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

（ VI ）

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

タングステン、モリブデン、希土類元素産業におけるインテリジェント製造の世界的リーダー

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

CTIA GROUP
の紹介

CHINATUNGSTEN ONLINE が設立した、独立した法人格を持つ完全子会社である CTIA GROUP LTD は、インダストリアル・インターネット時代におけるタングステンおよびモリブデン材料のインテリジェントで統合された柔軟な設計と製造の推進に尽力しています。CHINATUNGSTEN ONLINE は、1997 年に www.chinatungsten.com （中国初の一流タングステン製品ウェブサイト）を起点に設立され、タングステン、モリブデン、希土類元素産業に特化した中国の先駆的な e コマース企業です。 CTIA GROUP は、タングステンおよびモリブデン分野での約 30 年にわたる豊富な経験を活かし、親会社の優れた設計・製造能力、優れたサービス、世界的なビジネス評判を継承し、タングステン化学薬品、タングステン金属、超硬合金、高密度合金、モリブデン、モリブデン合金の分野で包括的なアプリケーションソリューションプロバイダーになりました。

CHINATUNGSTEN ONLINE は、過去 30 年間で 200 以上の多言語対応タングステン・モリブデン専門ウェブサイトを開設し、20 以上の言語に対応しています。タングステン、モリブデン、希土類元素に関するニュース、価格、市場分析など、100 万ページを超える情報を掲載しています。2013 年以来、WeChat 公式アカウント「CHINATUNGSTEN ONLINE」は 4 万件以上の情報を発信し、 10 万人近くのフォロワーを抱え、世界中の数十万人の業界関係者に毎日無料情報を提供しています。ウェブサイト群と公式アカウントへの累計アクセス数は数十億回に達し、タングステン、モリブデン、希土類元素業界における世界的に権威のある情報ハブとして認知され、24 時間 365 日、多言語ニュース、製品性能、市場価格、市場動向などのサービスを提供しています。

CTIA GROUP は CHINATUNGSTEN ONLINE の技術と経験を基盤とし、顧客の個別ニーズへの対応に注力しています。AI 技術を活用し、顧客と共同で、特定の化学組成と物理的特性（粒径、密度、硬度、強度、寸法、公差など）を持つタングステン・モリブデン製品を設計・製造し、型開き、試作、仕上げ、梱包、物流まで、全工程を統合したサービスを提供しています。過去 30 年間、CHINATUNGSTEN ONLINE は、世界中の 13 万社以上の顧客に、50 万種類以上のタングステン・モリブデン製品の研究開発、設計、製造サービスを提供し、カスタマイズ可能で柔軟性が高く、インテリジェントな製造の基盤を築いてきました。CTIA GROUP はこの基盤を基に、インダストリアルインターネット時代におけるタングステン・モリブデン材料のインテリジェント製造と統合イノベーションをさらに深化させています。

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

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

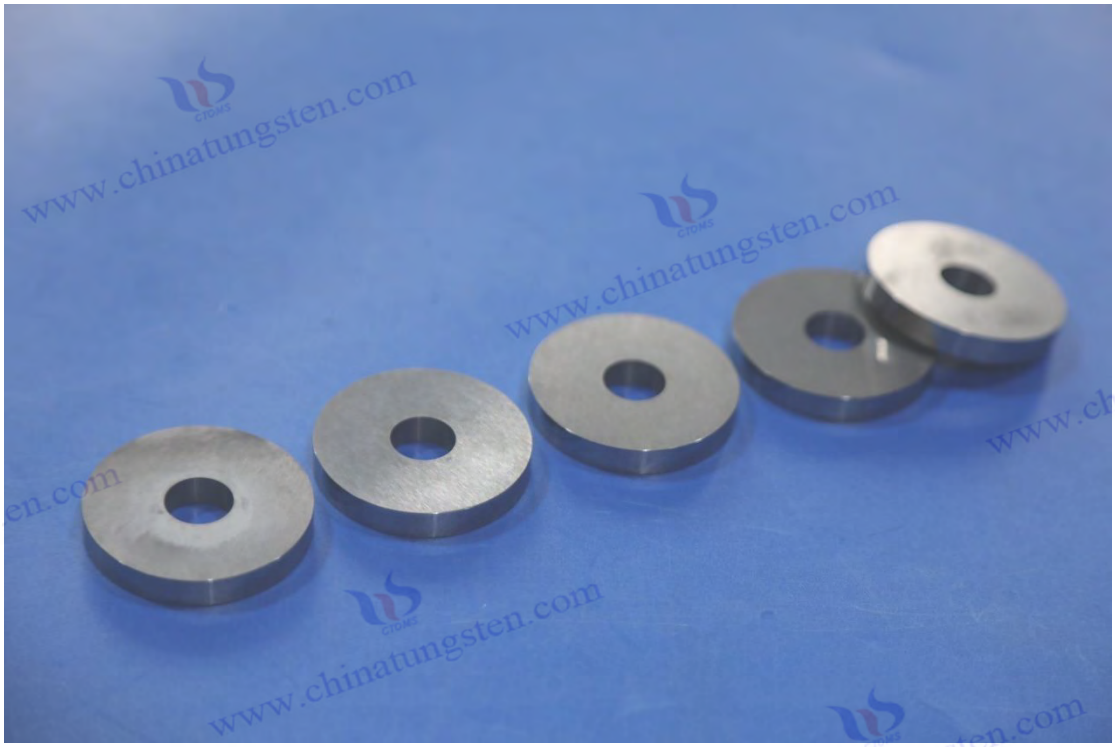
Tel : +86 592 5129696

Official **website** : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved



パート 2：超硬合金の製造プロセス

第 6 章 コーティングと複合技術

硬質合金（ WCCo ）は、優れた硬度（HV1500～2500±30）、良好な靭性（K_1c 8～20 MPa・$m^{1/2}$ ± 0.5）、そして優れた圧縮強度（>4000 MPa±100 MPa）を有し、航空宇宙、鉱業、エネルギー、深海工学などの分野で重要な役割を果たしています。しかし、高温（>1000° C±10° C）、強い腐食（pH<4±0.1）、高衝撃（>10^3 Hz ± 100 Hz）といった過酷な使用条件下では、表面性能に対する要求がより高くなり、単一の硬質合金ではこれらの要求を完全に満たすことは困難です。

～200μm±1μm ）と構造最適化（傾斜層、ナノ WC <100 nm ±5 nm）により、耐摩耗性（摩耗速度 <0.06 mm^3 / N・m ± 0.01 mm^3 / N・m ） 、耐腐食性（腐食速度 <0.01 mm/年 ± 0.002 mm /年 ）、耐熱疲労性（寿命> 10^5 倍 ± 10^4 倍）を大幅に向上させます。これらの技術は、超硬合金の耐用年数を延ばすだけでなく、航空タービンブレード（寿命 > 5000 時間 ± 500 時間）、鉱山ドリルビット（> 1500 m ± 100 m）、深海バルブ（> 5 年 ± 0.5 年）など、その応用範囲を拡大します。

この章では、**セメント炭化物コーティングの準備、 コーティング材料、傾斜およびナノ構造の超硬合金、コーティング性能テスト**。コーティングの準備は、熱噴射技術（HVOF、APS、デトネーション噴霧など）に焦点を当て、噴霧パラメータ（速度 600～4000 m / s±10 m / s、温度 2000～15000 ° C±100° C）を最適化することにより、高硬度コーティング

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

（HV 1200〜1500±30）を実現します。材料の最適化は、 WCCo 、 WCNiCr 、および多相コーティング（WCTiCNi など）をカバーし、硬度と靭性（K_{1c} 10〜15 MPa・$m^{1/2}$ ± 0.5）のバランスをとります。傾斜とナノ構造は、インターフェースエンジニアリングとナノ結晶強化により、総合的なパフォーマンス（強度> 4500 MPa±100 MPa）を向上させます。性能テストは、標準（ASTM G65、ISO 6508 など）に従ってコーティングの信頼性を検証します。各セクションでは、プロセスの詳細、科学的メカニズム、最適化戦略、エンジニアリングの実践を組み合わせて、コーティングおよび複合技術の中核的な価値を明らかにします。

たとえば、HVOF 溶射 WC12Co コーティング（速度 700 m/s±10 m/s、厚さ 100μm±1μm）により、航空タービンブレードは高温気流 （1000° C±10° C） 中でも低摩耗 （<0.05 mm^3/N・m±0.01 mm^3/ N・m ） を維持し、耐用年数は 5000 時間 ± 500 時間を超えます。勾配 WCCo（Co 含有量 5%-15%±1%）により、掘削深度 1800 m±100 m での採掘ドリルビットの耐衝撃性が向上します。ナノ WC コーティング （粒子 <100 nm±5 nm）は深海バルブに使用され、耐腐食性は 5 年 ± 0.5 年を超えます。この章は、プロセスパラメータと性能データを通じて第 5 章（成形と焼結、WC 粒子サイズ 0.1-10μm±0.01μm、密度>99.5%±0.1%） とシームレスに接続し、後続の章 （アプリケーションと最適化） の基礎を築きます。

6.1 超硬合金コーティングの準備

超硬合金コーティングは、溶射、物理/化学蒸着（PVD/CVD）、またはレーザークラッディングによって、高性能基材（硬度 HV 1500〜2500±30、表面粗さ Ra<0.05μm±0.01μm）上に機能性コーティング（厚さ 10〜200μm±1μm、硬度 HV 1200〜1500±30）を堆積するものです。これらのコーティングは、耐摩耗性（摩耗速度<0.06 mm^3/N・m±0.01 mm^3/N・m） 、耐腐食性（腐食速度<0.01 mm/年±0.002 mm/年）、および高温酸化耐性（酸化重量増加<0.1 mg/cm^2 ±0.02 mg/cm^2 ）を大幅に向上させ、厳しい作業条件の要件を満たします。熱噴射技術は、その高い効率（堆積率 > 90% ± 2%）、柔軟性（適用可能な基板サイズ > 100 mm ± 1 mm）、および経済性（コスト < $500/$m^2$ ± $ 50）により好まれる選択肢であり、航空、鉱業、エネルギー分野で広く使用されています。

本章では、高速酸素燃料噴射（HVOF）、プラズマ噴射（APS）、デトネーション噴射という 3 つの主流技術について詳細に解説し、それぞれのプロセス原理、パラメータ最適化、適用シナリオを分析します。コーティング品質は、噴射パラメータ（速度、温度、噴射距離）、粉末特性（粒径 10〜50μm±1μm、流動性 12〜15 秒/50g±0.5 秒）、および基材前処理（粗さ Ra 2〜5μm±0.1μm）に依存します。本章では、熱流体力学（噴射速度 600〜4000 m/s±10 m/s）と界面接合メカニズム（接合強度 50〜80 MPa±5 MPa）を通して、コア技術を明らかにします。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

例えば、HVOF 溶射による WC12Co コーティング（気孔率<1%±0.2%）は、航空機タービンブレードに使用され、摩耗寿命は 5000 時間±500 時間以上です。また、APS 溶射による WCNiCr コーティング（厚さ 150μm±1μm）は、鉱山用ドリルビットの寿命を 1500m±100m まで延長します。以下は、プロセスの詳細、影響要因、およびエンジニアリングの実践の観点から、高性能コーティングを作製するための包括的なガイドです。

6.1.1 高速酸素燃料噴霧（HVOF、コーティング硬度 HV 1200-1500）

プロセス原理と技術の概要

高速酸素燃料溶射（HVOF）は、酸素と燃料の燃焼により高温・高速のジェットを発生させ、超硬合金基材に粉末材料を堆積させることで、高硬度・耐摩耗性を有するコーティングを形成する高効率溶射技術です。HVOF の核となるのは超音速ジェット（速度 600～800 m/s±10 m/s）で、このジェットが粉末粒子（ WCCo 、粒径 10～45μm±1μm）を部分的に溶融し、基材に高速で衝突させることで、緻密なコーティング（気孔率<1%±0.2%）を形成します。

HVOF は従来の溶射法と比較して、低温（2000～3000℃±50℃）で WC の分解を効果的に回避（<0.5%±0.1%）し、高性能超硬合金コーティングの製造に適しています。HVOF 装置は、溶射ガン（出力>100kW±10kW）、燃焼室（圧力 5～10bar±0.5bar）、ラバルノズル（スロート径 8～12mm±0.1mm）で構成されています。酸素（純度>99.5%±0.1%、流量 800～1200L/分±10L/分）が燃焼室で燃料（灯油など、流量 0.3～0.5L/分±0.01L/分）と反応し、高いエンタルピー（>10MJ/kg±0.5MJ/kg）を放出します。

ラバルノズルを通してジェットは超音速まで加速され、粉末を基材（粗さ Ra 2～5μm±0.1μm）に衝突させ、扁平な飛沫粒子（直径 50～100μm±5μm）を形成します。これにより、50～80MPa±5MPa の接合強度が確保されます。このプロセスにより、コーティング硬度は HV 1200～1500±30 に達し、航空、鉱業などの分野で広く使用されています。

プロセスパラメータと堆積メカニズム

HVOF コーティングの形成には、燃焼、粒子加速、溶融、堆積の 4 つの段階があります。

燃焼段階

酸素は燃料と反応して高温ジェット（3000℃±50℃）を発生させます。この温度は WC の分解点（約 3500℃±50℃）よりも低いため、炭化物の損失（<0.5%±0.1%）が低減されます。熱エンタルピー（>10 MJ/kg±0.5 MJ/kg）により、粒子が完全に加熱されます。

粒子加速

粉末はジェット内で加速され（速度 700 m/s±10 m/s、滞留時間<1 ms±0.1 ms ） 、表面が溶融し（溶融率 70%～90%±2%）、中心部は固体のまま（溶融<50%±5%）、WC 粒子（0.5～2μm±0.01μm）が保持されます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

粒子の溶融と衝突

半溶融粒子が基板に衝突して平らなスパッタを形成し、機械的な連結と痕跡拡散（深さ<1μm±0.1μm）により高い接合強度（>60 MPa±5 MPa）が形成されます。

コーティングの固化

急速冷却（速度 >10^{6} K/s±10^{5} K/s）により、硬度 HV 1400±30 の緻密なコーティング（多孔度 <1%±0.2%）が形成されます。

ジェットダイナミクスはベルヌーイの定理（速度 約$\sqrt{(2\Delta P/\rho)}$、ρ 約 1 kg/m^{3} ± 0.1 kg/m^{3} ）に従い、熱伝導率は 10^{4} W/m^{2} • K±10^{3} W/m^{2} • K です。スプレー距離（250 mm±5 mm）と酸素流量（1000 L/min±10 L/min）を最適化することで、気孔率を 0.8%±0.1%未満に低減できます。例えば、HVOF スプレーWC12Co（速度 700 m/s±10 m/s、厚さ 100μm±1μm）コーティングは、硬度 HV 1400±30、気孔率<0.8%±0.1%であり、航空タービンブレードの高い耐摩耗性要件を満たしています。

影響要因の分析

コーティングの性能は多くの要因の影響を受け、正確に制御する必要があります。

噴霧速度

700 m/s±10 m/s の速度では、緻密なコーティング（気孔率<1%±0.2%）が形成されます。600 m/s±10 m/s 未満では、粒子の運動エネルギーが不十分となり、気孔率は 2%±0.5%を超えます。800 m/s±10 m/s を超えると、粒子は破砕され（<5μm±1μm）、硬度は 3%±0.5%低下します（HV<1200±30）。

粉末粒子サイズ

10～45μm±1μm の粒子径では、流動性（12～15 秒/50g±0.5 秒）と融解速度（>80%±2%）が確保されます。10μm±1μm 未満の粒子径では揮発性（>5%±1%）、多孔度（>1.5%±0.2%）が高くなります。45μm±1μm を超える粒子径では、融解が不十分（<60%±2%）となり、接着強度は<40MPa±5MPa に低下します。

スプレー距離

250 mm ± 5 mm の場合、平衡粒子温度（約 2000° C ± 50° C）。スプレー距離が 200 mm ± 5 mm 未満の場合、過熱（3000° C ± 50° C 超）により WC の分解（1% ± 0.2%超）が発生します。スプレー距離が 300 mm ± 5 mm を超える場合、粒子の冷却（1500° C ± 50° C 未満）が発生し、接着強度は 50 MPa ± 5 MPa 未満になります。

マトリックス粗さ

Ra 2～5μm±0.1μm の場合、機械的結合力が向上します（接合強度：60MPa±5MPa 以上）。粗さが 1μm±0.1μm 未満の場合、接合強度は 40MPa±5MPa 未満となります。8μm±0.1μm を超える場合、応力集中が発生し、ひび割れ率は 1%±0.2%以上となります。

燃料流量

0.4 L/分±0.01 L/分で安定したエネルギー（>10 MJ/kg±0.5 MJ/kg）が得られます。流量が 0.3 L/分±0.01 L/分未満の場合、多孔度は 2%±0.5%を超えます。0.5 L/分±0.01 L/分を超える場合、酸化率は 0.1%±0.02%を超えます。

最適化戦略は

、高硬度（HV 1400±30）かつ低気孔率（<0.8%±0.1%）のコーティングを得ることです。推奨される条件は、粒子径 10～30μm±1μm の WC12Co 粉末を使用し、高い流動性（12～

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

15 秒/50g±0.5 秒）と溶融速度（>80%±2%）を確保することです。スプレー速度を 700 m/s±10 m/s、スプレー距離を 250 mm±5 mm に制御します。基材粗さを Ra 3μm±0.1μm に制御し、接合強度（>70 MPa±5 MPa）を向上させます。燃料流量を 0.4 L/分±0.01 L/分、酸素流量を 1000 L/分±10 L/分に設定します。閉ループ制御システム（温度偏差<50°C±10°C）を採用して、プロセスの一貫性（多孔度偏差<0.1%±0.02%）を向上させます。

エンジニアリングアプリケーションの実践

HVOF コーティングは過酷な環境でも優れた性能を発揮します。

航空タービンブレード

HVOF 溶射 WC12Co コーティング（厚さ 100μm±1μm、硬度 HV 1400±30）は、摩耗率が<0.05 mm³/N・m±0.01 mm³/N・m であり、1000°C±10°C の高温気流（速度>300 m/s±10 m/s）での耐用年数が>5000 時間±500 時間であり、コーティングされていない基板（<2000 時間±200 時間）よりもはるかに長くなっています。

鉱山用ドリルビット

HVOF 溶射 WC10Co4Cr コーティング（気孔率 <0.8%±0.1%、接着強度 >70 MPa±5 MPa）は、硬岩掘削（衝撃周波数 >10 ³ Hz ± 100 Hz）において 1500 m±100 m の耐用年数を持ち、50%±5% の増加となります。

深海バルブ

HVOF 溶射 WCNiCr コーティング（厚さ 150μm±1μm、硬度 HV 1300±30）は、海水腐食環境（pH 8±0.1、深さ 5000 m±100 m）で 5 年±0.5 年を超える耐食寿命を持ち、従来のコーティング（<3±0.5 年）よりも優れています。

6.1.2 プラズマ溶射（APS）とデトネーション溶射

プロセス原理と技術概要

プラズマ溶射（APS）とデトネーション溶射は、それぞれプラズマとデトネーション衝撃波によって粉末の堆積を促進する高エネルギー溶射技術であり、超硬合金基板（粗さ Ra 2～5μm±0.1μm)の表面改質に適しています。APS は高温プラズマ流(> 10000°C±100°C）を使用して粉末を完全に溶融し、より厚いコーティング（50～300μm±1μm）を形成します。デトネーション溶射は高周波爆発（5～10 Hz±0.1 Hz）を使用して超高速粒子（2000～4000 m/s±10 m/s）を生成し、高密度コーティング（気孔率<0.5%±0.1%）を形成します。 APS は複雑な形状（曲率半径>5mm±0.1mm）に適しており、デトネーションスプレーは高い接着強度（>80MPa±5MPa）で知られており、航空および深海における高い信頼性要件を満たしています。コーティング硬度は HV1000～1400±30 の範囲で、耐摩耗性と耐腐食性が大幅に向上します。

例えば、APS 溶射 WC12Co コーティング（厚さ 150μm±1μm）は鉱山用ドリルビットに使用され、寿命は 1200m±100m です。また、爆発溶射 WCNiCr コーティング（接着強度＞80MPa±5MPa)は航空ノズルに使用され、摩耗寿命は 3000 時間±300 時間を超えています。本セクションでは、プロセスパラメータ、堆積メカニズム、および適用シナリオの観点から、これらの技術的特徴について説明します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

プロセスパラメータと堆積メカニズム

プラズマ溶射（APS）

APS はプラズマガン（出力 30〜100kW±5kW）を使用して高温プラズマ流（温度 >10000° C±100° C、速度 800〜1200 m / s±10 m / s）を発生させ、粉末（ WCCo 、粒径 15〜50μm±1μm、流動性 12〜15 秒/ 50g±0.5 秒）を完全に溶融し（溶融速度> 95%±2%）、基板に堆積します。パラメータには、プラズマガス（ Ar / H_2混合ガス、流量 50〜80 L / min±1 L / min、 Ar 純度> 99.99%±0.01%）、スプレー距離（100〜150 mm±5 mm）、アークパラメータ（電圧 50〜80 V±1 V、電流 500〜1000 A±10 A）が含まれます。堆積機構はプラズマダイナミクス（イオン密度 10^{22} m^{-3} ± 10^{21} m^{-3} ）に基づいています。粉末が完全に溶融した後、基材に衝突してスプラッシュ層（厚さ 5〜10μm±0.1μm/層）を形成します。冷却後、コーティングの気孔率は 1%〜2%±0.2%、接着強度は 50〜70MPa±5MPa です。例えば、APS 溶射 WC12Co コーティング（厚さ 150μm±1μm）は、硬度 HV 1200±30、気孔率は 1.5%±0.2%であり、鉱山用ドリルビットの耐摩耗性要件を満たしています。

デトネーション噴霧

デトネーション噴霧は、燃料と酸素の混合物（C_2H_2 / O_2 、比率 2.5：1±0.1）を密閉空洞（圧力>10MPa±0.5MPa、温度~4000℃±50℃）内で爆発させ、粉末（ WCNiCr 、粒径 20〜50μm±1μm）を超高速（2000〜4000 m/s±10 m / s）で基板に衝突させます。パラメータには、爆発周波数（5〜10 Hz±0.1 Hz）、噴霧距離（150〜200 mm±5 mm）、燃料比率（C_2H_2 / O_2 2.5 : 1±0.1）が含まれます。このメカニズムは、衝撃波の伝播（速度>3000 m/s±10 m/s）、粉末の部分溶融（溶融速度 60%〜80%±2%）、および超高密度コーティング（気孔率<0.5%±0.1%、接合強度>80 MPa±5 MPa）に基づいています。例えば、デトネーションスプレー法による WCNiCr コーティング（厚さ 100μm±1μm）は、硬度 HV 1300±30、接合強度>80 MPa±5 MPa を有しています。このコーティングは航空機ノズルに使用され、摩耗寿命は 3000 時間±300 時間を超えています。

影響要因の分析

プラズマ溶射（APS）

プラズマパワー

50kW±5kW の出力で粉末の完全溶融（>95%±2%）が保証されます。出力<30kW±5kW、気孔率>3%±0.5%、>100kW±5kW、基板過熱（>500° C±10° C）、クラック率>0.5%±0.1%。

スプレー距離

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

120 mm±5 mmの場合、堆積効率が最適化されます（接着強度 > 60 MPa ± 5 MPa）。スプレー距離 < 100 mm ± 5 mmの場合、コーティング剥離率は > 1% ± 0.2%、> 150 mm ± 5 mmの場合、気孔率は > 2% ± 0.2% です。

粉末粒子サイズ

15～45μm±1μmでは、溶融と析出がバランスよく進行しています。粒子径が15μm±1μm未満の場合、揮発性は5%±1%を超えます。45μm±1μmを超える場合、硬度は2%±0.5%低下します（HV<1100±30）。

基板温度

200°C±10°C未満では応力集中を避けてください（50 MPa±5 MPa未満）。300°C±10°Cを超える場合は、ひび割れ率が0.5%±0.1%を超えないようにしてください。

爆発噴霧

爆発頻度

8Hz±0.1Hzでコーティング厚さ（10μm±0.1μm/回）を制御します。周波数が10Hz±0.1Hzを超える場合、クラック率は0.5%±0.1%を超えます。周波数が5Hz±0.1Hz未満の場合は、効率が30%±5%低下します。

スプレー距離

180 mm ± 5 mmの場合、接着強度（> 80 MPa ± 5 MPa）が確保されます。スプレー距離が150 mm ± 5 mm未満の場合、基材へのダメージは0.01 mm ± 0.002 mmを超えます。200 mm ± 5 mmを超える場合、接着強度は60 MPa ± 5 MPa未満になります。

燃料比

C_2H_2/O_2 2.5:1±0.1で安定したエネルギーが得られます。比率偏差>0.2、酸化率>0.2%±0.02%。

粉末粒子サイズ

20～50μm±1μmの最適化された堆積。粒子径<20μm±1μm、揮発度>3%±0.5%；>50μm±1μm、多孔度>1%±0.2%。

最適化戦略

APS

50kW±5kWの電力、120mm±5mmのスプレー距離、15～30μm±1μmの粉末、 Ar /H_2流量60L/分±1L/分、基板温度<200°C±10°C を選択し、多孔度<1.5%±0.2%、接着強度>60MPa±5MPaを確保します。

爆発噴霧

180 mm±5 mm、C_2H_2 / O_2比は2.5:1±0.1、粉末は20～40μm±1μm、多孔度は<0.5%±0.1%、接着強度は>80 MPa±5 MPa。

一般的な最適化

基板粗さはRa3～5μm±0.1μmで、オンラインモニタリング（温度偏差<50℃±10℃）を採用し、安定性（性能偏差<1%±0.2%）を向上しています。

エンジニアリング応用実習

航空ノズル

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

爆発噴霧 WCNiCr コーティング（厚さ 100μm±1μm、接着強度>80MPa±5MPa）は、800℃±10℃の高温気流中での耐摩耗寿命が>3000 時間±300 時間であり、従来のコーティング（<1500 時間±200 時間）よりも優れています。

鉱山用ドリルビット

APS 溶射 WC12Co コーティング（硬度 HV 1200±30、多孔度 <1.5%±0.2%）は、硬岩掘削において 1200 m±100 m の耐用年数を持ち、40%±5% の増加となります。

耐摩耗性金型

は、高周波押し出し（>10 ⁶回±10 ⁵回）中に低い摩耗（<0.07 mm³ / N・m ± 0.01 mm³ / N・ m）を維持しました。

深海バルブ

爆発溶射 WCNiCr コーティング（多孔度<0.5%±0.1%）の耐用年数は、海水腐食（pH 8±0.1）において 5 年以上±0.5 年です。

6.2 コーティング材料

コーティング材料は、超硬合金の性能向上の鍵となります。硬質相（WC、 TiC ）とバインダー相（Co、NiCr 、Ni）の組成と構造を最適化することで、高硬度（HV 1200～1500±30）、優れた靭性（ K_{1c} 10 ～15 MPa・m¹/² ± 0.5） 、優れた耐食性（腐食速度<0.01 mm/年±0.002 mm/年）を実現できます。硬度と靭性のバランスを取り、界面エネルギー（<1 J/m² ± 0.1 J/m² ）と熱膨張差（<5×10⁻⁶K⁻¹ ±0.5×10⁻⁶K⁻¹ ）を制御し、航空、鉱業、深海などの複雑な作業条件に適応する必要があります。 WCCo コーティングは高硬度で知られ、WCNiCr コーティングは耐食性を向上させ、WCTiCNi 多相コーティングは硬度と靭性を考慮し、適用シナリオを広げます。

このセクションでは、 WCCo および WCNiCr コーティングと多相複合コーティング（WCTiCNi）の組成最適化という 2 つの側面から戦略とエンジニアリングの実践について説明します。状態図分析（ WCCo 液相線 1320° C±5° C）、拡散速度（係数 10⁻¹⁰ cm²/s±10⁻¹¹ cm² /s）、および機械モデル （オロワン強化）を組み合わせます。たとえば、WC12Co コーティング （硬度 HV 1300±30）は、摩耗率が <0.05 mm³ /N ・ m ± 0.01 mm³ / N ・ m の航空機タービンブレードに使用されます。WC10Co4Cr コーティング （腐食率 <0.01 mm/年±0.002 mm/年）は深海バルブに使用されます。 WCTiCNi コーティング（K_{1c} 12 MPa・m¹ / ² ± 0.5）により、採掘ドリルビットの寿命が 1500 m±100 m まで延長されます。

WCCo および WCNiCr コーティングの組成最適化

原理と技術概要

WCCo コーティングと WCNiCr コーティングは、超硬合金の表面改質において主流の選択肢です。硬質相（WC、体積率 70%～90%±1%）と結合相（Co、 NiCr 、 10%～30%±1%）の比率を調整することで、さまざまな作業条件に適応できるよう性能が最適化されます。WCCo コーティングは高い硬度と耐摩耗性で知られており、 WCNiCr コーティングは腐食環境に

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

おいて優れた性能を発揮します。その目的は、硬度（HV 1200～1500±30）、靭性（K_{1c} 10～15 MPa・m¹ ᐟ² ±0.5）、耐食性の相乗的な向上を実現し、コーティングと基材間の接合強度（>60 MPa±5 MPa）を確保することです。

WCCo コーティングは、WC（硬度 HV>2000±50、粒径 0.5-2μm±0.01μm）および Co（10%-20%±1%、靭性 K_{1c} > 20 MPa・m¹ ᐟ² ± 0.5）により耐摩耗性を提供し、界面結合を強化します（界面エネルギー<1 J/m² ± 0.1 J/m²）。WCNiCr コーティングは、Co を NiCr（Ni 8%-15%±1%、Cr 2%-5%±0.5%）に置き換え、Cr が Cr_2O_3 不動態化層（厚さ< 10 nm±1 nm）を形成して、耐食性が大幅に向上します（腐食速度<0.01 mm/年±0.002 mm/年）。最適化は状態図（WCCo 液相線 ~1320° C±5° C）とオロワン強化（粒間隔 <1μm±0.01μm）に基づいており、航空および深海用途をサポートします。

組成最適化とメカニズム解析

WCCo コーティングは

、WC と Co の比率によって決まります。WC 硬質相（体積率 80%±1%、粒径 0.5～2μm±0.01μm）は高い硬度（HV>2000±50）を提供します。Co バインダー相（含有量 12%±1%）は界面結合（>60 MPa±5 MPa）を強化し、靭性（ K_{1c} 12 MPa ・m¹ ᐟ² ± 0.5）を向上させます。Co が高すぎる（>20%±1%）と硬度（HV<1100±30）が低下し、Co が低すぎる（<8%±1%）と気孔率（>2%±0.5%）が増加します。最適化された WC12Co コーティング（HVOF 溶射、速度 700 m/s±10 m/s）は、硬度 HV 1300±30、気孔率<0.8%±0.1%、摩耗率<0.05 mm³ ᐟ N・m ± 0.01 mm³ ᐟ N・m であり、航空タービンブレード（1000° C±10° C）に適しています。

WCNiCr コーティング

WCNiCr コーティングは、Co を NiCr に置き換えることで耐食性を向上させます。Ni ベース（8% -15 %±1%）は靭性（ K_{1c} >15MPa・m¹ ᐟ² ± 0.5）と接合強度（> 50MPa±5MPa）を提供します。Cr 添加（4%±0.5%）は Cr_2O_3 不動態層を形成し、抗酸化重量増加<0.05mg/cm² ±0.01mg/cm² を形成し、耐食性が 30%±5%向上します（pH 4-10±0.1）。WC10Co4Cr コーティング（HVOF、多孔度<0.8%±0.1%）は硬度 HV 1200±30、腐食速度<0.01mm/年± 0.002mm /年です。耐用年数が 5 年以上±0.5 年以下の深海用バルブに使用されます。

影響要因の分析

WC 粒子サイズ

0.5～2μm±0.01μm の場合、硬度（HV>1200±30）が最適化されます。粒子径が 0.5μm±0.01μm 未満の場合は、分解率が 2%±0.5%を超えます。2μm±0.01μm を超える場合は、靭性が 3%±0.5%低下します。

バインダー相含有量

Co 12%±1%、 NiCr 12%±1% (Cr 4%±0.5%) バランスの取れた性能。Co/ NiCr <8%±1%、

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

気孔率>2%±0.5%; >20%±1%の場合、硬度は 10%±2%減少します。

Cr 含有量

4%±0.5% では耐食性が向上し、6%±0.5% を超えると、硬度が <1000±50 の脆い Cr_3C_2 が形成されます。

溶射プロセス: HVOF (700 m/s±10 m/s) は APS よりも優れており、気孔率は <1%±0.2% 対 >1.5%±0.2% です。

マトリックス温度: 応力を回避するため <200° C±10° C (<50 MPa±5 MPa)、>300° C±10° C、亀裂率>0.5%±0.1%。

最適化戦略

では、0.5～1μm±0.01μm の WC 粒子、Co 12%±1%または NiCr 12%±1%（Cr 4%±0.5%）を使用します。HVOF 溶射（速度 700 m/s±10 m/s、溶射距離 250 mm±5 mm）を使用して気孔率(<0.8%±0.1%)を低減します。基板粗さ Ra 3μm±0.1μm、予熱温度 150° C±10° C、接合強度（>70 MPa±5 MPa）を向上させます。0.5%±0.01%の VC を追加すると、WC の分解（<0.5%±0.1%）が抑制され、硬度が 3%±0.5%増加します。また、オンライン監視（温度偏差<50° C±10° C)を実装して一貫性(パフォーマンス偏差<1%±0.2%)を確保します。

エンジニアリング応用実習

航空タービンブレード

WC12Co コーティング（硬度 HV 1300±30、摩耗率<0.05 $mm^3/N \cdot m$±0.01 $mm^3/N \cdot m$）、耐用年数>5000 時間±500 時間。

深海バルブ

WC10Co4Cr コーティング（腐食速度<0.01 mm/年±0.002 mm/年)、寿命>5 年±0.5 年。

鉱山用ドリルビット

WC15Co コーティング（靭性 K_1c 12MPa $\cdot m^{1/2}$ ±0.5)、寿命＞1500m±100m、50％±5％向上。

6.2.2 多相複合コーティング（WCTiCNi）

多相複合コーティングの原理と技術の概要

多相複合コーティング（WCTiCNi）は、 TiC （硬度 HV>2500±50、体積率 5%-20%±1%）と Ni（8%-15%±1%）を導入して、WC ベースのコーティング（0.5-2μm±0.01μm）をベースに、硬度（HV 1300-1500±30)、靭性（K_1c 10-15 $MPa \cdot m^{1/2}$ ± 0.5）および耐摩耗性（摩耗速度<0.04 $mm^3/N \cdot m$ ± 0.01 $mm^3/N \cdot m$）を向上させます。 WCCo 単独コーティングと比較すると、WCTiCNi コーティングは密度が低く (~10 g/cm^3 ± 0.1 g/cm^3 vs. 15 g/cm^3 ± 0.1 g/cm^3) 、耐酸化性がより強く (酸化重量増加 <0.05 mg/cm^2 ± 0.01 mg/cm^2) 、衝撃や腐食の大きい環境に適しています。

複合強化（ TiC 粒界ピンニング）と界面エンジニアリング（WC/ TiC 界面エネルギー<0.8

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

J/m² ±0.1 J/m² ）により、性能が最適化されます。WC は基本硬度を提供し、 TiC は密度を低減して耐酸化性を高め、Ni は靭性と耐腐食性を向上させます。例えば、HVOF 溶射による WC10TiC12Ni コーティング（ TiC 10%±1%）は、硬度 HV 1400±30、気孔率<1%±0.2%を有し、寿命 1500m±100m を超える鉱業用ドリルビットに使用されています。

多相複合コーティングの組成最適化とメカニズム解析

性能は各相の割合と微細構造に依存する

WC/ TiC 硬質相（WC 体積率 70%～85%±1%）は硬度（HV>2000±50）を付与し、TiC（10%±1%、密度 4.9 g/cm³ ± 0.1 g/cm³ ）は耐酸化性（酸化重量増加<0.05 mg/cm² ± 0.01 mg/cm² ）を向上させます。Ni バインダー相（12%±1%）は靭性（ K_{1c} > 15 MPa ・m¹ ／ ² ± 0.5）と耐食性（腐食速度<0.01 mm/年±0.002 mm/年）を付与します。最適化は、オロワン強化（粒間隔<1μm±0.01μm）と状態図分析（WCTiCNi 液相線約 1350° C±5° C）に基づいています。 WC10TiC12Ni コーティング（HVOF、気孔率<1%±0.2%）は、硬度 HV 1400±30、靭性 K_{1c} 12 MPa・m ¹ ／ ² ± 0.5、摩耗率<0.04 mm ³ /N・m ± 0.01 mm ³ / N・ m です。

影響要因の分析

TiC 含有量

10%±1% では硬度と靭性がバランスします。>20%±1% では脆い相が形成されます（ K_{1c} < 8 MPa・m¹ ／ ² ± 0.5 ）。<5%±1% では硬度が不十分です（HV<1200±30）。

Ni 含有量

12%±1% の場合、接着強度が最適化されます（>60 MPa±5 MPa）。>15%±1% の場合、硬度が 5%±1% 減少します。<8%±1% の場合、多孔度が 2%±0.5% を超えます。

粒子サイズ

WC/ TiC 0.5～1μm±0.01μm では均一性が保証されます （偏差 <5%±1%）。>2μm±0.01μm の場合、靭性が 3%±0.5% 低下します。

噴霧工程

HVOF（700 m/s±10 m/s）は TiC の分解（<1%±0.2%）を制御します。APS（>10000° C±100° C）では、分解率>3%±0.5%です。

基板予熱

150° C±10° C では接着強度が向上します （>70 MPa±5 MPa）。>200° C±10° C では応力が >50 MPa±5 MPa になります。

