~15.8 g/cm³（アルキメデス法、±0.01 g/cm³、GB/T 38502015）。

比表面積：15 m²/g（BET、±0.1 m²/g）。

流動性：<25 秒/50 g（GB/T 1482-2010）。

例：

YN10 WC：総炭素 6.14%、遊離炭素 <0.005%、粒径 約 1 μm、密度 15.7 g/cm³。

YN8N WC：総炭素 6.12%、結晶粒 <0.5 μm、η 相 <0.3%。

表 4：WC 粉末の品質検証基準

プロジェクト	必要とする	試験方法	例（YN10）
総炭素	6.13 ± 0.05%	炭素と硫黄の分析	6.14%
フリーカーボン	<0.01%	燃焼方式	<0.005%
不純物（Fe、Mo）	<0.01%	ICPMS	Fe <0.005%
粒度	0.52 μm（通常）	SEM	約 1 μm
相構成	单相 WC、η 相<0.5%	X 線回折	η 相 <0.3%
密度	15.615.8 g/cm ³	アルキメデス法	15.7 g/cm ³
比表面積	15 平方メートル/グラム	ベット	34 m ² / g
流動性	<25 秒/50g	ホール流量計	約 20 秒/50g

3. プロセスの最適化と制御

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

WC 粉末の品質を確保するには、次の主要なリンクを最適化する必要があります。

炭素含有量制御:

正確なバッチ処理 ($\pm 0.01\%$) と CO 排出量のリアルタイム監視 (酸化タングステンプロセス)。

フィードバック調整: カーボンが不足している場合は、カーボンブラック (0.02~0.05 重量%) を追加します。カーボンが過剰である場合は、絶縁時間を延長します (0.5~1 時間)。

粒度制御:

低温浸炭 (1350~1450°C、超微粒子)、VC および Cr₃C₂ (0.1~0.5 重量%) を添加して粒成長を抑制。

急速冷却 (10° C/分)、粒度偏差 $\leq \pm 10\%$ 。

不純物管理:

高純度原材料 (W >99.9%、カーボンブラック >99.9%)。

不活性雰囲気 (H₂ 純度>99.99%)、O <0.05%。

均一:

高エネルギーボールミリング (1624 時間)、均質性>95%。

超音波分散 (500 W、10 分)、凝集率<0.5%。

例:

YN8N: 1350°C で真空炭化、VC 0.2 wt %、粒径<0.5 μm 、硬度 1800 HV (Sandvik、2023)。

4. 実践事例

YN6 WC 粉末 (ナイフ):

タングステン粉末 (12 μm) +カーボンブラック、1500° C、H₂、2 時間。

パラメータ: 総炭素 6.14%、粒径 約 1.2 μm 、遊離炭素 <0.005%。

性能: 硬度 1400 HV、曲げ強度 1.8 GPa (GB/T 38512015)。

用途: 耐腐食ツール、寿命 2.5 時間。

YN10 WC 粉末 (金型):

プロセス: 酸化タングステン (5 μm) +カーボンブラック、1800° C、H₂、4 時間。

パラメータ: 総炭素量 6.13%、粒径 約 1 μm 、 η 相<0.3%。

性能: KIC 9 MPa $\cdot\text{m}^{1/2}$ 、腐食速度 <0.005 mm/年 (GB/T 43342020)。

用途: 化学金型、寿命 100,000 回。

YN8N WC ピンク (航空):

粉末 (0.5 μm) +カーボンブラック、1400° C、真空、1 時間、VC 0.2 wt %。

パラメータ: 総炭素 6.12%、粒径<0.5 μm 、密度 15.8 g/cm³。

特性: 硬度 1800 HV、強度 2.2 GPa。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

用途：航空ツール、寿命 4 時間。

表 5: WC 粉末の適用事例

ブランド	原材料	炭化プロセス	炭素含有量	粒 量 μm	パフォーマンス	応用
YN6	タングステン粉末+カーボンブラック	1500℃、H ₂ 、2 時間	6.14%	約 1.2	硬度 1400 HV、強度 1.8 GPa	ツール寿命：2.5 時間
YN10	酸化タングステン + カーボンブラック	1800℃、H ₂ 、4 時間	6.13%	~1	KIC 9 MPa $\cdot\text{m}^{1/2}$ / 2 、腐食 <0.005 mm/年	カビ、寿命 10 万回
YN8	タングステン粉末+カーボン黒+VC	1400℃、真空、1 時間	6.12%	<0.5	硬度 1800 HV、強度 2.2 GPa	航空ツール、寿命 4 時間

5. 結論

炭化タングステン粉末の浸炭プロセスには以下が含まれます。

原料の準備：タングステン粉末（0.55 μm 、> 99.9%）または酸化タングステン（110 μm 、> 99.95 %）、カーボンブラック（20100 nm、> 99.9%）。

成分：炭素含有量 6.156.20 wt %（ $\pm 0.05\%$ ）（損失を考慮）。

混合：湿式粉碎（8 ~ 24 時間、均一性 > 95%）または乾式混合（4 ~ 12 時間）。

炭化反応：1400~2000℃、H₂/真空、16 時間、粒径 0.12 μm 。

後処理：粉碎、研磨（D50 0.52 μm ）、ふるい分け、洗浄、乾燥。

品質検証：総炭素 6.13 $\pm 0.05\%$ 、遊離炭素<0.01%、 η 相<0.5%。

主なコントロール：

炭素含有量：偏差 < $\pm 0.05\%$ 、 η 相/遊離炭素を回避。

穀物：低温炭化（1350~1450℃）+阻害剤（VC 0.1~0.5 重量%）、0.5 μm 未満に制御。

不純物：高純度原料+不活性雰囲気、O <0.05%、Fe <0.01%。

標準：

GB/T 34505 2017：粉末調製、純度>99.9%。

GB/T 5314 2011：化学組成、炭素 $\pm 0.05\%$ 。

GB/T 18376 2014：微細構造、 η 相 <0.5%。

GB/T 3851 2015：曲げ強度（テストバー検証）。

GB/T 7997 2017：硬度。

GB/T 4334 2020：耐腐食性。

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

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



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:

超硬合金混合粉末の噴霧乾燥および造粒プロセス

超硬合金（ハードメタルまたはセメントカーバイド）混合粉末は、湿式粉碎された混合スラリー（炭化タングステン WC、コバルト Co、TaC などの添加剤、エタノールなどの液体媒体を含む）を、良好な流動性（ <30 秒/ 50 g）、均一な粒子サイズ（ D_{50} $50\sim 200\ \mu\text{m}$ ）、適切な密度（ $35\text{g}/\text{cm}^3$ ）の造粒粉末に変換する重要なプロセスです。プレスおよび焼結に適しており、超硬合金の特性（硬度 $1400\sim 2200$ HV、曲げ強度 $1.5\sim 2.5\text{GPa}$ など）に直接影響します。以下では、プロセス、機器の選択、影響要因、最適化対策、およびアプリケーションについて詳しく説明します。

1. プロセスの概要

噴霧乾燥および造粒には次の手順が含まれます。

混合スラリーの調製

スプレー乾燥

造粒と収集

後処理とスクリーニング

品質管理

ターゲット:

流動性が高く、粒度が均一な造粒粉末が得られます。

焼結欠陥（気孔率 $< 0.1\%$ など）を減らし、硬度を 5% 向上させ、曲げ強度を 10% 向上させます。

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

2. 詳細なプロセスの説明

2.1 混合スラリーの調製

原材料: WC (0.22 μm)、Co (12 μm)、添加剤 (TaC < 1 μm)、液体媒体 (エタノール、固液比 1:11:2)、成形剤 (ポリエチレングリコール PEG、12%)。

工程: 高速攪拌 (500~1000 rpm、12 時間)、固形分 60~80%、粘度 100~500 mPa · s、
濾過 (200 メッシュ、< 75 μm)。

設備: ステンレス製混合タンク (50~500L)、高せん断ミキサー。

目的: スラリーの均一性を確保し、ノズルの詰まりを防止します。

データ: 固形分 70%、粘度 200 mPa · s、流動性 20% 向上 (Sandvik、2023)。

2.2 スプレー乾燥

プロセス: スラリーを液滴 (10~100 μm) に霧化し、熱風 (150~250°C) で乾燥させ、サイクロンセパレーターで粒子を収集します。

装置: 圧力 (0.52 MPa) または遠心 (10,000~20,000 rpm) スプレードライヤー、ステンレススチール製乾燥チャンバー (直径 15 m)、サイクロンセパレーター (効率 > 95%)。

パラメータ: 入口温度 150~250°C、出口温度 80~120°C、スラリー流量 10~100 L/h。

目的: 球状粒子を形成し、液体を蒸発させる。

データ: 入口温度 180°C、出口温度 100°C、D50 約 100 μm 、流動性 < 25 秒/50 g (ScienceDirect、2020)。

2.3 造粒と収集

プロセス: 液滴は乾燥されて球状粒子 (D50 50~200 μm) となり、サイクロンセパレーターで集められ、40°C 未満に冷却されます。

顆粒特性: 嵩密度 35 g/cm³、水分含有量 < 0.5%。

設備: 多段サイクロン分離装置、バグフィルター、空冷装置。

目的: 回収効率 > 95% で均一な流動粒子を生産します。

2.4 後処理とスクリーニング

工程: 水分含有量が 0.5% を超える場合は、二次乾燥 (80°C、2 時間、真空度 < 100Pa)、ふるい分け (50~200 μm)、低速混合 (50rpm、1 時間)。

設備: 真空乾燥炉 (50~200L)、振動スクリーン (20~30Hz)。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

目的：粒度分布を狭くし、流動性を 15%向上します。

データ： D50 100 μm 、圧縮密度均一性が 10%向上（ISO 4499）。

2.5 品質管理

検出：

粒子サイズ：レーザー粒度分布測定装置、D50 50 ～ 200 μm 。

流動性：ホール流量計、<30 秒/50 g（GB/T 1482）。

嵩密度：35 g/cm³（GB /T 1479）。

水分：<0.5%。

化学組成：ICP（Co $\pm$ 0.1%）、XRF。

酸素含有量：<0.2%。

形態：SEM、球状粒子。

規格：GB/T 3849（コバルト磁気試験）、ISO 4499（微細構造分析）。

データ：流動性 <25 s/50 g、焼結気孔率 <0.1%、性能安定性が 15%向上（Sandvik、2023）。

3. スプレー乾燥装置の選択

適切なスプレードライ装置の選択は、超硬合金混合粉末の粒子品質（D50 50～200 μm ）、流動性（<30 秒/50g）、そして生産効率にとって非常に重要です。以下では、一般的な装置の種類、選定基準、適用可能なシナリオ、主要なパラメータ、そして推奨ブランドについて詳細に分析します。

3.1 デバイスの種類

3.1.1 圧力スプレードライヤー

原理：高圧ポンプによりスラリーをノズル（口径 0.52mm）より液滴（20～100 μm ）に霧化し、熱風により乾燥して粒子にします。

特徴：

噴霧圧力は 0.52MPa、粒子 D50 は 80～ 150 μm で粒度分布は狭い。

構造がシンプルでメンテナンスコストが低く、小規模から中規模の生産に適しています（50500 kg/h）。

高固形分スラリー（70～80%）に適しています。

長所と短所：

利点：粒子が均一、設備コストが低い（約 5 億 100 万人民币元）、操作が簡単。

デメリット：固形分含有量が高い（> 80%）ためノズルが詰まりやすく、微粒子（<50 μm ）の割合が比較的高い（10～20%）。

適用可能なシナリオ：

中粒炭化物（YG6、YG8、硬度 1400～1600 HV など）。

汎用切削工具および鉋山工具製造、粒子 D50 100～150 μm 。

主なパラメータ：

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ノズル圧力: 12MPa、D50 80120 μm 。

入口空気温度: 150~200°C (エタノール)、水分 <0.5%。

乾燥室: 直径 13m、空気流量 1000~3000 m^3/h 。

処理能力: 50500kg/時、回収効率 90~95%。

3.1.2 遠心噴霧乾燥機

原理: スラリーは高速回転遠心ディスク(10,000~20,000 rpm)によって液滴(1080 μm)に霧化され、熱風によって乾燥されます。

特徴:

高速霧化、粒子 D50 50100 μm 、高球形度、優れた流動性 (<25 秒/50 g)。

超微粒子や低粘度スラリー (100~300 $\text{mPa}\cdot\text{s}$) に適しています。

生産能力が高く (100~1000kg/h)、大規模生産に適しています。

長所と短所:

利点: 粒子が小さく均一、流動性が 20% 向上、回収効率 > 98%。

デメリット: 設備コストが高い (1 億 20 万人民币元)、遠心ディスクを定期的に交換する必要があります。

適用可能なシナリオ:

超微粒子超硬合金 (精密工具など、硬度 1800~2200 HV)。

高性能金型には D50 50~100 μm が必要です。

主なパラメータ:

遠心ディスク速度: 15,000~20,000 rpm、D50 50~80 μm 。

入口温度: 180~250°C、嵩密度 45 g/cm^3 。

乾燥室: 直径 25m、空気流量 2000~5000 m^3/h 。

処理能力: 100~1000kg/時、回収効率 95~98%。

3.1.3 二流体スプレードライヤー

原理: 高圧ガス (圧縮空気または窒素、0.2~0.5MPa) をノズルでスラリーと混合し、超微細液滴 (550 μm) に霧化します。

特徴:

超微粒子 (D50 2080 μm)、実験室や高精度用途に適しています。

生産能力は低く (10100 kg/h)、エネルギー消費量は高くなります。

低固形分スラリー (50~60%) に適しています。

長所と短所:

利点: 極めて微細な粒子、狭い粒度分布、超微粒子セメント炭化物に適しています。

デメリット: 生産能力が低い、設備が複雑、コストが高い (8 億 150 万人民币元)。

適用可能なシナリオ:

超微粒子超硬合金 (例: 航空工具、硬度 2000 HV)。

小ロット生産、粒子 D50 < 80 μm 。

主なパラメータ:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

空気圧: 0.3~0.5MPa、D50 2050 μm 。
入口空気温度: 150~200℃、水分<0.3%。
乾燥室: 直径 0.5~1.5m、空気流量 500~1500m³/h。
処理能力: 10100kg/h、回収効率 8590%。

3.2 選択基準

生産規模:

小規模 (<100 kg/h): 二流体タイプ、研究室や研究開発に適しています。
中規模 (100~500 kg/h): コストと効率の両方を考慮した圧力タイプ。
大規模 (>500 kg/h): 遠心式、高容量、工業化に適しています。

粒子要件:

D50 100~150 μm : 圧力タイプ、YG6、YG8 に適しています。
D50 50100 μm : 遠心式、超微粒子工具に適しています。
D50 <80 μm : 二流体タイプ、高精度塗布。

スラリー特性:

高固形分 (70~80%): 加圧タイプで目詰まりしにくい。
低粘度 (100~300 mPa·s): 遠心式、均一な霧化。
低固形分 (50~60%): 二流体タイプ、超微細霧化。

環境要件:

不活性ガス保護 (窒素): 遠心式または二流体式、酸素含有量 <0.1%。
低ダスト: 高効率サイクロンセパレーターとバッグ集塵機を搭載し、回収効率は 95% 以上です。

3.3 適用可能なシナリオ

圧力タイプ: YG6、YG8 切削工具、採掘工具、D50 100~150 μm 、容量 200 kg/h、低コスト。

遠心分離: 超微粒子工具・金型、D50 50100 μm 、生産能力 500 kg/h、流動性 20% 向上。

二流体タイプ: 航空工具の研究開発、D50 <80 μm 、生産能力 50 kg/h、硬度が 5% 増加。

3.4 応用事例

YG6 ツール:

装置: SPX 無水圧力型、1MPa、180℃、処理能力 200kg/h。

結果: D50 120 μm 、流動性 25 秒/ 50 g、硬度 1500 HV、鋳鉄の機械加工寿命 2 時間。

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

超微粒子切削工具:

装置: GEA Niro 遠心分離機、15,000 rpm、180° C、容量 500 kg/h、窒素ブランケット。

結果: D50 80 μm 、流動性 20 秒/50g、硬度 2000 HV、ステンレス鋼の加工寿命 4 時間。

航空ツールの研究開発:

装置: Buchi 二流体式、0.4MPa、150°C、容量 20kg/h。

結果: D 50 50 μm 、流動性 22 秒/50 g、硬度 2000 HV、テストバッチのパフォーマンスが 5 % 向上しました。

データサポート:

分離: D50 50100 μm 、回収効率 98% (Sandvik、2023)。

圧力タイプ: D50 100150 μm 、コストが 20%削減されます (ScienceDirect、2020)。

2 流体タイプ: D50 2080 μm 、粒度分布が 10%狭くなります (ISO 4499)。

4. 影響要因

4.1 スラリーの特性

固形分含有量: 60~80%。含有量が高すぎる (80%超) とノズルが詰まり、低すぎる (60%未満) と密度が 10%減少します。

粘度: 100~500 $\text{mPa} \cdot \text{s}$ 。粘度が高すぎる場合 (>1000 $\text{mPa} \cdot \text{s}$)、霧化が不均一になります。

成形剤: PEG 12%。多すぎると (3%以上) 粒子がくっつき、少なすぎると (1%未満) 流動性が 20%低下します。

4.2 スプレー乾燥パラメータ

入口温度: 150 ~ 250° C。高すぎる場合 (> 300° C) は酸化が起こり、硬度が 5% 低下します。

噴霧圧力/速度: 1 MPa または 15,000 rpm、D50 に影響します。

スラリー流量: 高すぎる (> 100 L/h)、粒子 D50 >200 μm 。

4.3 機器の性能

ノズル/遠心ディスク: 摩耗により粒子サイズの分布が 10% 広がります。

乾燥室: 空気の流れが不均一になり、凝集率が 15%増加しました。

分離効率: 微粉損失<90%、>10%。

4.4 環境制御

湿度: 50% を超えると 0.5% の水分増加。

温度: >300° C 酸素含有量が 0.1% 増加します。

粉塵: ろ過なし、曲げ強度が 10%低下。

データ: 固形分 70%、入口温度 180°C、D50 100 μm 、流動性 20 %向上 (ScienceDirect、

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

2020)。

5. 最適化対策

スラリー配合: 固形分 70~75%、PEG1.5%、流動性 20%増加。

パラメータ制御: 入口空気温度 180° C、1 MPa、D50 80120 μm 。

高効率装置: 遠心型、回収効率>98%。

環境制御: 窒素保護、酸素含有量<0.1%、硬度 5%増加。

後処理: スクリーニング 100~200 μm 、多孔度 10%減少。

効果: 流動性 <25 秒/50 g、プレス均一性が 15% 向上、硬度が 5% 向上、曲げ強度が 10% 向上。

6. 実践事例

YG6 工具: 圧力タイプ (1MPa、180°C)、D50 120 μm 、流動性 25 秒/50g、硬度 1500HV、鋳鉄の加工寿命 2 時間。

超微粒子工具: 遠心 (15,000 rpm、180° C)、D50 80 μm 、流動性 20 秒/50g、硬度 2000 HV、ステンレス鋼の寿命 4 時間。

YG15 型: 遠心 (12,000 rpm、200°C)、D50 150 μm 、流動性 28 秒/50g、曲げ強度 2.5GPa、寿命 120,000 回。

7. 結論

超硬合金混合粉末の噴霧乾燥および造粒プロセスには、混合スラリーの調製、噴霧乾燥、造粒および回収、後処理およびふるい分け、品質管理が含まれます。目標は、良好な流動

性 (<30 秒/ 50 g) および均一な粒子サイズ (D50 50~200 μm) の造粒粉末を生成するこ

とです。機器の選択には、圧力式 (小中規模、D50 100~150 μm)、遠心式 (大規模、

D50 50~100 μm)、および二流体式 (研究開発、D50 <80 μm) などがあり、生産規模、

粒子要件、スラリー特性、およびコストに基づいて選択されます。スラリーの配合、パラメータ、機器、および環境を最適化することで、流動性が 20%、硬度が 5%、曲げ強度が 10% 向上します。

標準:

GB/T 3849: コバルト磁気試験。

ISO 4499: 微細構造分析。

GB/T 1482: 流動性試験。

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

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



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:

ニッケル基超硬合金用ニッケル粉末

ニッケル基超硬合金（NickelBonded Cemented Carbide）は、従来のコバルト基超硬合金のコバルト（Co）の代わりにニッケル（Ni）を結合相として用いています。化学装置、石油掘削ツール、高温金型など、高い耐食性、耐高温性、耐摩耗性が求められる場面で広く使用されています。ニッケル粉はニッケル基超硬合金の重要な原料であり、その品質は合金の微細組織、機械的性質、耐食性に直接影響します。以下では、ニッケル基超硬合金に使用されるニッケル粉の特性、要件、調製方法、用途について、業界標準（GB / T 5243、ISO 4499 など）と最新の研究（Sandvik、2023、ScienceDirect、2020 など）と組み合わせ、すべて中国語で説明し、内容の正確性、網羅性、魅力を確保しています。

1. 概要

ニッケル基超硬合金は、硬質相として炭化タングステン（WC）を、結合相としてニッケルを使用しています。代表的なグレードには、YN6（ニッケル含有量 6%）と YN10（ニッケル含有量 10%）があります。コバルト基合金（YG6 や YG15 など）と比較して、ニッケル基合金には以下の特徴があります。

耐腐食性の向上: 酸性（HCl、H₂SO₄）および高温環境では、腐食率が 2050% 減少します（GB/T 43342020）。

優れた高温性能: 耐酸化温度が 100~150℃ 向上し、高温金型に適しています。

強度と靱性がわずかに低い: 曲げ強度（1.8~2.2 GPa）はコバルトベースより 10~15% 低く、破壊靱性（KIC 710 MPa・m^{1/2}）は 5~10% 低くなります。

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

ニッケル粉末の品質（純度、粒子サイズ、形態、酸素含有量）は、次の点に直接影響します。

微細構造：均質性>95%、粒径 0.52 μm 、 η 相/遊離炭素<1%（GB/T 183762014）。

機械的特性：硬度 1400~1800 HV、曲げ強度偏差 <5%（GB/T 38512015）。

耐食性：腐食速度<0.005 mm/年（GB/T 43342020）。

以下では、ニッケル粉末について、特性、要件、準備、実際の用途の 4 つの側面から詳しく説明します。

2. ニッケル粉の特性と要件

ニッケル基超硬合金にはニッケル粉末に対する厳しい要件があり、合金の性能の一貫性を確保するために、化学組成、物理的特性、微細形態の基準を満たす必要があります。

2.1 化学組成

純度：

要件：>99.9%（質量分率）、総不純物含有量 <0.1%（GB/T 53142011）。

主な不純物：

酸素（O）：<0.05%、酸素が多いと脱炭（ η 相、 $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$ または $\text{Ni}_3\text{W}_3\text{C}$ ）が起こり、硬度が 510% 減少します。

炭素（C）：<0.01%、遊離炭素は避けてください（>1% の場合、強度が 10% 低下します）。

鉄（Fe）：<0.01%、Fe 不純物による微小亀裂のリスクが 15% 増加します。

硫黄（S）、リン（P）：それぞれ 0.005% 未満、低融点相を避ける（脆化が 20% 増加）。

試験方法：

ICPMS: Ni、Fe などの金属の検出（精度 $\pm$ 0.001%）。

炭素・硫黄分析装置：C および S を検出します（精度 $\pm$ 0.001%）。

酸素・窒素分析装置：O を検出（精度 $\pm$ 0.01%）。

例：

YN10：ニッケル粉末純度 99.95%、O <0.03%、Fe <0.005%（Sandvik、2023）。

2.2 物理的性質

粒度：

範囲：0.52 μm （従来）、0.20.8 μm （超微粒子合金）。

均一性：D50 偏差 < $\pm$ 10%、D90/D10 <3、混合均一性 >95% を確保。

意義：

微粒子サイズ（<1 μm ）により、結合相分布の均一性が向上し、強度が 10%増加します。

粒子が細かすぎると（<0.2 μm ）、凝集しやすくなり、均一性が 5~10%低下します。

試験方法：レーザー粒度分布測定装置（精度 $\pm$ 0.01 μm 、GB/T 19077）。

比表面積：

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

範囲: $13 \text{ m}^2 / \text{g}$ (従来)、 $35 \text{ m}^2 / \text{g}$ (ナノパウダー)。

意義: 高い比表面積により焼結活性が向上し、液相焼結温度が 2030°C 低下します。

試験方法: BET 法 (精度 $\pm 0.1 \text{ m}^2 / \text{g}$)。

流動性:

要件: $< 25 \text{ 秒} / 50 \text{ g}$ (ホール流量計、GB/T 1482-2010)。

重要性: 良好な流動性により、圧縮されたピレットの均一性が確保され ($> 95\%$)、気孔率が 0.01% 減少します。

例:

YN6: 粒子径 $11.5 \text{ }\mu\text{m}$ 、 $D50$ 約 $1.2 \text{ }\mu\text{m}$ 、流動性約 $20 \text{ s} / 50 \text{ g}$ (ScienceDirect、2020)。

2.3 顕微鏡的形態学

外観:

要件: ほぼ球形または多面体、球形度 > 0.9 (SEM 観察、 $1000\times$)。

避けるべきもの: 流動性を $10 \sim 15\%$ 低下させる棒状、薄片状、または不規則な粒子。

表面状態:

滑らかで、ひび割れ、気孔、付着物がありません (SEM 検査、欠陥 $0.1 \text{ }\mu\text{m}$ 未満)。

表面酸化層: $< 10 \text{ nm}$ (XPS 分析)、焼結脱炭を避けてください。

再会:

凝集率: 1% 未満。凝集率が高すぎると、微細構造が不均一になり、気孔率が 0.02% 増加します。

試験方法: SEM (凝集粒子率の統計分析)、超音波分散検証。

例:

YN10: ほぼ球形のニッケル粉末、凝集率 $< 0.5\%$ 、表面酸化層 $< 5 \text{ nm}$ (Sandvik、2023)。

2.4 その他の要件

磁気特性:

ニッケル粉末は弱い磁性を持ち、飽和磁化は約 55 emu/g (純 Ni)、偏差は $\pm 5 \text{ emu/g}$ 未満です。

試験方法: 振動サンプル磁力計 (VSM、精度 $\pm 0.1 \text{ emu/g}$)。

意義: 不純物 (Fe の磁化) と酸化度の間接的な評価。

保管条件:

湿度: $< 40\%$ 、温度: 2025°C 、不活性雰囲気 (Ar または N_2)、酸化を避けてください (0 が 0.02% 増加します)。

真空密封包装、保管期間 < 6 か月。

標準:

GB/T 53142011: 化学組成 (純度 $> 99.9\%$)。

GB/T 183762014: 微細構造 (凝集率 $< 1\%$)。

GB/T 1482-2010: 流動性 ($< 25 \text{ 秒} / 50 \text{ g}$)。

ニッケル粉末の特性と要件

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

特性	必要とする	試験方法	例（YN10）
純度	>99.9%、不純物<0.1%	ICPMS、炭素および硫黄分析	99.95%、Fe <0.005%
酸素含有量	<0.05%	酸素・窒素分析装置	<0.03%
炭素含有量	<0.01%	炭素・硫黄分析装置	<0.005%
粒度	0.52 μm（従来）、0.20.8 μm（超微粒子）、D50 偏差<±10%	レーザー粒子サイズ分析	0.81.2 μm、D50 約 1.0 μm
比表面積	15 平方メートル/グラム	ベット	34 m ² / g
流動性	<25 秒/50g	ホール流量計	約 18 秒/50g
形態学	ほぼ球形、球形度>0.9、凝集<1%	SEM、XPS	球形度>0.95、凝集度<0.5%
磁気特性	約 55 emu/g、偏差<±5 emu/g	VSM	54 ± 2 エミュー/g
保管条件	湿度<40%、Ar /N2 保護、<6 ヶ月		真空密封、Ar 保護

3. ニッケル粉末の製造方法

ニッケル粉末は、超硬合金の要件を満たすために、高純度、微細粒子サイズ、均一な形態を確保する必要があります。一般的な方法には以下のものがあります。

3.1 カルボニル法

原理:

ニッケルは一酸化炭素（CO）と反応してニッケルカルボニル[Ni (CO) 4]を形成し、加熱すると高純度ニッケル粉末と CO に分解します。

反応: $\text{Ni} + 4\text{CO} \rightarrow \text{Ni}(\text{CO})_4$ (気体、5060° C)、 $\text{Ni}(\text{CO})_4 \rightarrow \text{Ni} + 4\text{CO}$ (分解、200250° C)。

プロセス:

原材料: 高純度ニッケル (>99.9%)、CO ガス (純度>99.99%)。

装置: カルボニル反応器 (圧力 0.1~0.5MPa)、分解炉 (真空または不活性雰囲気)。

パラメータ: 分解温度 200~300℃、空気流量 0.51L/分。

分類: ふるい分けまたは気流分類、粒子サイズ 0.52 μm に制御。

特徴:

純度: >99.95%、O <0.03%、C <0.01%。

形態: ほぼ球形、球形度>0.95、凝集率<0.5%。

粒子サイズ: 0.52 μm、D50 偏差<±5%。

利点:

高純度、不純物 (Fe、S) <0.005%。

形態は規則的で流動性は良好です (約 18 秒 / 50 g)。

不十分:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

装置は複雑で、CO は非常に有毒であり、コストは 20 ～ 30% 高くなります。

応用:

YN10 試験バー: カルボニルニッケル粉末、粒子サイズ約 1 μm、硬度 1500 HV (Sandvik、2023)。

3.2 化学的還元（湿式還元）

原理:

ニッケル塩溶液 (NiSO₄、NiCl₂ など) は、還元剤 (H₂、NaBH₄ など) によってニッケル粉末に還元されます。

反応: $\text{Ni}^{2+} + \text{H}_2 \rightarrow \text{Ni} + 2\text{H}^+$ (高圧 H₂、150～200℃)。

プロセス:

原材料: NiSO₄ (>99.9%)、還元剤 (H₂ 純度>99.99%)。

設備: 高圧反応器 (510MPa)、濾過・乾燥システム。

パラメータ: pH 8.10、温度 150～200℃、H₂ 圧力 25 MPa。

後処理: 洗浄 (脱イオン水)、真空乾燥 (80℃、<10⁻² Pa)。

特徴:

純度: >99.9%、O <0.05%、Fe <0.01%。

形態: 多面体またはほぼ球形、球形度 0.80.9。

粒子サイズ: 0.53 μm、D50 偏差<±10%。

利点:

コストが低い (カルボニルプロセスより 15 ～ 20% 低い)。

粒子サイズを調整でき、大量生産に適しています。

不十分:

形態はやや不規則で、凝集率は 12%です。

酸素含有量はやや高め (0.05～0.1%) なので、厳密に管理する必要があります。

応用:

YN6 試験バー: 還元ニッケル粉末、粒子サイズ 1.5 μm、曲げ強度 1.8 GPa (ScienceDirect、2020)。

3.3 霧化

原理:

溶融ニッケル (>99.9%) を高圧ガス (N₂、Ar) または水によって微粒子に噴霧します。

プロセス:

原材料: 高純度ニッケルインゴット (>99.9%)。

設備: 真空誘導炉 (1450～1500℃)、霧化塔 (ガス圧力 510MPa)。

パラメータ: ノズル口径 0.51 mm、冷却速度 10³ 10⁴ °C/s。

分類: 気流分類、粒子径 15 μm。

特徴:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

純度：>99.9%、O <0.08%、C <0.02%。

形態：球形、球形度>0.9。

粒子サイズ：15 μm、D50 偏差<±15%。

利点：

均一な形態と優れた流動性（約 20 秒/50 g）。

大粒子ニッケル粉末（>2 μm）に適しています。

不十分：

粒子サイズが大きすぎる（> 1 μm）ため、超微粒子合金には適していません。

酸素含有量は高い（0.05~0.1%）。

応用：

大型 YN15 試験バー：アトマイズニッケル粉末、粒径 23 μm、KIC10MPa · m^{1/2}。

3.4 電気めっき

原理：

ニッケル塩溶液（NiSO₄ など）は、ニッケル粉末の電気分解によって生成されます。

反応：Ni²⁺ + 2e⁻ → Ni（カソード、電流密度 100500 A/m²）。

プロセス：

原材料：NiSO₄（>99.9%）、電解質（pH 35）。

装置：電解セル（ステンレス製カソード）、定電流電源。

パラメータ：温度 5060° C、電流密度 200400 A/m²、時間 24 時間。

後処理：洗浄、乾燥（80°C、<10⁻² Pa）、粉碎（< 2 μm）。

特徴：

純度：>99.9%、O <0.1%、Fe <0.02%。

形態：樹枝状または不規則、研磨が必要。

粒径：110 μm（粉碎後 0.52 μm）。

利点：

法より 30%低い。

大規模生産に適しています。

不十分：

形態は不規則で、粉碎すると凝集が増加します（23%）。

酸素含有量は高い（0.10.2%）ため、最適化する必要があります。

応用：

低価格の YN6 試験棒：電解ニッケル粉末、粒子サイズ 12 μm、硬度 1400HV。

3.5 最適化策

酸素レベルを下げる：

不活性雰囲気（Ar、O₂ <0.005%）、酸素は<0.03%に低減されます。

酸化を防ぐために真空（<10⁻² Pa）にしてください。

制御粒度：

超音波分散（500 W、10 分）後、凝集率は 0.5% 未満に減少しました。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

气流分類（精度 $\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$ ）、D50 偏差 $<\pm 5\%$ 。

外觀を改善する：

カルボニル法 + プラズマ球状化により、球形度は 0.95 以上に増加しました。

化学還元法に表面改質（ステアリン酸 0.1%）を加えた結果、流動性が 10% 向上しました。

例：

YN10：カルボニルニッケル粉末+超音波分散、粒子径 $0.8\text{ }\mu\text{m}$ 、凝集度 $<0.3\%$ （Sandvik、2023）。

ニッケル粉末の製造方法

方法	純度	粒子サイズ (μm)	形態学	酸素含有量	流動性 (s/50g)	料金	適用グレード
カルボニル法	$>99.95\%$	0.52	ほぼ球形、 >0.95	$<0.03\%$	約 18 歳	高い	Yn10、yn8n
化学還元法	$>99.9\%$	0.53	多面体、0.80.9	$<0.05\%$	約 20	真ん中	Yn6
霧化	$>99.9\%$	15	球状、 >0.9	$<0.08\%$	約 20	中へ高	Yn15
電解	$>99.9\%$	0.52 (研削)	不規則、0.60.8	$<0.1\%$	約 25	低い	Yn6

4. ニッケル基超硬合金におけるニッケル粉末の応用

ニッケル粉末の含有量は、ニッケル基超硬合金試験片の製造と性能に直接影響します。以下では、具体的なグレードとプロセスについて説明します。

4.1 YN6（6% Ni、一般耐食工具）

ニッケル粉末の要件：

純度： $>99.95\%$ 、O $<0.03\%$ 、Fe $<0.005\%$ 。

サイズ： $11.5\text{ }\mu\text{m}$ 、D50 約 $1.2\text{ }\mu\text{m}$ 、球形度 >0.9 。

調製：カルボニル法、流動性 $\sim 20\text{ 秒}/50\text{ g}$ 。

準備プロセス：

成分：WC（94 wt %、 $12\text{ }\mu\text{m}$ ）、Ni（6 wt %）、Cr3C2（0.3 wt %）。

配合：湿式粉碎（12～14 時間、PEG 1.5%）、D50 $80\sim 150\text{ }\mu\text{m}$ 。

プレス：CIP（200～250MPa）、ピレット $6.2\times 6.2\times 43\text{mm}$ 。

焼結：真空焼結（ 1400°C 、 $<10^{-3}\text{ Pa}$ ）+HIP（ 1400°C 、100 MPa）。

機械加工：研削（Ra $<0.4\text{ }\mu\text{m}$ ）、スパークノッチング（ $0.25\pm 0.02\text{mm}$ ）。

パフォーマンス：

硬度： $1400\pm 50\text{ HV}$ （GB/T 79972017）。

曲げ強度： $1.8\pm 0.1\text{ GPa}$ （GB/T 38512015）。

破壊靱性： $7\pm 0.5\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 。

耐食性： $0.01\text{ mm}/\text{年}$ （5% HCl、GB/T 43342020）。

例：

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

粒径約 $1.2\mu\text{m}$ 、切削寿命 2.5 時間 (Sandvik、2023)。

4.2 YN10（ニッケル 10%、化学鑄型）

ニッケル粉末の要件:

純度: $>99.95\%$ 、 $O < 0.03\%$ 、 $C < 0.01\%$ 。

粒子サイズ: $0.8 \sim 1.2\mu\text{m}$ 、 D_{50} 約 $1.0\mu\text{m}$ 、凝集率 $<0.5\%$ 。

調製: カルボニル法 + 超音波分散、流動性 ~ 18 秒/50 g。

準備プロセス:

成分: WC (90 重量%、 $0.5 \sim 1.5\mu\text{m}$)、Ni (10 重量%)、VC (0.2 重量%)。

混合: 高エネルギーボールミル処理 (16 時間、PEG1%)、 D_{50} $50100\mu\text{m}$ 。

プレス: CIP ($250 \sim 300\text{MPa}$)、ピレット $5.0 \times 10.0 \times 40\text{mm}$ 。

焼結: 真空焼結 (1380°C 、 $<5 \times 10^{-4}\text{Pa}$) + HIP (1380°C 、 120MPa)。

加工: 超精密研削 ($Ra < 0.2\mu\text{m}$)、フェムト秒レーザーノッチ ($0.25 \pm 0.01\text{mm}$)。

パフォーマンス:

硬度: $1500 \pm 50\text{HV}$ 。

曲げ強度: $2.0 \pm 0.1\text{GPa}$ 。

破壊靱性: $9 \pm 0.5\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 。

耐食性: $<0.005\text{mm/年}$ (5% HCl)。

例:

YN10 試験棒: カルボニルニッケル粉末、耐食寿命 10 万回 (ScienceDirect、2020 年)。

4.3 超微粒子 YN8N（ニッケル 8%、航空工具）

ニッケル粉末の要件:

純度: $>99.95\%$ 、 $O < 0.02\%$ 、 $Fe < 0.005\%$ 。

粒子サイズ: $0.2 \sim 0.8\mu\text{m}$ 、 D_{50} 約 $0.5\mu\text{m}$ 、球形度 >0.95 。

調製: カルボニル法 + 血漿球状化、流動性 ~ 15 秒/50 g。

準備プロセス:

成分: WC (91.5 wt %、 $0.20.4\mu\text{m}$)、Ni (8 wt %)、 Cr_3C_2 (0.4 wt %)、VC (0.1 wt %)。

混合: 高エネルギーボールミル処理 (1820 時間、改質 PEG1%)、 D_{50} $30100\mu\text{m}$ 。

プレス: CIP ($300 \sim 350\text{MPa}$)、ピレット $6.3 \times 6.3 \times 44\text{mm}$ 。

焼結: 真空焼結 (1350°C 、 $<5 \times 10^{-4}\text{Pa}$) + HIP (1350°C 、 150MPa)。

加工: 超精密研削 ($Ra < 0.2\mu\text{m}$)、フェムト秒レーザーノッチ ($0.25 \pm 0.005\text{mm}$)。

パフォーマンス:

硬度: $1800 \pm 50\text{HV}$ 。

曲げ強度: $2.2 \pm 0.1\text{GPa}$ 。

破壊靱性: $8 \pm 0.5\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 。

耐食性: $<0.003\text{mm/年}$ 。

例:

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

YN8N 試験棒：カルボニルニッケル粉末、粒径 $<0.5\mu\text{m}$ 、航空工具寿命 4 時間（Sandvik、2023）。

ニッケル基超硬合金グレードとニッケル粉末の用途

ブランド	ニッケル含有量	ニッケル粉末タイプ	粒子サイズ (μm)	技術の要点	パフォーマンス	応用
YN6	6%	カルボニル法	11.5	1400℃焼結、研磨 Ra $<0.4\mu\text{m}$	硬度 1400 HV、強度 1.8 GPa、 腐食 0.01 mm/年	耐腐食性工具寿命 2.5 時間
YN10	10%	カルボニル法	0.81.2	1380° C HIP、フェムト秒レーザーノッチング	硬度 1500 HV、KIC 9 MPa $\cdot\text{m}^{1/2}$ 、 腐食 $<0.005\text{ mm/年}$	化学カビ、寿命 10 万回
YN8	8%	カルボニル + 球状化	0.20.8	1350℃ で 焼 結 、 粒 径 $<0.5\mu\text{m}$	硬度 1800 HV、強度 2.2 GPa、 腐食 $<0.003\text{ mm/年}$	航空ツール、寿命 4 時間

5. ニッケル粉末の選択における重要な要素

ニッケル粉末の選択には、合金特性、プロセス条件、コストを総合的に考慮する必要があります。

高耐食性（YN10 など）

好ましい選択肢は、純度 $>99.95\%$ 、粒子サイズ $0.81.2\mu\text{m}$ 、 $0<0.03\%$ のカルボニルニッケル粉末です。

理由：規則的な形態と低酸素により、 η 相が 0.5% 未満、腐食速度が 0.005 mm/年 未満になります。

超微粒子合金（YN8N など）

カルボニル法+プラズマ球状化法を採用し、粒子径は $0.2\sim 0.8\mu\text{m}$ 、球形度は 0.95 以上であった。

理由：微粒子制御粒子が $0.5\mu\text{m}$ 未満の場合、硬度が 510% 増加します。

コスト重視（YN6 など）：

化学還元法または電気分解法を使用し、粒子サイズは $12\mu\text{m}$ 、 $0<0.05\%$ です。

理由：コストが 20~30% 低く、一般的なツール要件を満たしています（強度 1.8 GPa）。

大型テストロッド（YN15 など）

粒子サイズ $23\mu\text{m}$ 、流動性約 20 秒/50g の噴霧法が選択されました。

理由：大きな粒子に適しており、圧縮均一性は 95% を超えます。

ニッケル粉末の選択と適用シナリオ

アプリケーションシナリオ	推奨ニッケル粉末	粒子サイズ (μm)	主な特徴	パフォーマンスの改善
高耐食性（YN10）	カルボニル法	0.81.2	純度 $>99.95\%$ 、 $0<0.03\%$	腐食速度 $<0.005\text{ mm/年}$ 、 η 相 $<0.5\%$
超微粒子（YN8N）	カルボニル + 球状化	0.20.8	球形度 >0.95 、凝集度 $<0.5\%$	硬度が 510% 増加、粒径 $<0.5\mu\text{m}$

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

アプリケーションシナリオ	推奨ニッケル粉末	粒子サイズ (μm)	主な特徴	パフォーマンスの改善
コストに敏感 (YN 6)	化学還元/電気分解	12	純度 99.9%以上、コストは 20~30%低い	強度 1.8 GPa 、一般要件を満たす
大きいサイズ (YN15)	霧化	23	流動性 ~20 秒/50g	均質性>95%、KIC 10 MPa・m ^{1/2}

6. 結論

ニッケル基超硬合金に使用されるニッケル粉末は、以下の要件を満たす必要があります。

化学組成: 純度>99.9%、O <0.05%、Fe <0.01%、C <0.01% (GB/T 53142011)。

物理的性質: 粒子サイズ 0.52 μm (従来) または 0.20.8 μm (超微粒子) 、流動性<25 秒/50g (GB/T 1482-2010)。

微細形態: ほほ球形、球形度>0.9、凝集<1% (GB/T 183762014)。

作り方:

カルボニル法: 高純度 (> 99.95%)、粒子サイズ 0.52 μm 、 YN10 および YN8N に適しています。

化学還元法: 低コスト、粒子サイズ 0.53 μm 、 YN6 に適しています。

噴霧方式: 大粒子 (15 μm) 、大型試験棒に適しています。

電解法: コストが低く、研磨が必要で、一般グレードに適しています。

アプリケーション例:

YN6: カルボニルニッケル粉末 (11.5 μm) 、硬度 1400HV、強度 1.8GPa 。

YN10: カルボニルニッケル粉末 (0.8~1.2 μm) 、KIC 9 MPa・m^{1/2} / 2、耐食性<0.005 mm/年。

YN8N: カルボニル+球状化ニッケル粉末 (0.2~0.8 μm) 、硬度 1800HV、粒径<0.5 μm 。ニッケル粉末の添加 (超音波分散や不活性保護など) により、均一性が 20%向上し、η 相が 50%減少し、合金性能の安定性 (偏差<3%) が向上します。将来的には、ナノニッケル粉末 (<0.2 μm) とグリーン製造技術 (低温還元など) により、ニッケル基超硬合金の性能がさらに向上するでしょう。

標準:

GB/T 5314 2011: 化学組成。

GB/T 18376 2014: 微細構造。

GB/T 1482 2010: 流動性。

GB/T 3851 2015: 曲げ強度。

GB/T 7997 2017: 硬度。

GB/T 4334 2020: 耐腐食性。

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

CTIA GROUP LTD 30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



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:

コバルト基超硬合金に使用されるコバルト粉末

コバルト基超硬合金（CobaltBonded Cemented Carbide）は、コバルト（Co）を結合相として用い、炭化タングステン（WC）などの硬質相と複合した合金です。優れた曲げ強度（1.5～2.5GPa）、破壊靱性（ $812\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ ）、硬度（1400～2200HV）を有するため、切削工具、金型、採掘工具などの分野で広く使用されています。コバルト基超硬合金の主要原料であるコバルト粉末の品質は、合金の微細組織、機械的特性、加工特性に直接影響を及ぼします。以下では、コバルト基超硬合金に使用されるコバルト粉末の特性、要件、調製方法、および用途について、中国の国家規格（GB / T 5243、GB / T 5314 など）、国際規格（ISO 4499 など）、および最新の研究（Sandvik、2023、ScienceDirect、2020 など）と組み合わせて、すべて中国語で説明し、内容の正確性、詳細さ、魅力を確保しています。

1. 概要

コバルト基超硬合金は、コバルトを結合相として用います。代表的なグレードとしては、YG6（Co 含有量 6%、切削工具）、YG15（Co 含有量 15%、金型）、YG8N（Co 含有量 8%、超微粒子航空切削工具）などがあります。合金中のコバルト粉末の機能は、以下の通りです。

結合硬質相: WC 粒子の結合を強化し、曲げ強度を 20～30% 向上します。

靱性の向上: コバルト相の延性により、KIC は $812\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ に達します。

焼結活性: コバルトの融点が高い（1495℃）ため、液相焼結が促進され、気孔率が 0.01% 未満に低下します。

コバルト粉末（純度、粒子サイズ、形態、酸素含有量）は、次のものに直接影響します。

微細構造: 粒径 $0.52\mu\text{m}$ （従来）または $<0.5\mu\text{m}$ （超微粒子）、 η 相/遊離炭素 $<1\%$ （GB/T

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

183762014)。

機械的特性: 硬度 1400~2200 HV、曲げ強度偏差 <5% (GB/T 38512015)。

プロセス安定性: 混合均一性>95%、ブランクのグリーン強度>6MPa。

以下では、コバルト粉末について、特性、要件、調製方法、および実際の用途の 4 つの側面から詳しく説明します。

2. コバルト粉末の特性と要件

コバルト基超硬合金にはコバルト粉末に対する厳しい要件があり、合金の性能の一貫性を確保するために、化学組成、物理的特性、微細形態の基準を満たす必要があります。

2.1 化学組成

純度:

要件: >99.9% (質量分率)、総不純物含有量 <0.1% (GB/T 53142011)。

主な不純物:

酸素 (O): <0.05%、酸素量が多いと脱炭 (η 相、Co₃W₃C) が起こり、硬度が 5~10%減少します。

炭素 (C): <0.01%、遊離炭素は避けてください (>1% の場合、強度が 10% 低下します)。

鉄 (Fe): <0.01%。Fe 不純物による微小亀裂の発生リスクは 10~15%増加します。

硫黄 (S)、リン (P): それぞれ 0.005% 未満、低融点相を避ける (脆さが 1520% 増加)。

ニッケル (Ni): <0.05%。Ni 含有量が高すぎると磁気特性が変化し、コバルト磁気試験 (GB/T 3849-2015) に影響を及ぼします。

試験方法:

ICPMS: Co、Fe、Ni などの金属の検出 (精度±0.001%)。

炭素・硫黄分析装置: C および S を検出します (精度±0.001%)。

酸素・窒素分析装置: O を検出 (精度±0.01%)。

例:

YG8N: コバルト粉末純度 99.95%、O <0.03%、Fe <0.005% (Sandvik、2023)。

2.2 物理的性質

粒度:

範囲: 0.52 μm (従来)、0.20.8 μm (超微粒子合金)。

均一性: D50 偏差 <±10%、D90/D10 <3、混合均一性 >95% を確保。

意義:

微粒子サイズ (<1 μm) により、結合相分布の均一性が向上し、強度が 10~15%増加します。

粒子が細かすぎると (<0.2 μm)、凝集しやすくなり、均一性が 5~10%低下します。

試験方法: レーザー粒度分布測定装置 (精度±0.01 μm、GB /T 19077) 。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

比表面積:

範囲: $13 \text{ m}^2 / \text{g}$ (従来)、 $36 \text{ m}^2 / \text{g}$ (ナノパウダー)。

意義: 高い比表面積により焼結活性が向上し、液相焼結温度が 2030°C 低下します。

試験方法: BET 法 (精度 $\pm 0.1 \text{ m}^2 / \text{g}$)。

流動性:

要件: $< 25 \text{ 秒} / 50 \text{ g}$ (ホール流量計、GB/T 1482-2010)。

重要性: 良好な流動性により、圧縮されたピレットの均一性が確保され ($> 95\%$)、気孔率が 0.01% 減少します。

見かけ密度:

範囲: $1.5 \sim 2.5 \text{ g/cm}^3$ (従来)、 $1.0 \sim 2.0 \text{ g/cm}^3$ (超微粒子)。

重要性: 見かけ密度が高いと、ピレットのグリーン強度が向上します ($> 6 \text{ MPa}$)。

試験方法: ファンネル法 (精度 $\pm 0.01 \text{ g/cm}^3$)。

例:

YG6: 粒子サイズ $11.5 \text{ }\mu\text{m}$ 、D50 約 $1.2 \text{ }\mu\text{m}$ 、流動性約 $20 \text{ s} / 50 \text{ g}$ 、BET 約 $2 \text{ m}^2 / \text{g}$ (ScienceDirect、2020)。

2.3 顕微鏡的形態学

外観:

要件: ほぼ球形または多面体、球形度 > 0.9 (SEM 観察、 $1000\times$)。

避けるべきもの: 流動性を $10 \sim 15\%$ 低下させる棒状、薄片状、または不規則な粒子。

表面状態:

滑らかで、ひび割れ、気孔、付着物がありません (SEM 検査、欠陥 $0.1 \text{ }\mu\text{m}$ 未満)。

表面酸化層: $< 10 \text{ nm}$ (XPS 分析)、焼結脱炭を避けてください。

再会:

凝集率: 1% 未満。凝集率が高すぎると、微細構造が不均一になり、気孔率が 0.02% 増加します。

試験方法: SEM (凝集粒子率の統計分析)、超音波分散検証。

例:

YG8N: ほぼ球形のコバルト粉末、凝集率 $< 0.5\%$ 、表面酸化層 $< 5 \text{ nm}$ (Sandvik、2023)。

2.4 その他の要件

磁気特性:

コバルト粉末は強磁性であり、飽和磁化は約 160 emu/g (純 Co)、偏差は $\pm 5 \text{ emu/g}$ 未満です。

試験方法: 振動サンプル磁力計 (VSM、精度 $\pm 0.1 \text{ emu/g}$)。

意義: 不純物 (Fe は磁化を高め、Ni は磁化を低下させる) と酸化度の間接的な評価。

保管条件:

湿度: $< 40\%$ 、温度: 2025°C 、不活性雰囲気 (Ar または N_2)、酸化を避けてください (0 が 0.02% 増加します)。

真空密封包装、保管期間 < 6 か月。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

標準:

GB/T 53142011: 化学組成（純度>99.9%）。
GB/T 183762014: 微細構造（凝集率 < 1%）。
GB/T 1482-2010: 流動性（<25 秒/50 g）。
GB/T 3849-2015: 磁気特性（炭素含有量の間接評価）。

2.5 コバルト粉末の主なパラメータ

パラメータ	一般的な要件	超微粒子要件	試験方法	例 (yg8n)
純度	>99.9%	>99.95%	Icpms、炭素および硫黄分析	99.95%
酸素含有量	<0.05%	<0.03%	酸素・窒素分析装置	<0.03%
鉄含有量	<0.01%	<0.005%	Icpms	<0.005%
粒子サイズ (d50)	0.52 μm	0.20.8 μm	レーザー粒子サイズ分析	約 0.5 μm
比表面積	13 m ² / g	36 平方メートル/g	ベット	約 4m ² /g
流動性	<25 秒/50g	<20 秒/50g	ホール流量計	約 15 秒/50g
形態学	ほぼ球形、球形度>0.9	ほぼ球形、球形度>0.95	セム	球形度>0.95
再会率	1%未満	0.5%未満	Sem、超音波分散	<0.3%
磁化	約 160 emu/g、偏差<±5 emu/g	約 160 emu/g、偏差<±3 emu/g	対スム	約 158 エミュー/g

GB/T 53142011（化学組成）、GB/T 183762014（微細構造）、GB/T 14822010（流動性）

3. コバルト粉末の製造方法

コバルト粉末は、超硬合金の要件を満たすために、高純度、微細粒子サイズ、均一な形態を確保する必要があります。一般的な方法には以下のものがあります。

3.1 化学的還元（湿式還元）

原理:

コバルト塩溶液（CoSO₄、CoCl₂ など）は、還元剤（H₂、NaBH₄ など）によってコバルト粉末に還元されます。

反応: $\text{Co}^{2+} + \text{H}_2 \rightarrow \text{Co} + 2\text{H}^+$ （高圧 H₂、150~200℃）。

プロセス:

原材料: CoSO₄（>99.9%）、還元剤（H₂ 純度>99.99%）。

設備: 高圧反応器（510MPa）、濾過・乾燥システム。

パラメータ: pH 8~10、温度 150~200℃、H₂ 圧力 25 MPa。

後処理: 洗浄（脱イオン水）、真空乾燥（80℃、<10⁻² Pa）。

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

分類：気流分類、制御粒子サイズ $0.52\text{ }\mu\text{m}$ 。

特徴：

純度： $>99.9\%$ 、 $\text{O} < 0.05\%$ 、 $\text{Fe} < 0.01\%$ 。

形態：多面体またはほぼ球形、球形度 $0.80.9$ 。

粒子サイズ： $0.53\text{ }\mu\text{m}$ 、 D50 偏差 $<\pm 10\%$ 。

利点：

コストが低い（カルボニルプロセスより $15 \sim 20\%$ 低い）。

粒子サイズを調整でき、大量生産に適しています。

不十分：

形態はやや不規則で、凝集率は 12% です。

酸素含有量はやや高め（ $0.05 \sim 0.1\%$ ）なので、厳密に管理する必要があります。

応用：

YG6 試験バー：還元コバルト粉末、粒子サイズ $1.5\text{ }\mu\text{m}$ 、曲げ強度 2.0 GPa （ScienceDirect、2020）。

3.2 カルボニル法

原理：

コバルトは一酸化炭素（CO）と反応してコバルトカルボニル（ $\text{Co}_2(\text{CO})_8$ ）を形成し、加熱すると高純度コバルト粉末と CO に分解します。

反応： $2\text{Co} + 8\text{CO} \rightarrow \text{Co}_2(\text{CO})_8$ （気体、 $100 \sim 150^\circ\text{C}$ ）、 $\text{Co}_2(\text{CO})_8 \rightarrow 2\text{Co} + 8\text{CO}$ （分解、 $250 \sim 300^\circ\text{C}$ ）。

プロセス：

原材料：高純度コバルト（ $> 99.9\%$ ）、CO ガス（純度 $> 99.99\%$ ）。

装置：カルボニル反応器（圧力 0.51 MPa ）、分解炉（真空または不活性雰囲気）。

パラメータ：分解温度 $250 \sim 350^\circ\text{C}$ 、空気流量 0.51 L/分 。

分類：ふるい分けまたは気流分類、粒子サイズ $0.52\text{ }\mu\text{m}$ に制御。

特徴：

純度： $>99.95\%$ 、 $\text{O} < 0.03\%$ 、 $\text{C} < 0.01\%$ 。

形態：ほぼ球形、球形度 >0.95 、凝集率 $<0.5\%$ 。

粒子サイズ： $0.52\text{ }\mu\text{m}$ 、 D50 偏差 $<\pm 5\%$ 。

利点：

高純度、不純物（Fe、S） $< 0.005\%$ 。

形態は規則的で流動性は良好です（約 $18\text{ 秒} / 50\text{ g}$ ）。

不十分：

装置は複雑で、CO は非常に有毒であり、コストは $20 \sim 30\%$ 高くなります。

応用：

YG8N 試験バー：カルボニルコバルト粉末、粒子サイズ約 $0.8\text{ }\mu\text{m}$ 、硬度 2000 HV （Sandvik、2023）。

3.3 霧化

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

原理:

熔融コバルト (>99.9%) を高压ガス (N₂、Ar) または水によって微粒子に霧化します。

プロセス:

原材料: 高純度コバルトインゴット (>99.9%)。

設備: 真空誘導炉 (1500~1550℃)、霧化塔 (ガス圧力 510MPa)。

パラメータ: ノズル口径 0.51 mm、冷却速度 $10^3 \sim 10^4$ °C/s。

分類: 気流分類、粒子径 15 μm。

特徴:

純度: >99.9%、O <0.08%、C <0.02%。

形態: 球形、球形度>0.9。

粒子サイズ: 15 μm、D50 偏差<±15%。

利点:

均一な形態と優れた流動性 (約 20 秒/50 g)。

大粒子コバルト粉末 (>2 μm) に適しています。

不十分:

粒子サイズが大きすぎる (> 1 μm) ため、超微粒子合金には適していません。

酸素含有量は高い (0.05~0.1%)。

応用:

コバルト粉末、粒径 23 μm、KIC12MPa · m^{1/2}。

3.4 電気めっき

原理:

コバルト粉末は、コバルト塩溶液 (CoSO₄ など) の電気分解によって生成されます。

反応: $\text{Co}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Co}$ (カソード、電流密度 100500 A/m²)。

プロセス:

原材料: CoSO₄ (>99.9%)、電解質 (pH 35)。

装置: 電解セル (ステンレス製カソード)、定電流電源。

パラメータ: 温度 5060° C、電流密度 200400 A/m²、時間 24 時間。

後処理: 洗浄、乾燥 (80℃、<10⁻² Pa)、粉碎 (< 2 μm)。

特徴:

純度: >99.9%、O <0.1%、Fe <0.02%。

形態: 樹枝状または不規則、研磨が必要。

粒径: 110 μm (粉碎後 0.52 μm)。

利点:

低コスト (カルボニル法より 30%低い)。

大規模生産に適しています。

不十分:

形態は不規則で、粉碎すると凝集が増加します (23%)。

酸素含有量は高い (0.10.2%) ため、最適化する必要があります。

応用:

YG6 試験バー: 電解コバルト粉末、粒子サイズ 12 μm、硬度 1500HV。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.5 最適化策

酸素レベルを下げる：

不活性雰囲気（Ar、O₂ <0.005%）保護、酸素を<0.03%に低減。

酸化を防ぐために真空（<10⁻² Pa）にしてください。

制御粒度：

超音波分散（500 W、10 分）により凝集率は 0.5% 未満に低下しました。

気流分類（精度±0.1 μm）、D50 偏差<±5%。

外観を改善する：

カルボニル法 + プラズマ球状化により、球形度は 0.95 以上に増加しました。

化学還元法に表面改質（ステアリン酸 0.1%）を加えた結果、流動性が 10% 向上しました。

例：

YG8N：カルボニルコバルト粉末+超音波分散、粒子径 0.5 μm、凝集度<0.3%（Sandvik、2023）。

コバルト粉末の製造方法比較表

方法	純度	粒子サイズ（μm）	形態学	酸素含有量	流動性 （s/50 g）	料金	適用グレード
化学還元法	>99.9%	0.53	多面体、0.80.9	<0.05%	約 22 歳	真ん中	YG6、YG15
カルボニル法	>99.95%	0.52	ほぼ球形、>0.95	<0.03%	約 18 歳	高い	Y8N
霧化	>99.9%	15	球状、>0.9	<0.08%	約 20	真ん中	YG15（ラージサイズ）
電解	>99.9%	0.52（研削）	不規則、0.70.8	<0.1%	約 25	低い	YG6（低コスト）

最適化対策：

酸素含有量を減らす：Ar 保護（O₂ <0.005%）、真空乾燥（<10⁻² Pa）。

粒度制御：超音波分散（500 W、10 分）、凝集率<0.5%。

形態最適化：カルボニル法 + プラズマ球状化、球形度>0.95。

4. コバルト基超硬合金におけるコバルト粉末の応用

コバルト粉末の選択と最適化は、コバルト基超硬合金試験片の製造と性能に直接影響します。以下では、具体的なグレードとプロセスについて説明します。

4.1 YG6（6% Co、汎用工具）

コバルト粉末の必要量：

純度：>99.95%、O <0.03%、Fe <0.005%。

粒子サイズ：11.5 μm、D50 約 1.2 μm、球形度>0.9。

調製方法：カルボニル法または化学還元法、流動性 ~20 秒/50 g。

準備プロセス：

成分：WC（94 wt%、12 μm）、Co（6 wt%）、Cr₃C₂（0.3 wt%）。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