最適化戦略では、

0.5～1μm±0.01μm の WC / TiC 粒子、10%±1%の TiC 、および 12%±1%の Ni を使用します。HVOF スプレー（速度 700 m / s±10 m / s、スプレー距離 250 mm±5 mm）を使用して気孔率を制御します（<1%±0.2%）。基板粗さ Ra 3μm±0.1μm、予熱温度 150° C±10° C。0.3%±0.01%の VC を追加して TiC の分解を抑制し（<0.5%±0.1%）、硬度を 3%±0.5%増加させます。AI 最適化パラメータを実装して（偏差<1%±0.2%）、

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

一貫性を向上させます。

エンジニアリング応用実習

鉱山用ドリルビット

WC10TiC12Ni コーティング（硬度 HV 1400±30、摩耗率<0.04 mm³/N・m±0.01 mm³/N・m） 、寿命>1500m±100m、50%±5%の増加。

耐摩耗性金型

WC15TiC10Ni コーティング（靭性 K_1c 12MPa ・m¹ /² ±0.5)、寿命＞10^6回±10^5回。

航空ノズル

WC10TiC12Ni コーティング（耐摩耗性<0.04 mm³/N・m±0.01 mm³/N・m） 、耐用年数>3000時間±300 時間。

6.3 傾斜構造およびナノ構造セメント炭化物

傾斜ナノ構造セメント炭化物は、インターフェースエンジニアリング（傾斜 WCCo 、Co 0-20% ±1% ）とナノ結晶強化（ WC <100 nm±5 nm ）により、硬度（HV 2000-3000±50） 、靭性（K_1c 10-20 MPa ・m¹ / ² ± 0.5 ） 、熱疲労耐性（寿命> 10^5 倍±10^4 倍）を大幅に向上させます。傾斜構造は、段階的な組成変化を通じて熱膨張の不一致（<5×10^{-6} K⁻¹ ± 0.5×10^{-6} K⁻¹ ）を軽減し、ナノ構造は粒界強化（ホールペッチ効果、$\sigma_y \sim d^{-1/2}$ ）を通じて強度（>4500 MPa±100 MPa）を向上させ、航空、鉱業、電子機器製造で優れた性能を発揮します。

WCCo の界面工学とナノ WC（<100 nm）の製造と課題から始め、熱力学（界面エネルギー<1 J/m² ±0.1 J/m² ） 、速度論（凝集速度約 10^{-9} m/s±10^{-10} m/s)、および機械モデル（オロワン強化）を組み合わせて、原理と実践を探ります。 たとえば、勾配 WCCo （Co 5%-15%±1%）は鉱山ドリルビットに使用され、衝撃寿命は> 1800 m±100 m です。ナノ WC コーティング（<100 nm±5 nm）は PCB ドリルビットに使用され、寿命は> 10^5穴±10^4穴です。

WCCo のインターフェースエンジニアリング

原理と技術概要

勾配 WCCo は、Co 含有量（0～20%±1%、勾配厚さ 0.5～2mm±0.01mm）を段階的に変化させることにより、界面応力（<50MPa±5MPa）を最適化し、接合強度（>80MPa±5MPa）および耐熱疲労性（>10^5倍±10^4倍）を向上させます。均一な WCCo と比較して、傾斜構造により熱膨張の不一致が緩和され（WC 4.5×10^{-6} K⁻¹ ± 0.5×10^{-6} K⁻¹、Co 13×10^{-6} K⁻¹ ± 0.5×10^{-6} K⁻¹)、界面亀裂が減少し（<0.1%±0.02%)、表面硬度（HV 1800±30）と内部靭性（K_1c 15 MPa・m¹ / ² ± 0.5）が考慮され、衝撃の大きい環境に適しています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

製造方法には、粉末積層法と in-situ 反応法があります。粉末積層法は、異なる Co 含有量（5%～15%±1%）の粉末を層状に積み重ねる方法です。
連続勾配は、冷間等方圧加圧（CIP、250 MPa±5 MPa）と真空焼結（1450° C±10° C）によって形成されます。炭化物拡散（速度約 10 $^{-10}$ cm ^{2} /s±10 $^{-11}$ cm ^{2} /s）によって、in-situ 反応によって勾配層が生成されます。安定性は界面熱力学に基づいて保証されます（界面エネルギー <1 J/m ^{2} ± 0.1 J/m ^{2}）。例えば、勾配 WCCo （Co 5%-15%±1%）は、衝撃寿命が 1800 m±100 m を超える鉱山用ドリルビットに使用されています。

調製プロセスとメカニズムの分析

粉末の調製: WC（0.5～1μm±0.01μm）、Co（5%～15%±1%）、および層比（偏差<1%±0.2%）を選択します。
成形：CIP 成形（250MPa±5MPa）、グリーン密度＞99%±0.1%。
焼結: 真空焼結 (1450° C±10° C、圧力 <10 $^{-3}$ Pa±10 $^{-4}$ Pa)、Co 拡散形成勾配 (速度 ~10 $^{-10}$ cm ^{2} /s±10 $^{-11}$ cm ^{2} /s)。
後処理：残留応力（<20 MPa±5 MPa）を除去するための熱処理（600° C±10° C）。
このメカニズムは、熱膨張の不整合緩和と拡散速度論に基づいています。Co 勾配（5%～15%±1%）により応力分布が均一（<50 MPa±5 MPa）になり、界面エネルギー<1 J/m² ± 0.1 J/m² により接合強度（>80 MPa±5 MPa）が確保されます。例えば、 WCCo 勾配（層厚 1 mm±0.01 mm）は、硬度 HV 1800±30、靭性 K_{1c} 15 MPa・m $^{1/2}$ ± 0.5 を示します。

影響要因の分析

% ±1% では応力が最適化されます (<50 MPa±5 MPa)。>20%±1% の場合、靭性が高すぎます（K_{1c} > 20 MPa・m $^{1/2}$ ± 0.5）、硬度が 5%±1% 低下します。<5%±1% の場合、応力が集中します (>100 MPa±5 MPa)。
層の厚さ: 連続性を確保するため 1 mm ± 0.01 mm (偏差 <1% ± 0.2%)。<0.5 mm ± 0.01 mm、応力集中 (>100 MPa ± 5 MPa); >2 mm ± 0.01 mm、勾配ぼかし (>5% ± 1%)。
焼結温度：1450° C±10° C、制御拡散（>10 $^{-10}$ cm ^{2} /s±10 $^{-11}$ cm ^{2} /s)。>1500° C±10° C、勾配ファジー（>5%±1%）; <1400° C±10° C、結合強度 <60 MPa±5 MPa。

粉末粒子サイズ：WC 0.5～1μm±0.01μm は均一性を向上させます。>2μm±0.01μm、界面欠陥>1%±0.2%。
添加剤: 0.5%±0.01% VC は粒成長 (<0.5μm±0.01μm) を抑制し、硬度を 3%±0.5% 増加させます。

最適化戦略

では、Co 含有量 5% ～ 15%±1%、層の厚さ 1 mm±0.01 mm、WC 粒子サイズ 0.5 ～ 1μm±0.01μm、焼結温度 1450° C±10° C、圧力 <10 $^{-3}$ Pa ±10 $^{-4}$ Pa、0.5%±0.01% VC

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

を追加して粒成長を抑制し、硬度を 3%±0.5% 増加、オンライン監視（温度偏差 <10° C±2° C）による安定性の向上（パフォーマンス偏差 <1%±0.2%)、後処理熱処理（600° C±10° C）による残留応力の除去（<20 MPa±5 MPa）が選択されました。

エンジニアリング応用実習

鉱山用ドリルビット

勾配 WCCo（Co 5%-15%±1%、硬度 HV 1800±30)、硬岩掘削（衝撃周波数>10 ³ Hz ± 100 Hz)、寿命>1800 m±100 m、60%±5% の増加。

耐摩耗性金型

勾配 WCCo （靭性 K_1c 15 MPa ・m¹/² ± 0.5） 、寿命＞10^6倍±10^5倍。

航空ツール

勾配 WCCo（応力 <50 MPa±5 MPa）は、高速切削（>1000 m/min±10 m/min）において、均一構造（<10 時間±1 時間）よりも優れた 20 時間±1 時間以上の寿命を持ちます。

6.3.2 ナノ WC（<100 nm）の作製と課題

原理と技術概要ナノ

WC(粒子<100 nm±5 nm)は、高エネルギーボールミル、プラズマ合成または化学蒸着(CVD)によって製造され、硬度は HV 2500-3000±50、ホールペッチ効果に基づく強度は>5000 MPa±100 MPa です（ σ_y~d⁻¹/²、粒界密度>10¹⁴ m⁻² ± 10¹³ m⁻²） 。従来の WC（0.5-2μm±0.01μm）と比較して、ナノ WC 粒界強化により強度が大幅に向上し、靭性（K_1c 10-15 MPa・m¹/² ± 0.5）が維持されます。ナノ WC コーティング（厚さ 10〜50μm±1μm）は、PCB ドリルビット（寿命>10^5穴±10^4穴）などの電子機器製造および深海工学で優れた性能を発揮します。

凝集（速度約 10^{-9} m/s±10^{-10} m/s)、酸化（O>0.1%±0.02%)、焼結粒成長（>200 nm±10 nm）といった課題があります。目標は、粒径（<100 nm±5 nm）を制御し、プロセスの最適化と添加剤（VC、Cr_3C_2 ）によって性能を向上させることです。

調製プロセスとメカニズムの分析

高エネルギーボールミル

WC 粉末（初期粒子サイズ 1-10 μm±0.01 μm）を遊星ミル（速度 300-500 rpm±10 rpm、ボール対粉末比 10:1±0.1）で 20-50 時間±1 時間粉砕し、粒径は <100 nm±5 nm に縮小され、粒界強化への寄与は ~500 MPa±50 MPa でした。

プラズマ合成

WCl_6はプラズマ（>10000° C±100° C）中で CH_4 （流量 1:1±0.1）と反応し、堆積速度 >90%±2 %でナノ WC（<80 nm±5 nm）を生成します。

CVD

$W(CO)_6$は H_2 （ 800〜1000℃±10℃）と反応して WC コーティング（粒子<100nm±5nm、厚

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

さ 10〜50μm±1μm）を堆積します。

このメカニズムは、粒界強化と凝集速度論に基づいています。ホールペッチ効果により、粒径が小さくなるにつれて強度が増加します（ σ_y~d ⁻¹ / ²） 。凝集速度（~10 ⁻⁹ m/s±10 ⁻¹ ⁰ m/s）は表面エネルギー（~1 J/m² ± 0.1 J/m²）によって駆動され、分散剤（PVA、0.5%±0.01%）の添加によって制御されます。例えば、CVD ナノ WC コーティング（<80 nm±5 nm）の硬度は HV 2500±50、靭性は K ₁c 12 MPa・m ¹ / ² ± 0.5 です。

影響要因の分析

粒度

100 nm±5 nm 未満の場合、高エネルギー研削（50 時間±1 時間超）が必要です。100 nm±5 nm を超える場合、硬度は 10%±2%減少します。

再会

分散剤がない場合、凝集率は> 20%±2%です。0.5%±0.01%の PVA を追加すると、凝集率は <5%±1%になります。

焼結温度

<1200° C±10° C では粒成長が抑制されます（<150 nm±10 nm）。>1300° C±10° C では粒径が >200 nm±10 nm となり、硬度が 15%±2% 減少します。

雰囲気

Ar /H ₂ （O ₂ <10 ppm±1 ppm）は酸化を回避します（O <0.05%±0.01%）。O ₂ >100 ppm ±10 ppm、酸化率>0.2%±0.02%。

添加剤

0.3%±0.01% VC は粒径（<100 nm±5 nm）を制御し、硬度を 5%±1% 増加させます。

最適化戦略

では、高エネルギーボールミル処理（50 時間 ± 1 時間、回転速度 400 rpm ± 10 rpm）、粒径 <100 nm ± 5 nm、焼結温度 <1200° C ± 10° C、 Ar /H_2 雰囲気（O_2 < 10 ppm ± 1 ppm）、0.5% ± 0.01% PVA 分散剤の追加、凝集率 <5% ± 1%、0.3% ± 0.01% VC の追加により粒度成長を抑制し、硬度を 5% ± 1% 増加、オンライン粒径モニタリング（偏差 < 5 nm ± 1 nm）により安定性を確保します。

エンジニアリング応用実習

PCB ドリルビット

ナノ WC コーティング（粒子<80nm±5nm、硬度 HV2500±50）、寿命>10^5穴±10^4穴、100%±10%向上。

深海バルブ

ナノ WC コーティング（腐食速度 <0.01 mm/年 ± 0.002 mm/年）、寿命 >5 年 ± 0.5 年。

航空ツール

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

ナノ WC コーティング（強度 > 5000 MPa±100 MPa）と寿命 > 20 時間±1 時間で、従来のコーティング（< 10 時間±1 時間）よりも優れています。

6.4 コーティング性能試験

コーティング性能試験では、標準化された方法（ASTM G65、ISO 6508、ASTM E384）を採用して、接着強度（50〜80 MPa±5 MPa）、多孔度（<1%±0.2%）、硬度（HV 1200〜1500±30）、耐摩耗性（摩耗率<0.06 mm³ / N・m±0.01 mm³ / N・m）、耐腐食性（腐食率<0.01 mm/年±0.002 mm/年）などの主要な指標を評価し、コーティングが航空、鉱業、深海分野の信頼性要件を満たしていることを保証するとともに、プロセス最適化のためのデータを提供します。

このセクションでは、破壊力学（ K_{1c} 10-15 MPa・m¹ / ² ± 0.5）、表面科学（接触角<10° ±1°）、統計分析（誤差±0.01 mm³ / N ・ m）を組み合わせ、接合強度、気孔率、耐摩耗性の観点から試験技術と実践について説明します。たとえば、HVOF WC12Co コーティング（接合強度> 70 MPa±5 MPa）は、航空タービンブレードに使用され、寿命は > 5000 時間±500 時間です。ナノ WC コーティング（気孔率<0.5%±0.1%）は PCB ドリルビットに使用され、寿命は> 10^5穴± 10^4穴です。

6.4.1 接着強度（50〜80 MPa）と気孔率（<1%）

試験原理と技術概要

接着強度と気孔率は、コーティングの信頼性を評価する上で重要な指標であり、剥離防止性能と耐久性に直接影響します。接着強度は界面の接着力を反映し、気孔率は密度の指標です。標準化された方法により、結果の再現性と比較可能性が確保されます。

接着強度（ASTM C633）：引張試験（速度 0.5 mm/分±0.01 mm/分）により剥離力を測定し、強度は 50〜80 MPa±5 MPa です。試験片（直径 25 mm±0.1 mm、塗工厚さ 100〜200 μm±1 μm）を高強度接着剤（>100 MPa±5 MPa）で固定し、計算式は σ=F/A です。

気孔率（ASTM E2109）：走査型電子顕微鏡（SEM、解像度<0.1μm±0.01μm）を用いて断面を分析し、気孔率（<1%±0.2%）を測定した。試験片は Ra<0.05μm±0.01μm に研磨し、面積率に基づいて算出した。

例えば、航空タービンブレードには HVOF WC12Co コーティング（接合強度＞70MPa±5MPa、気孔率＜0.8%±0.1%）が使用され、耐剥離寿命は＞5000 時間±500 時間です。

試験方法とメカニズム分析

接着強度

（ K_{1c} 10-15 MPa ・m¹/² ± 0.5）に基づき、界面接合強度は機械的インターロッキング

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

（Ra 2-5μm±0.1μm）とミクロ拡散（<1μm±0.1μm）によって決定されます。このプロセスには、サンプル調製（厚さ 100-200μm±1μm）、固定、および伸張（速度 0.5 mm/分±0.01 mm/分）が含まれます。HVOF コーティング（速度 700 m/s±10 m/s）の接合強度は >70 MPa±5 MPa であり、 APS（<60 MPa±5 MPa）よりも優れています。

気孔率

SEM 画像解析（倍率>1000×±100×）に基づき、気孔は暗い領域として表示され、面積率はソフトウェアによって計算されます。HVOF 気孔率は<1%±0.2%であり、APS（約 1.5%±0.2%）よりも良好です。

影響要因の分析

接着強度

マトリックス粗さ Ra 3～5μm±0.1μmの場合、強度が向上します（>70 MPa±5 MPa）。<2μm±0.1μmの場合、<50 MPa±5 MPa。スプレー速度 700 m/s±10 m/s は APS よりも優れており、予熱温度 150° C±10° C で拡散が促進されます。

気孔率

100 kW ± 10 kW (HVOF) の噴霧出力は 50 kW ± 5 kW (APS) よりも優れており、粉末粒子サイズは 10 ～ 30 μm ± 1 μm であるため多孔性が低減し、噴霧距離によって密度が最適化されます。

最適化戦略:

基板粗さ Ra3～5μm±0.1μm、予熱温度 150℃±10℃、HVOF（速度 700m/s±10m/s、出力 100kW±10kW）、粉末 10～30μm±1μm、APS スプレー距離 120mm±5mm、爆発スプレースプレー距離 180mm±5mm、高精度 SEM および延伸設備により精度を確保。

エンジニアリング応用実習

航空タービンブレード

HVOF WC12Co コーティング (接合強度 >70 MPa±5 MPa、気孔率 <0.8%±0.1%)、寿命 >5000 時間±500 時間。

深海バルブ

HVOF WC10Co4Cr コーティング (接合強度 >70 MPa±5 MPa)、寿命 >5 年±0.5 年。

鉱山用ドリルビット

爆発噴霧 WCNiCr コーティング（接着強度>80MPa±5MPa、気孔率<0.5%±0.1%)、寿命 >1500m±100m。

6.4.2 耐摩耗性（ASTM G65、摩耗率<0.06 mm^3 / N• m）

試験原理と技術概要

耐摩耗性はコーティング性能を評価する上で重要な指標であり、高摩擦環境におけるコーティングの寿命に直接影響します。ASTM G65 乾式砂 / ゴムホイール試験は、アブレシブ摩耗をシミュレートし、摩耗速度（<0.06 mm^3 / N • m ± 0.01 mm^3 / N • m）を測定することで、プロセスの最適化と材料選定の基礎を提供します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

テストプロセス

試験片（50×25×10 mm±0.1 mm、厚さ 100～200μm±1μm）を砂流（ SiO_2 、粒径 200～300μm±1μm、流量 300 g/min±10 g/min）（砥石回転数 200 rpm±1 rpm、荷重 130 N±1 N、回転数 6000 回転±10 回転）で擦過した。摩耗量は質量減少（V= Δm / ρ 、 ρ=14～15 g/cm³ ± 0.1 g/cm³ ）および摩耗速度 V/(F・S)で算出した。例えば、HVOF WC12Co コーティング（摩耗速度<0.05 mm³ / N・m ± 0.01 mm³ / N・ m）の寿命は 5000 時間±500 時間を超える。

試験方法とメカニズム解析

は、Archard モデル（V= k・F・S /H、k=10 $^{-4}$ ±10 $^{-5}$ 、 H=HV 1200-1500±30）に基づいています。硬度が高く、気孔率が低いほど、耐摩耗性は高くなります。このプロセスには、サンプルの準備、パラメータの設定、摩耗率の計算が含まれます。HVOF コーティング（硬度 HV 1400±30）の摩耗率は<0.05 mm³ /N ・ m ± 0.01 mm³ / N ・ mであり、APS（>0.07 mm³ /N ・ m ± 0.01 mm³ / N ・ m ）よりも優れています。

影響要因の分析

硬度

HV 1400±30 では摩耗率が低下します（<0.05 mm³/N・m ± 0.01 mm³/N・ m）；<1200±30 では、>0.08 mm³/N・m ± 0.01 mm³/N・ m 。

気孔率

<1%±0.2% の場合、耐摩耗性が向上します。>2%±0.5% の場合、摩耗率は 20%±5% 増加します。

厚さ

100～200μm±1μm で耐摩耗性と応力のバランスをとります。

テクノロジー

HVOF は APS よりも優れており、WC 粒子サイズが 0.5 ～ 1μm±0.01μm の場合、耐摩耗性が向上します。

最適化戦略

では、HVOF（速度 700 m/s±10 m/s）、WC 粒径 0.5～1μm±0.01μm、厚さ 100～200μm±1μm を使用し、硬度を高めるために 0.3%±0.01%の VC または TiC （5%～10%±1%）を追加し、オンライン監視で安定性を確保します。

エンジニアリング応用実習

航空タービンブレード：HVOF WC12Co コーティング、寿命 >5000 時間 ±500 時間。
鉱山用ドリルビット：WC10TiC12Ni コーティング、寿命＞1500m±100m。
PCB ドリルビット：ナノ WC コーティング、寿命は >10 ^{5} 穴 ±10 ^{4} 穴。

要約と展望

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

コーティング・複合技術は、プロセスの最適化、材料設計、構造革新を通じて、超硬合金の耐摩耗性、耐腐食性、耐熱疲労性において飛躍的な進歩を遂げ、様々な分野のニーズに応えています。今後は、インテリジェントスプレー、PVD/CVD 複合コーティング、グリーンコーティング、ナノ複合コーティングの開発を推進し、性能と適用範囲をさらに向上させていきます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

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

付録：

超硬合金コーティングとは

1. 定義

硬質合金コーティングは、特殊なプロセスによって基材の表面に堆積されるコーティングです。その主成分は、硬質合金材料（炭化物、窒化物、ホウ化物など）と金属バインダー（コバルトやニッケルなど）からなる複合材料です。硬質合金コーティングでは、通常、炭化タングステン（WC）、炭化チタン（ TiC ）、または炭化クロム（Cr3C2）が主な硬質相として使用されます。これらのコーティングは、非常に高い硬度、耐摩耗性、耐腐食性を備えており、基材の表面特性を向上させるために広く使用されています。

2. 構成

ハードフェーズ：

主成分：炭化タングステン（WC）、炭化チタン（ TiC ）、炭化クロム（Cr3C2）など。
特徴：高硬度（HV 1000-3000）、高融点（>2000°C）、優れた耐摩耗性（耐摩耗性）。

バインダーフェーズ：

一般的な材料：コバルト（Co）、ニッケル（Ni）、鉄（Fe）またはそれらの合金。
機能：硬質相粒子を結合して、靭性（Toughness）と耐衝撃性（Impact Resistance）を付与します。

標準比率：

硬質相：70～90 wt %（重量パーセント）。
バインダー相：10～30 重量%。
例：WC-Co コーティングでは、WC が 80 ～ 90%、Co が 10 ～ 20% を占めます。

3. 準備方法

セメント炭化物コーティングは、さまざまなプロセスによって基材の表面に堆積できます。一般的な方法は次のとおりです。

溶射：
方法：
高速酸素燃料（HVOF）噴霧：高速の炎を使用して粉末を基板表面に噴霧します。
プラズマ溶射：粉末をプラズマアークで溶かして堆積させます。
フレーム溶射：酸素アセチレン炎を使用して溶射する方法。
特徴：

コーティング厚さ：0.1～2mm。

接着強度：50～80MPa。
多孔度：1～5%。
物理蒸着法（PVD）：

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

方法:
マグネトロンスパッタリング。
電子ビーム蒸着。
特徴:

コーティング厚さ： 1〜10μm 。

薄い層や滑らかな表面に適しています。
化学蒸着法（CVD）:
方法:
TiC または TiN コーティングなどの硬質相が化学反応によって基板表面に堆積されます。
特徴:

コーティング厚さ： 5〜20μm 。

高い均一性（高均一性）ですが、高温（高温、700 〜 1000° C）が必要です。
レーザークラッディング：
方法:
レーザービームを使用して超硬合金粉末を溶かし、基板表面に堆積します。
特徴:

コーティング厚さ：0.5〜3mm。

冶金結合に近い、高い結合強度。

4. パフォーマンス特性

高硬度：

硬度範囲: HV 1000〜3000（ビッカース硬度）、または HRC 60〜80（ロックウェル硬度）。

例: WC-Co コーティングの硬度は HV 1200 〜 1500 に達します。
耐摩耗性:
硬質相（WC など）は、研磨摩耗や侵食摩耗に効果的に耐えることができます。
用途: 切削工具や金型の耐用年数を延ばします。
耐腐食性:
バインダー相（Ni など）は、酸性およびアルカリ性環境におけるコーティングの耐食性を向上させることができます。
例：Cr3C2-NiCr コーティングは高温腐食環境（高温腐食）に適しています。
耐高温性:
600〜1000℃で性能を維持でき、高温条件に適しています。
耐衝撃性:
バインダー相は一定の靭性を提供しますが、全体的な耐衝撃性は純粋な金属材料よりも低くなります。

5. 基質要件

材料：

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

一般的なベース材料: 鋼、鋳鉄、アルミニウム合金。
要件: 基板には一定の強度と耐熱性がなければなりません。
表面処理:
洗浄: 油と酸化物層を除去します。
粗さ：Ra3.2～6.3μm （サンドブラスト）。
標準参照: ASME B46.1-2009 (表面粗さの要件)。

6. アプリケーション

工業用切削工具:
例: WC-Co コーティングは、耐摩耗性と寿命を向上させるためにフライスカッターやドリルに使用されます。
金型:
例: スタンピングダイは、摩耗と接着を防ぐために Cr3C2-NiCr でコーティングされています。
航空宇宙:
例: TiC コーティングは、タービンブレードに使用され、耐高温性と耐摩耗性を向上させます。
石油化学:
例: WC-Ni コーティングは、侵食や腐食に耐えるためにバルブや掘削ツールに使用されます。
採掘設備:
例: WC-Co コーティングは、削岩機で耐摩耗性を向上させるために使用されます。

7. 試験方法

硬度試験:
方法: ロックウェル硬度 (HRC、ISO 6508-1:2016)、ビッカース硬度 (HV、ISO 6507-1:2018)。
例: WC-Co コーティングの硬度テスト結果は HRC 65 または HV 1200 です。
微細構造分析:
方法: 走査型電子顕微鏡 (SEM)。
観察：硬質相の粒子分布、多孔度。
結合強度:
方法: 引張試験、ASTM C633 規格。
例: HVOF コーティングの結合強度は 70 MPa に達します。
耐摩耗性試験:
方法: ASTM G65 (乾燥砂/ゴムホイール摩耗試験)。
結果: WC-Co コーティングの摩耗率は 0.01 $mm^3/N \cdot m$ 未満でした。
表面粗さ:
方法: スタイラスプロファイロメーター、ASME B46.1-2009。
例：コーティング表面粗さ Ra0.8 ～ 2.0μm 。

8. メリットとデメリット

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

利点:
高い硬度と耐摩耗性により、基板の耐用年数が大幅に延長されます。
耐腐食性と耐高温性があり、過酷な作業条件に適しています。
カスタマイズ可能: 硬質相と接着相の比率を調整することで、さまざまなニーズに対応します。
デメリット:
高コスト: たとえば、HVOF プロセス装置は高価であり、材料価格も高くなります。
脆さ: 超硬合金コーティングは耐衝撃性が低く、割れやすい傾向があります。
厚さの制限: コーティングが厚すぎると剥がれが生じる可能性があります。

9. 典型的な例

WC-Co コーティング：
組成：WC 88 重量%、Co 12 重量%。
プロセス: HVOF 溶射。
性能：硬度 HV1300、接着強度 75MPa、耐摩耗性に優れています。
用途: 鉱山用ドリルビット。

10. トレンド

ナノ構造コーティング：
ナノ WC 粒子は硬度と靭性を向上させるために使用されます。
例: ナノ WC-Co コーティングは硬度 HV 2000 に達します。
多層コーティング：
異なる超硬合金（WC/ TiC など）を組み合わせると、全体的なパフォーマンスが向上します。
例：WC-Cr3C 2 多層コーティングは、高温耐摩耗部品に使用されます。
環境に優しいプロセス：
コールドスプレーなどの低エネルギー、低排出の堆積技術を開発します。

まとめ
超硬合金コーティングは、炭化物（WC など）を硬質相とし、金属（Co、Ni など）を結合相とする高性能表面保護技術であり、溶射、PVD、CVD などのプロセスによって基材表面に堆積されます。高い硬度、耐摩耗性、耐腐食性を備え、産業用工具、金型、航空宇宙などの分野で広く使用されています。主な課題はコスト、脆性、プロセスの複雑さですが、ナノテクノロジーと多層構造設計を通じて、将来的に性能のさらなる向上が期待されています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

付録：

超硬合金高爆発噴霧（DGS）技術

1.デトネーションガンスプレー（DGS ）の定義

デトネーションガンスプレー（DGS ）は、周期的なデトネーション反応によって高温高圧のガスを発生させ、WC-Co などの超音速（約 3500 m/s）まで加速して基材表面に噴射することで、高硬度で耐摩耗性のあるコーティングを形成する溶射技術です。この技術は 1955 年に HB サージェントらによって発明され、当初はユニオンカーバイド社によって「D-ガン」という名称で命名・商品化されました。

（DGS ）プロセスの原理

DGS は制御されたデトネーション反応を利用してエネルギーを供給します。具体的な手順は以下のとおりです。

爆発反応

デトネーションガン（D ガン）では、混合ガス（酸素 O_2とアセチレン C_2H_2などを 1:1～1.5:1 の割合で混合したもの)に点火し、デトネーション反応を起こして高温(約 4000℃)、高圧（約 2～3MPa）の衝撃波を発生させます。
衝撃波の速度は 3500m/s に達し、超音速の気流を形成します。

粉末の加速と堆積

焼結炭化物粉末（粒径 10～ 50μm ）をデトネーションガンに注入し、衝撃波によって超音速（約 800～1200m/s）まで加速し、部分的に溶融または軟化させます。
粉末粒子は極めて高速で基板表面に衝突し、塑性変形を起こし、急速に冷却され、通常 50～ 300 μ m の厚さの緻密なコーティングを形成します。

定期運転

各爆発の後、銃内の残留ガスは窒素（N_2）で除去され、自然発火や逆火を防止します。
噴霧周波数は、コーティングの厚さと材質に応じて、1～10 Hz（1 秒あたり 1～10 回の爆発）です。

基板前処理

、基材をサンドブラスト（Ra 3-5 μm ）で粗面化し、油分や酸化物を除去して洗浄する必要があります。

3.デトネーションガンスプレー（DGS ）におけるセメント炭化物粉末の特性

よく使われる材料:

WC-Co（コバルト含有量 6～17 重量% ）：硬度と耐摩耗性が高く、耐摩耗コーティングによく使用されます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Cr_3C_2- NiCr ：高温酸化に耐性があり、高温環境に適しています。
Al_2O_3 - TiO_2など）：特殊な耐摩耗性または耐腐食性が求められる場合に使用されます。

粉末の要件:

粒子サイズ：10〜50μm 、噴霧の均一性を確保します。

純度: >99%、酸素含有量 <500 ppm、コーティング欠陥を回避。
形態: 加速と沈着に適した球形またはほぼ球形。

超硬合金分野におけるデトネーションガン溶射（DGS ）の応用
DGS テクノロジーは、高い接着強度とコーティングの低多孔性により、高い耐摩耗性と耐腐食性が求められるシナリオで広く使用されています。
航空宇宙:
航空機エンジン部品（タービンブレード、コンプレッサーブレードなど）にスプレー塗布し、耐摩耗性、耐高温性を高めます。
産業機器:
切削工具、金型、バルブ、ポンプ本体の表面をコーティングして、耐用年数を延ばします。
エネルギー産業:

石油・ガス掘削機器（ドリルビットなど）の侵食や摩耗に耐えるコーティング。

具体例: 航空機エンジンのタービンブレードに WC-12Co コーティングを噴霧すると、硬度

HV1100〜1300 が達成され、耐摩耗性が 5〜8 倍向上します。

5. 超硬合金高爆発噴霧（デトネーションガン噴霧）のプロセスパラメータ DGS ）
爆発ガス: O_2 + C_2H_2 （比率 1:1-1.5:1)、または温度を調整するために少量の N_2 (5-10 %)を追加します。
スプレー周波数：1〜10 Hz、コーティングの厚さを制御します。

噴霧距離：150〜200 mm、基材の過熱を避けてください。

粉末供給速度：均一なコーティングを確保するために 20 〜 40 g/分。
基板温度: 熱影響部 (HAZ) を防止するために 150° C 未満に制御されます。

パージガス：N_2 、各爆発後に 2〜3 秒間パージ。

（DGS ）の特徴
高温高圧：爆発温度は約 4000° C、衝撃波速度は 3500 m/s で、他の溶射技術よりもはるかに高速です。
コーティング性能:

高硬度：WC-Co コーティング硬度 HV1100〜1400。

接合強度：70〜100MPa、主に機械的接合、部分的な冶金的接合。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

非常に低い多孔性：<1%、高密度コーティング。
表面粗さ:Ra2～ 4μm 、後続加工がほとんど必要ありません。
低入熱: 基板温度 <150° C、熱影響部 (HAZ) なし、後熱処理 (PWHT) 不要。

超硬合金高爆発溶射（デトネーションガン溶射）の利点と欠点 DGS ）
利点:
高いコーティング品質: 気孔率 < 1%、高い接着強度、優れた耐摩耗性と耐腐食性。
熱影響が少ない：基板の熱変形がなく、精密部品に適しています。
強力な適用性：さまざまな超硬合金やセラミック材料（WC-Co、Al_2O_3など）をスプレーできます。
後処理が少なくなり、表面粗さが低減し、後続の処理コストが削減されます。
デメリット:
設備が複雑：ブラストガンの設計は複雑で、コストも高い（約 200～300 万元）。
運用上のリスク: 爆発反応を伴うため、厳格な安全対策 (逆火防止や窒素パージなど) が必要です。

効率が低い：周期的な動作（1～10 Hz）、噴霧速度が遅い（約 0.1～0.3 ㎡ / h）。

粉末の制限: 高強度の粉末 (WC-Co など) が必要です。そうでないと破損する可能性があります。

（DGS ）と他の溶射技術の比較
APS（プラズマスプレー）との比較：
DGS: 気孔率が低い (<1% vs. 2-5%)、接着強度が高い (70-100 MPa vs. 30-70 MPa) が、効率は低い。
APS: 高温(15,000° C)、幅広い材料に適していますが、酸化が多くなります。
HVOF（高速酸素燃料噴霧）との比較：
DGS: コーティングがより高密度で、硬度も高い (HV 1100 ～ 1400 対 800 ～ 1200) が、設備はより複雑です。
HVOF: 噴霧速度が速く (0.5 ～ 1 ㎡ / h)、コストが低く、酸化が少ない。
VPS（真空プラズマ溶射）との比較：
DGS: 大気中で作動し、コストは低いが、微量の酸化が生じる可能性がある。
VPS：酸化がなく、多孔性が低いが、設備コストが高い（約 500 万元）。

要約する
超硬合金高爆発噴霧（DGS）技術は、デトネーション反応を利用して超音速で超硬合金粉末を基材に噴霧し、高硬度・低気孔率のコーティングを形成する技術で、航空宇宙、産業機器などの分野で広く利用されています。コーティング品質が高く、熱影響が小さいという利点がありますが、設備が複雑で効率が低いという欠点があります。プロセスの最適化（デトネーション周波数や粉末粒子サイズの調整など）により、性能をさらに向上させることができます。

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

付録：

セメント炭化物プラズマ溶射（APS 、大気プラズマ溶射）技術

大気プラズマ溶射（APS）の定義 ）

超硬合金プラズマ溶射（ **APS 、大気プラズマ溶射**）は、プラズマ炎を用いて超硬合金粉末（WC-Co、WC-Ni など）を溶融または半溶融状態に加熱し、基材表面に高速で噴射して緻密な超硬合金皮膜を形成する溶射技術です。このプロセスは大気環境で行われるため、「大気プラズマ溶射」と呼ばれます。

大気プラズマ溶射（APS ）の原理

APS プロセスは、プラズマの高温・高エネルギー特性に基づいています。主な手順は次のとおりです。

プラズマ生成

プラズマスプレーガンを使用して、不活性ガス（アルゴン Ar など）または混合ガス（ Ar + H_2など）を導入し、高周波アーク（電圧 50〜100V、電流 500〜1000A）を使用してガスをイオン化し、高温プラズマ（温度は 10,000〜15,000° C に達する）を形成します。

粉末の加熱と加速

粉末供給装置から超硬合金粉末（粒径 10〜 50μm ）をプラズマ炎に供給し、急速に加熱して溶融または半溶融状態にし、300〜600m/s まで加速します。

コーティング形成

溶融した粉末粒子は基板表面に衝突し、急速に冷却されて固化し、「スプラッシュ」コーティング（スプラット）を形成します。このスプラッシュコーティングは積み重ねられて、通常 50 〜 500 μm の厚さの高密度コーティングを形成します。

雰囲気制御

APS は大気中で作動するため、酸化のリスクが一定程度存在します。コーティングの酸化を抑制するため、スプレーガンの出口を部分的に保護するガス（ Ar など）が使用されることがよくあります。

（ APS 、大気プラズマ溶射）の粉末特性

よく使われる材料:

WC-Co（コバルト含有量 6〜12 重量% ） ：硬度と耐摩耗性が高く、耐摩耗コーティングによく使用されます。

WC-Ni: 耐食性に優れ、酸性環境に適しています。

Cr_3C_2- NiCr ： 高温酸化に耐性があり、高温環境に適しています。

粉末の要件:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

粒子サイズ：10〜50μm 、良好な流動性と均一な溶融を保証します。

純度：>99%、不純物(O ₂ など）<500 ppm、コーティング欠陥を回避。
形態：球形またはほぼ球形で、均一な噴霧につながります。

超硬合金分野における超硬合金プラズマ溶射（ APS 、大気プラズマ溶射）の応用

APS は、鋼、ステンレス鋼、アルミニウムなどの基材に超硬合金コーティングを施し、耐摩耗性、耐腐食性、耐高温性を向上させるために広く使用されています。主な用途は以下のとおりです。

工業用部品:
切削工具や金型の表面コーティングにより、それらの耐用年数を延ばすことができます。
バルブとポンプ本体のコーティングにより、摩耗と腐食に対する耐性が向上します。
航空宇宙:
高温摩耗に耐性のあるタービンブレードコーティング。
エネルギー産業:
ボイラーパイプおよび掘削機器の侵食および高温酸化に耐えるコーティング。