配合：湿式粉碎（12～14 時間、PEG 1.5%）、D50 80～150 μm 。

プレス：CIP（200～250MPa）、ピレット 6.2×6.2×43mm。

焼結：真空焼結（1400° C、 $<10^{-3}$ Pa）+HIP（1400° C、100 MPa）。

機械加工：研削（ $Ra < 0.4 \mu\text{m}$ ）、スパークノッチング（ $0.25 \pm 0.02\text{mm}$ ）。

パフォーマンス：

硬度：1500 $\pm$ 50 HV（GB/T 79972017）。

曲げ強度：2.0 $\pm$ 0.1 GPa（GB/T 38512015）。

破壊靱性：8 $\pm$ 0.5 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 。

例：

粒径約 1.2 μm 、切削寿命 2 時間（Sandvik、2023）。

4.2 YG15（15%Co、高靱性鋳型）

コバルト粉末の必要量：

純度： $>99.9\%$ 、 $0 < 0.05\%$ 、Fe $< 0.01\%$ 。

サイズ：1.52 μm 、D50 約 1.8 μm 、凝集率 $<1\%$ 。

調製：化学的還元または霧化、流動性 ~ 22 秒/50 g。

準備プロセス：

成分：WC（85 wt %、1.5～2.5 μm ）、Co（15 wt %）、Cr₃C₂（0.5 wt %）。

配合：湿式粉碎（14～16 時間、PVA 1%）、D50 100～200 μm 。

プレス：CIP（250～300MPa）、ピレット 5.0×10.0×40mm。

焼結：真空焼結（1450° C、 $<10^{-3}$ Pa）+HIP（1450° C、120 MPa）。

機械加工：研削（ $Ra < 0.2 \mu\text{m}$ ）、スパークノッチング（ $0.25 \pm 0.01\text{mm}$ ）。

パフォーマンス：

硬度：1400 $\pm$ 50 HV。

曲げ強度：2.5 $\pm$ 0.1 GPa。

破壊靱性：12 $\pm$ 0.5 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 。

例：

粒径約 1.8 μm 、打ち抜き寿命 12 万回（ScienceDirect、2020 年）。

4.3 YG8N（8%Co、超微粒子航空工具）

コバルト粉末の必要量：

純度： $>99.95\%$ 、 $0 < 0.02\%$ 、Fe $< 0.005\%$ 。

粒子サイズ：0.2～0.8 μm 、D50 約 0.5 μm 、球形度 >0.95 。

調製：カルボニル法 + 血漿球状化、流動性 ~ 15 秒/50 g。

準備プロセス：

成分：WC（91.5 wt %、0.20.4 μm ）、Co（8 wt %）、Cr₃C₂（0.4 wt %）、VC（0.1 wt %）。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

混合：高エネルギーボールミル処理（1820 時間、改質 PEG1%）、D50 30100 μm 。

プレス：CIP（300~350MPa）、ピレット 6.3×6.3×44mm。

焼結：真空焼結（1350℃、 $<5\times 10^{-4}\text{Pa}$ ）+HIP（1350℃、150MPa）。

加工：超精密研削（ $Ra<0.2\mu\text{m}$ ）、フェムト秒レーザーノッチ（ $0.25\pm 0.005\text{mm}$ ）。

パフォーマンス：

硬度：2000 $\pm$ 50 HV。

曲げ強度：2.2 $\pm$ 0.1 GPa。

破壊靱性：9 $\pm$ 0.5 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 。

例：

YG8N 試験棒：カルボニルコバルト粉末、粒径 $<0.5\mu\text{m}$ 、航空工具寿命 4 時間（Sandvik、2023）。

5. コバルト粉末の選択における重要な要素

コバルト粉末の選択には、合金特性、プロセス条件、コストを総合的に考慮する必要があります。

高性能合金（YG8N など）

好ましい選択肢は、純度 $>99.95\%$ 、粒子サイズ 0.20.8 μm 、 $O<0.02\%$ のカルボニルコバルト粉末です。

理由：粒子サイズが細かく、酸素が少ないため、粒子サイズが 0.5 μm 未満となり、硬度が 510% 増加します。

高靱性合金（YG15 など）

化学還元法または霧化法を使用し、粒子サイズは 1.52 μm 、 $O<0.05\%$ です。

理由：わずかに大きい粒子サイズは高コバルト含有量に適しており、KIC が 10% 増加します。

コスト重視（YG6 など）：

化学還元または電気分解を使用し、粒子サイズは 12 μm 、 $O<0.05\%$ です。

理由：コストが 20 ~ 30% 低く、一般的なツール要件を満たしています（強度 2.0 GPa）。

大型テストロッド（YG15 など）

噴霧法が使用され、粒子サイズは 23 μm 、流動性は約 20 秒/50g でした。

理由：大きな粒子に適しており、圧縮均一性は 95% を超えます。

6. 結論

コバルト基超硬合金に使用されるものは、以下の要件を満たす必要があります。

化学組成：純度 $>99.9\%$ 、 $O<0.05\%$ 、 $\text{Fe}<0.01\%$ 、 $\text{C}<0.01\%$ （GB/T 53142011）。

物理的性質：粒子サイズ 0.52 μm （従来）または 0.20.8 μm （超微粒子）、流動性 <25 秒/50g（GB/T 1482-2010）。

微細形態：ほぼ球形、球形度 >0.9 、凝集度 $<1\%$ （GB/T 183762014）。

作り方：

カルボニル法：高純度（ $>99.95\%$ ）、粒子サイズ 0.52 μm 、YG8N に適しています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

化学還元法: 低コスト、粒子サイズ $0.53\text{ }\mu\text{m}$ 、YG6 および YG15 に適しています。

噴霧方式: 大粒子 ($15\text{ }\mu\text{m}$)、大型試験棒に適しています。

電解法: コストが低く、研磨が必要で、一般グレードに適しています。

アプリケーション例:

YG6: カルボニルまたは還元コバルト粉末 ($11.5\text{ }\mu\text{m}$)、硬度 1500HV、強度 2.0 GPa 。

YG15: 還元または霧化コバルト粉末 ($1.52\text{ }\mu\text{m}$)、KIC $12\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 。

YG8N: カルボニル+球状化コバルト粉末 ($0.2\sim 0.8\text{ }\mu\text{m}$)、硬度 2000HV、粒径 $< 0.5\text{ }\mu\text{m}$ 。

コバルト粉末の添加 (超音波分散や不活性保護など) により、均一性が 20% 向上し、 η 相が 50% 減少し、合金性能の安定性 (偏差 $< 3\%$) が向上します。将来的には、ナノコバルト粉末 ($< 0.2\text{ }\mu\text{m}$) とグリーン調製技術 (低温還元など) により、コバルト基超硬合金の性能がさらに向上するでしょう。

標準:

GB/T 5314 2011: 化学組成。GB/T 18376 2014: 微細構造。

GB/T 1482 2010: 流動性。GB/T 3851 2015: 曲げ強度。

GB/T 7997 2017: 硬度。GB/T 3849 2015: 磁気特性。

コバルト粉末とニッケル粉末の比較表

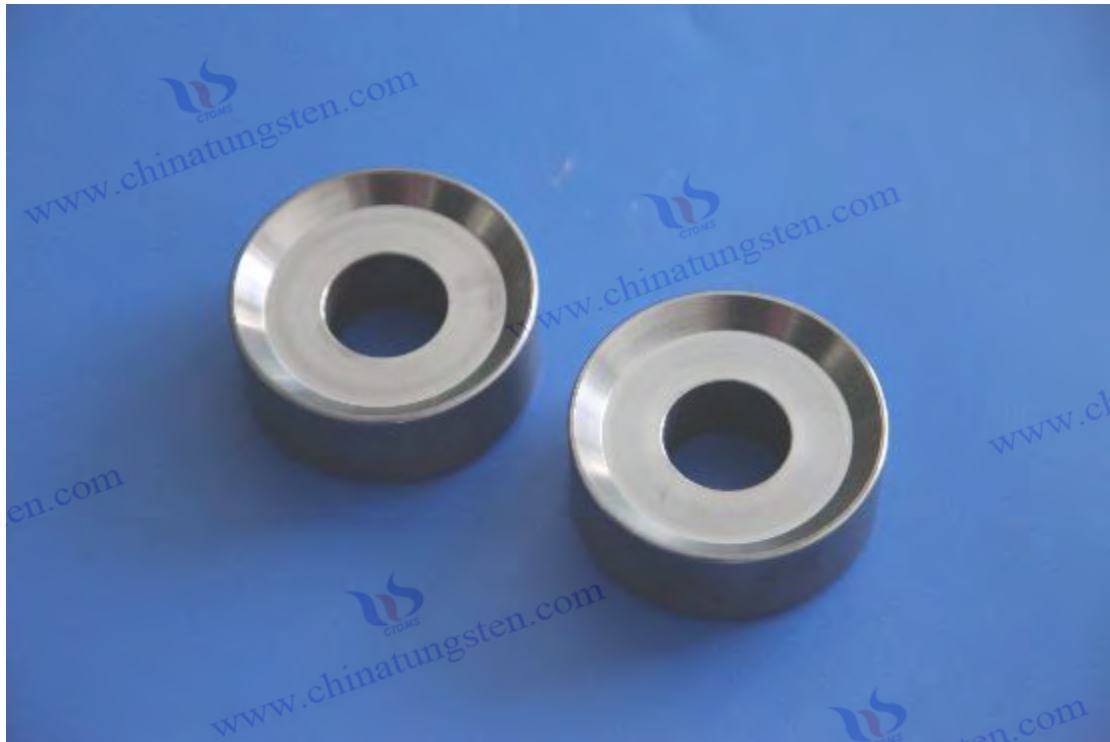
特性	コバルト粉末	ニッケル粉末
純度	$> 99.9\%$ 、 $> 99.95\%$ (超微粒子)	$> 99.9\%$ 、 $> 99.95\%$ (高耐腐食性)
粒度	$0.52\text{ }\mu\text{m}$ 、 $0.20.8\text{ }\mu\text{m}$ (超微粒子)	$0.52\text{ }\mu\text{m}$ 、 $0.20.8\text{ }\mu\text{m}$ (超微粒子)
酸素含有量	$< 0.05\%$ 、 $< 0.03\%$ (超微粒子)	$< 0.05\%$ 、 $< 0.03\%$ (高耐食性)
形態学	ほぼ球形、球形度 > 0.9	ほぼ球形、球形度 > 0.9
磁化	約 160 エミュール/g	約 55 エミュール/g
主な調理方法	カルボニル化、化学還元、原子化、電気分解	カルボニル化、化学還元、原子化、電気分解
料金	高い (ニッケル粉末より 20 % 高い)	より低い
合金特性	強度 $1.5\sim 2.5\text{ GPa}$ 、KIC $812\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$	強度 $1.82.2\text{ GPa}$ 、KIC $710\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$
耐食性	0.01 mm/年 (5% HCl)	$< 0.005\text{ mm/年}$ (5% HCl)
アプリケーションシナリオ	切削工具、金型、採掘工具	化学機器、石油関連機器、高温金型

規格: GB/T 43342020 (耐腐食性)、GB/T 38512015 (曲げ強度)。

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



付録:

GB/T 7997-2017 超硬合金のピッカース硬度および微小硬度の試験方法

GB/T 7997-2017「超硬合金のピッカース硬度及びマイクロ硬度試験方法」は、超硬合金のピッカース硬度（HV）及びマイクロ硬度（マイクロピッカース硬度、HVM）の試験方法を規定した中国の国家規格です。本規格は、超硬合金材料（WC-Co、WC-Ni など）の硬度試験に適用されます。

1 範囲

この規格は、試験原理、試験装置、試験片要件、試験手順、試験結果の計算、試験報告書などを含む、超硬合金のピッカース硬度および微小硬度の試験方法を規定しています。この規格は、焼結超硬合金製品（切削工具、採掘工具、耐摩耗部品など）および未焼結超硬合金ブランクの硬度測定に適用され、HV 500～HV 3000 の硬度範囲に適用されます。

2 規範的参照

以下の文書は、本規格の実施に必須の参考文書です。日付が記載されている参考文書については、その版のみが適用されます。日付が記載されていない参考文書については、最新版（すべての修正を含む）が適用されます。

GB/T 230.1 金属材料のロックウェル硬さ試験 パート 1: 試験方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T スケール）

GB/T 4340.1 金属材料のピッカース硬さ試験 パート 1: 試験方法

GB/T 4340.2 金属材料のピッカース硬さ試験 パート 2: 硬さ試験機の検証および校正

GB/T 4340.3 金属材料のピッカース硬さ試験 パート 3: 標準硬さ試験片の校正

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 4505 超硬合金のサンプリングおよび試験片作製方法

GB/T 5124 超硬合金の化学分析方法

GB/T 16594 金属材料の微細組織検査に関する一般規則

3 用語と定義

ビッカース硬度（HV）：ビッカース硬度計を用いて、正四面体ダイヤモンド圧子を規定の荷重で試料表面に押し込み、圧痕の対角線の長さを測定して硬度値を算出します。単位はHVです。

kgf 未満の荷重で、小型の試験片または局所的な微小領域の硬度試験に適しています。

圧痕対角線：ビッカース圧痕の 2 つの対角線の長さ（mm）。

硬度値：圧痕の対角長さと荷重に基づいて計算された硬度（kgf / mm²、HV に変換）。

4 テストの原則

ビッカース硬度試験および微小硬度試験では、正四角錐ダイヤモンド圧子（頂点角 136° ± 0.5°）を用いて、規定の荷重下で試料表面に押し込み、一定時間保持した後、荷重を解放し、圧痕の対角線の長さを測定し、式を用いて硬度値を算出します。

式は以下のとおりです。

$$HV = 1.8544 \cdot \frac{F}{d^2}$$

で：

- HV：維氏硬度值（kgf/mm²，標註為 HV）；
- F：試驗載荷（kgf）；
- d：壓痕對角線的平平均長度（mm）。

5 機材と材料

硬度計：

ビッカース硬度計：GB/T 4340.2 に準拠、荷重範囲 1-50 kgf ± 0.1 kgf。

微小硬度計：荷重範囲 0.01 ~ 1 kgf ± 0.001 kgf、顕微鏡付き（倍率 ≥ 400 倍）。

圧子：正四面体ダイヤモンド圧子、頂点角 136° ± 0.5°、表面に欠陥なし。

標準硬度ブロック：GB/T 4340.3 に準拠、硬度範囲 HV 500 ~ HV 3000。

サンプル表面処理：表面粗さ Ra ≤ 0.2 μm ± 0.02 μm まで研磨、酸化層やひび割れなし。

環境条件：温度 20 ~ 25℃ ± 1℃、湿度 40% ~ 60% ± 5% RH、振動干渉なし。

6. サンプル

サンプルの要件：

サンプリングは GB/T 4505 に従って実施し、表面は平らで、厚さは圧痕深さの 1.5 倍以上（約 0.1 ~ 0.5 mm）とします。

試料サイズ：最小面積 5mm × 5mm ± 0.1mm、最大面積 50mm × 50mm ± 0.1mm。

表面処理：

研磨：金属組織用サンドペーパー（粒度 800 ~ 2000 メッシュ）と研磨ペースト（粒子サイズ ≤ 1 μm ± 0.01 μm）を使用します。

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

洗浄：油汚れを除去するにはエタノール（純度 $\geq 99.5\% \pm 0.1\%$ ）を使用します。
試験片の数：バッチあたり 3 ～ 5 個の試験片、同じ試験片に少なくとも 5 個の圧痕がある。

7 テスト手順

7.1 ビッカース硬度試験

機器の校正：

硬度計は、偏差が $\pm 2\% \pm 0.5\%$ 未満の標準硬度ブロックを使用して校正されます。

インデントの形状を、トップ角度の偏差が $\pm 0.5^\circ$ 未満になるように校正します。

負荷の選択：

共通荷重：5 kgf 、 10 kgf 、 30 kgf ± 0.1 kgf （硬度範囲に応じて選択）。

荷重保持時間：10～15 秒 ± 1 秒。

インデント測定：

サンプルを硬度計の作業台に置き、サンプルの表面が水平であることを確認します。

荷重をかけ、指定された時間維持した後、荷重を解除します。

くぼみの 2 つの対角線の長さ（ d_1 と d_2 ）を $0.001 \text{ mm} \pm 0.0001 \text{ mm}$ の精度で測定します。