具体例：石油ドリルビットの表面に WC-12Co コーティングを噴霧すると、HRC 60〜65 の

硬度を実現し、耐摩耗性を 3〜5 倍向上させることができます。

5. セメント炭化物プラズマ溶射（ APS 、大気プラズマ溶射）プロセスパラメータ
プラズマガス：Ar（主ガス、30〜50 L/分）+ H_2（補助ガス、5〜10 L/分)。
電力：30〜50kW（スプレーガンのモデルによって異なります)。

噴霧距離：80〜150 mm、コーティングの密度と接着強度に影響します。

粉末供給速度：均一なコーティングを確保するために 30 〜 60 g/分。
基板前処理：サンドブラスト粗面化（Ra 3-5 μm ）により接着強度を向上。
冷却： 基板は強制空冷または水冷が必要であり、熱応力を避けるために温度を 200 °C 未満に制御する必要があります。

（ APS 、大気プラズマ溶射）の特徴
高温対応能力：プラズマ温度は非常に高く（10,000〜15,000℃）、高融点のセメント炭化物（WC、融点 2870℃など）を溶かすことが可能です。
コーティング性能：
高硬度：WC-Co コーティングの硬度は HV 900 〜 1200 に達します。
接着強度：30〜70 MPa（基材とプロセスによって異なります）。
多孔率：2〜5%、密度は高いが微細孔が残っている。
動作環境：大気中で実行され、設備はシンプルで、産業現場に適しています。

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

（ APS 、大気プラズマ溶射）の利点と欠点

利点:

幅広い適用性: さまざまな基材に適応するために、さまざまな超硬合金材料 (WC-Co、Cr_3C_2- NiCr など)を噴霧できます。

高効率：噴霧速度が速く（最大 0.5〜1㎡/h）、大面積コーティングに適しています。

このコーティングは優れた性能を備えており、硬度が高く、耐摩耗性に優れ、部品の寿命が大幅に向上します。

設備コストは中程度です。APS 設備（約 50 万〜 100 万元）は HVOF（高速酸素燃料噴霧）設備よりも安価です。

デメリット:

$_3$が生成されるなど）、性能に影響を及ぼします。

多孔度が高い: 多孔度が 2 〜 5% の場合、耐食性が低下し、後処理 (シーリングなど) が必要になることがあります。

熱の影響: 高温の炎流により基板の熱変形が発生する可能性があるため、冷却を厳密に制御する必要があります。

残留応力: コーティングと基板の熱膨張係数の違いにより、応力が集中し、接着に影響する可能性があります。

（ APS 、大気プラズマ溶射）と他の熱溶射技術の比較

HVOF（高速酸素燃料噴霧）との比較:

APS: 高温 (15,000° C)、高融点材料に適していますが、酸化が進み、多孔度が高くなります (2〜5%)。

HVOF: 温度が低い (3000° C)、速度が高い (>1000 m/s)、酸化が少ない、多孔性が低い (<1%)、ただし WC-Co コーティングの硬度がわずかに低い (HV 800-1000)。

真空プラズマ溶射（VPS）との比較:

APS: 大気中ではコストは低くなりますが、酸化と多孔性の問題が重大になります。

VPS：真空下ではコーティング品質は高くなります（多孔度<1%、酸化なし）が、設備が複雑でコストも高くなります（200 万〜500 万元）。

炭化物プラズマ溶射（APS）は、高温プラズマを用いて炭化物粉末を基材表面に噴射し、高硬度・耐摩耗性のコーティングを形成する技術で、工業部品、航空宇宙などの分野で広く利用されています。その利点は、幅広い適用性と高い効率ですが、酸化や気孔の問題に注意する必要があります。プロセスの最適化（溶射距離の調整や保護ガスの添加など）により、コーティング品質をさらに向上させることができます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

付録：

超硬合金用高速酸素燃料噴霧技術
（高速酸素燃料噴霧、 高速フレーム溶射（HVOF）

1. 超硬合金高速酸素燃料噴霧（HVOF）の定義
は、燃料と酸素の高速燃焼により高温高圧の気流を発生させ、WC-Co、 Cr_3C_2 - NiCr などの超音速（約 500～1000 m/s ）まで加速して基材表面に噴射し、高硬度、低気孔率の耐摩耗性コーティングを形成する溶射技術です。この技術は 1980 年代にブラウニング社によって開発され、優れたコーティング性能から広く利用されています。

2. 超硬合金高速酸素燃料溶射（HVOF）プロセスの原理
HVOF 技術は、燃料の燃焼によって発生する高速気流を利用します。主な手順は以下のとおりです。

燃焼と気流の加速
銃の燃焼室では、燃料（灯油、プロパン、水素など）が酸素と混合され、約 2800 ～ 3200° C の燃焼温度で点火されます。
高圧燃焼ガスはラバルノズルを通して超音速（500～1000 m/s）まで加速され、高速火炎流を形成します。
粉末の加熱と噴霧
焼結炭化物粉末（粒径 10～ 45μm ）を粉末供給装置から炎に注入し、部分的に溶融または軟化（融点以下の温度、約 1000～1500℃）させ、超音速まで加速します。
粉末粒子は高い運動エネルギーで基板に衝突し、塑性変形を起こし、急速に冷却されて堆積し、通常 50 ～ 400 μ m の厚さの緻密なコーティングを形成します。
雰囲気制御
燃焼は酸素を豊富に含んだ高炎速度の環境で行われるため、空気の巻き込みが減り、コーティングの酸化度合いが低下します。
基板前処理
基板はサンドブラストして粗面化し（Ra 3-5 μm ） 、油分や酸化物を除去して接着強度を向上させるために洗浄する必要があります。

3. 超硬合金高速酸素燃料噴霧（HVOF）粉末の特性
よく使われる材料:
WC-Co（コバルト含有量 6～17 重量% ） ：硬度と耐摩耗性が高く、耐摩耗コーティングによく使用されます。
Cr_3C_2 - NiCr :高温酸化および腐食に耐性があり、高温環境に適しています。
NiCrBSi :自己融着合金、耐摩耗性および耐腐食性。
粉末の要件:

粒子サイズ：10～45μm 、噴霧の均一性を確保します。

純度: >99%、酸素含有量 <500 ppm、コーティング欠陥を回避。
形態: 加速と沈着に適した球形またはほぼ球形。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

4. 超硬合金高速酸素燃料溶射（HVOF）の特徴

高速弱火：

炎の速度は 500〜1000 m/s と高く、粒子の運動エネルギーは高いですが、温度は比較的低い（1000〜1500° C）ため、セメント炭化物（WC など）の分解を回避できます。

コーティング特性:

高硬度：WC-Co コーティング硬度 HV800〜1200。

接合強度：50～80MPa、主に機械的接合、部分的な冶金的接合。
多孔性は非常に低く（<1-2%）、コーティングは緻密で耐腐食性が強いです。
表面粗さ:Ra3-6μm 、研磨により最適化可能。
低酸化：
超音速炎流により空気の巻き込みが低減し、コーティング中の酸化物含有量が低くなります（WC から W_2C または WO_3 への分解が少なくなります） 。
基板の影響は小さい：
基板温度は 200° C 未満で、熱影響部（HAZ）が小さく、後熱処理は必要ありません。

5. 超硬合金の高速酸素燃料噴霧（HVOF）による適用

HVOF は、主に基材の耐摩耗性、耐腐食性、耐高温性を向上させるために、セメント炭化物の分野で広く使用されています。

航空宇宙:
航空機の着陸装置およびタービンブレードのコーティングにより、耐摩耗性と耐腐食性が向上します。

産業機器:
切削工具、金型、バルブ、ポンプ本体の表面をコーティングして、耐用年数を延ばします。

エネルギー産業:

石油・ガス掘削機器（ドリルビットなど）およびボイラーパイプの侵食や高温酸化に耐えるコーティング。

製紙と印刷：
ローラー表面コーティング（WC-Co など）により、耐摩耗性と表面品質が向上します。

具体例：
石油ドリルビットに WC-12Co コーティングをスプレーすると、硬度が HV 1000 ～ 1200 になり、耐摩耗性が 4 ～ 6 倍向上します。
Cr_3C_2- NiCr コーティングは、最大 800° C の耐熱性と優れた耐腐食性を備えています。

6. 超硬合金高速酸素燃料溶射（HVOF）の利点と欠点

利点
高いコーティング品質：気孔率 <1-2%、高い接着強度、優れた耐摩耗性と耐腐食性。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

低酸化：炎の速度が高く、酸化を抑え、セメント炭化物（WC-Co など）に適しています。
熱影響が小さい：基板温度が低いので精密部品に適しています。

高効率：噴霧速度 0.5〜1㎡/h、工業生産に適しています。

デメリット

設備コストが高い: HVOF 設備のコストは約 100 万〜 200 万人民元で、メンテナンスが複雑です。
高い粉末要件: 高強度の粉末 (WC-Co など) が必要です。そうでないと破損する可能性があります。
大きな騒音: 超音速の炎は高デシベルの騒音 (>120 dB) を発生するため、防音設備が必要となります。
厚さ制限: コーティングの厚さが 400μm を超えると、ひび割れが発生しやすくなるため、層状にスプレーする必要があります。

7. 超硬合金高速酸素燃料溶射（HVOF）と他の溶射技術の比較

APS（プラズマ溶射）との比較

HVOF: 気孔率が低い (<1-2% vs. 2-5%)、酸化が少ない、結合強度が高い (50-80 MPa vs. 30-70 MPa)。
APS: 高温(15,000° C)、幅広い材料に適していますが、酸化が多くなります。

DGS（高性能爆薬散布）との比較

HVOF: 効率が高く (0.1 〜 0.3 ㎡ / h に対して 0.5 〜 1 ㎡ / h)、設備コストが低い。
DGS: コーティング硬度は高くなります (HV 1100 〜 1400 vs. 800 〜 1200)。ただし、操作はより複雑です。

超硬合金 HVOF（高速酸素燃料噴射）技術は、超音速炎流を通して超硬合金粉末を基材に噴射することで、高硬度、低気孔率、優れたコーティング品質、低酸化、低熱衝撃性を備えたコーティングを形成します。航空宇宙、産業機器、エネルギー産業で広く利用されています。プロセスの最適化（燃料比や噴射距離の調整など）により、性能をさらに向上させることができます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

付録：

超硬合金真空プラズマ溶射（VPS 、真空プラズマ溶射）

1.超硬合金真空プラズマ溶射（VPS）の定義

超硬合金の真空プラズマ溶射（VPS）は、プラズマ炎を用いて超硬合金粉末（WC-Co、Cr_3C_2 - NiCr など）を真空または低圧環境で溶融または半溶融状態に加熱し、基材表面に噴射することで、高硬度、低気孔率、非酸化性の耐摩耗性コーティングを形成する溶射技術です。VPS 技術は 1970 年代に開発され、その優れたコーティング品質により、需要の高い分野で広く利用されています。

2. 超硬合金真空プラズマ溶射（VPS）プロセスの原理

VPS 技術は、プラズマの高温・真空環境の特性に基づいています。主な手順は以下のとおりです。

真空環境:

噴霧は、圧力が 50〜200 Pa（0.05〜0.2 mbar）に制御された真空チャンバー内で行われ、

真空ポンプ（機械式ポンプ+拡散ポンプ）によって空気が排出され、酸素と水分が低減されます。

プラズマ生成:

プラズマスプレーガンを使用して、不活性ガス（アルゴン Ar など）または混合ガス（ $Ar+H_2$ など）を導入し、高周波アーク（電圧 50〜100V、電流 600〜1200A）によってガスをイオン化し、高温プラズマ（温度 10,000〜15,000℃）を形成します。

粉末の加熱と加速：

粉末供給装置からプラズマ炎中に焼結炭化物粉末（粒径 10〜 50μm ）を注入し、急速に加熱して溶融または半溶融状態にした後、300〜600m/s まで加速します。

コーティング形成：

溶融粒子は基板表面に衝突し、急速に冷却されて固化し、「スプラッシュ」コーティング（スプラット）を形成し、これが積み重なって通常 50 〜 500 μm の厚さの高密度コーティングを形成します。

雰囲気コントロール:

真空環境（< 200 Pa）では酸素がほとんど存在しないため、コーティングが酸化されるのを防ぎます（WC が W_2C または WO_3に分解するなど） 。

3. 超硬合金真空プラズマ溶射（VPS）金粉末の特性

よく使われる材料:

WC-Co（コバルト含有量 6〜12 重量% ） ：硬度と耐摩耗性が高く、耐摩耗コーティングによく使用されます。

Cr_3C_2 - NiCr :高温酸化および腐食に耐性があり、高温環境に適しています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

TiC -Ni: 硬度が高く、特殊な耐摩耗性要件に適しています。

粉末の要件:

粒子サイズ：10〜50μm 、噴霧の均一性を確保します。

純度: >99.5%、酸素含有量 <300 ppm、コーティング欠陥を回避。
形態: 加速と堆積に適した球形またはほぼ球形。

4. 超硬合金真空プラズマ溶射（VPS）の特徴

酸化なし：
真空環境（< 200 Pa）により酸化が排除され、コーティングには酸化物（WO_3など）が含まれず、セメント炭化物の本来の特性が保持されます。
コーティング性能：

高硬度：WC-Co コーティング硬度 HV1000〜1300。

結合強度: 60 ～ 90 MPa、部分的な冶金結合、より強力な結合。
多孔性は非常に低く（<0.5-1%）、コーティングは緻密で耐腐食性に優れています。
表面粗さ:Ra2～ 4μm 、後続加工がほとんど必要ありません。
高温対応能力:
プラズマ温度は 10,000～15,000℃で、高融点の超硬合金（WC など、融点 2870℃）を溶かすことが可能です。
基板の影響は小さい：
基板温度を 200℃未満に制御でき、熱影響部（HAZ）が小さいため、精密部品に適しています。
複雑なプロセス:
真空チャンバーと真空システムが必要なので、操作が複雑になり、コストが高くなります。

5. 超硬合金への真空プラズマ溶射（VPS）の応用

超硬合金分野における VPS の応用は、主に高性能および高信頼性のシナリオに集中しています。
航空宇宙:
高温摩耗および酸化に耐性のあるタービンブレードおよび燃焼室コーティング。

高温・真空環境における腐食に耐性のある宇宙船部品のコーティング。

医療機器:
耐摩耗性、生体適合性を高めるための人工関節（股関節など）の表面コーティング。
エネルギー産業:
高温腐食および摩耗に耐える原子力設備およびガスタービンのコーティング。
ハイエンド産業：
精密金型と切削工具のコーティングにより、耐用年数を延ばします。
具体例：

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

航空タービンブレードに WC-12Co コーティングを噴霧すると、硬度は HV1100〜1300 になり、耐摩耗性は 5〜10 倍向上し、酸化物欠陥はありません。

原子力バルブには Cr_3C_2- NiCr コーティングが吹き付けられており、900℃の温度に耐えることができ、耐腐食性に優れています。

6. 超硬合金真空プラズマ溶射（VPS）の利点と欠点

利点:

コーティングの品質は非常に高く、多孔度は 0.5 ～ 1% 未満、酸化がなく、耐摩耗性と耐腐食性が最適となっています。

高い接着強度：60〜90MPa、部分的な冶金結合、コーティングは剥がれにくい。

需要の高いシナリオに適用可能：航空宇宙、医療などの高性能分野に適しています。

熱影響が小さい：基板温度が低いので精密部品に適しています。

デメリット:

設備コストが高い: VPS システム（真空チャンバーを含む）のコストは約 300 万〜 500 万人民元で、メンテナンスが複雑です。

効率が低い：掃除機をかける必要があります（各操作には 30 ～ 60 分かかります）、噴霧速度は約 0.3 ～ 0.5 ㎡ / h です。

操作が複雑：真空度と雰囲気を厳密に制御する必要があり、オペレーターに高い技術力が求められます。

基板サイズの制限: 真空チャンバーのサイズにより、大きな部品のスプレーは困難です。

7. 超硬合金真空プラズマ溶射（VPS）と他の溶射技術の比較

APS（プラズマスプレー）との比較：

VPS: 酸化なし、低多孔性（<0.5-1% vs. 2-5%）、高接着強度（60-90 MPa vs. 30-70 MPa）。

APS:大気中で作動し、コストは低いが、酸化力が強い。

HVOF（高速酸素燃料噴霧）との比較：

VPS: コーティングは高密度で酸化がありませんが、コストが高く、効率は低くなります。

HVOF：気孔率は若干高い（<1-2%）が、設備コストは低く（100 万〜200 万元）、効率は高い。

DGS（高性能爆薬散布）との比較：

VPS: 酸化がなく、需要の高いシナリオに適していますが、効率は低くなります。

DGS: 多孔度は同様（< 1%）ですが、微量の酸化がある可能性があり、設備コストが若干低くなります（200 万〜300 万元）。

超硬合金真空プラズマ溶射（VPS）技術は、真空環境下でプラズマを用いて超硬合金粉末を溶射し、高硬度、非酸化性、低気孔率のコーティングを形成します。極めて高いコーテ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

ィング品質と低熱衝撃といった特徴があり、航空宇宙、医療、ハイエンド産業分野で広く利用されています。しかし、設備コストが高く、効率が低いため、需要の高い用途には適していません。プロセスの最適化（真空度や溶射距離の調整など）により、性能をさらに向上させることができます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

超硬合金溶射技術の比較表

テクノロジー名	プラズマ溶射（APS）	高爆薬散布（DGS）	高速度酸素燃料噴霧（HVOF）	真空プラズマ溶射（VPS）
意味	大気中でプラズマ炎を噴射して耐摩耗コーティングを形成します。	超音速で硬質合金をデトネーション反応により噴射し、高硬度のコーティングを形成します。	低多孔性コーティングは、燃料と酸素の燃焼による超音速焼結炭化物噴霧によって形成されます。	真空環境下でプラズマ炎を噴射し、酸化のないコーティングを形成します。
プロセス原理	Ar または Ar + H_2イオン化、温度 10,000～15,000° C。 粉末（10～ 50μm ）を 300～600m/s で加速します。 大気圏内動作、 Ar シールド。	O_2 +C_2H_2 爆発、温度 4000° C、衝撃波 3500 m/s。 粉末（10～ 50μm ）を 800～1200m/s で加速します。 周波数 1～10 Hz、N_2パージ。	O_2+灯油/プロパン燃焼、温度 2800～3200℃。 粉末（10～ 45μm ）を 500～1000m/s で加速します。 ラバルノズル。	真空（50～200 Pa）、 Ar または Ar+H_2イオン化、温度 10,000～15,000° C。 粉末（10～ 50μm ）を 300～600m/s で加速します。 嫌気性環境。
特徴	強力な高温耐性、硬度 HV900-1200。 気孔率 2～5%、接着強度 30～70MPa。 酸化の危険。	高温高圧、硬度 HV1100～1400。 多孔度<1%、接着強度 70～100MPa。 熱入力が低い。	高速・低発熱、硬度 HV800～1200。 多孔度<1-2%、接着強度 50-80 MPa。 低酸化。	酸化なし、硬度 HV1000～1300。 気孔率<0.5-1%、接着強度 60-90 MPa。 高温対応可能。
応用	切削工具、バルブ、ポンプ本体。 タービンブレード、ボイラーパイプ。 例：ドリルビット WC-12Co、耐摩耗性が 3 ～ 5 倍向上します。	タービンブレード、コンプレッサーブレード。 切削工具、石油・ガス掘削ビット。 例：タービンブレード用の WC-12Co、耐摩耗性が 5～8 倍向上します。	着陸装置、タービンブレード。 切削工具、掘削装置、ローラー。 例：ドリルビット WC-12Co、耐摩耗性が 4～6 倍向上します。	タービンブレード、宇宙船の部品。 医療用関節、原子力設備。 例：タービンブレード用の WC-12Co、耐摩耗性が 5～10 倍向上します。
メリットとデメリット	利点：適用範囲が広く、効率が高い（0.5～1㎡/h）、コストが中程度（50 万～100 万元）。 デメリット： 酸化性が高い、多孔性のため後処理が必要、熱の影響。	利点： コーティング品質が高く、熱の影響が少なく、後処理が少なくて済みます。 デメリット：設備が複雑（200～300 万元）、効率が低い（0.1～0.3㎡/h）、リスクが高い。	利点： コーティング品質が高く、酸化が少なく、効率が高い （0.5 ～ 1 ㎡ / h）。 デメリット：コストが高い（100～200 万元）、騒音が大きい、厚さが限られている。	利点： コーティング品質が非常に高く、酸化がなく、高い要求に適しています。 デメリット： コストが高い（300～500 万元）、効率が低い（0.3～0.5㎡/h）、サイズが限られている。

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

付録：

炭化物インターフェースエンジニアリング

1. 超硬合金界面工学の意味と意義

硬質相として炭化タングステン（WC）、バインダー相としてコバルト（Co）を有する超硬合金（WC-Co）は、優れた硬度（HV1000～1800）、耐摩耗性、高温安定性により、航空機ノズル、切削工具、電解セル電極などの高性能分野で広く使用されています。しかし、その性能は基材だけでなく、界面特性（WC/Co 界面、コーティング/基材界面など）にも依存します。界面とは、材料内部または表面における異なる相（WC と Co、コーティングと基材など）間の微細領域であり、その化学組成、微細構造、機械的挙動は材料全体の性能に直接影響を及ぼします。航空機ノズルの高温浸食（1000～1600° C）や電解セルの高腐食性環境（pH 1～14）などの極端な条件下では、界面欠陥（細孔、応力集中、不十分な結合強度など）により、摩耗の増加、コーティングの剥離、触媒効率の低下が生じる可能性があります。

超硬合金界面エンジニアリングは、物理的、化学的、または機械的な方法を用いて、界面の微細構造、化学結合、および機械的特性を精密に制御し、材料の機能性と耐久性を最適化します。この技術は、強固で安定した界面を構築し、基材とコーティング、および異なる相間の相乗効果を高めることで、複雑な環境における超硬合金の性能を向上させることを目的としています。例えば、航空機ノズルでは、界面エンジニアリングによってコーティングの密着性が向上し、ノズルの寿命が 30～50%延長されます。また、電解槽の電極では、界面の触媒活性を最適化することで、水素発生効率が 10～20%向上します。界面エンジニアリングは、超硬合金の性能を飛躍的に向上させる鍵であるだけでなく、航空、エネルギー、製造業における技術進歩の重要な原動力でもあります。

2. インターフェースエンジニアリングの主な目的

インターフェースエンジニアリングの中核は、実用分野における超硬合金のインターフェース関連の問題を解決することです。その主な目標は以下のとおりです。
インターフェースの結合強度を強化: コーティング/基板または WC/Co インターフェースの接着力（例: >50 N）を向上させ、剥離やひび割れを防ぎ、航空ノズルの高圧浸食要件を満たします。

応力分布の最適化
誘導によって軽減できます。

耐食性の向上
電解セル内の硫酸や水酸化カリウムなど）を遮断する緻密なインターフェースを構築し、腐食速度を 50 ～ 90% 低減します。

触媒活性の向上

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

電解装置の電極では、界面ナノ構造によって活性部位が増加し、水素/酸素発生の過電位（50～200 mV）が低下します。

耐用年数を延ばす

インターフェース性能を総合的に最適化することで、航空ノズルの寿命を 5,000 時間から 8,000 時間に延長するなど、部品の寿命を 20 ～ 50% 延長できます。

3. 超硬合金界面工学の主な技術的方法

原理、プロセス、応用の観点から、主要な手法について詳しく説明します。

3.1 インターフェース構造設計

WC/Co 界面の微細構造を調整することにより、超硬合金の内部相の相乗効果が最適化されます。

粒度制御

超微細 WC 粉末（粒子径 0.2～ 1μm ）を使用し、焼結プロセス（1350～1450℃）を最適化することで、WC/Co 界面の粒界をより均一化し、界面接合強度を 20%向上させます。この方法はマトリックスの靭性を高め、航空機ノズルの耐衝撃性要件に適しています。

インターフェースドーピング

Cr_3C_2など）の導入 WC/Co 界面に VC（炭化ケイ素）を添加することで、WC の粒成長を抑制し、ナノスケールの界面層（厚さ 10～100nm）を形成し、硬度を 5～10%（HV1600～1800）向上させます。この技術により、電解セル電極マトリックスの耐食性が向上します。

3.2 コーティング界面の最適化

コーティングと超硬合金基材間の遷移層または界面構造を設計することにより、接着性と安定性が向上します。

グラデーションコーティング

TiN / TiCN / Al_2O_3など）を形成すると、熱膨張係数と硬度が層ごとに徐々に変化し、密着性が 30%（>60 N）向上します。航空機ノズルでは、傾斜コーティングにより熱応力割れが低減し、耐用年数が 40%延長されます。

インターフェース前処理

基材表面を粗面化（Ra 0.8～ 2 μm ）すると、機械的な連結効果が向上し、コーティングの密着性が 20%向上します。この方法により、電解セルの電極コーティング（ RuO_2 など）の長期安定性が確保されます。 ） 。

遷移層の設計

1μm ）の層を設けることで、化学結合が強化され、界面応力が低減されます。例えば、

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Ti 遷移層を設けることで、PVD -TiN コーティングにおける密着力は 70N まで向上します。

3.3 マトリックスインターフェースの変更

物理的または化学的な方法によって WC/Co インターフェースまたは基板表面を直接変更し、インターフェースのパフォーマンスを向上させます。

イオン注入

高エネルギーイオン（N^+やC^+など）を基板表面（深さ 0.1～ 1μm ）に注入することで、硬化界面層（硬度 HV1500～2000）を形成し、耐摩耗性と耐腐食性を向上させます。電解セル電極では、N^+注入により塩素発生効率が 15%向上します。

レーザーインターフェースの変更

レーザービームを用いて基板表面を溶融または衝撃することで、ナノスケールの界面構造（粒径<100nm）を形成し、硬度を 10%（HV1200～1600）向上させます。この技術により、航空機ノズルの流路における摩擦係数（0.1～0.2）を低減できます。

プラズマ処理

Ar 、N_2など）を基材表面に照射することで酸化物を除去し、圧縮応力を誘起することで、界面接合強度を 20%向上させます。電解セルでは、プラズマ処理によってコーティングの耐酸性が向上します。

4. インターフェースエンジニアリングの応用シナリオ

超硬合金インターフェースエンジニアリングは、航空ノズル、電解セル、その他の高性能分野で幅広い応用価値を示しています。

航空ノズル

TiN / Al_2O_3など）は、コーティングと基材の界面を最適化し、密着性を 30 %向上させ、高速気流浸食を受ける燃料ノズルの寿命を 40%（5,000 時間から 7,000 時間）延長します。また、粒径制御により WC/Co 界面の靭性が向上し、冷却ノズルの耐熱疲労要件を満たします。

電解槽電極

イオン注入と遷移層設計により、電極界面の触媒活性が向上し、水素発生過電圧（100～150 mV）が低減し、効率が 10～15%向上します。例えば、PEM 電解装置では N^+を注入した WC-Co 電極を使用することで、貴金属使用量を 60%削減し、寿命を 15,000 時間に延長します。

切削工具

界面ドーピング（Cr_3C_2など）により WC/Co 界面が最適化され、硬度が 5%、耐摩耗性が 30%向上し、高速切削に適したものになります。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

採掘ピック
レーザーインターフェース改質により硬化層が形成され、耐摩耗性が 20% 向上し、耐用年数が延長されます。
事例: GE9X エンジンの燃料ノズルには PVD- TiN 傾斜コーティングが採用されており、界面接着力は 70 N、耐摩耗性は 30% 向上し、燃焼効率も向上しています。

5. 利点と課題

5.1 利点

パフォーマンスの飛躍的進歩
インターフェースエンジニアリングにより、コーティングの接着性（> 50 N）、耐腐食性、触媒活性が大幅に向上し、コンポーネントの寿命が 20～50% 延長され、効率が 10～20% 向上します。

協調最適化
WC/Co またはコーティング/基板界面を調節することで、基板と機能層間の相乗効果が強化され、航空ノズルや電解セルの複合動作条件を満たすことができます。

優れた柔軟性
電解槽の触媒インターフェースやノズルの耐摩耗インターフェースなど、さまざまな用途に合わせてカスタマイズできます。

分野横断的な応用
この技術は航空、エネルギー、製造など複数の分野に適用可能であり、幅広いエンジニアリング価値を示しています。

5.2 課題

プロセスの複雑さ
インターフェースエンジニアリングでは、微細構造（粒径や遷移層の厚さなど）の精密な制御が求められ、装置やプロセス（1,000 万～3,000 万人民元の PVD 装置など）に対する要件も高くなります。

高コスト
イオン注入やレーザー改質などの技術は動作エネルギー消費量が大きい（500～1000 kWh/バッチ）ため、大規模な適用が制限されます。

インターフェースの安定性
長期間の高温または腐食環境下では、インターフェースが劣化する可能性があり（コーティングの剥離や触媒部位の不活性化など）、インターフェース設計を最適化する必要があります。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

材料の適合性
異なる相の熱膨張係数の違いにより界面の亀裂が発生する可能性があり、新しい遷移材料の開発が必要です。

環境への影響
CVD およびイオン注入には化学ガスや高エネルギー消費が伴うため、環境に優しいプロセスの改善が必要です。

6. 今後の開発動向
ために、今後は以下の方向に重点を置くことができます。

マルチスケールインターフェース設計
ナノスケールのドーピング（<100 nm）とミクロンスケールの遷移層（1～10 μm ）を組み合わせることで、界面の結合と安定性が向上し、耐久性が 30～50%増加します。

グリーンインターフェーステクノロジー
低温 PVD/CVD（<500° C） またはプラズマ強化処理を開発して、エネルギー消費を 30～50% 削減し、化学物質の排出を削減します。

スマートなインターフェースの最適化
AI と分子動力学シミュレーションを活用することで、界面応力の分布や触媒性能を予測し、研究開発サイクルを 30%短縮することができます。

複合関数インターフェース
MoN / TiN など）を開発することで、電解装置電極の効率を 20％向上させ、貴金属の使用量を 70％削減できます。

積層造形統合
3D プリントされた炭化物基板とインサイチューインターフェース改質を組み合わせることで、複雑な部品の統合製造が可能になり、コストを 20～30% 削減できます。

7. 超硬合金界面工学の技術的特徴

テクノロジー	作用機序	代表的な用途	主なメリット	主な制限事項	アプリケーション効果
粒度制御	WC/Co 界面粒界の最適化	ノズル、カッター	靭性+20%、硬度+5%	焼結プロセスは複雑である	ノズル耐衝撃性+30%
インターフェースドーピング	Cr_3C_2 と VC のご紹介	電極、ピック	硬度+5～10%、耐食性	添加物管理の難しさ	電極耐腐食性+20%

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

グラデーションコーティング	PVD/CVD 多層遷移	ノズル、電極	接着力+30%、耐熱ストレス性	設備コストが高い	ノズル寿命+40%
インターフェース前処理	サンドブラスト、化学エッチング	電極、ツール	接着強度+20%、シンプルなプロセス	表面粗さの増加	電極安定性+25%
イオン注入	N^+ 、 C^+埋め込みインターフェース	電極、ノズル	触媒活性+15%、インターフェースなし	深さが限られており、コストが高い	水素発生効率+10%
レーザーによる修正	ナノスケール界面硬化	ノズル、ピック	摩擦係数 0.1～0.2、高精度	高いエネルギー消費	チャネル耐摩耗性+20%
プラズマ処理	酸化物、圧縮応力を除去	電極、タンク	接着強度+20%、耐酸性	複雑な機器	電極耐腐食性+30%

例:
作用機序: 技術の中核となるメカニズムの概要。
主な用途: 航空ノズル、電解装置など。
長所と短所: パフォーマンスと制限を比較します。
適用効果：ノズルと電解セルへの貢献を強調します。
データソース: USGS 2024 レポートおよびセメントカーバイドの技術基準。

超硬合金界面エンジニアリングは、WC/Co 界面およびコーティング/基板界面の微細構造と特性を精密に制御することにより、航空ノズルや電解セル電極などの高性能アプリケーションに画期的なソリューションを提供します。傾斜コーティング、イオン注入などの技術により、界面の接合、耐腐食性、触媒活性が大幅に向上し、ノズル寿命が 40%延長され、電解効率が 10～20%向上します。プロセスの複雑さ、コスト、界面の安定性は依然として課題ですが、マルチスケール設計、グリーンプロセス、インテリジェント最適化の統合により、この技術は新たな高みへと押し上げられます。界面エンジニアリングは、超硬合金の性能向上の鍵となるだけでなく、航空、エネルギー、製造分野の持続可能な発展に強力な推進力を注入し、材料科学とエンジニアリングの応用における深い相乗効果を発揮します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

付録：

超硬合金表面改質技術

1. 超硬合金表面改質の意味と意義

超硬合金（WC-Co）は、炭化タングステン（WC）を硬質マトリックスとし、コバルト（Co）を結合相として有しています。優れた硬度（HV1000～1800）、耐摩耗性、高温安定性を備え、切削工具、採掘ピック、航空ノズルなどの高性能分野の中核材料となっています。しかし、高温ガス浸食（1000～1600℃）、高圧衝撃（10～30MPa）、航空ノズルが直面する燃料硫化物腐食などの過酷な使用条件下では、超硬合金の表面が摩耗、酸化、疲労破壊を起こし、その耐用年数と信頼性が制限される可能性があります。超硬合金の表面改質技術は、物理的、化学的、または機械的な手段を用いて、表面層の化学組成、微細構造、または物理的特性を精密に制御することで、マトリックス材料の優れた機械的特性を維持しながら、表面性能を大幅に向上させます。この技術は部品の寿命を延ばす鍵となるだけでなく、航空や製造などの産業における技術進歩の重要な原動力でもあります。

表面改質の中心的な目標は、特定の環境下での超硬合金の性能を最適化することです。たとえば、航空機ノズルでは、表面改質により耐摩耗性を高めて高速気流の摩耗に対処したり、耐腐食性を高めて燃料の化学的浸食に抵抗したり、耐高温性を高めて燃焼室内の過酷な条件に適応したりできます。 これらの改善により、ノズルの寿命が延びるだけでなく（5,000 時間から 8,000 時間）、燃焼効率も向上し（5～10%）、航空エンジンの省エネ、排出量削減、性能最適化に役立ちます。 さらに、表面改質技術は、摩擦係数を下げたり耐疲労性を高めたりすることで、切削工具や金型などのさまざまな用途のニーズをさらに満たし、幅広いエンジニアリング価値を発揮します。

2. 超硬合金表面改質技術の主なアプローチ

超硬合金の表面改質技術は、表面コーティング技術、表面化学改質技術、表面機械改質技術の 3 つのカテゴリーに分けられます。それぞれの技術は、異なる作用メカニズムを通じて超硬合金の表面に特定の機能を付与し、複雑な加工条件における課題に対応します。以下では、プロセス原理、適用シナリオ、そして効果の観点から、各技術の特徴を詳細に解説します。

2.1 表面コーティング技術：保護バリアの構築

表面コーティング技術は、超硬合金の表面に機能性材料（セラミック、金属、複合材料など）を 1 層以上堆積させることで基材の保護バリアを形成し、耐摩耗性、耐腐食性、耐高温性を大幅に向上させます。この技術は、高温浸食や化学腐食に効果的に対処できるため、特に航空機ノズルで広く使用されています。

物理蒸着法（PVD）

PVD は、真空環境での物理的プロセス（スパッタリングや蒸発など）を使用して、原子ま

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

たは分子の形のコーティング材料（窒化チタン TiN や酸化アルミニウム Al ₂ O ₃など）をセメント炭化物の表面に蒸着し、厚さ 1～10 μｍのフィルムを形成します。 PVD プロセス温度は低温（200～500℃）であるため、基材の性能低下を回避できます。 コーティング硬度は HV2000～3000 に達し、強力な密着性（＞ 50 N）を備えています。 航空機ノズルでは、 TiN コーティングにより燃料ノズルの耐摩耗性が大幅に向上し、高速気流洗浄下での耐用年数が 30%延長されます。 ただし、PVD コーティングは薄く、極度の衝撃を受けると剥がれる可能性があり、高負荷条件下での適用が制限されます。

化学蒸着（CVD） CVD は、気体前駆体（四塩化チタン
$TiCl_4$など）を固体コーティング（炭化チタン TiC など）に変換します。 CVD コーティングは、高温（800 ～1000℃）の化学反応により、厚さ 5～ 20μｍの Al_2O_3（アルミナ）層を形成します。CVD コーティングは厚く緻密であるため、特に高温環境に適しており、例えばターボファンエンジンの冷却ノズルの Al_2O_3コーティングは、1500℃の高温に耐え、酸化腐食に強いという利点があります。しかし、高温プロセスでは、基材のコバルト相が軟化したり、プロセス制御が困難になったり、設備コストが高額になったりする（約 1,000 万～3,000 万人民元）という問題があります。

は、溶融または半溶融の材料（WC-Co、炭化クロム Cr_3C_2など）を高速で噴射することで、表面に厚さ 50～ 500μｍ**のコーティングを形成します**
。この技術は、ガスタービンノズルのスロートなどの大型部品に適しており、厚いコーティングにより高速ガス浸食に効果的に耐えることができます。ただし、溶射コーティングは結合強度が低く（20～40MPa）、表面が粗い（Ra 2～ 5μｍ ） 、航空ノズルの精度要件（Ra ＜ 0.4μｍなど）を満たすために後続の加工が必要です。

2.2 表面化学修飾：表面構造の再構築

表面化学改質は、新元素の導入や表面層の化学組成の変化によって、超硬合金の表面特性を向上させます。この方法は材料表面に直接作用し、基材とシームレスに接続する改質層を形成するため、特に高精度部品に適しています。

注入は、高エネルギーイオンビーム（窒素 N^+

、炭素 C^+など）を使用して表面に衝撃を与え、イオンを表面層（深さ 0.1～1μｍ）に埋め込み、硬化化合物（WN、WC など）を形成し、硬度（HV1500～2000）と耐摩耗性を向上させます。イオン注入は明らかなコーティング界面がなく、基材の特性を維持します。航空ノズルの微細孔表面の耐摩耗性強化に適しており、耐摩耗性を 20%向上させることができます。ただし、改質深さが限られており、設備コストが高い（約 1,000 万人民元）ため、大面積部品への適用は制限されています。

化学熱処理（浸炭、窒化）
化学熱処理は、高温（800～1000℃）で炭素または窒素原子を表面に浸透させ、硬質化合

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

物層（厚さ 10～100μm）を形成します。窒化処理された超硬合金の表面硬度は HV1500～2000 に達し、耐摩耗性が大幅に向上するため、採掘用ピックや航空機ノズルなどの耐摩耗部品に適しています。ただし、高温はマトリックスの靭性を低下させる可能性があるため、性能バランスを保つためにプロセスパラメータを厳密に制御する必要があります。

2.3 表面の機械的改質：形態と応力の最適化

表面機械改質は、物理的な作用によって表面形態または応力状態を変化させ、耐疲労性または耐摩耗性を向上させる方法です。この方法はプロセスがシンプルでコストが低く、様々な作業条件に適しています。

ショットピーニング

ショットピーニングは、高速の弾丸（鋼鉄ショットやセラミックショットなど）を表面に衝突させることで圧縮応力を生じさせ、疲労耐性を向上させる方法です。ショットピーニングは、航空機ノズル流路の疲労寿命を 30%延長することができ、特に周期的な熱応力を受ける部品に適しています。しかし、ショットピーニングは表面粗さ（Ra 0.8～ 2 μm ）を増加させるため、流体効率に影響を与える可能性があり、その後の研磨が必要になる場合があります。

レーザー表面改質

レーザー表面改質は、レーザービームを用いて表面を溶融または衝撃させることで、硬化層（深さ 0.1～1mm）またはマイクロナノ構造を形成し、硬度（HV1200～1600）を高め、摩擦係数（0.1～0.2）を低減します。航空機ノズルの微細孔表面において、レーザー改質は流体力学を最適化し、凝着摩耗を低減します。しかし、レーザー設備は高価（約 500 万元）で、消費エネルギーも大きいため、運用コストを削減するためにはプロセスを最適化する必要があります。

3. 航空機ノズルにおける超硬合金表面改質の応用

航空機ノズルは、航空機エンジン（ターボファン、ターボシャフト）およびガスタービンの中核部品として、高温、高圧、腐食性環境下でも安定して動作する必要があります。超硬合金の表面改質技術は、耐摩耗性、耐腐食性、耐高温性を向上させることで、ノズルの性能と寿命を大幅に向上させます。例えば、

燃料ノズル

GE9X エンジンの燃料ノズル（直径 0.1～0.5mm）に PVD- TiN コーティングを施すことで、耐摩耗性が 30%向上し、耐用年数が 5,000 時間から 7,000 時間に延長され、燃焼効率が 5%向上します。

冷却ノズル

CVD-Al_2O_3コーティングは、ターボファンエンジンの冷却孔ノズルに使用されています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

1500℃の高温に耐え、酸化腐食を低減し、メンテナンスサイクルを 30 %延長します。

ノズルスロート
ガスタービンのノズルには、高速ガス侵食に耐え、耐用年数を 20% 延長するために、熱噴射 WC-Co コーティングが使用されています。
フロー チャネル表面: ショット ピーニングとレーザー修正により、フロー チャネルの疲労耐性が向上し、周期的な熱応力に適応し、疲労寿命が 30% 増加します。

これらのアプリケーションは、ノズルの信頼性を向上させるだけでなく、エンジンの燃料効率と排出ガス性能を最適化し、航空業界の持続可能な発展に貢献します⁉ web:9 ⁉ 。

4. 超硬合金表面改質技術の利点と限界

超硬合金の表面改質技術は、高性能部品の性能を大幅に向上させますが、一定の制限もあります。

超硬合金表面改質技術の利点:
パフォーマンスの最適化
耐摩耗性、耐腐食性、耐高温性が 20 ～ 50% 向上し、部品の寿命が延び、航空ノズルなどの過酷な作業条件にも適合します。
基板保護
改質は表面にのみ作用し、WC-Co マトリックスの優れた強度 (2000～2500 MPa) と靭性を維持します。
柔軟なカスタマイズ
薄膜コーティング（PVD）から厚膜コーティング（溶射）、硬化層（イオン注入）からマイクロナノ構造化（レーザー）まで、要件に応じて技術を選択できます。

超硬合金表面改質技術の限界:
高コスト
設備投資額が大きく（例：PVD/CVD 炉は 1,000 万～3,000 万人民元）、稼働エネルギー消費量も大きい（バッチあたり 500～1,000kWh）。
複雑なプロセス
パラメータ（CVD 温度、イオン注入量など）を正確に制御する必要があり、基板の表面状態が効果に影響します。
適用範囲の制限
薄いコーティング（PVD 1～10 μm ）は激しい浸食によって剥離しやすく、化学改質の深さ（0.1～100 μm ）では長期の摩耗に対処するのに不十分です。

5. 超硬合金表面改質技術の課題

超硬合金の表面改質技術は、航空機ノズルなどの分野で大きな可能性を示していますが、その推進と応用には依然として次のような課題が残っています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

経済的

高性能な装置やプロセスにはコストがかかるため、中小企業、特に大量生産においては、性能とコストのバランスを取る必要があるため、その適用が制限されます。

安定性と信頼性

コーティングの密着性（20～50MPa）や改質層の均一性は、基材表面の清浄度や粗さに影響を受けるため、前処理技術の改善が必要です。

過酷な労働条件への適応性

高温侵食および周期的ストレス下における航空ノズルの長期性能はまだ検証する必要があり、薄いコーティングの剥離や改質層の摩耗が主なボトルネックとなっています。

環境の持続可能性

CVD では化学ガスの排出が伴い、溶射やレーザー改質ではエネルギー消費量が多く、環境保護要件を満たすグリーンプロセスを開発する必要があります。

材料の適合性

改質層と WC-Co マトリックスの熱膨張係数の差（例: Al_2O_3 8×10^{-6}/° C 対 WC-Co 5～7×10^{-6}/° C）により熱応力割れが発生する可能性があり、インターフェース設計を最適化する必要があります。

6. 超硬合金表面改質技術の今後の発展方向

ために、今後は以下の方向でブレークスルーを実現することができます。

多層複合コーティング

TiN / Al_2O_3 / TiC など）は、高硬度と高靭性を兼ね備え、耐摩耗性が 50%、耐剥離性が 30%向上し、航空ノズルの複雑な作業条件を満たします。

グリーンプロセスイノベーション

低温 CVD（<600° C）またはプラズマ強化 PVD を推進してエネルギー消費を 30～50%削減し、化学物質の排出を削減するために環境に優しい前駆物質を開発します。

スマートな表面デザイン

、 DLC など）により、摩擦係数を 0.1 以下に低減でき、ノズル流体効率が向上します。

積層造形統合

3D プリントされた炭化物基板と表面改質（インサイチューレーザー改質など）を組み合わせることで、複雑な部品の統合製造を実現し、コストを 20 ～ 30% 削減できます。

データ駆動型最適化

人工知能と分子動力学シミュレーションを活用してコーティングの性能と寿命を予測し、研究開発サイクルを 30% 短縮し、技術の反復を加速します。

7. まとめ

超硬合金表面改質の技術的特徴

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

テクノロジー	作用機序	代表的な用途	主なメリット	主な制限事項	航空ノズル効果
PVD	物理蒸着薄膜 1～10	切削工具、ノズルの微細孔	高硬度 HV2000～3000、低温プロセス	コーティングが薄く、耐衝撃性が弱い	燃料ノズルの耐摩耗性+30%、寿命 7000 時間
CVD	化学蒸着厚膜コーティング 5～20	ノズル、ビック	耐高温 1500℃、耐腐食性	高温は基板を損傷し、コストがかかる	冷却ノズル耐熱性 1500° C、メンテナンスサイクル+30%
溶射	厚塗りスプレー 50～500	ノズルスロート、金型	耐侵食性、厚膜コーティング	結合力が低く、精度が低い	ガスタービンノズル寿命+20%
イオン注入	イオン埋め込み硬化層 0.1～1	ナイフ、ノズル	インターフェースなし、高精度	深さが限られており、設備が高価	マイクロポア耐摩耗性+20%
化学熱処理	浸炭/窒化硬化 10～100	ビック、ノズル	高硬度、中程度のコスト	高温は靭性に影響を与える	耐摩耗部品の硬度：HV1500～2000
ショットピーニング	投射物による圧縮応力	ノズル流路	疲労軽減、低コスト	粗さの増加	ランナーの疲労寿命+30%
レーザーによる修正	レーザー硬化/マイクロナノ構造	ノズル、金型	高精度と低摩擦	高いエネルギー消費と高いコスト	微細孔摩擦係数 0.1～0.2

例:
作用機序: テクノロジーの中核原理の概要。
一般的な用途: 主な使用シナリオをリストします。
長所と短所: パフォーマンスと制限を比較します。
エアロ ノズル効果: ノズルの特定の寄与を強調表示します。
データソース: USGS 2024 レポートおよびセメントカーバイドの技術基準 ？ web:9,23 ？ 。

結論は

高度なコーティング、化学処理、機械処理を経た超硬合金の表面改質技術は、WC-Co 材料に優れた耐摩耗性、耐腐食性、耐高温性を付与し、航空ノズルや切削工具などの高性能分野でその威力を発揮しています。航空ノズルでは、PVD および CVD コーティングが高温浸食に効果的に対処し、ショットピーニングとレーザー改質により疲労耐性が大幅に向上し、部品寿命が総合的に 20～50％延長され、燃焼効率が 5～10％最適化されます。高コスト、プロセスの複雑さ、過酷な作業条件への適応性は依然として課題ですが、多層複合コーティング、グリーンプロセス、積層造形などの統合により、技術はより高いレベルに押し上げられます。超硬合金の表面改質技術は、材料科学におけるイノベーションの最前線にあるだけでなく、航空産業の効率的で信頼性が高く持続可能な発展に強力な推進力を注入し、科学と工学の深い融合を実証しています。

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

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

付録：

電解セルにおける超硬合金ナノ複合コーティングの応用

1. 超硬合金とナノ複合コーティングの背景

硬質相として炭化タングステン（WC）、バインダー相としてコバルト（Co）を含む超硬合金（WC-Co）は、高硬度（HV1000〜1800）、優れた耐摩耗性、高温安定性のため、航空機ノズル、切削工具、産業用耐摩耗部品に広く使用されています。しかし、強酸およびアルカリ電解液（pH 1〜14）、高温（50〜80° C）、高電流密度（0.1〜10 A/cm² ）などの電解セルなどの極端な環境では、超硬合金表面は腐食、摩耗、または不十分な触媒性能などの課題に直面する可能性があります。高度な表面改質技術であるナノ複合コーティングは、ナノスケールの粒子（ SiC 、 当社は、金属やセラミックマトリックスを用いた超高強度（TiO_2 、 CNT）または薄膜（厚さ 1〜100 nm）の複合材料を開発し、電解セルの電極、タンク、耐腐食部品に最適なソリューションを提供しています。

電解装置におけるナノ複合コーティングの応用は、主に電極の電気触媒効率の向上、耐腐食寿命の延長、貴金属（白金やイリジウムなど）の使用量削減に重点を置いています。例えば、水素電解装置（PEM 電解装置など）では、ナノ複合コーティングにより、高い触媒活性を維持しながら白金使用量を 10〜40 分の 1 に削減できます。航空機ノズルの分野でも、同様の技術が耐摩耗性と耐腐食性の向上に利用されており、過酷な作動条件下での幅広い適用性を示しています。

精密なコーティング設計により、セメント炭化物ナノ複合コーティングは電解セルの性能を最適化するだけでなく、グリーンエネルギー技術の持続可能な開発を促進します。

2. 超硬合金ナノ複合コーティングの特性

ナノコンポジットコーティングは、少なくとも 2 つの非混和相（金属マトリックスとナノ粒子など）から構成され、界面領域はナノスケール構造（粒子サイズ＜100nm）を有します。その独自の特性は、微小サイズ効果、界面強化、量子効果といったナノ効果の相乗効果によってもたらされます。主な特徴は以下のとおりです。

高い硬度と耐摩耗性

SiC など） Al_2O_3 ）がマトリックス(Ni-P、WC-Co など)に埋め込まれ、硬度は最大 HV2000〜3000 に達し、耐摩耗性が 30〜50%向上するため、電解セル電極が受ける機械的摩耗に適しています。

優れた耐腐食性

ナノコーティング（ TiN 、 MoN など）の緻密な構造と化学的不活性により、腐食性の電解質（硫酸、水酸化カリウムなど）が効果的に遮断され、腐食速度が 50〜90%低減します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

高効率電気触媒

RuO ₂や IrO ₂など）は表面反応面積を拡大し、水素/酸素発生過電圧（50～200 mV）を低減し、電気分解効率を 10～20 %向上させます。

熱安定性

コーティングは電解槽の動作温度である 50～80℃でも安定しており、一部のコーティング（Al_2O_3- TiO など）は ₂ ）はより高い温度（＞200° C）に耐えることができます。

貴金属への依存度が低い

MoN 、CNT など）を使用した製造ではコストを 50～80%削減でき、グリーン製造のニーズを満たすことができます。

これらの特性により、ナノ複合コーティングは、特に水素エネルギー生産（水電気分解など）や塩素アルカリ産業における電解装置の電極や耐腐食性部品に最適です。

3. 準備方法

超硬合金ナノ複合コーティングの作製には、コーティングの均一性、密着性、そしてナノ構造の精密制御を考慮する必要があります。以下は、電解セルの適用特性と併せて分析した主な方法です。

3.1 物理蒸着（PVD）

TiN と ZrO ₂）を超硬合金の表面にスパッタリングまたは蒸着により塗布し、厚さ 1～10μm の膜を形成する。処理温度は 200～500 ℃と低く、電解セルの電極用精密コーティングの作製に適している。PVD コーティングは硬度が高く（HV2000～3000）、密着力も強い（>50 N）。PEM 電解セルに TiN コーティングを堆積させ、電極の耐食性と触媒活性を向上させるのに用いられる。しかし、PVD コーティングは薄く、高荷重下での耐摩耗性には限界がある。

3.2 化学蒸着法（CVD）

高温（600～1000℃）の化学反応により、 TiC や Al_2O_3 - TiO_2などの厚いコーティング（5～ 20μm ）を堆積します。これは、電解セル本体や電極の腐食防止に適しています。CVD コーティングは緻密で耐熱性に優れていますが、高温では超硬合金のコバルト相が軟化することがあり、堆積温度を下げるためにプロセスを最適化する必要があります。塩素アルカリ電解セルでは、塩素発生効率が 15%向上する CVD- RuO_2コーティング電極がよく使用されます。

3.3 無電解めっき

無電解めっきは、化学還元により超硬合金の表面に Ni-P ベースのナノ複合コーティングを堆積させ、ナノ粒子（SiC、CNT など）を埋め込みます。コーティングの厚さは制御可能（5～50μm）で均一性が高く、複雑な形状の電極に適しています。熱処理後、Ni_3P 相が結

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

晶化し、硬度が HV1500～2000 に上昇し、耐摩耗性が 30%向上します。電解セルでは、耐腐食性電極として Ni-P/ SiC コーティングが使用され、PVD/CVD よりもコストが低くなります。

3.4 電気めっき

Al_2O_3など)をドープした Co-P または Ni-P ベースのナノ複合コーティングを堆積します。TiO_2 ）は、プロセスがシンプルで低コスト（設備費は約 100 万～500 万元）であり、大規模生産に適しています。Co-P/ Al_2O_3コーティングは、電解セルの電極に対して高い耐食性を示し、腐食速度を 70%低減します。ただし、電着コーティングの均一性は電流密度の影響を受けるため、プロセスパラメータを最適化する必要があります。

3.5 プラズマ電解酸化（PEO）

電解液中の Al_2O_3 （Al_2O_3 ）は、高電圧（350～500 V）で 3～ 10μm の厚さにコーティングされており、超硬合金製タンクや電極の腐食防止に適しています。PEO コーティングは多孔性が低く耐食性に優れているため、アルカリ電解セル（KOH 電解セルなど）に適しています。V_2O_5などのナノ粒子を添加することで、電気触媒性能がさらに向上し、COD 除去率は 90%に達します。

電解槽における応用シナリオ

超硬合金ナノ複合コーティングは、主に電解セルの電極、タンク本体、耐腐食部品に使用されます。代表的な用途は以下のとおりです。

水素電解装置（PEM、アルカリ電解装置）
MoN や Ni-P/CNT など）を電極に使用することで、水素発生過電圧（100～150mV）を低減し、白金負荷を 10～40 分の 1 に低減し、電解効率を 15%向上させることができます。例えば、Naco Technologies の MoN コーティングは PEM 電解装置においてトップクラスであり、耐久性を 30%向上させます。

塩素アルカリ産業
RuO_2 または IrO_2 ナノコーティング電極は塩素発生反応に使用され、触媒効率が 20% 向上し、強アルカリ耐腐食性（pH 14）と耐用年数が 50 % 延長されます。

電解水処理
Ni-P/ SiC コーティング電極は下水処理電解装置に使用され、COD 除去率は 95％で、従来の電極よりも耐酸性（pH 1～3）に優れています。

航空関連の電気分解
TiN など）が電極を保護して耐摩耗性を 30％向上させ、航空機ノズルの耐腐食性要件を満たしています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

事例: PEM 電解装置は Ni-P/ TiO_2 ナノ複合コーティング電極を使用することで、水素発生効率が 10% 向上し、耐用年数が 10,000 時間から 15,000 時間に延長され、貴金属の使用量が 60% 削減され、水素製造コストが大幅に削減されます。

5. 利点と課題

5.1 利点

優れたパフォーマンス
ナノコーティングの硬度（HV2000～3000）、耐腐食性、触媒活性は従来のコーティングに比べて大幅に優れており、電気分解効率は 10～20%向上します。
コスト削減
貴金属（Pt、 Ir など）の使用量を減らし、生産コストを 50～80%削減し、大規模なグリーンエネルギー用途に適しています。
高い均一性
無電解めっきと PEO 技術により、マイクロチャネルや多孔質構造に適した複雑な電極の均一なコーティングが可能になります。
環境に優しい
ナノコーティングにより、電極の寿命が延び、交換頻度が減り、資源の消費と廃棄物の排出が削減されます。

5.2 課題

準備費用
PVD/CVD 装置は高価（1,000 万～3,000 万元）で、動作時のエネルギー消費量も大きい（500～1,000 kWh/バッチ）ため、中小規模のアプリケーションには制限があります。
コーティングの安定性
ナノコーティングは長期にわたる高電流密度下では剥離する可能性があり、接着力（20～50 MPa）をさらに向上させる必要があります。
プロセスの複雑さ
ナノ粒子の分散とコーティングの均一性は基板の表面状態に影響を受けるため、厳密な前処理が必要です。
環境への影響
CVD では化学ガスが排出され、無電解めっき廃液の処理コストも高くなるため、環境に優しいプロセスの開発が必要です。
ナノ毒性
一部のナノ粒子（CNT など）は環境に有毒である可能性があるため、無毒の材料（ SiC 、Al_2O_3など）を選択する必要があります。

6. 今後の開発方向

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

ために、今後は以下の方向に重点を置くことができます。

多機能複合コーティング
多層ナノコーティング（ TiN / RuO_2 / MoN など）を開発し、電気分解効率を 20～30％向上させます。

グリーン準備技術
低温 CVD（<500° C）またはプラズマ強化無電解めっきを推進して、エネルギー消費を 30～50%削減し、化学廃棄物を削減します。

ナノ粒子の最適化
非毒性ナノ粒子（ SiO_2や TiO など）の使用 $_2$）を貴金属の代わりに使用することで、環境安全性を向上させながらコストを 50% 削減できます。

積層造形統合
3D プリントされた炭化物電極とナノコーティングのインサイチュー堆積を組み合わせることで、複雑な構造の統合製造が実現され、コストが 20% 削減されます。

インテリジェントな監視と設計
AI と分子動力学シミュレーションによりコーティング構造を最適化し、寿命と性能を予測し、研究開発サイクルを 30％短縮します。

7. 要約表

電解セルにおける超硬合金ナノ複合コーティングの主な特徴と技術的ポイント

テクノロジー	作用機序	代表的な用途	主なメリット	主な制限事項	電解槽効果
PVD	μm ）の物理的堆積	PEM電解装置電極	高硬度（HV2000～3000）、高触媒活性	薄いコーティング、高コスト	水素発生効率+10%、寿命+30%
CVD	化学的に堆積した厚いコーティング（5～20 μm ）	塩素アルカリ電極	耐高温性（1500℃）、耐腐食性	高温による基板へのダメージ	塩素発生効率+15%、寿命+50%
無電解めっき	化学的に還元された Ni-P ベースのコーティング（5～ 50 μm ）	下水処理電極	高い均一性と低コスト	廃水処理は複雑	COD 除去率 95%、強酸性
電着	電気化学的に堆積された Co-P ベースのコーティング（5～ 50 μm ）	水素電極	シンプルなプロセス、耐腐食性	均一性を最適化する必要がある	腐食率-70%、低コスト
個人事業主	プラズマ酸化セラミックコーティング（3～ 10 μm ）	アルカリ電解装置	低多孔性、耐腐食性	高電圧、高エネルギー消費	COD 除去率 95%、強アルカリ耐性

例:
作用機序: 技術の中核となるメカニズムの概要。
一般的な用途:電解装置関連のシナリオを一覧表示します。
長所と短所: パフォーマンスと制限を比較します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

電解装置効果:電解装置における特定の寄与を強調します。
データソース: USGS 2024 レポートおよび関連技術文書。ウェブ:0,1,9,14,23

8. 結論

超硬合金ナノ複合コーティングは、ナノスケールの粒子またはフィルムを WC-Co マトリックスと組み合わせることで、電解槽の電極や耐腐食部品に優れた耐摩耗性、耐腐食性、電気触媒性能を提供します。水素電解槽、塩素アルカリ産業、下水処理において、このコーティングは電解効率（10～20%）を大幅に向上させ、寿命（30～50%）を延長し、貴金属への依存度を低減するため、グリーンエネルギー分野で大きな可能性を示しています。航空機ノズルの耐腐食性要件と同様に、電解槽へのナノ複合コーティングの適用は、材料科学における分野横断的なイノベーションを反映しています。しかし、高い製造コスト、コーティングの安定性、環境への影響は依然として克服する必要があります。今後、多機能複合コーティング、グリーンプロセス、積層造形との統合により、超硬合金ナノ複合コーティングは、電解槽技術の効率的で持続可能な方向への発展をさらに促進し、世界のエネルギー変換と産業の高度化に新たな推進力をもたらすでしょう。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

付録：

ナノコーティングされた超硬合金とは

ナノコーティングされた超硬合金とは、超硬合金基材（ WC+ Co など）の表面に堆積されたナノメートル（通常 1100nm）の厚さのコーティングを指します。 WC+ Ni ）を物理的または化学的方法によりコーティングすることで、耐摩耗性、耐腐食性、耐高温性、表面特性を大幅に向上させながら、基材の高硬度（1400～2200 HV）と強度（1.8～2.8 GPa ）を維持します。ナノコーティングは、超微細粒構造（粒径<100 nm)、高い界面密度、優れた密着性を備え、極端な作業条件（高温 800～1200° C、高圧 15,000 psi、腐食性流体など）の要件を満たすため、航空ツール、深海シール、化学ポンプ本体、金型に広く使用されています。

本稿では、国家規格（GB/T 183762014、GB/T 79972017 など）と業界慣行を組み合わせ、ナノコーティング超硬合金の定義、コーティングの種類、製造プロセス、性能、用途などを詳しく紹介し、ナノコーティング超硬合金シール、ポンプ本体などの分野における CTIA GROUP LTD の生産能力を適切に推奨します。

1. ナノコーティング超硬合金の定義と意義

ナノコーティングされた超硬合金は、超硬合金基材とナノスケールのコーティング層で構成されています。コーティングの厚さは通常 110μm （単層または多層)、粒径は 100nm 未満です。これは、物理蒸着法（PVD)、化学蒸着法（CVD)、または複合技術（プラズマ溶射など）によって作製されます。

マトリックス
WC (85-94%) + 結合相 (Co/Ni、6-15%)、密度 14.5-15.0 g/cm ³、多孔度 <0.01% (GB/T 5169-2013)。

コーティング
一般的な材料としては TiN 、 TiAlN 、 Al2O3、DLC（ダイヤモンドライクカーボン)、 CrN など、高硬度（2000～4000 HV)、低摩擦係数（<0.2)、優れた耐食性を備えています。

耐摩耗性
ナノコーティングは硬度が高く（2000～4000 HV)、摩耗を 30～50%削減し（ASTM G65)、工具寿命を 25 倍に延ばします。

耐食性
コーティングは緻密（多孔度 < 0.001%）で、酸（H2SO4)、アルカリ（NaOH)、および海水腐食に対する耐性があり、腐食速度は < 0.005 mm/y（NACE MR0175）です。

耐高温性
TiAlN および Al2O3 コーティングは 800 ～ 1200° C での酸化耐性があり、高速切削や

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

高温条件に適しています。

表面特性
摩擦係数が 20 ～ 50% 減少 (DLC < 0.1)、シール性能が向上 (漏れ率 < 10^{-6} mbar・L/s)。
用途:航空ツール (切削寿命が 50% 向上)、深海シール (H2S/海水に対する耐性)、化学ポンプ本体 (耐侵食性および耐腐食性が 30% 向上)。

2. ナノコーティングの種類と特徴

単層ナノコーティング:
材料:
錫 :黄金色、硬度 2000～2300 HV、耐摩耗性に優れ、耐熱性 600° C。
CrN : シルバーグレー、硬度 1800～2200 HV、優れた耐腐食性（Cl^-/H2S 耐性）、摩擦係数 0.3～0.4。
DLC :黒、硬度 2000～3000 HV、摩擦係数 <0.1、耐摩耗性/耐腐食性に優れています。
厚さ: 15μm 、粒径: 1050nm 。
用途: 金型、シール（ CrN /DLC)、低速切削工具（ TiN)。

多層ナノコーティング:
材料:
窒化チタン/チタンアルミニウム :交互層（1020 nm/層)、硬度 2500～3000 HV、耐熱性 800～1000° C。
TiAlN /Al2O 3 :硬度 3000～3500 HV、耐酸化性 1000～1200° C、耐摩耗性が 30%向上。
CrN / AlCrN : 硬度 2200～2800 HV、耐食性が 20～30%向上し、海洋環境に適しています。
厚さ: 210μm 、層数: 101000。
特徴: 多層構造により界面応力分散が強化され、亀裂成長抵抗が 50% 向上します。
用途: 高速切削工具（ TiAlN /Al2O3)、深海バルブ（ CrN / AlCrN ） 。

グラデーションナノコーティング:
材料: TiCN 、 AlCrSiN 、母材から表面にかけて組成が徐々に変化します（ Ti→TiN→TiCN など） 。
特徴:硬度 2500～3500 HV、接着力が 20～30% 向上 (スクラッチテスト > 80 N)、耐摩耗性/耐腐食性のバランスが取れています。
用途:化学ポンプ本体、航空切削工具、耐侵食性および耐腐食性が 30% 向上しました。

複合ナノコーティング:
材料: DLC+ TiN 、 Al2O3+CrN、複数の材料の利点を組み合わせています。
特徴:硬度 2000～4000 HV、摩擦係数 <0.2、耐熱性 800～1000° C、耐腐食性 20～50% 向上。
用途: シール（ DLC + CrN 、漏れ率 <10^{-6} mbar・L /s)、高速金型。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

3. ナノコーティングの準備プロセス

物理蒸着（PVD ）：
方法：
マグネトロンスパッタリング：高い堆積速度(0.11μm /h)、TiNに適しています、CrN 、および DLC。
アーク蒸発：イオン化率が高く（> 80%)、 TiAlN および AlCrN に適しています。
プロセス：
真空度：10 ⁻³ 10 ⁻⁴ Pa。
温度: 200～500° C (基板のアニーリングは避けてください)。
バイアス: 50 ～ 200 V、接着力を高めます。
ガス: Ar (基板洗浄)、N2/CH4 (TiN /DLC を形成する反応)。
性能：コーティング厚さ 15μm 、粒径 1050nm 、接着力＞60N（スクラッチテスト)。
利点:低温堆積、セメント炭化物基板に適しており、均一なコーティング (偏差 <±5%)。
制限事項:堆積速度が低い (0.11 μm /h)、複雑な形状の被覆率がやや悪い。

化学蒸着法（CVD ） ：
方法：
熱 CVD ： Al2O3、 TiCN に適しており、堆積温度は 800～1000° C です。
プラズマ強化 CVD（PECVD ） ： DLC に適しています、温度 200～400° C。
プロセス：
温度: 200～1000° C (熱 CVD の場合は高温、PECVD の場合は低温)。
ガス: TiCl4 (TiN / TiCN) 、CH4 (DLC)、AlCl3 (Al2O3)。
圧力: 10^2 10^3 Pa .
特性：厚さ 210μm 、粒径 20100nm 、硬度 2000～3500HV。
利点:高密度コーティング (多孔度 < 0.001%)、複雑な形状をカバーします。
制限事項:高温 CVD によりマトリックスの強度が低下する可能性があります (硬度が 5～ 10% 低下します)。

複合技術：
プラズマ溶射：粒径が 50～100 nm の Al2O3+TiN などの厚いコーティング（10～ 50μm ）に適しています。
レーザークラッディング： TiN / CrN の局所堆積、厚さ 520μm 、接着力>100 N。
用途：化学ポンプ本体および金型、耐侵食性および耐腐食性が 30% 向上します。

後処理：
研磨： Ra <0.1 μm 、摩擦係数が 10～20%減少。

アニーリング： 300～500° C、内部応力を除去し、接着力を 10～15%向上します。

イオン洗浄： Ar イオン衝撃により表面欠陥が 20%減少。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

4. ナノコーティングされた超硬合金の性能

コーティングタイプ	硬度（HV）	摩擦係数	耐熱性（° C）	腐食速度（mm/年）	代表的な用途
錫	20002300	0.40.6	600	0.010.05（HCl）	低速ツール
TiAlN	25003000	0.30.5	8001000	0.010.03（H2SO4）	高速ツール
CrN	18002200	0.30.4	700	<0.005（海水）	アザラシ
ダウンロードコンテンツ	20003000	<0.1	400600	<0.005（NaOH）	ポンプ本体
Al2O3/ TiAlN	30003500	0.40.5	10001200	0.0050.01（H2S）	航空ツール

パフォーマンスの改善:

耐摩耗性: TiAlN コーティングされた工具は、切削寿命が 25 倍に向上し、摩耗率は 0.02 mm^3/h 未満になります。

耐食性: CrN /DLC コーティングの海水/H2S 中の腐食速度は<0.005 mm/y で、コーティングされていない基板の腐食速度（0.01～0.05 mm/y）よりも優れています。

耐高温性: 1000℃での切削中、Al2O3/ TiAlN コーティングの酸化層の厚さは 0.1μm 未満です。

シール性能: DLC コーティングされたシールの漏れ率は <10^{-6} mbar・L /s、平均寿命は 3050% 増加しました。

例:

TiAlN 工具: PVD コーティング（3μm 、 1400 ℃切削）、寿命が 3 倍に向上、耐摩耗性が 50%向上。

CrN シール: PVD CrN （2 μm ） 、海水（15,000 psi）腐食率<0.005 mm/y、寿命>1000 接続。

DLC ポンプ本体: PECVD DLC（ 1μm ） 、 H2SO4 （50%）腐食率<0.005mm/y、耐侵食性が 30%向上。

5. 適用シナリオ

航空ナイフ:

コーティング: TiAlN /Al2O3 （ 35μm 、 PVD/CVD） 。

性能: 硬度 3000～3500 HV、耐熱性 1000～1200° C、切削寿命が 50%向上。

例: WC+6%Co 工具(Ø 12 × 80 mm)、 TiAlN コーティング、Ti 合金の切削、寿命 300 分(コーティングなし 100 分)。

深海アザラシ:

コーティング: CrN /DLC（ 13μm 、 PVD） 。

性能: H2S/海水腐食率<0.005 mm/y、漏洩率<10^{-6} mbar・L /s。

例: YN10 シール(Ø 50 mm)、 CrN コーティング、15,000 psi、寿命は 1000 接続以上。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

ケミカルポンプ本体:
コーティング： DLC/ TiCN （25 μm 、 PECVD） 。
性能： H2SO4（50%）腐食率<0.005 mm/y、摩耗量<0.03 mm³/h。
例: YN12 ポンプハウジング(Ø 200 mm)、DLC コーティング、粒子を含む流体、寿命>10,000 時間。
型 ：
コーティング： TiN / CrN （ 13μm 、 PVD） 。
性能：硬度 2000～2300 HV、摩擦係数<0.4、金型寿命が 23 倍に増加。
例： WC+8%Co 金型（Ø 100 mm)、 TiN コーティング、打ち抜き寿命 500,000 回（コーティングなし 200,000 回)。

6. ナノコーティングされた超硬合金の最適化の提案

行列最適化:
材質： Ni 基超硬合金（YN10/YN12）を使用し、耐食性が 50～70%向上しています（NACE MR0175)。
焼結： HIP（1350℃、120MPa)、気孔率<0.001%、接着力が 20%増加。
表面：研磨済み（Ra <0.2 μm ） 、コーティング密着性が 1520%向上。

コーティング：
多層構造： TiN / TiAlN （1020 nm/層)、亀裂成長耐性が 50%向上。
グラデーションコーティング： TiCN / AlCrSiN 、接着力が 20 ～ 30% 向上しました。
複合コーティング： DLC+ CrN 、摩擦係数 <0.1、耐腐食性が 30%向上。

準備プロセス：
PVD ：バイアス 100V、堆積温度 300～400℃、コーティングの均一性が 10%向上。

PECVD :低温(200∽300° C)、DLC に適しており、基板の性能が低下しません。

清掃： Ar イオン洗浄（10^{-3} Pa ） 、表面欠陥が 20%減少。

機器の最適化：
真空度： 10 $^{-4}$ Pa、不純物が 30%削減され、コーティング純度が 10%向上しました。
ターゲット材料：高純度 Ti/Al/Cr (>99.99%)、コーティング欠陥が 20% 削減されます。
監視：オンラインスペクトル分析、厚さ偏差<±5%。

後処理：
研磨： Ra <0.1 μm 、摩擦係数が 10～20%減少。
アニーリング： 400℃、内部応力が 15%減少し、接着力が 10%増加します。
コーティング検査：スクラッチテスト（>60 N)、粒子の SEM 観察（<50 nm)。

7. 標準

GB/T 183762014 :多孔度 <0.01%、均一性 >95%。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

GB/T 51692013 ：多孔度 A00B00C00（HIP 基板）。
GB/T 38502015 ：密度偏差<±0.1 g/cm³ 。

GB/T 79972017 ：硬度 1400～2200 HV（基材）、2000～4000 HV（コーティング）。

GB/T 38512015 ： 曲げ強度 1.8～ 2.8GPa 。
NACE MR 0175 ： H2S/CO2 耐性、腐食速度<0.005 mm/y。
ISO 6508 ：コーティング硬度試験、偏差 < ±50 HV。
ASTM G 65 ：摩耗率<0.05 mm³/h。

8. 結論

ナノコーティングされた超硬合金は、ナノスケールのコーティング（ TiN 、 TiAlN 、 WC+Co /Ni 基板上に CrN 、 DLC など様々なコーティングを施し、航空機器、深海シール、化学ポンプ本体などの厳しい要件を満たします。PVD/PECVD プロセスにより、コーティングの緻密性（粒子径<50nm）と強力な密着性（>60N）が確保され、多層/傾斜コーティングにより性能がさらに最適化されます。基板（HIP 焼結）、コーティング（多層 CrN /DLC）、プロセス（低温 PVD）を最適化することで、全体的な性能をさらに向上させることができます。

CTIA GROUP LTD は、ナノコーティングされた炭化物シール、ポンプ本体、バルブの製造に高度な PVD/PECVD 技術と HIP 焼結基板を使用し、深海や化学産業などの過酷な環境に適した耐摩耗性と耐腐食性に優れた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

付録：

傾斜炭化物とは何ですか?