くぼみの間隔：対角線の長さの 3 倍以上（約 0.3 ～ 1.5 mm）。

硬度計算：

計算式に従って HV 値を計算し、5 つの圧痕の平均値を取得します。

偏差 $< \pm 3\% \pm 0.5\%$ 、それ以外の場合は再テストします。

7.2 微小硬度試験

機器の校正：

マイクロ硬度計、校正済み荷重、顕微鏡の倍率（ $\geq 400 \times$ ）を使用します。

偏差 $< \pm 2\% \pm 0.5\%$ 。

負荷の選択：

共通荷重：0.05 kgf 、 0.1 kgf 、 0.5 kgf ± 0.001 kgf 。

荷重保持時間：10～15 秒 ± 1 秒。

インデント測定：

顕微鏡でくぼみを観察し、対角線の長さ（ d_1 と d_2 ）を $0.0005 \text{ mm} \pm 0.0001 \text{ mm}$ の精度で測定します。

くぼみの間隔：対角線の長さの 5 倍以上（約 0.05 ～ 0.2 mm）。

硬度計算：

式に従って HVM 値を計算し、5 つのインデントの平均値を取得します。

偏差 $< \pm 4\% \pm 0.5\%$ 、それ以外の場合は再テスト。

8 件の結果表現

硬度値：HV または HVM で表され、HV 1800 や HVM 2000 などの整数が保持されます。

レポートの内容：

試験片番号、荷重値、圧痕の対角長さ、平均硬度値および偏差。

環境条件（温度、湿度）。

テストの日付とオペレーター。

例：WC-10%Co 試験片、荷重 30 kgf 、平均対角 $0.042 \text{ mm} \pm 0.001 \text{ mm}$ 、HV 1800 ± 50 。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

9つの影響要因

サンプル表面：表面粗さ $Ra > 0.2 \mu m \pm 0.02 \mu m$ の場合、凹みがぼやけ、硬度が低くなります（偏差 $> 5\% \pm 1\%$ ）。

荷重偏差：荷重偏差 $> \pm 0.1 \text{ kgf}$ は圧痕深さに影響し、硬度偏差 $> 3\% \pm 0.5\%$ となります。

環境振動：振動周波数 $> 1 \text{ Hz} \pm 0.1 \text{ Hz}$ では、圧入偏差が発生するため、振動防止が必要です。

圧子の状態：圧子の欠陥（傷 $> 0.01 \text{ mm} \pm 0.001 \text{ mm}$ ）があると硬度が低下するため、定期的な検査が必要です。

10の検査ルール

サンプリング：GB/T 4505 に従って、各バッチ（ $\leq 100 \text{ kg}$ ）から 3 ～ 5 個のサンプルを採取し、サンプルごとに 5 つの圧痕を測定します。

検査頻度：工場検査（バッチごと）、型式検査（1 年に 1 回またはプロセス変更時）。

判定：硬度値が要件を満たしている場合は、すべてのサンプルが合格となります。1 つでも不合格の場合は再検査が許可され、再検査でも不合格の場合はバッチは不合格となります。

11 テストレポート

テストレポートには次の内容を含める必要があります。

サンプルの説明（構成、準備プロセス）。

試験方法（ピッカースまたはマイクロ硬度）。

荷重値、圧痕の対角長さ、硬度値および偏差。

環境条件（温度 $20 \sim 25^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度 $40\% \sim 60\% \pm 5\%\text{RH}$ ）。

標準番号（GB/T 7997-2017）。

テストの日付とオペレーターの署名。

付録 A（参考付録）超硬合金の代表的な硬度値

WC-6%Co:HV 1800-2000 ± 50 、切削工具に適しています。

WC-10%Co: HV 1500-1700 ± 50 、採掘ツールに適しています。

WC-12%Ni:HV 1400-1600 ± 50 、耐摩耗部品に適しています。

付録 B（規範的付録）試験方法に関する補足事項

圧痕測定：微小硬度を測定する場合、顕微鏡の倍率は 400 倍以上で、視野は明瞭である必要があります。

環境制御：試験環境には気流の乱れがなく、温度変動は $\pm 1^\circ\text{C}$ 未満です。

インデンターのメンテナンス：500 回のテストごとにインデンターを検査し、傷が $0.01 \text{ mm} \pm 0.001 \text{ mm}$ を超える場合は交換します。

要約する

GB/T 7997-2017 規格は、超硬合金のピッカース硬度および微小硬度の試験方法を規定し

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

ています。正四面体ダイヤモンド圧子（頂点角 $136^{\circ} \pm 0.5^{\circ}$ ）を用いて、圧痕の対角線の長さを測定し、硬度（HV 500～3000）を算出します。この規格では、機器の校正（偏差 $< \pm 2\%$ ）、サンプルの準備（ $Ra \leq 0.2 \mu m$ ）、試験手順、結果の表現を規定し、硬度試験の精度（偏差 $< \pm 3\%$ ）を確保しています。この方法は、航空工具（HV 1800 ～2000）や鉋山工具（HV 1500～1700）などの超硬合金製品の品質管理に適しています。

付録:

GB/T 4340.1-2017 金属材料のビッカース硬度試験

パート 1: 試験方法

1 範囲

この規格は、金属材料のビッカース硬さ試験方法を規定するものであり、試験原理、試験装置、試験片の要件、試験手順、硬さの計算、結果の表現、試験報告書の内容を含む。本規格は、硬度範囲が HV 5~HV 3000、荷重範囲が 0.01 kgf ~50 kgf の金属材料および一部の非金属材料（超硬合金やセラミックスなど）のビッカース硬さ測定に適用する。この規格は、表面粗さが極端に高い試験片 ($R_a > 0.4 \mu m \pm 0.02 \mu m$) や、圧痕深さに耐えるのに十分な厚さがない試験片には適用されません。

2 規範的参照

以下の文書は、本規格の実装に必須の参考文書です。参照文書のうち、指定されたバージョンのみが適用されます。

GB/T 230.1 金属材料のロックウェル硬さ試験 パート 1: 試験方法 (A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T スケール)

GB/T 4340.2 金属材料のビッカース硬さ試験 パート 2: 硬さ試験機の検証および校正

GB/T 4340.3 金属材料のビッカース硬さ試験 パート 3: 標準硬さ試験片の校正

GB/T 4505 超硬合金のサンプリングおよび試験片作製方法

GB/T 16594 金属材料の微細組織検査に関する一般規則

GB/T 8170 値の四捨五入のルール

3 用語と定義

ビッカース硬度 (HV): 規定の荷重下で、頂点角 136° の正四角錐ダイヤモンド圧子を試料表面に押し付け、圧痕の対角線の長さを測定して硬度値を算出します。単位は HV です。1kgf 未満のときに顕微鏡下で測定されたビッカース硬度。

圧痕対角線: ビッカース圧痕の 2 つの対角線の長さ (mm)。

試験荷重: 圧子に加えられる力 (kgf または N 単位、 $1 \text{ kgf} = 9.80665 \text{ N}$)。

保持時間: 荷重が適用された後に保持される時間 (秒)。

4 テストの原則

ビッカース硬さ試験では、頂点角が $136^\circ \pm 0.5^\circ$ の正四角錐ダイヤモンド圧子を用います。この圧子を試料表面に所定の荷重で押し付け、一定時間保持した後、荷重を解放します。圧痕の 2 つの対角線の長さ (d_1 と d_2) を測定し、平均値 d を算出します。この値を以下の式に代入することで硬度値を算出します。

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

$$HV = 1.8544 \cdot \frac{F}{d^2}$$

其中：

- HV：维氏硬度值（kgf/mm²，换算为 HV）；
- F：试验载荷（kgf）；
- d：压痕对角线的算术平均值（mm）， $d = \frac{d_1 + d_2}{2}$ 。

若以 N 为单位，则公式为：

$$HV = 0.1891 \cdot \frac{F}{d^2}$$

其中 F 单位为 N。

5 試驗裝置

ピッカース硬度計：

荷重範囲：0.01 kgf ～ 50 kgf ± 0.1 kgf 。

荷重精度：GB/T 4340.2 に準拠、偏差<±1%±0.1%。

測定システム：顕微鏡または内蔵光学システム、精度 0.001mm±0.0001mm。

圧力ヘッド：

正四面体ダイヤモンド圧子、頂点角 136° ±0.5°、エッジ真直度 <0.002 mm±0.0002 mm。

表面に傷や欠陥はありません（傷 < 0.01 mm ± 0.001 mm）。

標準硬度ブロック：

GB/T 4340.3 に準拠、硬度範囲 HV 100 ～ HV 3000。

環境条件：

温度：20～25℃ ± 1℃。

湿度：40%～60%±5% RH。

振動障害なし（周波数<1 Hz±0.1 Hz）。

6. サンプル

サイズ要件：

最小厚さ：へこみの深さの 1.5 倍以上（約 0.1～0.5mm）。

最小面積：10 mm × 10 mm ± 0.1 mm、最大サイズ 50 mm × 50 mm ± 0.1 mm。

表面処理：

～ 2000 メッシュ）および研磨ペースト（粒径≤1 μm±0.01 μm）、表面粗さ Ra≤0.2 μm±0.02 μm。

洗浄：油汚れを除去するにはエタノール（純度 ≥ 99.5% ± 0.1%）を使用します。

量：

パッチから 3 ～ 5 個の標本を採取します。各標本には少なくとも 5 個のへこみが必要です。

7 テスト手順

機器の校正：

硬度計は、偏差が±2%±0.5%未満の標準硬度ブロックを使用して校正されます。

インデントの形状を確認します。上部の角度偏差は±0.5° 未満です。

負荷の選択：

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

共通荷重：0.1 kgf 、 0.3 kgf 、 0.5 kgf 、 1 kgf 、 5 kgf 、 10 kgf 、 30 kgf ±0.1 kgf 。

推奨硬質合金：10 kgf または 30 kgf ± 0.1 kgf 。

マイクロ硬度：0.01~1 kgf ± 0.001 kgf 。

テスト条件：

保持時間：10~15 秒±1 秒(超硬合金の場合は 15 秒±1 秒を推奨)。

くぼみの間隔：対角線の長さの 3 倍以上 (約 0.3 ~ 1.5 mm)。

くぼみと試験片の端の間の距離：対角線の長さの 2.5 倍以上。

インデント測定：

顕微鏡の倍率：≥ 400 倍 (マイクロ硬度)、≥ 100 倍 (従来の硬度)。

対角線 d_1 と d_2 を 0.001mm±0.0001mm の精度で測定します。

硬度計算：

式に従って HV を計算し、5 つの圧痕の平均値を取ると、偏差は ±3%±0.5% 未満です。

8 つの影響要因

表面品質： $R_a > 0.2 \mu m \pm 0.02 \mu m$ の場合、凹みがぼやけ、硬度が低くなります (偏差 >5%±1%)。

荷重偏差：>±1%±0.1% は圧痕深さに影響し、硬度偏差は >3%±0.5% です。

周囲振動：周波数 >1 Hz±0.1 Hz では、インデンテーションがシフトします。

試験片の傾斜：傾斜角度が $2^\circ \pm 0.1^\circ$ を超えると非対称のへこみが生じるため、再調整が必要になります。

9 結果表現

硬度値：HV で表され、整数を保持します。例：HV 1800±50。

記号：荷重の後に HV が付きます。たとえば、荷重が 30 kgf の場合は HV30 になります。

レポートの内容：

試験片番号、荷重値、圧痕の対角長さ、硬度値および偏差。

環境条件 (温度、湿度)。

テストの日付とオペレーター。

10 テストレポート

標本の説明 (材料、準備プロセス)。

試験条件 (荷重、保持時間、インデント間隔)。

硬度値の平均と偏差。

環境条件 (温度 20~25℃±1℃、湿度 40%~60%±5%RH)。

標準番号 (GB/T 4340.1-2017)。

テストの日付とオペレーターの署名。

付録 A (参考付録) 一般的な金属材料のピッカース硬度値

超硬合金 (WC-10%Co)：HV 1500~1800±50。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

焼入れ鋼（HRC 60）：HV 700-800±30。

純アルミニウム：HV 20-50±5。

GB/T 4340.2-2017 金属材料のビッカース硬度試験 パート 2: 硬度計の検証と校正

1 範囲

この規格は、ビッカース硬さ試験機の検査及び校正方法を規定するものであり、荷重精度、圧子形状、測定システムの精度及び再現性の検証を含む。

本規格は、ビッカース硬さ試験機（従来型及び顕微鏡型）の工場検査、定期校正、及び使用前検査に適用する。

2 規範的参照

GB/T 4340.1 金属材料のビッカース硬さ試験 パート 1: 試験方法

GB/T 4340.3 金属材料のビッカース硬さ試験 パート 3: 標準硬さ試験片の校正

JJG 112-2005 ビッカース硬度計の検証手順

GB/T 8170 値の四捨五入のルール

3 用語と定義

荷重誤差: 実際の荷重とマークされた荷重の偏差 (%)。

測定システム誤差: 対角測定値と実際の値の間の偏差 (μm)。

再現性: 同じ条件下で複数回測定された硬度値の一貫性 (HV)。

校正サイクル: 硬度計の校正間隔。通常は 6 か月から 1 年です。

4 検査項目

荷重精度: 偏差 $< \pm 1\% \pm 0.1\%$ 。

インデントの形状:

頂点角度: $136^\circ \pm 0.5^\circ$ 。

エッジ真直度: $< 0.002\text{mm} \pm 0.0002\text{mm}$ 。

頂点偏差: $< 0.001\text{mm} \pm 0.0001\text{mm}$ 。

測定システム:

対角測定誤差: $< \pm 0.2\text{ }\mu\text{m} \pm 0.02\text{ }\mu\text{m}$ (微小硬度計)。

顕微鏡の倍率誤差: $< \pm 1\% \pm 0.1\%$ 。

ホールド時間: 偏差 $< \pm 0.5\text{ 秒} \pm 0.1\text{ 秒}$ 。

再現性: 5 回の測定の標準偏差 $< \pm 1\% \pm 0.1\%$ 。

5. 校正機器

標準硬度ブロック:

GB/T 4340.3 に準拠、硬度範囲 HV 100-3000。

均一性: $< \pm 3\% \pm 0.5\%$ 。

マイクロメーター: 精度 $0.001\text{mm} \pm 0.0001\text{mm}$ 。

荷重校正装置: 精度 $0.01\text{kgf} \pm 0.001\text{kgf}$ 。

光学顕微鏡: 倍率 ≥ 1000 倍、精度 $0.0001\text{mm} \pm 0.00001\text{mm}$ 。

環境条件:

温度: $20 \sim 25^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 。

湿度: $40\% \sim 60\% \pm 5\% \text{ RH}$ 。

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

6 校正手順

負荷キャリブレーション:

標準重量センサーまたは力センサーを使用して、各荷重ポイント (0.1 kgf、1 kgf、5 kgf、10 kgf、30 kgf $\pm$ 0.1 kgf) を校正します。

偏差が $\pm 1\%$ $\pm 0.1\%$ 未満の場合は記録し、それ以外の場合は負荷システムを調整します。

インデントー検査:

光学顕微鏡を使用して、インデントーのトップ角度 ($136^\circ \pm 0.5^\circ$) とエッジの真直度を測定した。

インデントーの表面を確認し、0.01 mm $\pm$ 0.001 mm を超える傷がある場合は交換してください。

測定システムの校正:

標準硬度ブロック (例: HV 1800 $\pm$ 10) を使用して、くぼみの対角線を測定します。

を $\pm 0.2 \mu\text{m} \pm 0.02 \mu\text{m}$ 未満の精度で校正します。

時刻の調整を維持:

ストップウォッチを使用して校正、10~15 秒 $\pm$ 1 秒、偏差 $< \pm 0.5$ 秒 ± 0.1 秒。

再現性テスト:

標準硬度ブロックを 5 回連続して測定し、標準偏差を計算します ($< \pm 1\% \pm 0.1\%$)。

調整と記録:

満足できない場合は、硬度計 (荷重、圧子、または測定システム) を調整します。

校正データを記録し、2 年間 ± 0.1 年間ファイルに保存します。

7 つの影響要因

温度変化: $> \pm 1^\circ \text{C}$ は荷重システムの安定性に影響し、硬度偏差は $> 2\% \pm 0.5\%$ になります。

圧子の摩耗: 0.01 mm $\pm$ 0.001 mm を超える傷により硬度が低下します ($> 3\% \pm 0.5\%$)。

負荷変動: 不安定な電源 ($> \pm 1 \text{ V} \pm 0.1 \text{ V}$) により負荷エラーが発生します。

8 件の結果表現

負荷誤差: 小数点第 2 位を保持して % で表されます (例: $\pm 0.50\% \pm 0.01\%$)。

測定誤差: μm で表されます (例: $\pm 0.10 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$) 。

再現性: HV で表されます (例: $\pm 10 \text{ HV} \pm 1 \text{ HV}$)。

9 校正レポート

硬度計のモデルと番号。

校正項目 (荷重、圧子、測定システム、再現性)。

校正結果と偏差。

環境条件 (温度 $20 \sim 25^\circ \text{C} \pm 1^\circ \text{C}$ 、湿度 $40\% \sim 60\% \pm 5\% \text{RH}$)。

標準番号 (GB/T 4340.2-2017)。

校正日とオペレーターの署名。

付録 A (参考付録) 校正サイクルの推奨事項

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

通常使用の場合：6 か月ごとに校正してください。

使用頻度が高い場合（1 日 100 回以上）：3 か月ごとに校正してください。

GB/T 4340.3-2017 金属材料のビッカース硬度試験 パート 3: 標準硬度ブロックの校正

1 範囲

この部は、ビッカース硬さ標準片の校正方法について規定するものであり、硬度値の測定、均一性検査、不確かさの評価、および校正証明書の内容を含む。

ビッカース硬さ試験機の校正に用いられる標準硬さ片に適用され、硬度範囲は HV 100～HV 3000 である。

2 規範的参照

GB/T 4340.1 金属材料のビッカース硬さ試験 パート 1: 試験方法

GB/T 4340.2 金属材料のビッカース硬さ試験 パート 2: 硬さ試験機の検証および校正

JJF 1071-2010 国家計測校正規格

GB/T 8170 値の四捨五入のルール

GB/T 16594 金属材料の微細組織検査に関する一般規則

3 用語と定義

標準硬度ブロック: 硬度計の校正に使用される、既知の硬度値を持つ金属ブロック。

硬度均一性: 硬度ブロックの表面における硬度値の一貫性 (HV で測定)。

不確か性: 硬度値の測定結果の信頼区間 (HV)。

校正サイクル: 標準硬度ブロックを再校正する間隔。通常は 1 ～ 2 年です。

4 校正要件

硬度値: HV 100-3000、偏差 $\pm 2\% \pm 0.5\%$ 。

均一性: 同一表面上の 10 点の硬度値の偏差は $\pm 3\% \pm 0.5\%$ 未満です。

不確か性: $\leq \pm 10 \text{ HV} \pm 1 \text{ HV}$ (95% 信頼水準)。

表面品質: $Ra \leq 0.2 \mu\text{m} \pm 0.02 \mu\text{m}$ 、傷や酸化層なし。

5. 校正機器

ビッカース硬度計:

GB/T 4340.2 に準拠しており、合格するように校正されています。

荷重精度: $\pm 1\% \pm 0.1\%$ 。

圧力ヘッド:

頂点角度 $136^\circ \pm 0.5^\circ$ 、認定済み。

表面欠陥はありません (傷 $< 0.01 \text{ mm} \pm 0.001 \text{ mm}$)。

測定システム:

顕微鏡の精度: $0.001 \text{ mm} \pm 0.0001 \text{ mm}$ 。

環境条件:

温度: $20 \sim 25^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 。

湿度: $40\% \sim 60\% \pm 5\% \text{ RH}$ 。

6 校正手順

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

サンプルの準備:

硬度ブロックの表面を $Ra \leq 0.2 \mu m \pm 0.02 \mu m$ に研磨し、エタノールで洗浄して乾燥させた。

硬度測定:

荷重を選択: 5 kgf、10 kgf、30 kgf ± 0.1 kgf (硬度範囲に応じて)。

10 点を測定します。圧痕間隔は対角線の長さの 3 倍以上とし、保持時間は 10 ~ 15 秒 ± 1 秒です。

均一性チェック:

硬度値の平均値と標準偏差を 10 点計算します。偏差は $\pm 3\% \pm 0.5\%$ 未満です。

不確実性の評価:

硬度計の誤差、測定システムの誤差、環境の影響などを含みます。

不確かさ $\leq \pm 10$ HV ± 1 HV。

確認する:

国家計量標準機関または基準研究所の結果と比較すると、偏差は $\pm 2\% \pm 0.5\%$ 未満です。

7 つの影響要因

表面品質: $Ra > 0.2 \mu m \pm 0.02 \mu m$ のため硬度が低くなります ($> 3\% \pm 0.5\%$)。

周囲温度: $> \pm 1^\circ C$ はインデンテーション測定の精度に影響します。

硬度試験機の状態: 荷重誤差 $> \pm 1\% \pm 0.1\%$ または圧子の欠陥が結果に影響します。

8 件の結果表現

硬度値: HV で表され、整数を保持します。例: HV 1800 ± 10 。

均一性: 最大偏差として表されます (例: ± 20 HV ± 1 HV)。

不確かさ: HV で表されます (例: ± 8 HV ± 1 HV)。

9 校正証明書

硬度ブロック番号、硬度値および不確実性。

均一性データと測定点の分布。

校正条件 (負荷、環境)。

標準番号 (GB/T 4340.3-2017)。

校正日、有効期限、オペレーターの署名。

付録 A (参考付録) 標準硬度ブロックの標準値

HV 200 ± 5 : 軟鋼。

HV 800 ± 10 : 硬化鋼。

HV 1800 ± 20 : 硬質合金。

付録 B (規範的付録) 校正サイクルとメンテナンス

校正サイクル: 1 年に 1 回または 500 回使用後。

メンテナンス: 硬度ブロックの表面を傷つけないようにし、乾燥した環境 (湿度 $< 50\% \pm 5\%$ RH) で保管してください。

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


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

en.com

www.ch


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatun

1


www.chinatungsten.com


www.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:

ニッケル基炭化物深海シールおよび深海バルブ

ニッケル基超硬合金（WC + Ni）は、優れた耐食性、耐摩耗性、高強度（2.0～2.8GPa）、高温安定性（>1000℃）により、深海シール、シール、深海バルブの中核材料となっています。深海石油・ガス生産、深海バルブシステム、高压設備（15,000～20,000psi など）に広く使用されています。これらのコンポーネントは、極端な環境（50℃～200℃、H₂S、CO₂、海水腐食）に耐え、NACE MR0175 規格に準拠し、多孔度（<0.01%）、硬度（1400～2200 HV）およびシール性能（漏れ率<10⁻⁶）の要件を満たす必要があります。この記事では、国家規格（GB / T 183762014、GB / T 38502015 など）と業界の慣行を組み合わせ、ニッケルベースのセメントカーバイド深海シールと深海バルブの焼結プロセス、性能、アプリケーション、および選択の推奨事項を詳細に紹介します。

1. ニッケル基超硬合金焼結炉プロセス

ニッケル基超硬合金製の深海用シールおよびバルブは、高温焼結によって製造する必要があります。焼結炉には、真空焼結炉、熱間等方圧加圧（HIP）焼結炉、雰囲気焼結炉などがあり、プロセスパラメータは深海環境に合わせて最適化されています。

1.1 焼結炉の種類とプロセスパラメータ

真空焼結炉:

用途: 複雑な形状のシーリング リング（例: Ø 5200 mm）およびバルブ コンポーネント（例: バルブ シート Ø 50500 mm）の製造。

プロセスパラメータ:

200600℃、加熱速度 25℃/分、真空度 10⁻² Pa、H₂ 流量 515L/分、24 時間、脱蠟率>99.5%。

焼結: 1350～1450℃、加熱速度 5～10℃/分、真空度 10⁻⁴～10⁻⁵ Pa、24 時間保温。

冷却: 1015℃/分（Ar 強制冷却）、100℃ まで。

特性: 密度 14.5～14.9 g/cm³、硬度 1400～2000 HV、多孔度 <0.01%。

熱間等方加圧炉（HIP）:

用途: 高性能シールおよびバルブ（高压バルブコアなど）の製造、微細孔の除去。

プロセスパラメータ:

焼結: 1350～1450℃、加熱速度 58℃/分、圧力 100～150MPa（Ar）、13 時間保温。

後処理: 1300～1350℃、80～100 MPa、12 時間、気孔率は 0.001% 未満に減少しました。

冷却: 1520℃/分（高压 Ar）から 200℃。

特性: 密度>99.9%（14.8～15.0 g/cm³）、硬度 1800～2200 HV、強度 2.2～2.8 GPa。

雰囲気焼結炉:

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

用途：シール（Oリングなど）やバルブ部品（バルブボディなど）の大量生産。

プロセスパラメータ：

脱蠟：200～500° C、加熱速度 35° C/分、H₂ 流量 2050 L/分、O₂ <10 ppm、35 時間。

焼結：1300～1400° C、加熱速度 5～10° C/分、H₂/ Ar 雰囲気、35 時間保温。

冷却：510° C/分（N₂ 保護）、100° C まで。

特性：密度>99%（14.5～14.8 g/cm³）、硬度 1400～1800 HV、寸法偏差±0.1～0.5 mm。

1.2 プロセスの最適化

温度制御：PID+AI アルゴリズム、精度 ±3° C、均一性 ±5° C、熱ストレスを 30% 削減します。

脱蠟：真空+H₂ の組み合わせ、残留炭素<0.05%、Ni 相の酸化を防ぐ。

HIP：1350° C、120 MPa、2 時間保持、密度 0.5% 増加、サイクル 20% 短縮。

雰囲気：H₂ 純度>99.999%、O₂ <5 ppm、酸化率は 50%減少。

2. ニッケル基超硬合金製深海シールの性能

コバルト基超硬合金（WC + Co）と比較して、ニッケル基超硬合金（WC + Ni、Ni 含有量 615%）は、海水腐食および H₂S / CO₂ に対する耐性が強く、過酷な深海環境のニーズを満たします。

2.1 材料特性

組成：WC（8594%）、Ni（615%）、微量 Cr/Mo（耐腐食性向上）。

密度：14.5～15.0 g/cm³（GB/T 38502015）、偏差 ±0.05 g/cm³。

硬度：14002200 HV（GB/T 79972017）、偏差±3050 HV。

強度：曲げ強度 2.0～2.8 GPa（GB/T 38512015）。

多孔度：<0.01%（真空/大気）、<0.001%（HIP、GB/T 51692013）。

耐腐食性：H₂S（>1000 ppm）、CO₂、海水（pH 39）に対する耐性があり、NACE MR0175 に準拠しています。

2.2 シール性能

漏れ率：<10⁻⁶ mbar・L /s（ヘリウムテスト、15,000 psi）。

圧力範囲：真空～20,000 psi（138 MPa）。

温度範囲：50° C ～ 200° C（一般的な深海条件）。

表面処理：Ni/Cr 電気メッキまたは PTFE コーティング、摩擦係数が 20%減少、耐摩耗性が 30%向上。

ダイナミック シール：わずかな動的動き（接続/切断）をサポートし、寿命は 1000 回以上の接続です。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.3 典型的な

O リング：Ø5200mm、圧縮率 1520%、自己強化シール。

C タイプシール：高いスプリング反発力があり、高圧動的シールに適しています。

バルブシール面：バルブシート/バルブコア、表面粗さ Ra0.2～0.4 μm、耐侵食性。

推奨事項：CTIA GROUP LTD が製造するニッケルベースの超硬合金製深海シールおよびシーリング リングは、高度な HIP 焼結技術を採用し、高密度 (>99.9%) と優れた耐腐食性を確保して、深海の石油およびガス採掘のニーズを満たします。

3. ニッケル基超硬合金製深海バルブの性能

深海バルブ（ゲートバルブやボールバルブなど）では、高圧（15,000～20,000 psi）、腐食性流体（海水、H₂S）、頻繁な切り替え（10,000 回超）に対応するために、ニッケルベースのセメントカーバイドを使用してバルブシート、バルブコア、シール面を製造しています。

3.1 バルブ部品の特性

材質：WC+Ni（Ni 812%）、HIP 焼結、密度 > 99.9%。

硬度：1800～2200 HV、耐摩耗性はステライト合金よりも優れています。

強度：2.2～2.8 GPa、耐衝撃性が強く、破壊靱性 KIC 1012 MPa・m^{1/2}。

耐腐食性：海水、H₂S (>1000 ppm)、CO₂ に対する耐性がインコネル 625 より優れています。

表面：鏡面研磨（Ra <0.2 μm）、PTFE/Ni コーティング、摩擦係数 <0.1。

3.2 バルブの性能

圧力：15,000 ～ 20,000 psi（API 6A 規格に準拠）。

温度：50° C ～ 200° C、低温脆化に耐性があります。

漏れ率：<10⁻⁶ mbar・L /s（シート/コアシール）。

寿命：スイッチング>10,000 回、メンテナンス期間>5 年。

典型的な：

バルブシート：ニッケル基硬質合金表面処理、厚さ 25 mm、耐侵食性。

バルブコア：一体型 HIP 焼結、寸法精度±0.01mm。

シール面：C 型または E 型金属シール、弾性変形 15～20%。

推奨事項：CTIA GROUP LTD が製造するニッケル基セメントカーバイド深海バルブ部品は、真空焼結と HIP プロセスを採用し、API 6A および NACE MR0175 規格を満たしており、深海高圧バルブ システムに適しています。

4. アプリケーションシナリオ

深海アザラシ：

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

用途：深海石油・ガス生産用の油圧カプラおよびパイプコネクタ（15,000 psi、50° C ～ 150° C）。

性能：密度 14.8～15.0 g/cm³、硬度 1800～2200 HV、漏れ率 <10⁻⁶ mbar・L /s。

例：O リング（Ø 50 mm）、HIP 焼結、1400° C、120 MPa、4 時間、多孔度 <0.001%、H2S 耐性 1000 ppm、寿命 >1000 接続。

深海バルブ：

シナリオ：深海のクリスマスツリー、チョークバルブ、ゲートバルブ（20,000 psi、H2S/CO2 環境）。

性能：シート硬度 2000 HV、強度 2.5 GPa、スイッチング寿命 >10,000 回。

ケース：ボールバルブシート（Ø 100 mm）、HIP 焼結、1350° C、150 MPa、3 時間、密度 14.9 g/cm³、耐海水腐食性、保守期間 5 年。