傾斜焼結炭化物は、材料内部の特定の方向（厚さ、半径方向など）に沿って組成、構造または性能が徐々に変化するように制御する焼結炭化物材料です。通常、炭化タングステン（WC）と結合相（Co、Ni など、6〜15 重量%）で構成されています。その傾斜特性は、粉末配合、プレス、または焼結プロセスを通じて実現され、材料はさまざまな領域で差別化された硬度（1400〜2200 HV）、強度（1.8〜2.8 GPa ） 、耐摩耗性、耐腐食性を持ち、複雑な作業条件（採掘、切削、深海シール、化学ポンプ本体など）に適応します。従来の均一な焼結炭化物と比較して、傾斜焼結炭化物は耐摩耗性、耐衝撃性、寿命が優れており、航空ツール、採掘ピック、耐腐食シールに広く使用されています。

本稿では、国家規格（GB/T 183762014、GB/T 51692013 など）と業界慣行を組み合わせ、傾斜セメント炭化物の定義、製造プロセス、性能、応用、最適化対策を詳細に紹介し、傾斜セメント炭化物シール、ポンプ本体などの分野における CTIA GROUP LTD の生産能力を適切に推奨します。

1. 傾斜焼結炭化物の定義と意義

傾斜焼結炭化物とは、内部組成（WC/Co 比など）、粒径（0.55μm ） 、結合相含有量（6〜20 重量%）、または特性（硬度、靭性）が連続的に変化したり、特定の方向（表面から中心部など）に沿って傾斜したりしている焼結炭化物を指します。

典型的な構造：
表面：高硬度（1800 〜 2200 HV）、低結合相（Co/Ni 68 wt %）、微粒子（0.51 μm ） 、強力な耐摩耗性。
コア：高靭性（KIC 1215 MPa・m¹ / ²） 、高結合相（Co/Ni 1220 wt %）、粗粒子（25 μm ） 、優れた耐衝撃性。
準備: GB/T 38502015（密度）、GB/T 51692013（気孔率 <0.01%）に準拠した、層状粉末プレス、傾斜焼結、または浸炭/窒化プロセスによって実現されます。

性能最適化:表面硬度が高いため耐摩耗性が向上し（摩耗損失が 20 〜 30% 減少、ASTM G65）、コア靭性が高いため耐衝撃性が向上します（破損確率が 30 〜 50% 減少）。
寿命の延長：傾斜構造により耐摩耗性と耐亀裂性のバランスが取れ、工具寿命が 23 倍、ピック寿命が 50 〜 100% 向上します。
条件に適応：表面耐腐食性（H2SO4/H2S 腐食率 <0.01 mm/y、NACE MR0175）、コア耐衝撃性、鉱業、深海、化学産業に適しています。
コスト効率：貴金属（Co/Ni など）の量を減らし、表面性能を最適化し、コストを 10 〜 20% 削減します。

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

2. 傾斜焼結炭化物の種類と特徴

構成グラデーション：
特徴：結合相（Co/Ni）の含有量は表面（68 重量%）からコア（1220 重量%）に向かって増加し、WC 含有量は反対方向に変化します。
パフォーマンス：
表面:硬度 1800～2200 HV、耐摩耗性が 20～30%向上。
コア：曲げ強度 2.2～2.8 GPa 、靭性 KIC 1215 MPa・m¹ / ²。
用途：鉱山用ピック（耐摩耗性表面、耐衝撃性コア） 、切削工具。

木目勾配：
特徴： WC 粒子は表面（0.51 μm ）の微細なものから中心部（25 μm ）の粗いものへと変化します。
パフォーマンス：
表面: 硬度 2000～2200 HV、耐食性が 15～20% 向上 (H2S <0.005 mm/y)。
コア：破壊靭性が 20～30% 向上し、亀裂伝播に対する耐性が強くなります。
用途：深海シール（耐腐食表面、耐高圧コア） 、金型。

パフォーマンス勾配:
特徴：高い表面硬度（> 2000 HV）と高いコア靭性（KIC > 12 MPa・m ¹ / ² ）浸炭/窒化または熱処理により。
パフォーマンス：
表面: 耐摩耗性、耐腐食性 (海水腐食率 <0.005 mm/y)。
コア: 耐衝撃性、疲労寿命が 30 ～ 50% 向上。
用途：化学ポンプ本体（表面耐侵食性、コア耐高圧性） 、航空切削工具。

複合グラデーション:
特徴：表面 Ni ベース（10 重量%）+微粒子（0.5μm ） 、コア Co ベース（15 重量%）+粗粒（ 3μm ）などの組成、粒子および性能勾配の組み合わせ。
性能：総合的な耐摩耗性、耐腐食性（H2SO4 <0.01 mm/y)、耐衝撃性、耐用年数が 50～100%向上。
用途:高級シール、バルブ、極限環境への耐性。

3. 傾斜焼結炭化物の製造方法

層状粉末プレス：
方法：
異なる Co/Ni 含有量（620 wt %）または WC 粒径（0.55 μm ）のものを調製した。
層状鋳型充填（表面は低 Co、中心部は高 Co など)、冷間等方圧プレス（200～300 MPa)。
プロセス：
粉末：WC（D50 0.55 μm ） 、 Co/Ni（純度>99.9%)、1624 時間ボールミル処理。
プレス：圧力 250～300MPa、ビレット密度 60～70%理論密度。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

焼結: 真空 (1350 ～ 1450° C、10 ～ 10 Pa) または HIP (1350° C、100 ～ 150 MPa)。
特性:勾配層の厚さ 0.55 mm、多孔度 <0.01% (A02B00C00)、密度 14.515.0 g/cm³ 。
利点:正確なグラデーション制御、複雑な形状（ピック、シーリング リングなど）に適しています。
制限事項:層間結合力がやや弱いため、焼結を最適化する必要があります。

傾斜焼結:
方法:
均質なビレット (Co/Ni 1012 wt %) は、焼結中に温度/雰囲気の勾配によって構造的な違いが生じました。
表面浸炭処理（C2H2）または窒化処理（N2）により表面硬度が向上します。
プロセス:
脱蝋: 200～600° C、10 ⁻² Pa、H2 515 L/分、残留炭素 <0.05%。
焼結: 1350～1450℃、表面高温部（1450℃、2 時間）、中心部低温部（1350℃）、真空/HIP。

浸炭/窒化: 1000～1200° C、C2H2/N2 流量 510 L/分、12 時間。

性能: 表面硬度 2000～2200 HV、コア靭性 KIC 1215 MPa・m ¹ / ²、気孔率 <0.001% (HIP)。
利点:レイヤー間に明らかなインターフェースがなく、パフォーマンスが継続的に遷移します。
制限事項:装置は複雑で、高い温度制御精度 (±3° C) が必要です。

熱処理および後処理:
方法:

焼結後、表面を浸炭・窒化処理したり、局所レーザー処理を施して硬度勾配を形成します。

表面特性を向上させるための研磨 (Ra < 0.2 μ m) またはコーティング (TiN /DLC)。
プロセス:
浸炭処理: 1100° C、C2H2 5 L/分、1 時間、表面硬度が 1015%増加。
研磨: ダイヤモンド研磨ペースト（15 μm ） 、Ra <0.1 μm 、耐食性が 1520%向上。
コーティング: PVD TiN （25 μm ） 、硬度 2000～2300 HV、耐摩耗性が 30%向上。
性能: 表面摩耗/耐腐食性（H2SO4 <0.01 mm/y)、コア衝撃耐性。
用途: 深海バルブ、化学ポンプ本体。

新しい技術:
3D プリント +焼結:異なる粉末組成を層ごとに印刷 (表面は低 Co、コアは高 Co など)、HIP 焼結、勾配精度 ±0.05 mm。
プラズマ溶射: 厚さ 1050μm の傾斜コーティング（例: WCCo から WCNi ）を堆積します。
利点:柔軟性が高く、カスタマイズされた部品に適しています。
制限事項:技術的成熟度が低く、コストが高い (1 個あたり 500 ～ 2000 元)。

4. 傾斜炭化物の性能

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

タイプ	表面特性	コアパフォーマンス	気孔率（ %）	耐摩耗性(㎜³/h)	耐食性（㎜/年）	代表的な用途
構成のグラデーション	硬度 18002200 HV	靭性 KIC 1215 MPa・m¹ / ²	<0.01	<0.05	H2SO4 <0.01	採掘ビック
木目グラデーション	硬度 20002200 HV	強度 2.22.8 GPa	<0.001	<0.03	海水 <0.005	深海アザラシ
パフォーマンス勾配	硬度>2000 HV	疲労寿命が 30%向上	<0.01	<0.04	H2S <0.005	ケミカルポンプ本体
複合グラデーション	硬度 18002200 HV	靭性 KIC >12 MPa・m¹ / ²	<0.001	<0.03	H2SO4 <0.01	航空ツール

パフォーマンスの改善:
摩耗性:表面の微粒子/低 Co により、摩耗損失が 20 ～ 30% 削減されます (<0.05 ㎜³ / h、ASTM G65)。
耐食性： Ni 基傾斜表面（Cr3C2/Mo 0.52 wt %）の H2S/海水腐食速度は <0.005 mm/y です。
耐衝撃性：コアの Co 含有量が高い（1520 重量%）、曲げ強度 2.2～2.8GPa 、破損確率が 30～50%減少。
寿命:切削歯の寿命が 50 ～ 100% 増加し、シール寿命は 5,000 時間 (15,000 psi) 以上になります。

例:
傾斜組成ピック：表面 WC+6%Co (0.5 μ m) 、コア WC+15%Co (3 μ m) 、真空焼結 (1450° C)、硬度 2000 HV、摩耗 <0.05 ㎜³/h、寿命 800 時間 (通常のピックは 400 時間)。
粒度勾配シール:表面 WC+10%Ni (0.5 μ m) 、コア WC+12%Ni (2 μ m) 、HIP (1400° C、120 MPa)、海水腐食率 <0.005 mm/y、漏れ率 $<10^{-6}$ mbar・L /s。
性能勾配ポンプ本体：表面浸炭処理（1100° C、C2H2)、硬度 2100 HV、コア靭性 KIC 13 MPa・m¹ / ²、 H2SO4（50%）腐食率 <0.01 mm/y、寿命 >10,000 時間。

5. 適用シナリオ

鉱業のおすすめ:
勾配タイプ：組成勾配（表面は Co6wt%と低く、中心部は Co15wt %と高い） 。
性能:表面硬度 2000 HV、摩耗 <0.05 ㎜³/h、コア衝撃耐性、寿命が 50 ～ 100% 向上。
場合： WC+Co ピック(Ø 20 × 330 mm)、真空焼結、800 時間の石炭採掘でも破損なし。

深海アザラシ:
傾斜タイプ：粒度傾斜（表面細粒 0.5μm 、中心部粗粒 2μm ） + Ni ベース。
性能: H2S/海水腐食率 <0.005 mm/y、漏れ率 $<10^{-6}$ mbar・L /s、耐圧 15,000 psi。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

例: YN10 シーリング リング(Ø 50 mm)、 HIP+研磨(Ra <0.1 μ m) 、寿命は接続回数 >1000 回。

ケミカルポンプ本体:
勾配タイプ:性能勾配(表面浸炭、硬度> 2000 HV) + Ni ベース。
性能: H2SO4 (50%) 腐食率 <0.01 mm/y、耐侵食性 30% 向上、寿命 >10,000 時間。
ケース： YN12 ポンプハウジング(Ø 200 mm)、 HIP+TiN コーティング、粒子を含む流体でも安定した動作。

航空ナイフ:
勾配タイプ：複合勾配（表面 Ni ベース + 微細結晶、コア Co ベース + 粗大結晶）。
性能:硬度 1800～2200 HV、靭性 KIC >12 MPa・m ¹ / ²、切削寿命が 50% 増加。
場合： WC+Co 工具(Ø 12 × 80 mm)、傾斜焼結 + TiAlN コーティング、Ti 合金を 300 分間切削。

6. 傾斜焼結炭化物の最適化の提案

粉:
粒子：表面には細粒 WC（0.51μm ） 、中心部には中粗粒 WC（23μm ） 、耐摩耗性と靭性のバランスが取れています。
結合相：表面 Ni (68 wt %) + Cr3C2 (0.52 wt %)、コア Co/Ni (1220 wt %)、耐食性が 2030% 増加しました。
ボールミル処理： 16～24 時間、均一性が 10%増加、勾配偏差<±0.5 重量%。

プレス工程:

層状プレス：冷間等方圧プレス（250～300 MPa)、層間遷移領域の厚さ 0.1～0.5 mm、接合強度が 15%増加。
ダイ：圧力分布が最適化され、ビレットの欠陥が 20% 削減され、密度偏差が ±0.1 g/cm³ 未満になりました。

焼結プロセス:
HIP ： 1350° C、120 MPa、2 時間、気孔率<0.001%、密度>99.9%。
傾斜焼結：表面 1450° C、中心部 1350° C、温度制御 ±3° C、スムーズな性能遷移。
雰囲気: H2 純度>99.999%、O2 <5 ppm、残留炭素<0.05%、耐食性が 10%向上。

後処理:
浸炭/窒化： 1100～1200° C、C2H2/N2 510 L/分、表面硬度が 10～15%増加。
研磨： Ra <0.2 μm 、耐食性が 1520%増加し、摩擦係数が 20%減少しました。
コーティング： PVD TiN /DLC（25 μm ） 、耐摩耗性が 30～50%向上。

機器の最適化:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

温度制御：±3° C、均一性 ±5° C、勾配一貫性が 10% 増加。
真空度： 10^{-5} Pa、脱蝋効率＞99.5%、気孔率減少 0.01%。
検出：傾斜層の SEM 分析、表面組成の XPS 測定、精度±0.1 重量%。

7. 標準

GB/T 183762014 ：多孔度 <0.01%、均一性 >95%。
GB/T 51692013 ：多孔度 A02B00C00（真空）、A00B00C00（HIP）。
GB/T 38502015 ：密度 14.5～15.0 g/ cm^3 、偏差<±0.1 g/ cm^3 。
GB/T 38512015 ： 曲げ強度 1.8～ 2.8GPa 。
GB/T 7997- 2017 ：硬度 1400-2200 HV。
NACE MR 0175 ： H2S/CO2 耐性、腐食速度<0.005 mm/y。
ASTM G 65 ：摩耗率<0.05 mm^3 /h。

8. 結論

傾斜焼結炭化物は、組成、粒子、または特性の段階的な変化により、表面に高硬度（1800～2200 HV）と耐摩耗性/耐腐食性（腐食速度<0.005 mm / y）、コアに高靭性（KIC 1215 MPa・$m^{1/2}$）と耐衝撃性を提供し、採掘ピック、深海シール、化学ポンプ本体、航空ツールの性能と寿命を大幅に向上させます（50～100%増加）。 層状プレス、傾斜焼結、HIP プロセスにより、傾斜構造の正確な制御が保証され、研磨（Ra <0.2 μm）とナノコーティング（TiN / DLC）を組み合わせることで、さらに性能を最適化します。粉末、プロセス、および装置を最適化することで、より高い性能と費用対効果を実現できます。

CTIA GROUP LTD は、ナノコーティングと組み合わせた積層プレスおよび HIP 焼結技術を使用して、傾斜炭化物シール、ポンプ本体、バルブを製造し、深海や化学産業などの過酷な環境のニーズを満たす耐摩耗性と耐腐食性に優れた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

付録：

勾配炭化物採掘ピックと技術

傾斜セメントカーバイドカッティングピックは、複雑な採掘条件（高硬度の岩石、腐食性鉱石層、高衝撃荷重など）に対応するために設計された高性能ツールです。 カッターヘッドは傾斜セメントカーバイドで作られています。組成(WC / Co 比など)、粒径(0.55μm)、および性能（硬度/靭性）を半径方向または軸方向に調整することにより、高い表面硬度（1800∽2200 HV)、耐摩耗性、高いコア靭性（KIC 1215 MPa・m¹ ／ ²） 、および耐衝撃性の最適な組み合わせを実現します。従来の均一セメントカーバイドピックと比較して、傾斜ピックの耐摩耗性は 20∽30％向上し（摩耗損失<0.05 mm³ /h)、破損確率は 30∽50％減少し、耐用年数は 50∽100％（800∽1500 時間）延長されます。総合トンネル掘削機、石炭採掘機械、回転掘削機などに適しています。

この記事は、国家規格（GB/T 183762014、GB/T 51692013 など）と業界の慣行を組み合わせ、具体的な勾配ピック、プロセスパラメータ、パフォーマンス分析を提供し、それらを完全なコピーに統合し、勾配炭化ピックの分野における CTIA GROUP LTD の生産能力を適切に推奨しています。

1. 勾配炭化物採掘ピック

1.1 目的

作業条件の適応：
高硬度岩石（モース硬度 68、砂岩、花崗岩など)。
腐食性鉱床 (H2S >100 ppm、pH 35、硫化鉄鉱石など)。
高い衝撃荷重（515 kN 、例：ロードヘッダードラム)。

パフォーマンス要件:
表面硬度: 1800～2200 HV、摩耗率 <0.05 mm³/h (ASTM G65)。
コア靭性：KIC 1215 MPa・m ¹ ／ ²、曲げ強度 2.2～2.8 GPa （GB/T 38512015)。
耐食性：H2S/H2SO4 腐食速度<0.005 mm/y（NACE MR0175)。

寿命: 800∽1500 時間(通常のピックの場合は 400∽600 時間)。

コスト管理: Co/Ni の使用量を削減し、コストを 1020% 削減します(1 個あたり 200,500 元)。

1.1 ピック構造

全体構造:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

カッターヘッド：傾斜炭化物（ WC +Co /Ni、Ø 1525 mm、高さ 1020 mm）。
スチール本体：42CrMo（焼入れ焼戻し、強度＞1000 MPa、Ø 2030 mm、長さ 300～400 mm）。
接続：ろう付け（ AgCu 合金、接合強度＞200MPa）。
形状：円錐形（頂点角度 60 ～ 80°、高硬度の岩石に適しています）、またはキノコ形（中硬度の炭層に適しています）。

勾配：
タイプ：構成グラデーション + 木目グラデーション（複合グラデーション）。
表層（03mm）：
組成：WC 92 wt %、Co 6 wt %、Cr3C2 0.5 wt %（耐腐食性）。
粒子：WC 0.51μm （微粒子、耐摩耗性）。
性能：硬度 2000～2200 HV、耐摩耗性 <0.05 mm^3/h、耐 H2S 性 <0.005 mm/y。
遷移層（36 mm）：
組成：WC 88 重量%、Co 10 重量%、Cr3C2 0.5 重量%。
木目：WC 12μm 。
特性：硬度 1800～2000 HV、靭性 KIC 1012 MPa・$m^{1/2}$。
コア（610 mm）：
組成：WC 82 wt %、Co 15 wt %、Ni 2 wt %（靭性強化）。
粒子：WC 23 μm（中粗粒、耐衝撃性）。
特性：硬度 1400～1600 HV、靭性 KIC 1215 MPa・$m^{1/2}$、曲げ強度 2.2～2.8 GPa 。

幾何学的パラメータ：
カッターヘッド径：Ø 20 mm（TBM 標準）。
勾配層の厚さ：表面で 3 mm、遷移部で 3 mm、コアで 4 mm。
表面粗さ：Ra<0.2μm （研磨後）。
総重量：150～300g（カッターヘッド 50～100g、スチール本体 100～200g）。

1.3 機能

表面最適化：細粒 WC + 低 Co + Cr3C2、耐摩耗性/耐腐食性が 20 ～ 30% 向上し、砂岩や酸性鉱石層に適しています。
コア強化：高 Co+ 中粗粒、耐衝撃性が 30 ～ 50% 向上、破損が減少（故障率 < 5%）。
遷移層バッファ：組成/粒子の変化をスムーズにし、層間の応力集中を軽減し、結合強度を 15% 向上させます。
コーティング強化：PVD CrN （2μm ） 、摩擦係数<0.3、耐摩耗性が 30%向上。

2. 準備プロセスとパラメータ

2.1 粉末の調製

原材料：
WC：D50 0.51 μm（表面）、23 μm（コア）、純度>99.9%。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Co: D50 12 μm 、純度>99.9%、表面 6 重量% 、コア 15 重量%。
Ni: D50 12 μm 、純度> 99.9 %、コア 2wt % （耐腐食性）。
Cr3C2: D50 0.51 μm 、純度>99.9%、表面/遷移層 0.5 wt %。

ボールミル処理：
装置：遊星ボールミル（ZrO2 ボール、ボールと材料の比率 10：1）。
パラメータ: 回転速度 300 rpm、時間 20 時間、アルコール媒体、均一性 >95%。
結果: 粉末粒子サイズの偏差 <±0.1 μm 、組成の偏差 <±0.5 wt %。

2.2 層状粉末プレス

方法：
層状鋳型：表面層（WC +6%Co+0.5%Cr3C2、3mm）、遷移層（WC+10%Co+0.5%Cr3C2、3mm）、コア（WC+15%Co+2%Ni、4mm）。
冷間等方圧プレス（CIP）：250～300 MPa、圧力を 60 秒間保持。
設備：CIP プレス（圧力精度±5MPa）。
パラメータ:
金型：高精度鋼金型（偏差<±0.05 mm）、内壁は BN 潤滑剤でコーティングされています。
プレス速度：510 mm/分、遷移領域の厚さ 0.1～0.5 mm。
ブランク密度:理論密度の 60～70%(8.7～10.5 g/cm³) 。
結果: ビレットサイズ Ø 20 × 10 mm、密度偏差 <±0.1 g/cm ³、亀裂率 <1%。

2.3 傾斜焼結

方法：真空焼結＋HIP（熱間等方圧加圧）。

装置：
真空焼結炉（モリブデン発熱体、真空度 10^{-5}Pa）。
HIP 炉（ Ar 圧力 100～150MPa、温度制御±3℃）。

プロセスパラメータ:
脱蝋:
温度: 200～600℃、加熱速度 3℃/分。
雰囲気: H2 (純度> 99.999%、O2 <5 ppm)、流量 10 L/分。
真空度：10^{-2} Pa .
時間: 3 時間、脱蝋率>99.5%、残留炭素 <0.05%。

焼結：
温度: 1350～1450℃(表面 1450℃、中心部 1350℃、勾配温度制御)。
加熱速度：58℃/分。
真空度：10^{-4} 10^{-5} Pa。
保温時間: 23 時間。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

HIP 後処理:
温度：1350℃、圧力 120MPa （ Ar ）。
保温時間：1.5 時間。
冷却: 15° C/分(Ar 強制冷却)、200° C まで。

結果：
密度: 14.815.0 g/cm³ （ GB /T 38502015、偏差 <±0.05 g/cm³ ）。
多孔度: <0.001% (A00B00C00、GB/T 51692013)。
硬度: 表面 2000-2200 HV、コア 1400-1600 HV (GB/T 7997-2017)。
収縮率：1518%、寸法偏差<±0.1 mm。

2.4 後処理

研磨：
研磨ペースト（粒径 15μm ）、ポリウレタン研磨ディスク。
パラメータ：回転速度 800rpm、圧力 0.3MPa、研磨液（水性、5L/分）。
時間: 20 分/cm² 。
結果: Ra <0.2 μ m 、耐食性が 15～20%向上、摩擦係数が 20%減少。

PVD コーティング：
コーティング： CrN （ 2μm 、 H2S/H2SO4 耐性） 。
装置：マグネトロンスパッタリング（Cr ターゲット、純度>99.99%)。
パラメータ:
真空度：10 $^{-4}$ Pa。
温度: 300° C (基板のアニールは避けてください)。
バイアス電圧：100 V。
ガス: Ar (クリーニング)、N2(反応)、流量 50 sccm 。
堆積速度：0.5μm / h。
結果: コーティング硬度 18002200 HV、接着力 >60 N (スクラッチテスト)、耐摩耗性が 30% 向上しました。

ろう付け：

材質： AgCu 合金（Ag 50 重量%、Cu 30 重量%、700∽800℃）。

設備：高周波誘導ろう付け機（出力 15kW)。
パラメータ: 温度 750° C、30 秒間保持、 Ar 保護 (O2 <10 ppm)。
結果: 接着強度は 200 MPa を超え、せん断抵抗は 15% 増加しました。

検出：
表面：SEM（粒子 0.51μm ） 、粗さ計（Ra<0.2μm 、精度± 0.01μm ） 。
勾配: XPS (組成偏差 <±0.1 wt %)、超音波検査 (亀裂 >0.1 mm)。
性能: 硬度計 (偏差 <±50 HV)、摩耗試験 (ASTM G65、<0.05 mm³/h)。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

3. パフォーマンス分析

パラメータ	表面（03 mm）重量%	遷移層（36 mm）重量%、	コア（610 mm）重量%
要素	WC 92、Co 6、Cr3C2 0.5	WC 88、 Co 10 Cr3C2 0.5	WC 82、Co 15、 Ni 2
粒	WC 0.51μm	WC 12μm	WC 23μm
硬度（HV）	20002200	18002000	14001600
靭性 KIC、 MPa・m ¹ / ²	810	1012	1215
耐摩耗性（mm³/h）	<0.05	<0.07	<0.10
耐食性（mm/年）	H2S/H2SO4 <0.005	H2S/H2SO4 <0.01	H2S/H2SO4 <0.02

パフォーマンスのハイライト:

耐摩耗性

表面微粒子 WC+Cr3C2、摩耗損失 <0.05 mm³/h (ASTM G65)、均一ピック (0.1 mm³/h) より 50% 低い。

耐衝撃性

コアは Co+ Ni を多く含み、曲げ強度は 2.2～ 2.8GPa 、衝撃荷重（ 10kN ）下での破壊確率は 5%未満です。

耐食性

CrN コーティング + Ni ベース、H2S/H2SO4 耐腐食率<0.005 mm/y（NACE MR0175）、通常の Co ベースピック（0.05 mm/y）よりも優れています。

人生

掘削効率は 20～30%向上し、耐用年数は 1000～1500 時間（通常のピックの場合は 500～600 時間）です。

例:

包括的な掘削機ピック

Ø 20 × 330 mm、 WC+Co （表面に 6%Co、コアに 15%Co)、HIP（1400° C、120 MPa)、CrN コーティング（2 μm） 、石炭採掘（モース硬度 6）1000 時間、摩耗損失<0.05 mm³ / h。

石炭採掘機械ピック

Ø 18 × 300 mm、 WC+Ni （表面 0.5 μm 、中心部 2 μm ） 、真空焼結（1450° C)、H2S 耐腐食率<0.005 mm/y、硫黄含有鉱石層の寿命 1200 時間。

回転式掘削機のピック

Ø 25 × 400 mm、 WC+Co （表面浸炭)、 HIP+研磨（Ra <0.2 μ m ） 、花崗岩掘削 1100 時間、破損率<3%。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

4. アプリケーションシナリオ

包括的なロードヘッダーピック：
作業条件：高硬度炭層(モース硬度 57)、砂岩/頁岩、衝撃 510kN 。
組成傾斜（表面 6%Co、中心部 15%Co)、 CrN コーティング（ 2μm ） 。
性能：硬度 2000～2200 HV、摩耗 <0.05 mm³/h、寿命 1000 時間。
事例： WC+Co ピック（Ø22 ×350mm)、石炭採掘効率 20%向上、破損なし

石炭採掘機械の選択：
作業条件：中硬質炭層（モース硬度 35)、硫化物含有（H2S >100 ppm)。
：粒度勾配（表面 0.5μm 、中心部 2μm ） 、 Ni ベース+Cr3C2。
性能：H2S 耐性 <0.005 mm/y、寿命 1200 時間。
事例：YN10 ピック（Ø18 ×300mm)、硫黄含有地層での安定した掘削。

ロータリー掘削リグピック：
動作条件：花崗岩 (モース硬度 68)、衝撃 >15 kN 。
：特性勾配（浸炭、硬度＞2000 HV)、高 Co コア。
性能：摩耗率 <0.04 mm³/h、寿命 1100 時間。
事例：WC+Co ピック(Ø 25 × 400 mm)、効率が 15% 向上、破損率は 3% 未満。

酸性鉱石ピック：
作業条件：酸性環境 (pH 35、H2SO4/H2S)。
複合傾斜（表面に Ni+Cr3C2、コアに Co)、 CrN コーティング。
性能：H2SO4 耐性<0.01 mm/y、寿命 1500 時間。
ケース：YN12 ピック（Ø20 ×330mm)、酸性鉱石層での寿命は 1500 時間です。

5. 最適化の提案

粉末の最適化：
表面:WC 0.51 μm 、 Co 6 wt %、Cr3C2 0.5 wt %、耐食性が 20～30%向上。
コア：WC 23 μm 、 Co 15 wt %、Ni 2 wt %、靭性が 20%増加しました。
ボールミル処理：20 時間、均一性 >95%、偏差 <±0.5 wt %。

抑制の最適化：

冷間等方圧プレス：250～300MPa、遷移領域 0.1～0.5mm、接合強度が 15%増加。

金型：BN 潤滑、亀裂低減 20%、密度偏差<±0.1 g/cm³ 。

焼結の最適化：
HIP：1350° C、120 MPa、2 時間、気孔率 <0.001%。
傾斜焼結：表面 1450° C、中心部 1350° C、温度制御 ±3° C。
雰囲気：H2 (O2 <5 ppm)、残留炭素 <0.05%、耐食性が 10%向上。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

後処理の最適化:
浸炭処理：1100℃、C2H2 5L/分、硬度増加 1015%。
研磨：Ra <0.2 μm 、耐食性が 1520%向上。
コーティング：PVD CrN （2μm ） 、耐摩耗性が 30％向上、H2S 耐性が 20％向上。
ろう付け： AgCu （750° C)、接合強度＞200 MPa。

機器の最適化:
焼結炉：温度制御±3° C、均一性±5° C、勾配一貫性が 10%向上。
真空: 10 $^{-5}$ Pa、脱蝋効率>99.5%、気孔率減少 0.01%。
検査: SEM/XPS (精度±0.1 wt %)、超音波 (亀裂>0.1 mm)。

作業条件の適応:
高硬度岩石：組成傾斜+ CrN コーティング、耐摩耗性を第一に。
腐食性鉱物層：Ni ベース + Cr3C2、H2S/H2SO4 に耐性があります。
高衝撃：パフォーマンス勾配 + 高 Co、破損抵抗優先。

6. 標準

GB/T 183762014 :多孔度 <0.01%、均一性 >95%。
GB/T 51692013: 多孔度 A02B00C00 (真空)、A00B00C00 (HIP)。
GB/T 38502015:密度 14.5～15.0 g/cm ³、偏差 <±0.1 g/cm ³。
GB/T 38512015:曲げ強度 1.8～ 2.8GPa 。
GB/T 7997-2017: 硬度 1800-2200 HV。
NACE MR0175: H2S/CO2 耐性、腐食速度<0.005 mm/y。
ASTM G65: 摩耗率 <0.05 mm³/h。
ISO 6508: 硬度偏差 < ±50 HV。

7. 結論

傾斜炭化物採掘ピックは、慎重な組成と粒子傾斜（表面 WC+6%Co+0.5%Cr3C2、コア WC+15%Co+2%Ni）に加え、積層プレス、HIP 焼結（1350° C 、 120MPa)、研磨（Ra <0.2μm)、PVD CrN コーティング（2μm）により、高い表面硬度（2000～2200HV)、耐摩耗性/耐腐食性（H2S/H2SO4 <0.005mm/y)、高いコア靭性（KIC 1215MPa・m¹ / ² ）と耐衝撃性を実現しています。ピックの寿命は 1000～1500 時間（50～100%増加）に達し、掘削効率は 20～30%向上します。高硬度の岩石、腐食性鉱石層、高衝撃作業環境に適しています。粉末配合、プレス、焼結、後処理プロセスを最適化することで、性能とコスト効率がさらに向上し、多目的トンネル掘削機、石炭採掘機械、回転式掘削リグの厳しいニーズを満たすことができます。

CTIA GROUP LTD は、傾斜炭化物採掘ピックの分野において、高度な積層プレス、HIP 焼結、PVD コーティング技術を駆使し、複雑な地質や酸性地層のニーズに応える、耐摩耗性、耐腐食性、耐衝撃性に優れたピックソリューションを提供しています。製品は SEM、XPS、

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

摩耗試験によって検証されており、安定した性能（硬度偏差<±50 HV、摩耗量<0.05 ㎜³/h）を確保しています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

付録：

航空機ノズルにおける超硬合金の応用

1. 航空ノズルの概要

航空ノズルは、航空エンジン（ターボファンエンジンやターボシャフトエンジンなど）やガスタービンの中核部品であり、燃料噴射、空気混合、または高温ガス流を精密に制御して、燃焼効率、推力、および熱管理を最適化するために使用されます。ノズルは、高温（1000～1600℃）、高圧（10～30MPa）、高速気流による浸食（>500m/s）、化学腐食（燃料硫化物など）などの過酷な動作条件に耐える必要があります。従来の材料（ステンレス鋼やニッケル基合金など）は、耐摩耗性や高温強度の点で、高性能で長寿命という現代の航空エンジンの要件を徐々に満たせなくなっています。超硬合金（WC-Co）は、その優れた高硬度、耐摩耗性、高温安定性により、特に精密ノズル（燃料ノズル、冷却孔ノズルなど）や耐摩耗部品（ノズルスロートなど）の航空ノズルに最適な材料となっています。

2. 超硬合金（WC-Co）の材料特性

超硬合金は、硬質相として炭化タングステン（WC）、結合相としてコバルト（Co）を有し、典型的な組成は WC 85～95 重量%、Co 5～15 重量%です。その主な特性により、航空機ノズルに適しています。
高硬度：HV1000～1800、ニッケル基合金（HV300～500）をはるかに上回り、耐摩耗性と耐侵食性を確保します。
高温安定性：WC の融点は 2870° C で、Co 相は 1400° C 未満でも安定しており、高温ガス環境に適しています。
耐腐食性： 燃料の硫化物および酸化腐食に耐え、ノズルの寿命を延ばします （ニッケルベースの合金よりも 20 ～ 50% 長くなります）。
高強度：曲げ強度 2000～2500MPa、圧縮強度 4000MPa 以上、高圧気流の衝撃に耐えることができます。
調整可能な靭性：Co 含有量を調整することにより （Co が多いと靭性が向上し、Co が少ないと硬度が増加）、ノズルのさまざまな部分の要件を満たすことができます。
微細構造：WC 粒径 0.5～ 2μm 、均一なコバルト相分布、一貫した機械的特性を確保。
これらの特性により、超硬合金は航空機ノズルの高温、高圧、侵食の複合ストレスに対処することができ、エンジンの性能と信頼性が大幅に向上します？ web :9,23 ？ 。

3. 超硬合金製航空ノズルの製造工程

航空機ノズルは、寸法精度（±0.01 mm）、表面仕上げ（Ra<0.4 μm ） 、微細組織の均一性に関して極めて高い要件を要求されており、超硬合金の製造には精密な制御が求められます。このプロセスには、粉末調製、プレス、焼結、後処理が含まれますが、その中でも冷間等方圧プレス（CIP）と熱間等方圧プレス（HIP）が重要な技術です。

3.1 粉末の調製

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

原材料：超微細 WC 粉末（粒径 0.2～ 1μm ）と Co 粉末（純度 99.9%以上）をボールミルで混合し、均一性を確保します。
高温酸化耐性を向上させるための少量の炭化チタン(TiC) または炭化ニオブ(NbC)、成形剤としてのパラフィン。
目標: 流動性が良く、粒子分布が均一な混合粉末を得て、プレス欠陥を低減する。

3.2 冷間等方圧加圧（CIP）

CIP はグリーン ノズルをプレスするために使用され、多穴ノズルなどの複雑な形状の均一な密度化を保証します。
プロセス：混合粉末をゴム型に充填し、CIP 装置に設置し、液体媒体（水または油）を介して 100～400 MPa の圧力を数分間加えます。
利点: 均一な圧力により剥離や層間剥離がなくなり、複雑なノズル構造（内部チャネル、直径 1 mm 未満のノズル穴など）に適しています。
結果: グリーン密度は理論密度の 60～70% に達し、寸法精度は ±0.1 mm となり、焼結の基礎が整いました。
課題: 粉末の流動性が不十分だと密度が不均一になる可能性があり、粒子分布を最適化する必要があります。

3.3 真空焼結

真空焼結は 1350～1450℃で行われ、液相焼結（Co 相溶融）によって緻密化が達成されます。
プロセス: CIP グリーン体は真空炉で加熱され、Co 相が液体状態の WC 粒子を濡らし、粒子の再配置と気孔の閉鎖を促進します。
結果：ビレット密度は理論密度の 90～95％に達し、粒径は 0.5～ 1μm に制御され、収縮率は 15～20％でした。
課題: 焼結収縮により寸法偏差が生じる可能性があるため、温度と保持時間を正確に制御する必要があります。

3.4 熱間等方圧加圧（HIP）

後処理としての HIP により、ノズルの密度と性能がさらに向上します。
プロセス：焼結ブランクを HIP 装置に入れ、1200～1400℃、50～200MPa のアルゴン圧力で 1～4 時間処理します。
利点: 微細孔（気孔率 ＜0.1%）、亀裂、残留応力を排除し、硬度が 5 ～ 10% (HV1600 ～ 1800) 増加し、曲げ強度が 10 ～ 20% (2000 ～ 2500 MPa) 増加します。
結果: ノズルの密度は理論密度の 100% に近く、表面仕上げ Ra は 0.4 μ m未満であり、航空精度の要件を満たしています。
課題: 高コスト（設備コスト約 1,000 ～ 3,000 万人民元）と長いプロセス時間により大量生産が制限されます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

3.5 精密機械加工

プロセス: ダイヤモンド研削、放電加工（EDM)、またはレーザー微細加工を使用して、ノズルの微細孔（直径 0.1～1 mm）と複雑な流路を形成します。
目標: 寸法精度（± 0.01 mm）と表面品質を確保し、スプレー均一性を最適化します。
課題: 超硬合金は硬度が高いため、加工が難しくなり、高精度の設備(5 軸 CNC など）が必要になります。

4. セメントカーバイド航空ノズルの性能上の利点

従来のニッケル基合金またはセラミックノズルと比較して、セメントカーバイド航空ノズルには次の利点があります。

耐摩耗性：硬度 HV1600～1800、高速気流による侵食に耐性があり、耐用年数が 30～50%

（5000～8000 時間）延長されます。

高温性能: 1400℃でも構造安定性を維持し、ニッケル基合金（熱膨張係数 5～7×10^{-6}/℃）よりも優れた耐熱衝撃性を備えています。
寸法安定性：CIP+HIP プロセスにより、微細孔と流路の精度（±0.01 mm）が保証され、燃料噴射効率が向上します（燃焼効率+5～10%）。
耐腐食性: 燃料の硫化物腐食に耐え、ノズルの詰まりや性能低下を軽減します。

粒子サイズ（0.2～2μm）と Co 含有量（5～15 重量%）を調整することにより、硬度と靭性のバランスをとり、さまざまなノズルの要件を満たすことができます（例：高圧燃料ノズルには高い硬度、冷却ノズルには高い靭性） 。

5. 適用シナリオ

超硬合金製航空ノズルは、以下の航空分野で広く使用されています。
ターボファンエンジン: GE9X や PW4000 など、燃焼と熱管理を最適化するための燃料ノズル（直径 0.1～0.5 mm）と冷却穴ノズル用。
ターボシャフトエンジン: T700（ヘリコプター用） など、高温ガスによる浸食に耐える耐摩耗性ノズルスロートに使用されます。
ガスタービン: 効率を向上させるために正確なガス分配にノズルが使用される産業発電用の Siemens SGT-8000H など。
航空宇宙用スラスタ: 極めて高い温度と圧力（>1500° C、>20 MPa）にさらされるロケット エンジンの燃料ノズルなど。
典型事例：ボーイング 787 に採用されている GE9X エンジンでは WC-Co ノズルが採用されており、ニッケル基合金に比べて耐用年数が 40%長く、燃焼効率が 7%向上しています⁉ web:9 ⁉ 。

6. 課題と限界

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

セメントカーバイド航空ノズルは優れた性能を備えていますが、依然として次のような課題に直面しています。
製造コスト: HIP 装置と精密機械加工のコストが高い（ノズル 1 個あたりの製造コストは約 10,000 ～ 50,000 人民元）ため、大規模なアプリケーションが制限されます。

加工の難しさ：硬度が高い（HV1600～1800）と、微細穴加工の難しさが増し、高価な設備

（レーザー微細加工など、費用が約 500 万人民元）が必要になります。
靭性の制限: 高硬度 WC-Co (Co<10 wt %) は、Ni 基合金よりも靭性が低く (破壊靭性 K_IC 10～15 MPa・m ¹ / ² 対 50～100 MPa ・ m ¹ / ²) 、強い衝撃を受けると割れる可能性があります。
重量: 超硬合金の密度 (14～15 g/cm ³)はニッケル基合金の密度 (8～9 g/cm ³)よりも高いため、重量を軽減するには設計を最適化する必要があります。
環境への影響: HIP の高エネルギー消費 (バッチあたり 500～1000 kWh) とコバルト資源の希少性 (世界の埋蔵量は約 700 万トン) により、生産コストと環境への圧力が増大します ？ web:23 ？ 。

7. 今後の開発方向

課題に対応し、セメント炭化航空ノズルの競争力を高めるために、将来の開発方向は次のとおりです。

ナノセメントカーバイド

、硬度 (HV1800～2000) と靭性 (K_IC 15～20 MPa・m ¹ / ²)を向上させる超微細 WC 粒子サイズ (<0.2 μm)の材料を開発します。

グリーン製造

HIP プロセス（低温 HIP、1000～1200℃など）を最適化してエネルギー消費を 30～50%削減し、コバルト回収技術を開発して資源圧力を軽減します。

積層造形

3D プリント炭化物ノズル (選択的レーザー焼結法 SLS など) を検討して、複雑なフロー チャネルの統合成形を実現し、処理コストを 20 ～ 30% 削減します。

複合材料

超硬合金とセラミックコーティング（ ZrO など）を組み合わせることで、 ₂ ）は、耐高温性（> 1600° C）と耐腐食性を向上させます。

インテリジェントデザイン

CFD (数値流体力学) を使用してノズルの流路を最適化し、噴射効率 (+10%) を向上させ、燃料消費を削減します。

8. 要約表：セメントカーバイド航空ノズルの主な特徴と製造ポイント

プロジェクト	説明する
材料構成	WC 85～95 重量%、Co 5～15 重量%、オプションで TiC / NbC 添加

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

プロジェクト	説明する
主な特徴	硬度 HV1600～1800、曲げ強度 2000～2500MPa、耐熱性 1400℃、耐腐食性
製造工程	粉末調製 → CIP（100～400 MPa、室温） → 真空焼結（1350～1450℃） → HIP（50～200 MPa、1200～1400℃） → 精密機械加工（EDM、レーザー）
CIP 機能	均一な成形体（密度 60～70%）を形成し、複雑なノズル構造に適しています。
HIP 効果	微細孔（密度約 100%）を除去し、硬度を 5～10%、強度を 10～20%向上
アプリケーションシナリオ	ターボファン/ターボシャフトエンジンの燃料ノズル、冷却ノズル、ガスタービンノズル
パフォーマンス上の利点	寿命が 30～50%延長、燃焼効率が 5～10%向上、寸法精度は ±0.01 mm
チャレンジ	コストが高い（10,000～50,000 元/個）、加工が難しい、靭性が限られている、重量が重い
今後の方向性	ナノハード合金、グリーン HIP、3D プリント、複合コーティング、CFD 最適化

例:
材料と特性: WC-Co の一般的な構成と特性に基づきます。
製造プロセス: CIP、HIP、および処理プロセス全体をカバーします。
パフォーマンスと課題: 利点（例: 寿命、効率）と制限（例: コスト、堅牢性）を定量化します。
データソース: USGS 2024 レポートおよびセメントカーバイド製造規格 ？ web:9,23 ？ 。

9. 結論

超硬合金（WC-Co）は、高硬度、耐摩耗性、高温安定性により、航空ノズルの優先材料となり、ターボファンエンジン、ターボシャフトエンジン、ガスタービンの性能と寿命を大幅に向上させました。均一なグリーン体を形成する冷間静水圧プレス（CIP）、初期緻密化を実現する真空焼結、微細構造と性能を最適化する熱間静水圧プレス（HIP）のプロセスルートにより、超硬合金ノズルはほぼ 100%の理論密度、±0.01 mm の寸法精度、30～50%の寿命延長を実現できます。しかし、高い製造コスト、加工の難しさ、靭性の限界を克服する必要があります。今後、ナノ超硬合金、グリーン製造、積層造形技術の進歩により、ノズルの性能がさらに向上し、コストが削減され、航空産業の効率的で持続可能な方向への発展が促進されるでしょう。超硬合金製航空ノズルの応用は、最先端の材料技術を反映するだけでなく、航空エンジンの信頼性と効率性に重要なサポートを提供します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

付録：

ISO 14923:2003

溶射 - 溶射コーティングの特性評価と試験

1. 範囲

この国際規格は、溶射コーティングの特性評価および試験方法を規定する。本規格は、金属コーティング、セラミックコーティング、複合コーティングを含む、様々な溶射プロセス（プラズマ溶射、フレーム溶射、高速酸素燃料溶射など）によって作製されたコーティングに適用可能である。

適用対象：超硬合金コーティング（WC-Co、Cr_3C_2- NiCr など）を含みますが、これに限定されません。

除外事項:コーティング準備プロセスの特定のパラメータについては規定されておらず、テスト方法のみが焦点となっています。

2. 規範的参照

この規格では、以下の文書を参照しており、これらの文書の条項は、この規格で参照されることにより、この規格の条項となる。

ISO 4287:1997 - 製品の幾何特性仕様（GPS）- 表面性状：プロファイル法 - 用語、定義および表面性状パラメータ。

ISO 6507-1:2005 - 金属材料 - ビッカース硬度試験 - パート 1：試験方法。

ISO 14916:2017 - 溶射 - コーティングの接着強度の引張試験。

ISO 14918:1998 - 溶射 - 検査および受入試験の文書。

3. 用語と定義

この規格では、次の用語と定義を使用します。

溶射コーティング：溶射プロセスによって溶融または半溶融の材料を基材の表面に堆積させることによって形成されるコーティング。

接着強度:コーティングと基材またはコーティング間の最大引張応力（MPa 単位）。

多孔度:コーティング内の細孔容積の総体積に対する割合を%で表します。

硬度:コーティングが局所的な塑性変形に抵抗する能力。通常はビッカース硬度（HV）で表されます。

厚さ：基材表面からコーティング上部までの垂直距離（ μｍ単位） 。

4. 試験方法

4.1 コーティングの厚さ

方法：光学顕微鏡または磁気/超音波厚さ計を使用して測定します。

サンプルの準備：コーティングの断面に沿って切断し、研磨し、顕微鏡の倍率は 50～200 倍です。

測定ポイント：少なくとも 5 つのランダム ポイントで平均値を計算します。

許容差：厚さ偏差±10％または±20μｍ （いずれか大きい方）。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

4.2 接着強度

方法:コーティングされた試験片を接着剤を使用して試験治具に取り付け、ISO 14916 に従って引張試験を実施しました。
サンプル準備：直径 25mm、厚さ 5mm 以上、コーティング厚さ 0.1mm 以上の円筒形試験片。

試験条件：荷重速度 1～5MPa/s、最大引張力を記録します。

レポート：接着強度値、単位：MPa、テストは 3 回繰り返され、平均値が算出されます。

4.3 硬度

方法：ビッカース硬度試験は ISO 6507-1 に従って実施した。
試験条件：荷重 9.807 N（HV 0.1）または 49.03 N（HV 0.5）、圧子保持時間 10～15 秒。
測定ポイント:エッジと欠陥を避けて、コーティング表面の少なくとも 5 点。
レポート：硬度値 HV、偏差±5%。

4.4 多孔性

方法：断面を光学顕微鏡または走査型電子顕微鏡（SEM）を使用して分析しました。

サンプル準備：コーティング断面の研削と研磨、顕微鏡の倍率 100～500 倍。

測定：ランダムに 5 つの視野を選択し、気孔面積の割合を計算します。
許容範囲：測定結果の偏差±0.5%。

4.5 表面粗さ

方法： ISO 4287 に準拠したスタイラス表面プロファイラーを使用して測定。
パラメータ: Ra（算術平均粗さ）、Rz（十点高さ）、サンプル長さ 2.5 mm。
測定ポイント：少なくとも 3 本の平行線で平均値を計算します。
許容差： Ra 偏差± 0.5μm 。

4.6 微細構造分析

方法:コーティング相の組成と欠陥を SEM または X 線回折(XRD)を使用して分析しました。
サンプル準備:断面または表面のコーティング、導電性向上のための金またはカーボンコーティング。
レポート:相組成（例: WC、Co)、亀裂および酸化物の分布。

5. 試験条件

環境:温度 20±5° C、湿度 <60%、ほこりや振動を避けてください。
機器の校正:すべてのテスト機器は ISO/IEC 17025 に従って毎年校正されます。
サンプル数量:バッチごとに少なくとも 3 つのサンプル、代表的なテスト。

6. 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。
コーティング材料および基材の情報（化学組成、厚さ）。
試験方法及び条件（規格番号、装置型式）。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

測定結果（厚さ、接着強度、硬度、多孔度、粗さ）。
微細構造分析結果（写真、相組成）。
バイアスと不確実性の分析。
テストの日付とオペレーターの署名。

7. 適用範囲と制限

適用範囲:工業、航空宇宙、エネルギー分野の熱噴射コーティングに適しています。
制限事項:厚さ 0.1 ㎜ 未満の超薄コーティングには適していません。
コーティング内部の残留応力の試験については規制がないため、他の規格（ISO 13703 など）を参照する必要があります。

8. 付録（参考）

付録 A :推奨される顕微鏡の倍率と視野の選択。
付録 B :接着強度試験における接着剤選択ガイド（エポキシ樹脂を推奨、強度 ≥ 70 MPa）。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

付録：

ISO 14919:2015
炎およびアーク溶射用ロープ
- 分類 - 技術的な配送条件

1. 範囲

この国際規格は、火炎溶射およびアーク溶射用のワイヤ、ロッド、ロープの分類、技術的供給条件および受入れ要件を規定しています。

ターゲット顧客

耐摩耗性および耐腐食性のコーティングを準備するための熱噴射に使用される金属、合金、複合ワイヤ（亜鉛、アルミニウム、セメント炭化物ベースの複合材など）が含まれます。

含まれません

粉末材料（超硬合金粉末 WC-Co など）や、溶射に使用されない材料は含まれません。

2. 規範的参照

この規格では、以下の文書を参照しており、これらの文書の条項は、この規格で参照されることにより、この規格の条項となる。

ISO 544:2017 - 溶接フィラー金属 - 技術的供給条件 - 製品の種類、寸法、許容差およびマーキング。

ISO 9001:2015 - 品質管理システム - 要件。

ISO 10204:2017 - 金属製品 - 検査文書の種類。

ISO 14918:2018 - 溶射 - 検査および受入試験の文書。

注：改訂があった場合は最新版が適用されます。

3. 用語と定義

この規格では、次の用語と定義を使用します。

ワイヤ：溶射に使用される連続した金属または合金の細長い材料で、通常、直径は 1.0 ～ 4.0 mm です。

ロッド:熱噴射に使用される硬質金属またはセラミックのロッド材料。長さは通常 300 ～ 1000 mm。

コード:複数のワイヤまたは繊維を編み合わせて作られており、熱噴射された材料（セラミック粒子など）が含まれています。

フレーム溶射：燃料ガス（アセチレンなど）を酸素で燃焼させて溶射材料を溶かし、それを基材の表面に溶射するプロセス。

アーク溶射: 2 本のワイヤ間で電気アークを発生させ、材料を加熱して溶かし、基板の表面に溶射するプロセス。

4. 分類

4.1 材料の種類による分類

純金属：

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

亜鉛（Zn）：純度 99.9%以上。
アルミニウム（Al）：純度≥99.5%。
合金：
亜鉛アルミニウム合金（Zn-Al）：Zn85Al15 など。
銅亜鉛合金（Cu-Zn）：Cu70Zn30 など。
ニッケル基合金（Ni-Cr）：Ni80Cr20 など。
複合材料：
$_3$など。
超硬合金系複合材料：WC-Co 複合ワイヤ（Co 5～15% wt ）など。

4.2 形態による分類

ワイヤ：直径 1.0～4.0 mm、コイル状または直線状。
ロッド：直径 3.0～8.0mm、長さ 300～1000mm。
ロープ材質：直径 2.0～6.0mm、セラミックまたは金属粒子を含む。

5. 技術的供給条件

5.1 化学組成

要件:化学組成は、以下の偏差を除いた材料分類に準拠する必要があります。
主要元素（Zn、Al など）：±0.5%。
合金元素（Cr、Co など）：±1.0%。
不純物（O、S など）：合計<0.5%。
試験方法:分光分析(ICP-OES)または化学滴定。

5.2 寸法と許容差

線径： 1.0 ～ 4.0mm、許容差±0.05mm。
ロッド径： 3.0～8.0mm、許容差±0.1mm。
ロープ径： 2.0～6.0mm、許容差±0.2mm。
長さ許容差（バー）：±5mm。

5.3 表面品質

要件:表面にはひび割れ、酸化スケール、油汚れ、その他の欠陥があってはなりません。
検査方法：目視または顕微鏡（倍率 10 倍）。

5.4 物理的性質

引張強度（ワイヤ）：≥200MPa。
伸び（ワイヤ）：≥5%。
試験方法： ISO 6892-1 に準拠して引張試験を実施した。

5.5 包装と保管

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

包装:ワイヤーコイル(コイルあたり 5〜50kg)、ロッドおよびロープの束、防湿包装。

保管:腐食を防ぐため、温度 40° C 未満、湿度 60% 未満の乾燥した換気の良い環境で保管してください。

6. 検査と受入れ

検査文書: ISO 10204 に従ってクラス 2.1 またはクラス 2.2 の検査レポートを提供します。

受け入れ基準:

化学組成、寸法および表面品質は、セクション 5.1 〜 5.3 の要件に準拠する必要があります。

物理的特性はセクション 5.4 の要件を満たしています。

サンプリング:テストのために各バッチから 3 〜 5 個のサンプルが採取されます。

7. 試験方法

化学組成:分光分析（ICP-OES）または化学滴定。

サイズ:ノギスまたはマイクロメーターで測定します。

表面品質：目視検査または顕微鏡検査。

物理的性質：引張試験（ISO 6892-1）。

8. マーキング

内容:各材料バッチには次の情報を記載する必要があります。

材質名（Zn99.9、WC-Co など）。

仕様（直径、長さ）。

バッチ番号と製造日。

製造元の名前または商標。

方法：マークははっきりと判読できるよう包装またはラベルに貼付されます。

9. 適用範囲および制限

適用範囲:耐腐食性および耐摩耗性コーティングを調製するための火炎溶射およびアーク溶射プロセスに適しています。

制限:

粉体噴霧材料（WC-Co 粉体など）には適していません。

高温コーティング（>800° C）の性能は規定されていないため、他の規格（ISO 14923 など）を参照する必要があります。

10. 付録（参考）

付録 A :推奨されるワイヤ径とスプレープロセスパラメータ。

例：Zn 線（直径 2.0mm）、火炎噴射距離 100〜150mm、酸素流量 30〜50L/分。

付録 B ：代表的な材料の化学組成表。

例：Zn85Al15 （Zn 84.5〜85.5%、Al 14.5〜15.5%、不純物<0.5%）。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

付録：

ASTM C633-13(2017)

溶射コーティングの接着強度または凝集強度の標準試験方法

1. 範囲

1.1 この規格は、引張試験によって溶射皮膜の接着強度または凝集強度を測定する試験方法を規定する。金属皮膜、セラミック皮膜、および複合皮膜に適用可能である。

ターゲット顧客

フレーム溶射、アーク溶射、プラズマ溶射（APS、VPS など）、HVOF、DGS などのプロセスで使用されるセメント炭化物コーティング（WC-Co、Cr_3C_2- NiCr など）が含まれます。

測定対象：

接着力: コーティングと基材間の結合強度（MPa で測定）。

凝集強度: コーティング内の結合強度。MPa で測定されます。

1.2 この方法は、厚さが 0.1 mm 未満の超薄コーティングには適用できません。

1.3 この規格はコーティングの準備プロセスについてはカバーしておらず、試験方法のみをカバーしています。

1.4 値はメートル法（MPa）で表されます。括弧内のヤードポンド法（psi）は参考値です。

2. 参考文献

この規格では次の文書を参照しています。

ASTM E4-16 :引張試験機の力校正に関する標準規格。

ASTM E6- 15 :機械試験の用語。

ASTM E177- 14 :エンジニアリングデータの精度とバイアスに関する用語。

ASTM E691- 16 :試験方法間の精度の比較と評価。

3. 用語と定義

接着強度:コーティングと基材の界面を分離するために必要な引張応力（MPa 単位）。

凝集強度:コーティング内の粒子の分離に必要な引張応力（MPa で測定）。

溶射コーティング：溶射プロセス（APS、HVOF など）によって基材表面に堆積されるコーティング。

故障モード:

接着不良: コーティングと基材の界面での破損。

凝集破壊: コーティング内部の破壊。

混合破壊: 接着破壊と凝集破壊の組み合わせ。

4. 意義と利用

この試験方法は、溶射コーティングの結合品質を評価するために使用され、品質管理、材料開発、性能検証に適しています。

主な用途: 航空宇宙 （タービンブレードコーティング）、産業機器 （耐摩耗コーティン

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

グ)、エネルギー産業（掘削装置コーティング)。
例: WC-Co コーティング (HVOF) の結合強度は通常 50 ～ 80 MPa ですが、VPS コーティングでは 60 ～ 90 MPa に達します。

5. 試験装置

引張試験機:
ASTM E4 要件を満たし、力の校正精度は ±1% です。
荷重速度: 0.015～0.025 mm/秒(0.6～1.0 mm/分)。
試合日程:
円筒形の固定具、直径 25.4 mm (1.0 インチ)、両端の位置合わせ誤差は 0.05 mm 未満。
クランプ材質：高強度鋼、硬度 ≥ HRC 40。
接着剤:
高強度エポキシ樹脂（FM 1000 など）、強度≥70 MPa。
硬化条件: メーカーの推奨に従う (例: 150° C、2 時間)。

6. サンプルの準備

サンプルサイズ:
円筒形試験片、直径 25.4 mm (1.0 インチ)、基板の厚さ ≥ 5 mm。
コーティングの厚さ：0.1～1.0 mm（プロセスによって異なります）。
基板:
材質：通常はスチール、ステンレス鋼、アルミニウム。表面はサンドブラスト処理により粗面化されています（Ra 3-5 μm ） 。
コーティング準備:
実際の製造プロセス（HVOF、APS など）を使用した溶射。
コーティング表面は平滑で、粗さは Ra5～15μm である必要があります。
結合:
コーティングした試験片を同じサイズの別の円筒形の固定具に接着します。

接着剤の厚さ: 0.05～0.2 mm、均一に塗布し、気泡が入らないようにしてください。

数量:グループあたり少なくとも 5 個の標本、代表的なテスト。

7. 実験手順

校正：試験機の力校正、精度±1%。
取り付け:試験片を試験機の固定具に固定し、位置合わせ誤差が 0.05 mm 未満であることを確認します。
荷重：試験片が破損するまで、0.015～0.025 mm/s の速度で引張荷重を加えます。
記録:
最大引張力（N（または lb ）単位） 。
故障モード (接着、凝集、または混合)。
計算:
接着強度（MPa）＝最大引張力（N） / サンプル断面積（mm^2 ）。
断面積：502.7mm^2 （直径 25.4mm）。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

8. 試験条件

環境：温度 23±2℃、湿度 50±10%、振動および腐食性ガスなし。
装置:試験機は過熱や過負荷から保護する必要があります。

9. 結果の報告

レポートの内容:
コーティング材料と基材の情報（例：WC-12Co、鋼基材）。
コーティングの厚さ（ μm ）と準備プロセス（HVOF、APS など）。
接着剤の種類と硬化条件。
標準偏差を含む接着強度の平均値（MPa）。
故障モード（接着、凝集、または混合）、写真付き。
テスト日、オペレーター、機器番号。
例： WC-Co コーティング（HVOF）、接合強度 65±5MPa、破壊モードは混合破壊。

10. 精度とバイアス

精度:
実験室内再現性: 標準偏差 <5%。
実験室間再現性：標準偏差 <10%。
偏差:
考えられる原因: 試験片の位置合わせエラー、接着強度不足、コーティング欠陥。
管理措置: テスト手順に厳密に従い、サンプルの品質を確認します。

11. 付録（参考）

付録 X 1 :接着剤選択ガイド。
推奨：FM 1000 エポキシ樹脂、強度 ≥ 70 MPa。
付録 X 2 :故障モード解析の例。
例: 接着破壊（界面剥離）、凝集破壊（コーティング内の破損）。

12. キーワード

溶射コーティング、接着、凝集強度、引張試験、接着強度。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

付録：

ASTM E2109-01(2014)

溶射コーティングの見かけ気孔率の標準試験方法

1. 範囲

1.1 この規格は、顕微鏡分析により溶射皮膜の見かけ気孔率を測定する試験方法を規定する。金属皮膜、セラミック皮膜、および複合皮膜に適用可能である。
適用対象:プラズマ溶射(APS、VPS)、HVOF、DGS、その他のプロセスで使用される超硬合金コーティング(WC-Co、Cr_3C_2- NiCr など)を含む。
測定対象:
見かけ多孔度: コーティング断面の細孔面積の総面積に対する割合を%で表します。

1.2 この方法は、厚さが 0.05mm 以上のコーティングに適用できます。

1.3 この規格では、多孔性の原因やコーティングの準備プロセスについては触れず、試験方法のみを規定しています。

1.4 値はメートル法（%）で表されます。括弧内のヤードポンド法は参考値です。

2. 参考文献

この規格では次の文書を参照しています。
ASTM E3- 11 :金属材料の微細構造試験片を作製するための標準方法。
ASTM E7- 17 :金属材料の微細構造分析の用語。
ASTM E1245-03(2016) :画像分析によって材料内の介在物または第 2 相の量を決定するための標準的な方法。
ASTM E177- 14 :エンジニアリングデータの精度とバイアスに関する用語。

3. 用語と定義

見かけ多孔度:顕微鏡画像分析によって測定されたコーティング断面の細孔面積の総面積に対する割合 (%)。
溶射コーティング：溶射プロセス（APS、HVOF など）によって基材表面に堆積されるコーティング。
多孔性:未溶融粒子、ガスの閉じ込め、または冷却時の収縮によって発生する、コーティング内または界面の小さな空隙。
視野:顕微鏡で観察される領域。通常は長方形または円形です。

4. 意義と利用

コーティングの耐食性、耐摩耗性、および接着強度に影響を与える溶射コーティングの多孔性を評価するために使用されます。
代表的な用途:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

航空宇宙（タービンブレードコーティング）：多孔度 < 1%（VPS）。
産業機器（耐摩耗コーティング）：気孔率 < 2%（HVOF）。
エネルギー産業（掘削装置のコーティング）：多孔度 <5%（APS）。
例: WC-Co コーティング (HVOF) の気孔率は通常 0.5 ～ 2% ですが、VPS コーティングの場合は 1% 未満になることがあります。

5. 試験装置

光学顕微鏡:

倍率：100∽1000 倍、200∽500 倍を推奨。

解像度： 1μm以上の細孔サイズを区別できます。

走査型電子顕微鏡（SEM） （オプション）:
倍率 500～2000 倍の高精度分析に使用します。

画像解析ソフトウェア:
ASTM E1245 要件に準拠しており、細孔面積を自動的に識別して計算できます。

切断装置:
滑らかな断面を実現する精密切断機。

研削・研磨装置:

サンドペーパー（240∽1200 番）と研磨布、酸化アルミニウムまたはダイヤモンド懸濁液を使用します。

6. サンプルの準備

サンプルサイズ:
断面寸法：10 mm × 10 mm 以上、コーティング厚さ ≥ 0.05 mm。

切断:
低速精密カッターと冷却剤（水など）を使用してください。

モザイク:
安定した断面を確保するために、試験片はエポキシ樹脂で固定されました。

研削と研磨:
研磨：240、400、800、1200 番のサンドペーパーを使用して、傷を徐々に減らします。
研磨: 1 μmダイヤモンド懸濁液と研磨布を使用し、速度 150 ～ 200 rpm で研磨します。
表面の要件: 傷がなく、毛穴がはっきりと見える。

クリーン:
エタノールで洗浄し、5 分間超音波洗浄して乾燥させます。

数量:グループあたり少なくとも 3 つの標本、代表的なテスト。

7. 実験手順

校正：顕微鏡の倍率校正、精度±2%。

視野の選択:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

コーティング断面のさまざまな領域をカバーするために、5〜10 個の視野がランダムに選択されました。
各視野の面積：少なくとも 0.01 ㎟ （倍率 200 倍）。
画像取得：
高い孔コントラストを確保するために、光学顕微鏡または SEM を使用して画像を撮影します。
毛穴は暗く見え、コーティングマトリックスは明るく見えます。
画像解析：
多孔性は、画像解析ソフトウェア（ASTM E1245 に準拠）を使用して識別されました。
しきい値の設定：毛穴のグレー値に基づいてノイズを除外します。
計算：
見かけの気孔率（％）＝（総気孔面積 / 全視野）× 100。

5〜10 フィールドの平均と標準偏差が計算されました。

8. 試験条件

環境：温度 23±2℃、湿度 50±10％、振動・埃なし。

照明：顕微鏡で明視野照明または暗視野照明を使用して、毛穴がはっきりしていることを確認します。
機材：アーティファクトを避けるために顕微鏡のレンズを清掃します。

9. 結果の報告

レポートの内容：
コーティング材料と基材の情報（例：WC-12Co、鋼基材）。
コーティングの厚さと準備プロセス（HVOF、APS など）。
顕微鏡の倍率と視野の数。
標準偏差を含む平均見かけ多孔度（％）。
細孔分布（均一性、サイズ範囲）の説明（画像付き）。
テスト日、オペレーター、機器番号。
例： WC-Co コーティング（HVOF）、気孔率 1.2±0.3％、均一な気孔分布、最大気孔径＜5μm 。

10. 精度とバイアス

精度：
実験室内再現性：標準偏差 ＜0.5%。
実験室間再現性：標準偏差 ＜1.0%。
偏差：
考えられる原因：試料の研磨が不十分、画像のしきい値設定が不適切、視野選択が偏っている。
管理措置：サンプルの準備と分析の手順を厳密に遵守し、視野の数を増やします。

11. 付録（参考）

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

付録 X 1 :顕微鏡の倍率選択ガイド。

推奨：コーティング厚さ 0.1～0.5㎜、200～500 回使用。

付録 X 2 :画像解析ソフトウェアのセットアップに関する推奨事項。
例: グレースケールしきい値設定範囲 (0 ～ 255)、毛穴識別しきい値 <50。

12. キーワード

溶射コーティング、表面多孔度、顕微鏡分析、画像分析、細孔分布。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

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

付録：

EN 657:2005

溶射 - 用語と分類

1. 範囲

1.1 この欧州規格は、溶射技術に関する用語と分類を定義し、さまざまな溶射プロセス（火炎溶射、アーク溶射、プラズマ溶射など）に適用されます。

適用対象:金属コーティング(亜鉛、アルミニウムなど)、セラミックコーティング(アルミナ、酸化ジルコニウムなど)、複合コーティング(WC-Co セメントカーバイドなど)など。

目的:技術的なコミュニケーション、標準設定、製品の説明を容易にするために統一された用語を提供します。

1.2 この規格は、特定のプロセスパラメータやパフォーマンス要件については規定しておらず、用語と分類に限定されています。

2. 規範的参照

この規格では、以下の文書を参照しており、これらの文書の条項は、この規格で参照されることにより、この規格の条項となる。

EN 13507:2018 - 溶射 - 金属部品の表面処理。

EN 13204:2017 - 溶射 - 粉末 - 組成、技術的な納入条件。

ISO 14918:1998 - 溶射 - 検査および受入試験の文書。

注：改訂があった場合は最新版が適用されます。

3. 用語と定義

この規格では、プロセス分類と技術的特性別に、以下の溶射関連用語を定義しています。

3.1 溶射プロセス

溶射：

コーティングプロセスは、材料を溶融または半溶融状態まで加熱し、それを基材の表面に高速で噴霧することによって形成されます。

フレーム溶射：

燃料ガス（アセチレン、プロパンなど）を酸素と燃焼させて炎の流れを発生させ、材料を溶かして噴霧するプロセス。

アーク溶射：

2 本の導電線の間に電気アークを発生させて材料を加熱し、圧縮空気を使用して溶融粒子を噴出させるプロセス。

プラズマ溶射：

プラズマ溶射（APS）や真空プラズマ溶射（VPS）など、プラズマアーク（温度 10,000～15,000℃）を使用して材料を溶かして溶射するプロセス。

高速酸素燃料噴霧（HVOF ）：

燃料（灯油など）を酸素と燃焼させて超音速炎（500～1000 m/s）を生成するプロセス。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

高爆薬散布（DGS、デトネーションガン散布）：
制御された爆発（アセチレンと混合した酸素）によって高圧衝撃波を発生させ、噴霧するプロセス。

3.2 材料とコーティング

スプレー材質：
金属、合金、セラミック、複合材料などの材料の溶射に使用する粉末、ワイヤ、ロッド、ロープ。
コーティング：
溶射中に基材表面に形成される層構造。
ボンドコート：
コーティングと接着性を高める基板（通常は金属（Ni-Cr、Ni-Al など））。
サーメットコーティング：
Cr_3C_2など）と金属結合相（Co、Ni など）から構成される複合コーティング。
スプラット：
溶融粒子または半溶融粒子が基材に衝突した後に急速に冷却されて形成される平面構造がコーティングの基本単位です。

3.3 プロセスパラメータとパフォーマンス

スプレー距離:
スプレーガンのノズルから基板表面までの距離は mm 単位で、通常は 100 ～ 200 mm です。
送り速度:
単位時間あたりに供給される粉末の量（g/分）。
接着強度:
コーティングと基材の間、またはコーティング内部の接着力（MPa で測定）。
気孔率：
コーティング内の細孔容積の総容積に対する割合（% で表す）は、耐食性と耐摩耗性に影響します。
表面**粗さ**
コーティング表面の微視的粗さは、通常、Ra（算術平均粗さ）（ μm 単位）で表されます。

3.4 欠陥と故障

割れ目：
コーティング内部またはインターフェースにおける亀裂は、熱または機械的な応力によって発生することがあります。
剥離：
コーティングが基材または内部層から剥がれる現象。
酸化物介在物：
酸化反応によりコーティング内に酸化物粒子が形成されたもの。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

4. 分類

4.1 プロセスによる分類

ガス溶射：
フレーム溶射、アーク溶射、HVOF など。
プラズマ溶射：
APS および VPS を含みます。
爆発熱溶射：
DGS を含む。

4.2 材質による分類

メタリックコーティング：
ニッケルベースの合金など。
セラミックコーティング：
Al_2O_3など 酸化ジルコニウム $_2$.
複合コーティング：
Cr_3C_2 - NiCr など。

4.3 用途による分類

保護コーティング：
工業用パイプラインコーティングなど、耐腐食性、耐摩耗性、耐高温性のために使用されます。
機能性コーティング：
導電性コーティングや絶縁コーティングなどの特定の機能に使用されます。
補修コーティング：
金型の修理など、摩耗または腐食した部品の修理に使用します。

5. 付録（参考）

付録 A :溶射プロセスの概略図。
例: 炎の流れ、ノズル、基板の位置を示す、炎噴射の概略図。
付録 B :一般的なコーティング材料の用語比較表。
例: WC-Co（硬質合金）、 NiCr（ニッケルクロム合金）。

6. 適用範囲と制限

適用範囲:溶射業界向けの技術文書、標準開発、トレーニング。
制限：
特定のプロセスパラメータやパフォーマンステスト方法は含まれておらず、他の規格（EN 13507、ISO 14923 など）を参照する必要があります。
コールドスプレーなどの非熱噴射プロセスには適していません。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

付録：

EN 13507:2018

溶射 – 金属部品およびコンポーネントの表面処理

1. 範囲

1.1 この欧州規格は、溶射前の金属部品およびアセンブリの表面処理に関する要件、方法および受入れ基準を規定しています。

適用対象：鋼、ステンレス鋼、アルミニウム合金、チタン合金部品を含みますがこれに限定されず、後続の熱噴射コーティングに適しています（WC-Co、Cr_3C_2- NiCr など） 。

目的:表面の清浄度と粗さを確保し、コーティングの基材への密着性を高めます。1.2 この規格は、フレーム溶射、アーク溶射、プラズマ溶射 (APS、VPS)、HVOF、および DGS プロセスに適用されます。1.3 この規格は、非金属基材の前処理またはコーティング準備プロセスには適用されません。

2. 規範的参照

この規格では、以下の文書を参照しており、これらの文書の条項は、この規格で参照されることにより、この規格の条項となる。

EN 657:2005 – 溶射 – 用語と分類。

EN 1011-1:2009 – 溶接 – 鋼の溶融溶接 – パート 1: 材料および手順に関する一般的なガイダンス。

EN ISO 8501-1:2007 – 鋼の表面処理 – 錆のレベルおよび処理等級の目視評価 – パート 1: 錆のレベルおよび処理等級。

EN ISO 2063:2005 – 熱噴射 – 金属および無機コーティング – 亜鉛、アルミニウムおよびそれらの合金。

注：改訂があった場合は最新版が適用されます。

3. 用語と定義

この規格では、EN 657:2005 を参照して、次の用語と定義を使用します。

表面処理:洗浄、粗面化、または処理によって表面の汚染を除去し、コーティングの接着性を高めるプロセス。

粗さ：表面の微細な凹凸。通常は Ra（算術平均粗さ）で表され、単位は μm です。

ブラスト加工：高圧空気またはホイールタイプの硬い粒子（砂やスチールショットなど）の噴霧を使用して表面を粗くするプロセス。

清浄度:表面に油、錆、酸化物が存在しない程度。通常は EN ISO 8501-1 に従って評価されます。

4. 要件

4.1 表面の清浄度

目的:グリース、サビ、ミルスケール、溶接スラグ、汚染物質を除去します。

評価:

スチール: EN ISO 8501-1 Sa 2 1/2（ほぼ 白色で、目に見える油や錆がない状態。

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

アルミニウム合金: EN ISO 8501-1 Sa 2（完全に錆びない）、遊離粒子なし。

検査方法：目視または拡大鏡（倍率 5〜10 倍）。

4.2 表面粗さ

範囲:

推奨粗さは Ra3～5μm （サンドブラスト後の自然粗さ）。

μm （合意による） 。

測定方法：サンプル長さ 2.5mm のスタイラス表面プロファイラー（EN ISO 4287 参照）を使用します。

許容差： Ra 偏差± 1μm 。

4.3 残留応力制御

要件:前処理後、亀裂を避けるために表面残留応力を最小限に抑える必要があります。

方法：サンドブラスト圧力（0.2〜0.7 MPa）と角度（45〜90° ）を制御します。

4.4 基板の完全性

要件:前処理によって基材に大きな変形や損傷(ひび割れ、剥がれなど)が生じてはなりません。

検査：目視検査または非破壊検査（磁性粒子検査など）。

5. 前処理方法

5.1 クリーニング

脱脂：

方法：有機溶剤（トリクロロエチレン、エタノールなど）による洗浄または超音波洗浄。

時間: 5〜10 分、油汚れがないことを確認してください。

錆除去：

方法: 酸洗い(10% 塩酸溶液など)または機械的洗浄(ワイヤーブラシなど)。

注意：漬けた後は中和してすすいでください。

5.2 サンドブラスト

装置：

サンドブラスト機、圧力 0.2〜0.7MPa、ノズル径 6〜10mm。

研磨剤：

スチールショット：直径 0.3～1.0mm、硬度≥HRC40。

砂：石英砂またはコランダム、粒径 0.2～0.8mm。

純度: 不純物 <1%。

パラメータ:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

スプレー距離：100～150mm。
噴霧角度：45～90°（基材の形状に合わせて調整）。
サンドブラスト時間：指定された粗さと清浄度が達成されるまで。
安全性:作業者は粉塵の吸入を避けるために保護具を着用する必要があります。

5.3 その他の方法

機械的粗面化：
μ mの研削ホイールまたはグラインダーを使用します。
熱処理：
接着力を高め、結露を防ぐために、基材を 50 ～ 150° C に予熱します。

6. 検査と受入れ

検査方法：
清浄度: EN ISO 8501-1 に準拠した視覚評価。
粗さ：触針式表面粗さ計で測定し、5 点の平均値を求めました。
表面の完全性:目視または非破壊検査。
受け入れ基準：
清浄度レベル Sa 2 ½（スチール）または Sa 2（アルミニウム）。
粗さは規定範囲内（Ra3～ 5μm ）です。
目立った損傷や汚れはありません。
記録:前処理プロセスのパラメータ、検査結果、日付。