5. ニッケル基超硬合金製深海バルブ部品の選定に関する推奨事項

アプリケーション環境に応じて：

深海油圧カプラ（高ダイナミックシール）：

推奨：HIP 焼結 C リング、Ni 含有量 1012%、PTFE コーティング。

理由：スプリングの反発力が高く、漏れ率が 10⁻⁶ mbar・L /s 未満、寿命が 1000 回超。

深海バルブ（高圧、耐腐食性）：

推奨：HIP 焼結バルブシート/バルブコア、Ni 含有量 812%、鏡面研磨。

理由：密度 > 99.9%、H2S/CO2 耐性、スイッチング回数 > 10,000 回。

パフォーマンス要件に応じて：

高精度（±0.01 mm）：真空焼結+HIP、収縮偏差<±0.5%。

高い耐腐食性：Ni 含有量 10～15%、Cr/Mo 微量添加、海水に対して 10 年間耐性。

低漏れ：HIP 焼結、表面 Ra <0.2 μm、Ni /PTFE コーティング。

コスト予算によると：

低コスト：雰囲気焼結炉、0.8 kWh/kg、大量のシールに適しています。

高性能：HIP 焼結炉、2 kWh/kg、バルブの重要なコンポーネントに適しています。

焼結炉の選択：

小規模および中規模のバッチ（<50 kg/炉）：柔軟性の高いシングルチャンバー真空焼結炉。

大量バッチ（>200 kg/炉）：マルチチャンバー真空/雰囲気焼結炉、コストを 20% 削減。

高性能：HIP 焼結炉、密度>99.9%、多孔度<0.001%。

6. 最適化の提案

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

焼結プロセス:

温度制御: $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 、均一性 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 、製品の一貫性が 10% 向上しました。

脱蠟: 真空 (10^{-2}Pa) +H₂ (10L/分)、残留炭素<0.05%。

HIP: 1350° C、120 MPa、2 時間、強度が 15% 増加します。

材料:

Ni 含有量: 1012%、硬度と耐食性のバランス。

コーティング: Ni/PTFE、摩擦係数が 20%減少、耐摩耗性が 30%増加。

微量元素: Cr/Mo 0.52%、H₂S 耐性が 25%増加。

機器のメンテナンス:

オンライン監視: 温度、圧力、O₂ をリアルタイムで監視し、故障率を 20% 削減します。

コンポーネント検査: モリブデン/タングステン発熱体は 4,000 時間ごとにメンテナンスを行う必要があります、寿命が 25% 長くなります。

7. 標準

GB/T 345052017: 寸法精度 $\pm 0.01\text{ mm}$ 。

GB/T 183762014: 多孔度 <0.01%。

GB/T 38502015: 密度>99%。

GB/T 51692013: 多孔度 A02B00C00。

GB/T 38512015: 強度 2.0-2.8 GPa 。

GB/T 7997-2017: 硬度 1400-2200 HV。

NACE MR 0175: H₂S/CO₂ 腐食に耐性があります。

API 6A: 深海バルブ圧力 15,000 ~ 20,000 psi。

8. 結論

ニッケル基超硬合金製の深海シールとバルブは、高密度 (> 99.9%)、硬度 (1400~2200 HV)、耐腐食性 (H₂S/CO₂/海水に対する耐性)、および低漏洩率 (< $10^{-6}\text{ mbar} \cdot \text{L} / \text{s}$) を備え、深海石油およびガス採掘の厳しい要件を満たしているため、広く使用されています。真空焼結炉、HIP 焼結炉、および雰囲気焼結炉は、それぞれ高精度、高性能、および大量生産に適しています。プロセスパラメータの最適化 (1350° C、120 MPa、H₂ O₂ <5 ppm など) により、製品のパフォーマンスが大幅に向上します。CTIA GROUP LTD は、ニッケル基超硬合金製の深海シール、シーリングリング、およびバルブの製造に高度な焼結技術を採用し、深海エンジニアリングを支援する信頼性の高いソリューションを提供しています。

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



付録:

ニッケル基炭化物ケミカルポンプ本体およびシール

ニッケル基超硬合金（WC + Ni）は、優れた耐腐食性、耐摩耗性、高強度（2.0～2.8 GPa）、高温安定性（> 1000° C）を特徴としており、化学ポンプの本体、シール、シール材に最適な材料です。化学、石油、製薬業界では、腐食性流体（酸、アルカリ、塩水など）、高温（50～300° C）、高圧（500～5000 psi）に対応するために広く使用されています。これらの部品は、硬度（1400～2200 HV）、多孔度（< 0.01%）、シール性能（リーク率 < 10^{-6} mbar・L / s）、耐腐食性（NACE MR0175 準拠）など、厳しい性能要件を満たす必要があります。この記事では、国家規格（GB/T 183762014、GB/T 38502015 など）と業界の慣行を組み合わせ、ニッケル基セメント炭化物化学ポンプ本体とシールの焼結プロセス、性能、用途、選択の推奨事項を詳細に紹介します。

1. ニッケル基超硬合金焼結炉プロセス

ニッケル基超硬合金製ケミカルポンプ本体およびシールは、高温焼結法で製造されます。焼結炉には、真空焼結炉、熱間等方圧加圧（HIP）焼結炉、雰囲気焼結炉があり、プロセスパラメータは化学腐食環境に合わせて最適化されています。

1.1 焼結炉の種類とプロセスパラメータ

真空焼結炉:

用途: 精密シール（例: Ø 5150 mm）およびポンプ部品（例: インペラー Ø 50300 mm）の製造。

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

プロセスパラメータ:

200600℃、加熱速度 25℃/分、真空度 10^{-2} Pa、H₂ 流量 515L/分、24 時間、脱蠟率>99.5%。

焼結: 1350~1450℃、加熱速度 5~10℃/分、真空度 10^{-4} ~ 10^{-5} Pa、24 時間保温。

冷却: 1015° C/分 (Ar 強制冷却)、100° C まで。

特性: 密度 14.5~14.9 g/cm³、硬度 1400~2000 HV、多孔度 <0.01%。

熱間等方加圧炉 (HIP):

用途: 高性能シールおよびポンプ本体 (例: ポンプハウジング $\varnothing$ 100 ~ 500 mm) の製造、微細孔の除去。

プロセスパラメータ:

焼結: 1350~1450℃、加熱速度 58℃/分、圧力 100~150MPa (Ar)、13 時間保温。

後処理: 1300 ~ 1350° C、80 ~ 100 MPa、12 時間、気孔率は 0.001% 未満に減少します。

冷却: 1520° C/分 (高圧 Ar) から 200° C。

特性: 密度>99.9% (14.8~15.0 g/cm³)、硬度 1800~2200 HV、強度 2.2~2.8 GPa。

雰囲気焼結炉:

用途: シール (メカニカルシールなど) やポンプ部品 (ブッシングなど) の量産。

プロセスパラメータ:

脱蠟: 200~500° C、加熱速度 35° C/分、H₂ 流量 2050 L/分、O₂ <10 ppm、35 時間。

焼結: 1300~1400℃、加熱速度 5~10℃/分、H₂/ Ar 雰囲気、35 時間保温。

冷却: 510° C/分 (N₂ 保護)、100° C まで。

特性: 密度>99% (14.5~14.8 g/cm³)、硬度 1400~1800 HV、寸法偏差 ± 0.1 ~ 0.5 mm。

1.2 プロセスの最適化

温度制御: PID+AI アルゴリズム、精度 $\pm 3^{\circ}$ C、均一性 $\pm 5^{\circ}$ C、熱応力の 30% 削減。

脱蠟: 真空+H₂ の組み合わせ、残留炭素<0.05%、Ni 相の酸化を防ぐ。

HIP: 1350° C、120 MPa、2 時間保持、密度 0.5% 増加、サイクル 20% 短縮。

雰囲気: H₂ 純度>99.999%、O₂ <5 ppm、酸化率は 50%減少。

2. ニッケル基セメント炭化物ケミカルポンプ本体の性能

化学ポンプ本体 (遠心ポンプケーシング、インペラ、ブッシングなど) は、腐食性流体 (硫酸、塩酸など) や研磨粒子 (固形分含有量 < 20%) に対処するためにニッケル基セメントカーバイドで作られています。

2.1 材料特性

組成: WC (85.94%)、Ni (6.15%)、Cr/Mo (0.52%) により耐食性が強化されます。

密度: 14.5~15.0 g/cm³ (GB/T 38502015)、偏差 ± 0.05 g/cm³。

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

硬度：1400~2200 HV（GB/T 79972017）、偏差±3050 HV。
強度：曲げ強度 2.0~2.8 GPa（GB/T 38512015）。
多孔度：<0.01%（真空/大気）、<0.001%（HIP、GB/T 51692013）。
耐腐食性：硫酸（50%）、塩酸（30%）、NaOH（40%）に耐性があり、NACE MR0175 に準拠しています。

2.2 ポンプの性能

圧力：500~5000 psi、中圧および高压化学ポンプに適しています。
温度：50~300° C、高温流体に耐性があります。
耐摩耗性：摩耗損失 <0.05 mm³/h（ASTM G65）、316L ステンレス鋼よりも優れています。
表面処理：Ni/Cr 電気メッキまたは DLC コーティング、摩擦係数が 20%減少、耐摩耗性が 30%向上。
寿命：連続動作 >10,000 時間、メンテナンス サイクル >2 年。

2.3 典型的な

ポンプケーシング：Ø 100~500 mm、壁厚 520 mm、HIP 焼結、高压耐性。
インペラ：Ø 50300 mm、複雑曲面、精度±0.05 mm。
ブッシング：Ø 20100 mm、表面 Ra <0.4 µm、耐摩耗性。
推奨事項：CTIA GROUP LTD が製造するニッケル基セメントカーバイド化学ポンプ本体は、HIP 焼結プロセスを採用し、高密度（>99.9%）と優れた耐腐食性を確保して、化学業界の厳しい要件を満たします。

3. ニッケル基炭化物シールの性能

シール（メカニカル シーリング リングや O リングなど）は、腐食性流体の漏れを防ぐために、化学ポンプの動的および静的シーリングに使用されます。

3.1 材料特性

材質：WC+Ni（Ni 812%）、HIP 焼結、密度 > 99.9%。
硬度：1800~2200 HV、耐摩耗性は SiC より優れています。
強度：2.22.8 GPa、破壊靱性 KIC 1012 MPa・m^{1/2}。
耐腐食性：酸、アルカリ、塩溶液に対する耐性はシリコンカーバイドよりも優れています。
表面：鏡面研磨（Ra <0.2 µm）、PTFE/DLC コーティング、摩擦係数 <0.1。

3.2 シール性能

漏れ率：<10⁻⁶ mbar・L/s（ヘリウムテスト、3000 psi）。
圧力：真空~5000 psi。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

温度：50～300° C、高温流体に耐性があります。

ダイナミックシール：速度 1000 ～ 5000 rpm、寿命 >5000 時間。

静的シール：圧縮率 1520%、寿命 >10,000 時間。

3.3 典型的な

メカニカルシールリング：Ø 10150 mm、平面度 <0.001 mm、耐高圧。

O リング：Ø 5100 mm、自己強化シール、耐腐食性。

ベローズシール：弾力性が高く、動的シールに適しています。

推奨事項：CTIA GROUP LTD が製造するニッケルベースの炭化物シールとシーリング リングは、真空焼結と HIP 技術を採用しており、化学ポンプの高耐腐食性と低漏れ要件を満たしています。

4. アプリケーションシナリオ

ケミカルポンプ本体：

シナリオ：硫酸（50%）、塩酸（30%）、または粒子（固形分 <20%）を含む液体の輸送（肥料工場、製油所など）。

性能：密度 14.8～15.0 g/cm³、硬度 1800～2200 HV、寿命 >10,000 時間。

ケース：遠心ポンプケーシング（Ø 200 mm）、HIP 焼結、1400° C、120 MPa、4 時間、多孔度 <0.001%、耐硫酸腐食性、12,000 時間の稼働。

シール：

シナリオ：化学ポンプのメカニカルシール、パイプ接続（3000 psi、100 ～ 200° C）。

性能：硬度 2000 HV、漏れ率 <10⁻⁶ mbar・L /s、動的寿命 >5000 時間。

例：メカニカルシールリング（Ø 50 mm）、HIP 焼結、1350° C、150 MPa、3 時間、密度 14.9 g/cm³、NaOH 耐性 40%、寿命 6000 時間。

5. 選定に関する推奨事項

アプリケーション環境に応じて：

腐食性流体（酸/塩基）：

推奨：HIP 焼結ポンプハウジング/シールリング、Ni 含有量 1012%、DLC コーティング。

理由：硫酸/塩酸に耐性があり、寿命は 10,000 時間以上です。

研磨液（粒子を含む）

推奨：HIP 焼結インペラ/ブッシング、Ni 812%、硬度 2000 HV。

理由：摩耗率 <0.05 mm³/h、耐摩耗性。

パフォーマンス要件に応じて：

高精度（±0.05 mm）：真空焼結+HIP、収縮偏差<±0.5%。

高い耐腐食性：Ni 1015%、Cr/Mo 0.52%、5年間の耐酸・耐アルカリ性。

低漏れ：HIP 焼結、Ra <0.2 μm、PTFE /DLC コーティング。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

コスト予算によると：

低コスト：雰囲気焼結炉、0.8 kWh/kg、大量のシールに適しています。

高性能：HIP 焼結炉、2 kWh/kg、主要なポンプ部品に最適です。

焼結炉の選択：

小規模および中規模のバッチ (<50 kg/炉)：柔軟性の高いシングルチャンバー真空焼結炉。

大量バッチ (>200 kg/炉)：マルチチャンバー真空/雰囲気焼結炉、コストを 20% 削減。

高性能：HIP 焼結炉、密度>99.9%、多孔度<0.001%。

6. 最適化の提案

焼結プロセス：

温度制御：±3° C、均一性 ±5° C、一貫性が 10% 向上。

脱蠟：真空 (10⁻² Pa) + H₂ (10 L/分)、残留炭素<0.05%。

HIP：1350° C、120 MPa、2 時間、強度が 15% 増加します。

材料：

Ni 含有量：1012%、硬度と耐食性のバランス。

コーティング：PTFE/DLC、摩擦係数 20%低減、耐摩耗性 30%向上。

微量元素：Cr/Mo 0.52%、耐酸性および耐アルカリ性が 25%向上します。

機器のメンテナンス：

オンライン監視：温度、圧力、O₂ をリアルタイムで監視し、故障率を 20% 削減します。

コンポーネント検査：モリブデン/タングステン発熱体は 4,000 時間ごとにメンテナンスを行う必要があります、寿命が 25% 長くなります。

7. 標準

GB/T 345052017:寸法精度±0.05 mm。

GB/T 183762014: 多孔度 <0.01%。

GB/T 38502015: 密度>99%。

GB/T 51692013: 多孔度 A02B00C00。

GB/T 38512015:強度 2.0-2.8 GPa 。

GB/T 7997-2017: 硬度 1400-2200 HV。

NACE MR0175: 酸およびアルカリに対する耐腐食性。

API 610: ケミカルポンプの性能要件。

8. 結論

ニッケル基セメントカーバイド製ケミカルポンプ本体およびシールは、高密度(> 99.9%)、硬度(1400~2200 HV)、耐腐食性(酸、アルカリ/塩溶液に対する耐性)、および低漏れ率(< 10⁻⁶ mbar・L /s)を特徴としており、化学業界の厳しい要件を満たしています。真空焼結炉、HIP 焼結炉、および雰囲気焼結炉は、それぞれ高精度、高性能、および大量生

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

産に適しています。最適化されたプロセス（1350° C、120 MPa、H₂ O₂ <5 ppm など）により、製品のパフォーマンスが大幅に向上します。CTIA GROUP LTD は、ニッケル基セメントカーバイドシール、シーリングリング、およびケミカルポンプ本体の製造に高度な焼結技術を使用し、化学機器の効率的な運用に役立つ信頼性の高いソリューションを提供しています。

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



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