7. 試験条件

環境:温度 15∽30℃、湿度<70%、ほこりや腐食性ガスなし。

設備：サンドブラスト機および測定ツールは定期的に校正する必要があります（精度±5%）。

8. 結果の報告

レポートの内容:
基板材質と部品情報（鋼、ステンレス鋼など）。
前処理方法（サンドブラスト、脱脂など）。
プロセスパラメータ（圧力、距離、研磨剤の種類）。
清浄度の評価と粗さの測定（Ra）。
表面品質検査結果。
テスト日、オペレーター、機器番号。
例: 鋼板、サンドブラスト（鋼ショット 0.5mm、0.5MPa、150mm）、Ra4.2μm 、清浄度 Sa2.5 。

9. 適用範囲および制限

適用範囲: 溶射前の金属部品やコンポーネントに適しており、コーティングの密着性を高めます。
制限：

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

非金属基板（セラミック、ポリマーなど）には適していません。
後続コーティングの性能は指定されておらず、EN 657 または ISO 14923 が参照されます。

10. 付録（参考）

付録 A :推奨されるサンドブラストパラメータ表。
例：鋼板基板、圧力 0.5MPa、距離 120mm、鋼板ショット 0.5mm、Ra4 ～ 6μm 。
付録 B :清浄度評価例の写真（Sa 2 ½ 標準）。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

付録： 。

GB/T 18719-2002
溶射粉末

1. 範囲

1.1 この規格は、溶射プロセスで使用される粉末の分類、技術要件、試験方法、および検査規則を規定しています。
適用対象：金属粉末（亜鉛、アルミニウムなど）、セラミック粉末（アルミナ、酸化ジルコニウムなど）、複合粉末（WC-Co 超硬合金など）など。
目的:粉末の化学組成、粒度分布、形態が溶射プロセスの要件を満たしていることを確認します。

1.2 この規格は、フレーム溶射、アーク溶射、プラズマ溶射（APS、VPS）、HVOF、DGS などのプロセスに適用されます。

1.3 この規格は、粉末の製造プロセスやコーティングの特性については触れず、粉末そのものにのみ焦点を当てています。

2. 規範的参照

この規格では、以下の文書を参照しており、これらの文書の条項は、この規格で参照されることにより、この規格の条項となる。
GB/T 5314-2002 - 金属材料のロックウェル硬度試験方法。
GB/T 13320-1991 - 粉末冶金の用語。
GB/T 1479.1-1993 - 金属粉末の粒度測定方法 - ふるい分け法。
GB/T 1482-2010 - 金属粉末のサンプリング方法および化学分析方法。
注：改訂があった場合は最新版が適用されます。

3. 用語と定義

この規格では、GB/T 13320-1991 を参照して、次の用語と定義を採用しています。
溶射粉末:溶射プロセスで使用される粒状材料で、金属、合金、セラミック、複合材料などがあります。
粒子サイズ：粉末粒子の最大線サイズ（ μｍ ） 。
粒度分布:サイズ範囲に応じた粉末粒子のパーセンテージ分布。
流動性：粉体投入過程における粉体の流動特性、単位は s/50g。
見かけ密度:単位体積あたりの粉末の質量。g/cm³ で表されます。

4. 分類

4.1 材料の種類による分類

金属粉末：
亜鉛 (Zn)、アルミニウム (Al)、ニッケル (Ni)、銅 (Cu) など。
セラミックパウダー：

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

酸化アルミニウム（ Al_2O_3 ）と酸化ジルコニウム（ ZrO_2 ） 。

複合粉末:

WC-Co（タングステンコバルト超硬合金）、Cr_3C_2- NiCr （クロム炭化ニッケルクロム）など。

4.2 形態による分類

球状粉末: 粒子がほぼ球状で流動性が良好です。

不規則粉末: 不規則な粒子形状で、特定のプロセスに適しています。

中空粉末: 密度を下げるために内部に空隙がある粒子。

5. 技術要件

5.1 化学組成

必要とする:

主要元素の含有量偏差は±0.5%です（WC、Co など）。

総不純物含有量 <1%（酸素 <0.5%、硫黄 <0.1%）。

試験方法: GB/T 1482 に規定された化学分析方法またはスペクトル分析方法。

5.2 粒度分布

範囲:

共通範囲：10～ 75 μm 。

具体的なプロセス:

APS/VPS: 10 ～ 50μm 。

HVOF: 10～ 45 μm 。

DGS: 10 ～ 50μm 。

許容範囲:

粒子の 90% が指定範囲内にあります。

粒子の 5% 未満が粒子サイズの上限を超えています。

試験方法: GB/T 1479.1 スクリーニング法またはレーザー粒度分析法。

5.3 流動性

必要とする:

球状粉末：≤20 秒/50g。

不定形粉末：≤30 秒/50g。

試験方法: ホール流量計を使用し、GB/T 1479.1 の付録に従って測定します。

5.4 見かけ密度

必要とする:

球状粉末：2.0～5.0 g/cm³ （材質により異なります）。

不定形粉末：1.5～4.0 g/cm³ 。

試験方法: GB/T 1479.1 に規定された見かけ密度測定方法。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

5.5 微細構造

必要とする：

粒子表面には重大な酸化や汚染はありません。

中空粉末の壁厚は均一で、割れもありません。

検査方法：光学顕微鏡（倍率 100～500 倍）または走査型電子顕微鏡（SEM）。

6. 試験方法

6.1 サンプリング

方法: GB/T 1482 に規定された層別サンプリングまたは機械サンプリング。

数量:各バッチのサンプリング量は 200 g 以上で、代表的なサンプルです。

6.2 化学組成分析

方法： GB/T 1482 に規定された分光分析法または化学滴定法。

精度：主成分誤差±0.2%、不純物誤差±0.05%。

6.3 粒子サイズの測定

方法： GB/T 1479.1 ふるい分け方法（標準ふるい：45、63、75μm ）またはレーザー粒度分析装置。

再現性: 3 回の測定、偏差 <5%。

6.4 流動性の測定

方法： GB/T 1479.1 ホールフローカップ法、 50g の粉末が通過する時間を記録します。

再現性： 3 回の測定、平均値。

6.5 見かけ密度の測定

方法： GB/T 1479.1 標準計量カップ法、100cm^3 の粉末の質量を測定します。

再現性：3 回の測定後の**偏差 <0.1 g/** cm^3 。

6.6 微細構造検査

方法：光学顕微鏡または SEM、倍率 100～500 倍。

報告：粒子形態、表面状態および中空麺の壁厚。

7. 検査規則

バッチ定義:同じ生産バッチ、重量≤500kg。

サンプリング:バッチサイズに応じて調整され、各バッチから 1 ～ 3 個のサンプルが採取されます。

受け入れ基準：

化学組成、粒度分布、流動性および見かけ密度は、セクション 5.1～5.4 の要件に準拠する必要があります。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

微細構造に明らかな欠陥はありません。
不適格処理:不適格サンプルは再テストするか、廃棄する必要があります。

8. マーキング、包装および輸送

マーク：
パッケージには材料名（WC-12Co など）、バッチ番号、製造日が記載されています。
パッケージ：
湿気や酸化を防ぐために、密封されたビニール袋または金属缶を使用してください。

1 パッケージあたりの重量: 5〜25 kg。

輸送:粉末の汚染を防ぐため、高温（<40° C）および湿度を避けてください。

9. 結果の報告

レポートの内容:
粉末の材質と分類情報。
化学組成分析結果。
粒度分布、流動性、見かけ密度の測定。
微細構造検査の結果（写真添付）。
試験方法と装置番号。
製造バッチ番号、日付、検査員の署名。

例： WC- 12Co 粉末、粒径 10〜45μm 、流動性 18 秒/50g、見かけ密度 4.2g/cm³ 、表面酸化なし。

10. 適用範囲および制限

適用範囲：溶射粉末の製造、検査、使用に適しています。
制限：
ワイヤー、ロッド、ロープには使用しないでください。
コーティング性能に関する規制はありませんので、GB/T 8642 または ISO 14923 を参照してください。

11. 付録（参考）

付録 A :推奨粒度分布表。
例: APS 粉末、10〜50 μm 、コンプライアンス>90%。
付録 B ： 流動性試験装置の概略図

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

付録：

GB/T 17391-2008

溶射コーティングの接着試験方法

1. 範囲

1.1 この規格は、溶射コーティングの接着性を決定するための試験方法を規定し、金属、セラミック、および複合コーティングに適用されます。
適用対象:フレーム溶射、アーク溶射、プラズマ溶射（APS、VPS)、HVOF、DGS プロセスで使用される超硬合金コーティング（WC-Co、Cr_3C_2- NiCr など)を含みます。
測定対象：
接着力: コーティングと基材間の結合強度（MPa で測定）。
凝集強度: コーティング内の結合強度。MPa で測定されます。

1.2 この方法は、厚さが 0.1mm 以上のコーティングに適用できます。

1.3 この規格はコーティングの準備プロセスには関係せず、接着試験方法のみを規定しています。

2. 規範的参照

この規格では、以下の文書を参照しており、これらの文書の条項は、この規格で参照されることにより、この規格の条項となる。
GB/T 531-1999 - 金属材料のビッカース硬度の試験方法。
GB/T 13320-1991 - 粉末冶金の用語。
GB/T 14623-2003 - 金属材料の引張試験方法。
GB/T 8642-2002 - 熱噴射された亜鉛、アルミニウムおよびそれらの合金コーティングの厚さの測定。
注：改訂があった場合は最新版が適用されます。

3. 用語と定義

この規格では、GB/T 13320-1991 を参照して、次の用語と定義を採用しています。
接着強度:コーティングと基材の界面を分離するために必要な引張応力（MPa 単位)。
凝集強度:コーティング内の粒子の分離に必要な引張応力（MPa で測定)。
熱溶射コーティング：熱溶射プロセスによって基材の表面に堆積されるコーティング。
故障モード:
接着不良: コーティングと基材の界面での破損。
凝集破壊: コーティング内部の破壊。
混合破壊: 接着破壊と凝集破壊の組み合わせ。

4. 意義と利用

この試験方法は、溶射コーティングの結合品質を評価するために使用され、品質管理、材料開発、性能検証に適しています。
代表的な用途:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

航空宇宙（タービンブレードコーティング）：WC-Co コーティング接着力 50～80MPa。

産業機器（耐摩耗コーティング）：HVOF コーティング接着力 60～90MPa。

エネルギー産業（掘削装置のコーティング）：Cr_3C_2- NiCr コーティングの接着力は 40～70MPa です。

5. 試験装置

引張試験機:

GB/T 14623 の要件を満たし、力校正精度は ±1% です。
荷重速度：0.5～2mm/分。

試合日程:

円筒形の固定具、直径 25 mm、両端の位置合わせ誤差 <0.05 mm。
材質: 高強度鋼、硬度 ≥ HRC 40。

接着剤:

高強度エポキシ樹脂（FM 1000 など）、引張強度 ≥ 70 MPa。
硬化条件: メーカーの推奨に従う (例: 120° C、1 ～ 2 時間)。

6. サンプルの準備

サンプルサイズ:

円筒形試験片、直径 25 mm、基板の厚さ≥ 5 mm。
コーティングの厚さ：0.1～1.0 mm（プロセスによって異なります）。

基板:

材質：通常はスチール、ステンレス鋼、アルミニウム。表面はサンドブラスト処理により粗面化されています（Ra 3-5 μm ） 。

コーティング準備:

実際の製造プロセス（HVOF、APS など）を使用した溶射。
コーティング表面は平滑で、粗さは Ra5～15μm である必要があります。

結合:

コーティングした試験片を同じサイズの別の円筒形の固定具に接着します。

接着剤の厚さ: 0.05～0.2 mm、均一に塗布し、気泡が入らないようにしてください。

数量:グループあたり少なくとも 5 個の標本、代表的なテスト。

7. 実験手順

校正：試験機の力校正、精度±1%。
取り付け:試験片を試験機の固定具に固定し、位置合わせ誤差が 0.05 mm 未満であることを確認します。
荷重：試験片が破損するまで、0.5～2 mm/分の速度で引張荷重を加えます。
記録:

最大引張力、単位：N。
故障モード (接着、凝集、または混合)。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

計算:
接着強度または凝集強度（MPa）＝最大引張力（N）/ サンプル断面積（㎟ ） 。
断面積：490.9㎟ （直径 25㎜）。

8. 試験条件

環境：温度 20±5℃、湿度<60%、振動および腐食性ガスなし。
装置:試験機は過熱や過負荷から保護する必要があります。

9. 結果の報告

レポートの内容:
コーティング材料と基材の情報（例：WC-12Co、鋼基材）。
コーティングの厚さ（ μm ）と準備プロセス（HVOF、APS など）。
接着剤の種類と硬化条件。
標準偏差を含む接着強度または凝集強度の平均値（MPa）。
故障モード（接着、凝集、または混合）、写真付き。
テスト日、オペレーター、機器番号。
例： WC-Co コーティング（HVOF）、接着力 65 ± 5 MPa、破損モードは混合破損。

10. 精度とバイアス

精度:
実験室内再現性：標準偏差 <5%。
実験室間再現性：標準偏差 <10%。
偏差:
考えられる原因：試験片の位置合わせエラー、接着強度不足、コーティング欠陥。
管理措置：テスト手順に厳密に従い、サンプルの品質を確認します。

11. 付録（参考）

付録 A :接着剤選択ガイド。
推奨：FM 1000 エポキシ樹脂、強度 ≥ 70 MPa。
付録 B :故障モード解析の例。
例：接着破壊（界面剥離）、凝集破壊（コーティング内の破損）。

12. 適用範囲および制限

適用範囲：溶射コーティングの接着強度および凝集強度試験に適しています。
制限:
厚さ 0.1 ㎜ 未満の超薄コーティングには適していません。
コーティングの多孔性や耐摩耗性に関する規制はありませんが、GB/T 8642 または ASTM G65 を参照してください。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

付録：

AMS 2437: HVOF プロセス仕様

AMS 2437 は HVOF（高速酸素燃料噴霧）プロセス仕様ではなく、プラズマ噴霧堆積プロセス仕様です。以下は、AMS 2437 の詳細な説明と、HVOF プロセス仕様との比較および明確化です。

AMS 2437: プラズマ溶射プロセス仕様

AMS 2437 は、SAE International が発行する規格です。最新版は AMS 2437D（2019 年 12 月 13 日発行）で、「コーティング、プラズマスプレー堆積」というタイトルが付けられています。この規格は、プラズマスプレーによる部品へのコーティング堆積に関するエンジニアリング要件とコーティング性能を規定しています。

1. 範囲

適用対象:航空宇宙、産業、その他の分野で使用される金属、セラミック、複合材料コーティング(WC-Co、アルミナなど)に適しています。
プロセス：プラズマ溶射（APS）。高温プラズマアーク（10,000～15,000° C）で粉末を溶かし、基板表面に溶射します。
目的:摩耗の激しい用途向けに、耐摩耗性、耐腐食性、または熱遮断コーティング（TBC など）を提供します。
厚さ：通常は 1 mm 未満ですが、アプリケーションによって異なります。

2. 主な要件

コーティング特性：
接着性：セクション 3.6.1 に従って、カップ テストまたは曲げテストによって評価されます。
硬度：セクション 3.6.5 に準拠し、コーティング材料によって異なります（例：WC-Co 硬度 ≥ 1000 HV）。
多孔性:顕微鏡検査によると通常は 5% 未満です。
テスト：
受入試験（4.2.1）：各バッチの接着性と硬度を試験します。
定期テスト（4.2.2）：プロセスの安定性の定期的な検証。
生産前テスト（4.2.3）：新しいプロセスまたは材料には追加の検証が必要です。

3. 制限事項

HVOF プロセスには適していません。
二重塗装（既存の塗装の上にスプレー塗装するなど）は必要ありません。
HVOF プロセス仕様：AMS 2447
ユーザーは AMS 2437 を HVOF プロセス仕様と混同することがあります。HVOF プロセスの正しい仕様は AMS 2447 であり、その最新版は「コーティング、溶射、高速酸素/燃料プロセス」というタイトルの AMS 2447D（2019 年 1 月 14 日）です。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

1. 範囲

適用対象:航空宇宙分野の高耐摩耗用途で広く使用されている超硬合金(WC-Co、WC-CoCr)、金属合金(NiCr)などの HVOF プロセスで堆積されたコーティングに適しています。
プロセス： HVOF は、燃料（灯油など）を酸素と燃焼させて超音速炎（500 ～ 1000 m/s）を生成し、高密度コーティングを堆積します。
目的:プラズマ溶射(AMS 2437 など)よりも優れた耐摩耗性と耐腐食性を実現します。

2. 主な要件

コーティング特性:
多孔性: <2%、プラズマ溶射よりも大幅に低い。
接着力:通常>70 MPa（プラズマ スプレーの場合は 50 ～ 60 MPa)。
表面粗さ:Ra6-16μm（シールなどの用途によっては 0.15μm未満が必要）。
材料:
一般的に使用される粉末：WC-17Co、WC-10Co-4Cr（AMS 7881、AMS 7882）。

厚さの範囲: 25∽500 μm（炭化物)、合金コーティングはより厚くできます。

テスト:
蛍光浸透探傷検査（FPI): 亀裂の有無を確認します。
バルクハウゼンノイズの検出：研削焼けの評価。
制限事項：二重塗装には適していません。

3. 代表的な用途

航空宇宙：タービンブレード、着陸装置（接着力 60 ～ 90 MPa）。
業種: 耐摩耗ローラー、シール。

4. AMS 2437 との比較

プロセス: AMS 2437（プラズマ スプレー）は高温と高い気孔率（3 ～ 5%）を特徴とし、AMS 2447（HVOF）は高速と低い気孔率（<2%）を特徴とします。
性能: HVOF コーティング（WC-Co など）はプラズマ スプレーよりも優れた接着性と耐摩耗性を備えています。
用途: AMS 2437 は、遮熱コーティング（ ZrO_2 など）に適しています。）ですが、AMS 2447 は耐摩耗性の高いコーティング（WC-Co など）に適しています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

付録：

ISO 3252:2019
粉末冶金用語
粉末冶金 — 語彙

1. 範囲

1.1 この国際規格は、粉末冶金の分野における用語を定義し、粉末の製造、特性評価、および適用技術を網羅しています。
適用対象：金属粉末（亜鉛、アルミニウムなど）、セラミック粉末（アルミナなど）、複合粉末（WC-Co セメントカーバイドなど）など、溶射、焼結、積層造形などのプロセスに適しています。
目的:技術的なコミュニケーション、標準設定、研究を容易にするために統一された用語を提供すること。

1.2 この規格は、特定のプロセスパラメータや性能試験方法については触れず、用語の定義のみに焦点を当てています。

2. 規範的参照

他の規格への直接的な参照はありませんが、用語は ISO 4490（粉末粒子サイズの測定）および ISO 3953（粉末冶金の拡張用語）に関連しています。

3. 用語と定義

この規格は、粉末冶金のさまざまな側面を分類し、次の主要用語を定義します。

3.1 粉末特性

粉末:粒子で構成されたゆるい物質で、粒子サイズは通常 1 nm から 1 mm の範囲です。
粒子サイズ:単一粒子の最大線形サイズ。μm または nm で表されます。
粒度分布:サイズ範囲に応じた粉末粒子のパーセンテージ分布。通常は D10、D50、D90 として表されます。
形態学:球形、不規則形、多面体など、粒子の形状と表面特性。
比表面積：粉末の単位質量あたりの総表面積。m^2/g で表されます。

3.2 物理的特性

見かけ密度:外力が加えられていないときの粉末の単位体積あたりの質量。g/cm^3 で表されます。
タップ密度：タッピング後の粉末の単位体積あたりの質量（g/cm^3）です。
流動性：重力または機械的作用による粉体の流動特性。単位は s/50g（ホールフローカップ法）。
圧縮性:粉末を圧縮した後に体積が減少する能力。g/cm^3 で表されます。

3.3 化学的性質

化学組成:粉末中の各元素または化合物の含有量の割合。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

酸化物含有量:粉末中の酸化物の質量分率を%で表します。
不純物：主成分以外の意図しない元素または化合物。

3.4 準備と処理

噴霧化：溶融金属を液体またはガスに衝突させて粉末を製造するプロセス。

メカニカルアロイング： 高エネルギーボールミル処理により粉末成分を混合・合金化するプロセス。

焼結：高温で粉末粒子を多孔質または高密度の材料に結合するプロセス。
溶射：**粉末**を溶融または半溶融状態まで加熱し、基板の表面に噴霧するプロセス。

3.5 アプリケーション

サーメット：炭化物（WC など）と金属結合相（Co など）からなる複合材料。
付加製造： 選択的レーザー溶融 (SLM) などの層状の粉末堆積を使用して部品を作成するプロセス。
コーティング:溶射または蒸着によって基材の表面に形成される保護層または機能層。

3.6 試験方法

ふるい分け：標準ふるいを使用して粉末の粒度分布を決定する方法。
レーザー回折分析：レーザー散乱を利用して粉体の粒度分布を測定する技術。
顕微鏡検査:光学顕微鏡または走査型電子顕微鏡 (SEM) を使用して粉末の形態と欠陥を分析します。

4. 分類

材質別:
金属粉末（Fe、Cu など）。
セラミック粉末（ Al_2O_3など、 ZrO_2 ）。
複合粉末（WC-Co など）。
粒子形状別:
球状の粉末。
不規則な粉末。
多孔質または中空の粉末。
用途別:
構造材料。
機能性材料（導電性コーティングなど）。

5. 付録

付録 A :用語集（英語 - 中国語）。
例: 粒子サイズ、流動性。
付録 B :粒子形態の模式図。
例：球状粉末、針状粉末。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

6. 適用範囲と制限

適用範囲:熱噴射粉末の用語の使用を含む、粉末冶金業界向けの技術文書、標準開発およびトレーニング。

制限:

ISO 4490 などの標準を参照する必要がある特定のテスト方法やプロセス パラメータは含まれていません。

粉末冶金以外の分野には適用されない用語の定義。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

付録：

ISO 14923:2003
溶射
—溶射コーティングの特性評価と試験
溶射
— 溶射コーティングの特性評価と試験

1. 範囲

1.1 この国際規格は、溶射コーティング（TWC）の特性と品質を評価するのに適した特性評価および試験の方法を規定しています。
適用対象: 金属コーティング（亜鉛、ニッケルなど)、セラミックコーティング（アルミナなど)、複合コーティング（WC-Co 超硬合金/サーメットコーティングなど）を含み、フレーム溶射（フレーム溶射/フレーム溶射)、アーク溶射（アーク溶射/アーク溶射)、プラズマ溶射（プラズマ溶射、APS/VPS/プラズマ溶射、APS/VPS)、HVOF および DGS プロセスに適しています。
目的: 接着性、多孔性、厚さなどの特性を評価するための標準化された試験方法を提供する。

1.2 この規格は、厚さ（厚み）が 0.05mm 以上のコーティングに適用されます。

1.3 この規格は、コーティング準備プロセス（コーティング準備プロセス/コーティング準備プロセス）についてはカバーしておらず、試験方法と特性評価手法のみを規定しています。

2. 規範的参照

この規格は、以下の文書を参照しており、これらの文書の条項は、この規格で参照されることにより、この規格の条項となる。
ISO 4287:1997 - 製品の幾何特性仕様（GPS） - 表面性状：プロファイル法 - 用語、定義および表面性状パラメータ / 製品の幾何特性仕様（GPS） - 表面性状：プロファイル法 - 用語、定義および表面性状パラメータ
ISO 6507-1:2005 - 金属材料 - ビッカース硬さ試験 - パート 1：試験方法
ISO 8501-1:2007 - 塗料および関連製品の塗布前の鋼板下地処理 - 表面清浄度の目視評価 - パート 1：塗装されていない鋼板下地および以前の塗装を全面的に除去した後の鋼板下地の錆の程度および処理の程度
ISO 9227:2017 - 人工雰囲気中での腐食試験 - 塩水噴霧試験
注：改訂版がある場合は最新版が適用されます。

3. 用語と定義

この規格では、次の用語と定義を使用します。
溶射コーティング: 溶射プロセスによって基材の表面に堆積されるコーティング。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

接着力：コーティングと基材間の結合強度（結合強度）。MPa で測定されます。
凝集力：コーティング内部の粒子間の結合強度。MPa で測定されます。
多孔度：コーティング内の細孔容積の総体積に対する割合を%で表します。
厚さ：基材表面からコーティング上部までの垂直距離（垂直距離）、単位は μm 。

4. 特性評価方法

4.1 厚さ測定

方法：
磁気法（ISO 2178）：磁性基板上の非磁性コーティングに適用できます。
渦電流法（ISO 2360）：非磁性金属基板上の非導電性コーティングに適用できます。
顕微鏡法：断面観察、5 点を測定し平均値を算出します。
精度：±5% または ±5 μm（いずれか大きい方）。

4.2 多孔度の測定

方法：
顕微鏡法：断面画像を分析して、気孔面積の割合を計算します。
浸透法：染料（Dye / Dye）またはガス（Gas / Gas）浸透を使用して、細孔の連結性を評価します。
精度：±1% または ±0.5%（倍率によって異なります）。

4.3 表面粗さ

方法：スタイラスプロファイロメーター（ISO 4287）、Ra 値の測定。
範囲:アプリケーションに応じて、標準値は 2 ～ 15 μ m です。

4.4 微細構造分析

方法：光学顕微鏡または走査型電子顕微鏡（SEM）、倍率 50 ～ 1000 倍。
パラメータ：亀裂、酸化物介在物、およびスプラット形態を観察します。

5. 試験方法

5.1 接着試験

方法：接着剤と引張試験機を使用した引張試験（ISO 4624）。
試験片：直径 25mm、コーティング厚さ 0.1～1.0mm。
荷重速度：0.5～2 mm/分。

計算：接着力（MPa）= 最大力 / 断面積。
破損モード：接着破損または凝集破損。

5.2 硬度試験

方法：ビッカース硬度試験（ISO 6507-1）、荷重 5～10 N。
精度：±5 HV または ±10%（いずれか大きい方）。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

5.3 耐食性試験
方法：塩水噴霧試験（ISO 9227）、期間：24 ～ 480 時間。
評価：錆び面積の割合を記録します。

5.4 耐摩耗性試験
（乾燥砂/ゴム車輪試験）に従って測定されました。
精度：±5% または ±0.1 mm³ 。

6. 標本の準備
寸法：
厚さ測定：10 mm × 10 mm × コーティングの厚さ。
接着試験：直径 25mm、厚さ 5mm 以上。
Ra 3-5 μm ）、汚染物質除去。
数量：グループあたり 3 個以上の検体、代表的なテスト。

7. テスト条件
環境：温度 20±5° C、湿度 <60%、振動なし。
設備：校正（Calibration/較正）、精度（Accuracy/精度）±2%。

8. テストレポート
コンテンツ
コーティング材料および基材の情報（例：WC-12Co、スチール基材） 。
準備プロセス（Process / Preparation process、HVOF など）とコーティングの厚さ（Thickness / Coating thickness）。
特性評価結果（厚さ、多孔度、粗さ）。
試験結果（試験結果 / 試験結果、接着性、硬度、耐食性）。
故障モード（Failure Mode）と微細構造（Microstructure）の写真。
試験日（日付 / Test date）、オペレーター（オペレーター / Operator）、機器番号（機器番号 / Equipment Number）。
例：WC-Co コーティング（HVOF）、厚さ 250μm 、多孔度 1.5%、接着力 70MPa、破壊モードは凝集破壊。

9. 精度とバイアス
精度：検査室内（検査室内 / 検査室内）の偏差 <5%、検査室間（検査室間 / 検査室間）の偏差 <10%。
バイアス：サンプルの準備が不均一であったり、機器のキャリブレーションが不十分であったりすると、バイアスが発生する可能性があります。表面処理の品質を管理する必要があります。

10. 付録
付録 A（附属書 A/付録 A）：厚さ測定図（厚さ測定図/厚さ測定図）。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

付録 B（附属書 B / 付録 B)： 接着試験片作製手順（接着試験片作製手順 / 接着試験片作製手順)。

11. 適用範囲および制限

適用範囲: 溶射コーティングの品質管理および性能評価に適用できます。
制限事項:
厚さ 0.05 mm 未満の超薄コーティングには適していません。

コーティング準備プロセスは指定されておらず、ISO 14917:2017 -*溶射 - 用語、分類が参照されます*。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

付録：

ISO 4505:2017
金属材料
— 硬度試験 — 試験方法
金属材料
— 硬度試験 — 試験方法

1. 範囲

1.1 この国際規格は、金属材料の硬さ試験の一般的な方法を規定する。ビッカース硬さ、ブリネル硬さ、およびロックウェル硬さ試験に適用可能である。
適用対象：溶射コーティング（WC-Co 超硬合金/サーメットコーティングなど）やその他の金属部品を含む金属材料に適用可能です。
目的: 結果の再現性および比較可能性を確保するために標準化された硬度試験方法を提供します。

1.2 この規格は厚さが 0.5mm 以上の試験片に適用される。

1.3 この規格は、セラミックやプラスチックなどの非金属材料の硬度試験には適用されませんが、金属マトリックス複合材料にまで拡張できます。

2. 規範的参照

この規格は、以下の文書を参照しており、これらの文書の条項は、この規格で参照されることにより、この規格の条項となる。
ISO 6506-1:2014 - 金属材料 - ブリネル硬さ試験 - パート 1：試験方法
ISO 6507-1:2018 - 金属材料 - ビッカース硬さ試験 - パート 1：試験方法
ISO 6508-1:2016 - 金属材料 - ロックウェル硬さ試験 - パート 1：試験方法
ISO 18265:2013 - 金属材料 - 硬度値の変換
注：改訂版がある場合は最新版が適用されます。

3. 用語と定義

この規格では、次の用語と定義を使用します。
硬度: 材料が局所的な塑性変形に抵抗する能力。通常は、へこみによって測定されます。
ビッカース硬度（ビッカース硬度）：四角錐状のダイヤモンド圧子（ダイヤモンドインデンター）を押し当てて測定した硬度で、HV で表されます。
ブリネル硬度（ブリネル硬度 / ブリネル硬度）：超硬ボール（超硬ボール / 超硬ボール）をへこませて測定した硬度で、HBW で表されます。
ロックウェル硬度: 硬度は、ダイヤモンドまたは鋼球を試験片に押し付けて深さを測定することで測定され、HR（HRC、HRB など）で表されます。
へこみ:圧子によって試験片の表面に残される永久変形の跡。

4. テストの原則

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

ビッカース硬度：136° 四角錐ダイヤモンド圧子を使用して、指定された荷重を加え、圧痕の対角線の長さを測定し、硬度値を計算します。
ブリネル硬度：超硬ボールを使用して荷重を加え、圧痕の直径を測定して硬度値を計算します。
ロックウェル硬度： 予荷重と主荷重を適用し、圧痕の深さを測定して硬度値を直接読み取ります。

5. 試験方法

5.1 ビッカース硬さ試験

装置: ISO 6507-1 に準拠したビッカース硬度計。
荷重:0.01 kgf ～100 kgf (0.098 N～980.7 N)。
手順：
負荷をかけ、10～15 秒間保持します。
くぼみの対角線の長さを少なくとも 2 回測定し、平均値を算出します。
計算：
HV = 1.8544 × F / d ²、ここで F は荷重（N）、d は平均対角線の長さ（mm）です。
精度: ±5 HV または ±5% (いずれか大きい方)。

5.2 ブリネル硬さ試験

装置: ISO 6506-1 に準拠したブリネル硬度計。
荷重: 1 kgf ～ 3000 kgf (9.807 N ～ 29420 N)。
ボール直径: 1 mm、2.5 mm、5 mm、または 10 mm。
手順：
負荷をかけ、10～15 秒間保持します。
くぼみの直径（直径）を少なくとも 2 方向で測定し、平均値を取得します。
計算：
HBW = 0.102 × (2F / (π D(D - √(D ² - d ²)))))、ここで、F は荷重（N）、D はボールの直径（mm）、d は圧入直径（mm）です。
精度: ±5 HBW または ±5% (いずれか大きい方)。

5.3 ロックウェル硬さ試験

装置: ISO 6508-1 に準拠したロックウェル硬度計。
負荷：
プリロード：10 kgf （98.07 N）。
主荷重： 60 kgf 、 100 kgf または 150 kgf （588.4 N、980.7 N または 1471 N）。
圧子: ダイヤモンドコーンまたはスチールボール。
手順：

プリロードを適用し、2～5 秒間保持します。

主な負荷をかけ、4 ～ 6 秒間保持します。
主荷重を取り外し、硬度の値を読み取ります。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

精度：±0.5 HRC または ±1%（いずれか大きい方）。

6. 標本の準備

表面処理：サンプルの表面は平坦で、粗さは Ra < 0.8 μm で、酸化スケールと油汚れは除去されている必要があります。
厚さ：サンプルの厚さは圧痕深さの 10 倍以上。
数量：グループあたり 3 個以上の検体、代表的なテスト。

7. テスト条件

環境：温度 20±5° C、湿度 <60%、振動なし。
機器の校正：硬度計の精度は ±2%、1 年に 1 回校正されます。

8. テストレポート

コンテンツ
試料の材質と基板の情報（例：WC-Co コーティング、スチール基板）。
試験方法（ビッカース硬度などの試験方法/試験方法）。
荷重（Load）とインデンターの種類（Indenter Type）。
硬度値（Hardness Value）と標準偏差（Standard Deviation）。
試験日（日付 / Test date）、オペレーター（オペレーター / Operator）、機器番号（機器番号 / Equipment Number）。
例：WC-Co コーティング、ビッカース硬度 HV 1200±20（荷重 5N）。

9. 精度とバイアス

精度：検査室内（検査室内 / 検査室内）の偏差 <3%、検査室間（検査室間 / 検査室間）の偏差 <5%。
バイアス：表面の凹凸や負荷の偏差によって発生する可能性があり、表面品質の制御と機器の調整が必要です。

10. 付録

付録 A：硬度変換表、ISO 18265 を参照。
付録 B：インデント測定図

11. 適用範囲および制限

適用範囲：金属材料や溶射コーティングの硬度試験に適しており、品質管理に広く使用されています。
制限事項：
非金属材料（セラミック、未焼結物など）には適していません。
厚さ 0.5 mm 未満の薄いコーティングは注意して使用する必要があり、マイクロ ロードが必要になる場合があります。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

付録：

ISO 9227:2017 人工雰囲気中での腐食試験
— 塩水噴霧試験
人工雰囲気での腐食試験
— 塩水噴霧試験

1. 範囲

1.1 この国際規格は、金属材料およびそのコーティングの耐食性（腐食抵抗性/耐腐食性）を評価するための人工雰囲気（人工雰囲気/人工雰囲気）での塩水噴霧試験（塩水噴霧試験/塩水噴霧試験）の実施方法を規定しています。
適用対象：金属材料、溶射コーティング（WC-Co 超硬合金/サーメットコーティングなど）、電気メッキコーティング、有機コーティングなど。
目的： 品質管理と性能検証のために塩水噴霧環境をシミュレートして、材料またはコーティングの耐食性を評価します。

1.2 この規格には 3 つの試験方法が含まれています。
中性塩水噴霧試験（NSS / 中性塩水噴霧試験、NSS）。
酢酸塩水噴霧試験（AASS）。
銅加速酢酸塩水噴霧試験（CASS）。

1.3 この規格は、実際の環境における材料の長期耐食性を予測することを目的としたものではなく、実験室での比較テストのみを目的としています。

2. 規範的参照

この規格は、以下の文書を参照しており、これらの文書の条項は、この規格で参照されることにより、この規格の条項となる。
ISO 1514:2016 – 塗料及びワニス – 試験用標準パネル
ISO 2808:2019 – 塗料及びワニス – 膜厚の測定
ISO 3574:2012 – 商用および絞り加工用冷間圧延炭素鋼板
ISO 8044:2015 – 金属および合金の腐食 – 基本用語と定義
ISO 8407:2021 – 金属及び合金の腐食 – 腐食試験片からの腐食生成物の除去
注：改訂版がある場合は最新版が適用されます。

3. 用語と定義

この規格では次の用語と定義が使用されています。その一部は ISO 8044 を参照しています。
塩水噴霧： 腐食性環境をシミュレートするために使用される、塩溶液（塩溶液）の霧化によって形成されるエアロゾル。
耐食性： 材料またはコーティングの腐食に対する抵抗力。通常は腐食生成物の形成の程度によって評価されます。
試験片：塩水噴霧試験に使用した試験片。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

NSS（中性塩水噴霧）：中性塩水（pH 6.5〜7.2）を使用した塩水噴霧試験。

AASS（酢酸塩水噴霧）：酢酸を加えて pH 値を下げる（3.1〜3.3）塩水噴霧試験。
CASS（銅加速酢酸塩水噴霧）：AASS に塩化銅（塩化銅）を加えて腐食を加速させる塩水噴霧試験。

4. テストの原則

試験片を塩水噴霧環境（Salt Spray Environment / Salt Spray Environment）に曝露し、塩水（Salt Solution / Salt Solution）を霧化して均一な腐食性エアロゾル（Corrosive Aerosol / Corrosive Aerosol）を形成します。
腐食の程度は、腐食生成物（Corrosion Products / Corrosion Products）、質量損失（Mass Loss / Mass Loss）、または表面欠陥（Surface Defects / Surface Defects）の形成を観察することによって評価されます。

5. 試験装置

塩水噴霧室（塩水噴霧室）：
容量：≥400 L、均一な霧化を保証します。
材質：グラスファイバー強化プラスチック（Fiberglass Reinforced Plastic）などの耐腐食性材料。
ノズル:非金属材料で、均一な微細ミスト(ファインミスト)を生成します。
温度制御：試験室内の温度は 35±2℃に維持されます。
収集装置：塩水噴霧沈着率を測定するための収集漏斗が少なくとも 2 つ。

6. テストソリューション

塩溶液：
成分：塩化ナトリウム（NaCl / 塩化ナトリウム）濃度 50±5 g/L。
純度：NaCl 不純物<0.5%、銅とニッケルは含まれていません。
水質：蒸留水または脱イオン水、導電率 <20 μS /cm。
pH 値：
NSS：6.5〜7.2。
AASS：3.1〜3.3（酢酸を加えて調整）。
CASS：3.1-3.3（0.26±0.02 g/L の塩化銅を添加）。

7. 標本の準備

試験片寸法：ISO 1514 に準拠し、150 mm × 100 mm × 厚さを推奨します。
準備 ：
油汚れ（Contaminations / Oil stain）と酸化スケール（Oxide Scale / Oxide Scale）を除去します。
表面粗さ Ra3〜 5μm 、 ISO8501-1 に準拠。
数量：グループあたり 3 個以上の検体、代表的なテスト。
配置：直接噴霧を避けるため、試料は垂直に対して 15 〜 30 度の角度で配置する必要があります。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

8. 試験条件

温度：試験室内 35±2℃。

塩水噴霧沈着率：1～2 mL /（ 80 cm² ・h） 。

テスト期間:
NSS: 24 時間、48 時間、96 時間、240 時間、480 時間、または 720 時間。
AASS および CASS: 24 時間、48 時間、または 96 時間。
湿度：相対湿度：95%～100%。

9. テスト手順

準備
塩溶液を準備し、 pH を調整します。
試験室を 35℃に予熱します。
テスト:
サンプルを試験室に置き、塩水噴霧を開始します。
24 時間ごとに沈降速度と温度を確認してください。
完了：
試験後、サンプルは蒸留水で洗浄され、塩（塩の堆積物）が除去されます。
ISO 8407 に従った腐食生成物（Corrosion Products / Corrosion Products）の除去。

10. 評価方法

目視検査: 腐食生成物、錆び、コーティングの剥がれの分布を観察します。
質量損失: 試験前後のサンプルの質量損失が g/m ² 単位で測定されます。
腐食評価: 腐食なし、軽度の腐食など、ISO 8407 に従って評価されます。

11. テストレポート

コンテンツ
試料の材質とコーティング情報（例：WC-Co コーティング、スチール基板）。
テスト方法（NSS などのテスト方法）。
試験条件: 温度、沈降速度、時間。
評価結果：腐食度、質量減少、写真。
テスト日（日付 / テスト日）、オペレーター（オペレーター / オペレーター）、機器番号（機器番号 / 機器番号）。
例: WC-Co コーティング、NSS テスト 480 時間、表面のわずかな腐食（わずかな腐食）、質量損失 2.5 g/m ²。

12. 精度とバイアス

精度: 検査室内（検査室内 / 検査室内）の偏差 <10%、検査室間（検査室間 / 検査室間）の偏差 <15%。
バイアス：スプレーの均一性や試料の位置によって影響を受ける可能性があり、スプレー分布を制御する必要があります。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

13. 付録

付録 A（附属書 A）：塩水噴霧チャンバー設計ガイドライン（塩水噴霧チャンバー設計ガイドライン）。
付録 B（附属書 B / 付録 B）：標準参照物質（標準参照物質 / 標準参照物質）。

14. 適用範囲および制限

適用範囲： 金属材料およびコーティングの耐腐食性試験に適用でき、品質管理に広く使用されます。
制限事項：
実際の環境における長期耐食性を予測するのには適していません。
非金属コーティングの場合は注意が必要であり、テスト条件の調整が必要になる場合があります。

まとめ
ISO 9227:2017「人工雰囲気での腐食試験 – 塩水噴霧試験」は、金属材料および熱噴霧コーティング（セメント炭化物コーティングなど）の耐食性を評価するのに適した塩水噴霧試験（NSS、AASS、CASS）の標準的な方法を規定しています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

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

付録：

ASTM B665-01(2014)
超硬合金の微細構造の金属組織学的識別のための標準ガイド
超硬合金微細構造の金属組織学的識別のための標準ガイド

1. 範囲

1.1 この標準ガイドは、品質管理と研究の両方の目的で、セメント炭化物の微細構造の金属組織学的識別方法を規定しています。
適用対象: 炭化タングステン (WC) ベースの超硬合金 (WC-Co など)、炭化チタン(TiC)、炭化タンタル(TaC) の複合材料は、熱噴射コーティング (Thermal Sprayed Coatings) や切削工具に広く使用されています。
目的: 微細構造を特徴付け、相構造、多孔性、および欠陥を識別するための標準化された方法を提供する。

1.2 この規格は焼結（焼結）または溶射（溶射）された超硬合金に適用されます。

1.3 この規格は、超硬合金の機械的性質試験（機械的性質試験）については規定しない。

2. 規範的参照

この規格は、以下の文書を参照しており、これらの文書の条項は、この規格で参照されることにより、この規格の条項となる。
ASTM E3-11(2017) - 金属組織試験片作製のための標準ガイド
ASTM E7-15 - 金属組織学に関する標準用語
ASTM E407-07(2015)e 1 -金属および合金のマイクロエッチングの標準実施方法
注：改訂版がある場合は最新版が適用されます。

3. 用語と定義

この規格では、ASTM E7 を参照して次の用語と定義を使用します。
超硬合金: 炭化物（WC など）と金属結合相（Co など）を焼結して作られた複合材料。
微細構造: 顕微鏡で観察される物質の内部相構造と欠陥特性。
気孔率: 超硬合金の気孔は、タイプ A（小気孔)、タイプ B（中気孔)、タイプ C（大気孔）に分類されます。
バインダー相(バインダー相): 炭化物粒子を結合するコバルト(Cobalt)やニッケル(Ni)など。
エッチング: 化学的または電気化学的手段によって微細構造の特徴を明らかにするプロセス。

4. 微細構造識別の原則

金属組織学的試料作製（Metallographic Preparation / Metallographic Preparation）とエッチング(Etching / Etching)を通じて、光学顕微鏡(Optical Microscope / Optical Microscope）または走査型電子顕微鏡（SEM / Scanning Electron Microscope）を使用し

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

て、超硬合金の相構造（Phase Structure / Phase Structure）、粒径（Grain Size / Grain Size）、欠陥（Defects / Defects）を観察します。

5. 標本の準備

切断: ダイヤモンドソーを使用し、過熱を避けてください。
研磨:粗い目 (#120) から細かい目 (#1200) までの SiC サンドペーパー（シリコンカーバイドペーパー) を使用します。
研磨：ダイヤモンド懸濁液（ダイヤモンド懸濁液、粒径 1μm）を使用して鏡面仕上げします。
エッチング：
推奨試薬：村上試薬（10g $K_3[Fe(CN)_6]$ +10g KOH+100mL H_2O)、エッチング時間 5～15 秒。
代替方法: 10% HCl 溶液を使用した電解エッチング (Electrolytic Etching)。
洗浄：エタノール（Ethanol）で洗浄し、乾燥させます（Dry)。

6. 顕微鏡検査

装置：光学顕微鏡（倍率 50～1000 倍）または SEM。
観測パラメータ
炭化物粒子サイズ: ASTM E112 に従って測定。
多孔度: タイプ A、B、C に分類されます。ISO 4505 を参照してください。
欠陥: ひび割れや内包物など。
倍率：粒子サイズに応じて 100～500 倍を推奨します。

7. 微細構造の分類

相構造
WC-Co: タングステンカーバイド粒子 (WC グレイン / タングステンカーバイド粒子) とコバルトバインダー (Co バインダー / コバルトバインダー)。
多相合金: TiC または TaC を含みます。
粒度グレード:
超微細： ≤0.5μm 。
微細：0.5 ～ 2μm 。
中：2 ～ 5μm 。
粗い： ＞5μm 。
多孔度グレード:
A00-A04: 小さな毛穴。
B00-B04 ：中毛穴（中毛穴/中毛穴)。
C00-C04: 大きな毛穴。

8. 報告

コンテンツ
試料材質: WC-12Co コーティング、基板など。
製造方法：溶射（HVOF）など。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

微細構造の特徴: 粒径、多孔性、欠陥。
エッチング条件: 試薬と時間。
写真と拡大。
試験日（日付 / Test date)、オペレーター（オペレーター / Operator)、機器番号（機器番号 / Equipment Number)。
例：WC-12Co コーティング、粒径 2μm 、多孔度グレード A02、倍率 200 倍、ひび割れなし。

9. 精度とバイアス

精度: 検査室内（検査室内 / 検査室内）の偏差 <5%、検査室間（検査室間 / 検査室間）の偏差 <10%。
バイアス：不均一な準備や過剰なエッチングによって発生する可能性があります。準備の品質を管理する必要があります。
10. 付録
付録 A: 村上試薬の調製
付録 B: 顕微鏡検査の例。

11. 適用範囲および制限

適用範囲: 特に熱噴射コーティングにおける超硬合金微細構造の品質管理および研究に適しています。
制限事項:
非超硬材料には適していません。
極薄コーティング（<0.1 mm）の場合は、準備方法を調整する必要があります。

まとめ
ASTM B665-01(2014) 《セメント炭化物における微細構造の金属組織学的識別のための標準ガイド / セメント炭化物における微細構造の金属組織学的識別のための標準ガイド》は、準備、腐食、顕微鏡検査など、品質管理および研究に適したセメント炭化物（熱噴射 WC-Co コーティングなど）の微細構造識別方法を提供します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

付録：

ASTM E2283-08(2019)
鋼中の非金属介在物およびその他の微細構造特性の極値解析に関する標準的方法
鋼中の非金属介在物およびその他の微細構造特性の極値解析の標準的な方法

1. 範囲

1.1 この標準実施方法は、極値統計解析を使用して鋼中の非金属介在物（非金属介在物）またはその他の微細構造的特徴（微細構造的特徴）の最大サイズ（最大サイズ）を推定する方法を規定しています。
対象物: 鋼、超硬合金 (WC-Co 熱噴射コーティングなど)、およびその他の金属材料。非金属介在物、多孔性、または微小欠陥の分析に重点を置きます。
目的: 材料特性 (疲労寿命など) と品質管理を評価するための統計的手法によって、材料内の最大の介在物または欠陥のサイズを予測します。

1.2 この規格は、金属組織顕微鏡（Metallographic Microscopy）によって観察される微細構造の特徴に適用される。

1.3 この規格は、機械的特性試験（機械的特性試験/機械的特性試験）を含まず、統計的分析方法のみを規定しています。

2. 規範的参照

この規格は、以下の文書を参照しており、これらの文書の条項は、この規格で参照されることにより、この規格の条項となる。
ASTM E3-11(2017) -*金属組織試験片作製のための標準ガイド*
ASTM E7-15 -*金属組織学に関する標準用語*
ASTM E45-18 -*鋼中の介在物含有量を測定するための標準試験方法*
ASTM E112-13 -*平均粒径を決定するための標準試験方法*
注：改訂版がある場合は最新版が適用されます。

3. 用語と定義

この規格では、ASTM E7 を参照して次の用語と定義を使用します。
非金属介在物: 鋼鉄またはその他の金属材料中の非金属相 (酸化物、硫化物など)。
極値分析: サンプル内の最大サイズの介在物または欠陥の分布を予測するために使用される統計手法。
制御領域: 顕微鏡観察で定義された測定領域（㎟ ）。
最大サイズ: 介在物または欠陥の最大線形寸法（ μ m ）。
ガンベル分布: 極値分析に使用される統計分布モデル。

4. 極値分析の原則

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

金属組織観察は、複数の管理領域内で最大の介在物または欠陥のサイズを測定するために使用されます。
ガンベル極値分布 （ガンベル極値分布） を使用してデータを適合し、大量の材料における最大の介在物または欠陥の可能性のあるサイズを予測します。

5. 標本の準備

切断: 追加の欠陥が生じないように、ダイヤモンドソーを使用します。
研磨:粗い目 （#120） から細かい目 （#1200） までの SiC サンドペーパー （シリコンカーバイドペーパー） を使用します。
研磨：ダイヤモンド懸濁液（ダイヤモンド懸濁液、粒径 1μm）を使用して鏡面仕上げします。
エッチング （オプション）: 適切な試薬 （例: 鋼の場合は 2% 硝酸/ナイタール） を使用して、介在物や微細構造を明らかにします。
洗浄：エタノール（Ethanol）で洗浄し、乾燥させます（Dry）。

6. 測定手順

装置: 光学顕微鏡または走査型電子顕微鏡 (SEM)、倍率 100 ～ 500 倍。
制御エリア:
各標本について、少なくとも 30 個のコントロール領域（最小 30 領域）を測定します。介在物の密度に応じて 0.1 mm² ～ 1 mm² 。
測定：
各管理領域内で、最大の介在物または欠陥のサイズ（最大介在物サイズ）を記録します。介在物の最大長さ寸法（最大長さ寸法/最大長さ寸法）を μm 単位で測定します。
記録: 極値解析に備えて、最大サイズのデータを昇順に並べます。

7. 極値分析法

データフィッティング:
最大サイズのデータを Gumbel 分布 (Gumbel 分布 / Gumbel 分布) に適合させます。
ガンベル分布累積分布関数:
$F(x) = \exp(-\exp(-(x-\lambda)/\delta))$ ここで、λ は位置パラメータ、δ はスケールパラメータです。
パラメータ推定
最大尤度法 (MLM) または最小二乗法 (Least Squares Method) を使用して λ と δ を推定します。
予測：
指定された信頼度レベル （例: 95%） で、指定されたボリューム （指定されたボリューム） 内の最大介在物サイズを計算します。
式: $x_p = \lambda - \delta \times \ln(-\ln(p))$、ここで p は確率(確率/確率)です。

8. 報告

コンテンツ
試料の材質: たとえば、スチールまたは WC-Co コーティング。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

製造方法：溶射（HVOF）など。
コントロールエリア（Control Area）と測定回数（Number of Measurements）。
最大サイズ データ（最大サイズ データ / 最大サイズ データ）と Gumbel 分布パラメータ（Gumbel パラメータ / Gumbel パラメータ）。
予測される最大介在物サイズ。
写真と拡大。
試験日（日付 / Test date）、オペレーター（オペレーター / Operator）、機器番号（機器番号 / Equipment Number）。
例：WC-Co コーティング、制御領域 0.5 mm² 、 30 ゾーン、予測最大介在物サイズ 50 μm（信頼度 95%）、倍率 200 倍。

9. 精度とバイアス

精度：検査室内（検査室内 / 検査室内）の偏差 <10%、検査室間（検査室間 / 検査室間）の偏差 <15%。
バイアス：サンプルの準備の不均一性（準備の不均一性）または介在物の分布の不均一性（介在物の分布）によって発生する可能性があり、測定領域の数を増やす必要があります。

10. 付録

付録 A：ガンベル分布のフィッティング例。
付録 B：介在物のサイズ測定ガイドライン。

11. 適用範囲および制限

適用範囲：鋼、超硬合金、その他の材料における介在物や欠陥の極値解析に適しています。品質管理や疲労解析に広く使用されています。
制限事項：
、十分な数の管理領域が必要です。
介在密度が非常に低い材料には適していません。

まとめ
ASTM E2283-08(2019)「鋼鉄およびその他の微細構造における非金属介在物の極値解析の標準実施方法/鋼鉄およびその他の微細構造における非金属介在物の極値解析の標準実施方法」は、極値統計解析を用いて鋼鉄またはセメント炭化物（熱噴射 WC-Co コーティングなど）の最大介在物または欠陥サイズを評価する方法を提供しており、品質管理および性能評価に適しています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

付録：

EN 13204:2017
溶射用粉末 - 組成、技術的供給条件
溶射 - 粉末 - 組成、技術的供給条件

1. 範囲

1.1 この規格は、溶射プロセスで使用される粉末（Powders / Powders）の組成（Composition / compound）および技術的な供給条件（Technical Supply Conditions / technical supply conditions）を規定しています。
適用対象: 金属粉末（ニッケル、コバルトなど)、セラミック粉末（アルミナなど)、炭化物粉末（WC-Co サーメットなど)、複合粉末など。
目的: 粉末が品質管理とパフォーマンスの最適化のための溶射プロセス要件を満たしていることを確認します。

1.2 この規格は、火炎溶射、プラズマ溶射、HVOF およびその他のプロセスに適用されます。

1.3 この規格は、粉末製造プロセス（粉末製造プロセス/粉末調製プロセス）をカバーしておらず、供給条件のみを規定しています。

2. 規範的参照

この規格は、以下の文書を参照しており、これらの文書の条項は、この規格で参照されることにより、この規格の条項となる。
EN 657:2005 -*溶射 - 用語、分類*
EN 820-1:2002 - *先端技術セラミックス - モノリシックセラミックスの試験方法 - パート 1：密度および多孔度の測定*
EN ISO 3252:1999 -*粉末冶金 - 用語*
注：改訂版がある場合は最新版が適用されます。

3. 用語と定義

この規格では、EN 657 および EN ISO 3252 を参照して、次の用語と定義を使用します。
溶射粉末：溶射プロセスで使用される粒状材料。
粒度分布: 粉末粒子の直径の範囲と割合。μm で表します。
化学組成: 粉末中の各元素の含有量を重量%で表します。
流動性: 指定された条件下で粉末が標準漏斗を通過するのにかかる時間。50g あたりの秒数で表されます。
見かけ密度: 粉末が緩んだ状態の密度。g/cm³ で表されます。

4. 技術要件

4.1 化学組成/化学組成

要件：

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

各要素の内容は、注文仕様（注文仕様）に準拠する必要があります。
不純物（不純分）含有量は 0.5%以下（特に指定のない限り）。
試験方法
分光分析（EN ISO 10378 を参照）。
酸素/窒素含有量: 融合赤外線法を使用して測定。

4.2 粒度分布

要件:
粒子サイズ範囲（粒子サイズ範囲/粒子サイズ範囲）は、10-45μm、15-53μm など発注者によって指定されます。
粒度分布は均一（均一分布/均一分布）であり、ふるい試験（ふるい分析/ふるい試験）に適合している必要があります。
試験方法
レーザー回折分析（レーザー回折分析については、EN ISO 13320 を参照）。
標準ふるい分け / 標準ふるい分け。

4.3 流動性

要件:
流動性≤30 秒/50g（具体的な値は発注者が指定する）。
試験方法
ホール流量計を使用します（EN ISO 4490 を参照）。

4.4 見かけ密度

要件:
見かけ密度の範囲は発注者によって指定されます（例: 2.5 ～ 4.5 g/cm³ （粉末の種類によって異なります））。
試験方法
ホールフローカップ法（ホールフローカップ法、 EN ISO 3923-1 を参照）。

4.5 形態と純度

要件:
粉末の形態は、プロセスに応じて球形または不規則形になります。
純度: ≥99% (特に指定のない限り)。
試験方法
形態を観察するために走査型電子顕微鏡（SEM/走査型電子顕微鏡）を使用しました。
蛍光 X 線（XRF / 蛍光 X 線）による不純物の検出。

5. 包装とマーキング

パッケージ:
湿気や汚染を防ぐために、プラスチック製のバケツや金属缶などの密閉容器を使用してください。
正味重量: 5 kg、10 kg、または注文要件に応じて。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

マーキング：
製品名：例：WC-12Co。
バッチ番号（Batch Number）と製造日（Production Date）。
製造元名（メーカー名）および安全に関する指示事項（安全に関する指示事項）。

6. 検査とテスト

検査の種類:
型式検査：新製品または新バッチの場合。
バッチ検査：製品の各バッチ。
試験方法
EN 820-1 に準拠した密度と多孔度の測定。
EN ISO 10378 に準拠した化学組成分析。
サンプリング：
各バッチのサンプル量（サンプル量/サンプリング容量）は、EN ISO 14284 に従って 200 g 以上です。

7. 報告

コンテンツ
製品説明：WC-12Co 粉末など。
化学組成：C 5.2%、Co 12.0%。
粒度分布：10 ～ 45μm 。
流動性：25 秒/50g。
見かけ密度：4.0 g/cm³ 。
検査日（Inspection Date）、バッチ番号（Batch Number）、製造元情報（Manufacturer Information）。
例
WC-12Co 粉末、C 5.2%、粒子サイズ 10～45 μm 、流動性 24 秒/50g、EN 13204:2017 要件を満たしています。

8. 精度とバイアス

精度：検査室内（検査室内 / 検査室内）の偏差 <5%、検査室間（検査室間 / 検査室間）の偏差 <10%。
バイアス： サンプルの代表性またはテスト条件の変動が原因である可能性があり、サンプリングとテストの厳格な管理が必要です。

9. 適用範囲および制限

適用範囲： 熱噴射粉末、特にセメント炭化物粉末(WC-Co など)の供給および品質管理に適しています。
制限事項:
粉末を準備するプロセスは必要ありません。
特殊用途の粉末については追加契約が必要となります。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

まとめ

EN 13204:2017 溶射 - 粉末 - 組成、技術的供給条件は、品質管理とプロセス最適化に適した化学組成、粒度分布、流動性など、溶射粉末（WC-Co セメント炭化物粉末など）の組成と供給条件の要件を規定しています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

付録：

GB/T 5242-2007
溶射 - ワイヤーとロッド
溶射 - ワイヤーとロッド

1. 範囲

1.1 この規格は、溶射プロセスで使用される線材および棒材の技術要件、検査規則、および納入条件を規定する。
適用対象: 純金属線(亜鉛、アルミニウムなど)、合金線(ニッケルベース、コバルトベースなど)、複合材料(WC-Co 超硬合金/WC-Co サーメット関連線など)。
目的: 品質管理と性能保証のために、ワイヤとロッドが熱噴射プロセス（火炎噴射、プラズマ噴射など）の要件を満たしていることを確認します。

1.2 この規格は、アーク溶射（Arc Spraying / Arc Spraying）やフレーム溶射（Flame Spraying / Flame Spraying）などのプロセスに適用されます。

棒材の製造工程については規定しておらず、技術仕様および検査要件のみを規定しています。

2. 規範的参照

この規格は、以下の文書を参照しており、これらの文書の条項は、この規格で参照されることにより、この規格の条項となる。
GB/T 1267-2007 *-鋼および鋳鉄のサンプリング方法 - 切断試験および分析 / 鋼および鋳鉄のサンプリング方法 - 切断試験および分析*
GB/T 223 *-鉄、鋼および合金の化学分析方法 / 鉄、鋼および合金の化学分析方法*
GB/T 4340.1-2009 *-金属材料 - ビッカース硬さ試験 - パート 1：試験方法*
注：改訂版がある場合は最新版が適用されます。

3. 用語と定義

この規格では、次の用語と定義を使用します。
ワイヤー：溶射に使用される直径 0.8～4.0mm の連続フィラメント。
ロッド: 直径 4.0 ～ 10.0 mm の短いロッドまたはバー。
化学組成: 金属線または金属棒に含まれる各元素の含有量を重量%で表します。
表面品質: 表面の清潔さおよび欠陥（ひび割れや傷など）。
硬度: 材料が局所的な塑性変形に抵抗する能力。HV で測定されます。

4. 技術要件

4.1 化学組成/化学組成

要件：
各要素の内容は、注文仕様（注文仕様）に準拠する必要があります。
不純物（不純分）含有量は 0.5%以下（特に指定のない限り）。
試験方法

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

分光分析（分光分析/分光分析、GB/T 223 を参照）。
酸素/窒素含有量: 融合赤外線法。

4.2 寸法と許容差

直径：
金属線：0.8～4.0mm、許容差±0.05mm。
ロッド：4.0～10.0mm、許容差±0.1mm。
長さ（全長/長さ）：
ワイヤ: 連続供給または注文した長さで入手可能。
ロッド：500～1000mm、許容差±5mm。
試験方法
ノギス（Vernier Caliper）またはマイクロメーター（Micrometer）で測定します。

4.3 表面品質

要件：
表面にひび割れ（Cracks/Cracks）、キズ（Scratches/Scratches）、酸化スケール（Oxide Scale/Oxide Scale）などはありません。
清浄度（Cleanliness）は GB/T 1267 に準拠しています。
試験方法
目視検査（目視検査）または低倍率拡大鏡（低倍率拡大鏡）。

4.4 硬度

要件：
（材質により異なります）など発注者により指定されます。
試験方法
ビッカース硬度試験（ビッカース硬度試験/ビッカース硬度試験、GB/T 4340.1 参照）、荷重 5～10 N。

4.5 真直度

要件：
1 メートルあたりの曲げは 1mm 以下。
試験方法
平らな面に置いて最大偏差を測定します。

5. 包装とマーキング

パッケージ:
ビニール袋や密閉容器などの防湿包装を使用してください。
各コイルまたは束の重量は 5～20kg または注文通りです。
マーキング：
製品名: NiAl ワイヤなど。
バッチ番号（バッチ番号/バッチ番号）、製造日（製造日/製造日）。
製造元名（メーカー名）および安全に関する指示事項（安全に関する指示事項）。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

6. 検査とテスト

検査の種類:
型式検査: 新製品または新バッチの場合。
バッチ検査: 製品の各バッチ。
試験方法
化学組成は GB/T 223 に準拠しています。
寸法と表面品質は目視検査と測定ツールによって決定されます。
硬度は GB/T 4340.1 に準拠しています。
サンプリング：
各バッチのサンプリング数量（サンプル数量/サンプリング数量）は、GB/T 1267 に従い、1 m（ワイヤ）または 1 個（ロッド）以上です。

7. 報告

コンテンツ
製品説明: NiAl ワイヤ、直径 1.6 mm。
化学組成: Ni 50%、Al 50%。
寸法: 直径 1.60 ± 0.05 mm。
硬度：HV 250±20。
表面品質: 欠陥なし。
検査日（Inspection Date）、バッチ番号（Batch Number）、製造元情報（Manufacturer Information）。
例
NiAl ワイヤ、直径 1.6 mm、化学組成 Ni 50.2%、Al 49.6%、硬度 HV 245、表面欠陥なし、GB/T 5242-2007 に準拠。

8. 精度とバイアス

精度: 検査室内（検査室内 / 検査室内）の偏差 <5%、検査室間（検査室間 / 検査室間）の偏差 <10%。
バイアス: サンプルの代表性またはテスト条件の変動が原因である可能性があり、サンプリングと環境制御が必要になります。

9. 適用範囲および制限

特に超硬合金関連材料の溶射用線材およびロッドの供給および品質管理に適しています。
制限事項:
製造工程は必要ありません。
特殊用途の電線の場合は別途契約が必要となります。

まとめ
GB/T 5242-2007「溶射 - 線材および棒材 / 溶射 - 金属線材および棒材」は、溶射用金属線材および棒材（ NiAl、WC-Co 関連材料など）に対する技術要件および検査規則を規定しており、品質管理およびプロセスアプリケーションに適用されます。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

付録：

GB/T 3489-2012
溶射 - 溶射皮膜の組織学的検査
溶射 - 溶射皮膜の組織学的検査

1. 範囲

1.1 この規格は、品質管理および性能評価に使用するための溶射コーティングの金属組織検査の方法を規定しています。
適用対象: 金属コーティング（ニッケル、コバルトなど)、セラミックコーティング（アルミナなど)、炭化物コーティング（WC-Co サーメットなど）など。
目的: 顕微鏡観察によりコーティングの微細構造、多孔性、接着強度および欠陥を評価する。

1.2 この規格は、火炎溶射、プラズマ溶射、および HVOF プロセスに適用されます。

1.3 この規格はコーティングの機械的特性試験については扱っておらず、金属組織学的検査方法のみを規定しています。

2. 規範的参照
この規格は、以下の文書を参照しており、これらの文書の条項は、この規格で参照されることにより、この規格の条項となる。
GB/T 1267-2007 *-鋼および鋳鉄のサンプリング方法 - 切断試験および分析 / 鋼および鋳鉄のサンプリング方法 - 切断試験および分析*
GB/T 13298-2015 *-金属の微細構造の検査方法*
GB/T 4338-2006 *-金属材料 - 常温での引張試験*
注：改訂版がある場合は最新版が適用されます。

3. 用語と定義
この規格では、GB/T 13298 を参照して、次の用語と定義を採用しています。
熱スプレーコーティング：熱スプレープロセスによって基板上に堆積されるコーティング。
微細構造: コーティング内の相構造、粒径、欠陥特性。
多孔度: コーティング内の気孔の体積率を%で表します。
結合界面: コーティングと基材間の接続領域。
エッチング: 化学的または電気化学的手段によって微細構造を明らかにするプロセス。

4. 標本の準備
セクション:
ダイヤモンドソーを使用して切断し、過熱や損傷を防ぎます。
試料サイズ：20㎜×10㎜×コーティング厚さ+5㎜ を推奨します。
取り付け:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

塗装端面（Coating Edge / Coating Edge）を保護するためにエポキシ樹脂（Epoxy Resin / Epoxy Resin）またはフェノール樹脂（Phenolic Resin / Phenolic Resin）で埋め込みます。
研削：
粗い目（#120）から細かい目（#1200）までの SiC サンドペーパー（シリコンカーバイドペーパー/シリコンカーバイドサンドペーパー）を使用します。
研磨：
ダイヤモンド懸濁液（Diamond Suspension / Diamond Suspension、粒径 1μm ）を使用して鏡面仕上げ（Mirror Finish / 鏡面仕上げ）をします。
エッチング：

金属コーティング：2%硝酸（ナイタール/硝酸）、腐食時間 5〜10 秒。

セラミック/炭化物コーティング：村上試薬（10g $K_3[Fe(CN)_6]$ + 10g KOH + 100mL H_2O） 、エッチング時間 10〜20 秒。

5. 顕微鏡検査

装置：

光学顕微鏡（光学顕微鏡/光学顕微鏡）、倍率（倍率/拡大）50〜1000 倍。

高解像度観察（高分解能観察/高解像度観察）用の走査型電子顕微鏡（SEM/走査型電子顕微鏡）。
観測パラメータ
微細構造：相分布、粒径。
多孔度：画像解析（Image Analysis）により算出、単位：%。
結合インターフェース：亀裂（ひび割れ）または未結合領域（未結合領域）がないか観察します。
欠陥：介在物やガス孔など。
倍率：

全体構造：50〜200 回。

詳細：500〜1000 回。

6. 評価基準

気孔率：
金属コーティング：≤5%（推奨値）。
セラミック/炭化物コーティング：≤2%（推奨値）。
債券の品質：
接合界面に連続した亀裂が存在しない（連続亀裂なし）。
未結合領域（未結合領域）≤ 5%。
欠陥評価：
軽微：小さな欠陥が散在しています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

重度: 広範囲にわたる亀裂または損失。

7. 報告

コンテンツ
コーティング材質：WC-12Co など
製造方法：HVOF 溶射など。
微細構造：相分布、粒子サイズ。
多孔度: たとえば、1.5%。
接合面: ひび割れなし。
欠陥: 重大な欠陥はありません。
写真と拡大。
検査日（Inspection Date）、検査員（Operator）、検査機器番号（Equipment Number）。
例
WC-12Co コーティング、HVOF 溶射、気孔率 1.2%、接合界面に亀裂なし、拡大率 200 倍、重大な欠陥なし。

8. 精度とバイアス

精度: 検査室内（検査室内 / 検査室内）の偏差 <5%、検査室間（検査室間 / 検査室間）の偏差 <10%。
バイアス: サンプルの準備が不均一であること（準備の不均一性）またはエッチングが過剰であること（オーバーエッチング）によって発生する可能性があり、準備プロセスを制御する必要があります。

9. 適用範囲および制限

適用範囲: 熱噴射コーティング(WC-Co セメント炭化物コーティングなど)の金属組織検査に適しており、品質管理および研究で広く使用されています。
制限事項:
非熱溶射コーティングには適していません。
極薄コーティング（<0.1 mm）の場合は、準備方法を調整する必要があります。

まとめ
GB/T 3489-2012「溶射 - 溶射コーティングの金属組織検査/溶射 - 溶射コーティングの金属組織検査」は、品質管理および性能評価に適した準備、観察、評価を含む、溶射コーティング（WC-Co セメントカーバイドコーティングなど）の金属組織検査方法を規定しています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

付録

GB/T 38511-2020
溶射 - 粉末
— 構成、技術的供給条件

溶射 - 粉末 - 組成、技術的供給条件

1. 範囲

1.1 この規格は、溶射プロセスで使用される粉末の組成、特性および技術的な供給条件を規定します。
適用対象: 金属粉末（ニッケルベース、コバルトベースなど)、セラミック粉末（アルミナなど)、炭化物粉末（WC-Co サーメットなど)、複合粉末など。
目的: 粉末が品質管理とコーティング性能の最適化のための溶射プロセス要件を満たしていることを確認します。

1.2 この規格は、プラズマ溶射（Plasma Spraying)、フレーム溶射（Flame Spraying)、HVOF（High-Velocity Oxygen Fuel）プロセスなどのプロセスに適用されます。

1.3 この規格は、粉末製造プロセス（粉末製造プロセス/粉末製造プロセス）を対象としておらず、その供給条件と受入れ基準のみを規定しています。

2. 規範的参照

この規格は、以下の文書を参照しており、これらの文書の条項は、この規格で参照されることにより、この規格の条項となる。
GB/T 1480-2010 - 金属粉末 - 乾式ふるい分けによる粒度の測定
GB/T 1482-2010 - 金属粉末 - 校正漏斗（ホール流量計）による流動時間の測定 / 金属粉末 - 校正漏斗（ホール流量計）による流動時間の測定
GB/T 31561-2015 - 金属粉末 - 見かけ密度の測定
GB/T 19077-2016 - 粒度分布 - レーザー回折法
注：改訂版がある場合は最新版が適用されます。

3. 用語と定義

この規格では、次の用語と定義を使用します。
溶射粉末：溶射プロセスで使用される粒状材料。
化学組成: 粉末中の各元素の質量パーセントを重量%で表します。
粒度分布: 粉末粒子の直径の範囲と割合。μｍで表します。
流動性: 粉末が校正された漏斗を通過するのにかかる時間（50 ｇ あたりの秒数で測定)。
見かけ密度: 粉末が緩んだ状態の密度。g/cm³ で表されます。
粒子形態: 球状や不規則状などの粉末粒子の形状。

4. 分類

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

素材の種類別:
NiCr 、CoCr など。
セラミック粉末: Al_2O_3 、 ZrO_2など。
炭化物粉末:WC-Co、Cr_3C_2- NiCr など。
$_3$など。
粒子サイズ範囲別:
微粉末：5 ～ 25μm 。
中粒度：25 ～ 45μm 。
粗粉：45 ～ 90μm 。

5. 技術要件

5.1 化学組成/化学組成

要件：
各要素の内容は、注文仕様（注文仕様）に準拠する必要があります。
主成分偏差: ±0.5%（特に指定のない限り）。
不純物: ≤ 0.3%（特に指定のない限り）。
試験方法
化学分析: ICP-OES（誘導結合プラズマ発光分析）など。
酸素/窒素含有量: 融合赤外線法。

5.2 粒度分布

要件：
は、10～45 μm などの発注仕様を満たす必要があります。
粒度分布偏差（分布偏差）：±10%（D10、D50、D90）。
試験方法
レーザー回折法（レーザー回折法、GB/T 19077 参照）。
乾式ふるい分け（乾式ふるい分け/乾式ふるい分け、GB/T 1480 を参照）。

5.3 流動性

要件：
流動性≤35 秒/50g（発注者が指定した値）。
微粉末（<25 μm ）の場合、流動性は必要でない場合があります（不要）。
試験方法
ホール流量計（ホール流量計、GB/T 1482 参照）。

5.4 見かけ密度

要件：
見かけ密度の範囲は発注者によって指定されます（例: 2.0 ～ 5.0 g/cm³ （粉末の種類によって異なります））。
偏差: ±0.2 g/cm³ 。
試験方法

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

見かけ密度の測定（見かけ密度測定/見かけ密度測定、GB/T 31561 を参照）。

5.5 粒子の形態

要件：
粒子の形状は注文仕様を満たす必要があり、球形（Spherical / 球状）または近似球形（Near-spherical / 近似球状）が推奨されます。
不規則粒子の割合（不規則粒子 / 不規則粒子）は 10%以下です。
試験方法
走査型電子顕微鏡（SEM/走査型電子顕微鏡）観察。

5.6 水分含有量

要件：
水分含有量≤0.2%。
試験方法
乾燥減量法：105℃で 2 時間乾燥させて重量を測定します。

6. 検査規則

検査の種類:
工場検査: 製品の各バッチ。
型式検査: 新製品またはプロセスが変更された場合。
サンプリング：
各バッチのサンプリング量（サンプル量/サンプリング量）は 200g 以上で、均一に混合した後にサンプルを分割します。
サンプリング方法：GB/T 1267 を参照してください。
判定ルール
すべてのプロジェクトは要件を満たし、適格です。
いずれかの項目が不合格になった場合、バッチ全体が不適格（Unqualified / Unqualified）とみなされ、再サンプル採取と再検査（Re-Inspection / Re-inspection）が必要になる場合があります。

7. 包装、輸送、保管

パッケージ:

湿気（防湿・防湿）や汚染（汚染防止・防汚染）を防ぐために、プラスチックバケツや金属缶などの密閉容器を使用してください。
重量: 5 kg、10 kg、または注文要件に応じて。
マーキング：
製品名：WC-12Co 粉末など。
バッチ番号（バッチ番号/バッチ番号）、製造日（製造日/製造日）。
製造元名（メーカー名）および安全に関する指示事項（安全に関する指示事項）。
交通機関：
激しい振動（Severe Vibration / Severe Vibration）および湿気の多い環境（Humid

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Environment / Humid Environment）を避けてください。
ストレージ：
乾燥した換気の良い環境（乾燥した換気の良い環境/乾燥した換気の良い環境）で保管してください。温度は 30℃未満、湿度は 60％未満です。
保管期間：12 か月以内。

8. 品質証明書

コンテンツ
製品名（Product Name）と仕様（Specification）です。
バッチ番号（Batch Number）と製造日（Production Date）。
検査結果：化学組成、粒度分布、流動性、見かけ密度など
適合宣言：GB/T 38511-2020 に準拠。
製造元情報（メーカー情報 / Manufacturer Information）と検査官の署名（検査官の署名 / Inspector's Signature）。

9. 精度とバイアス

精度：検査室内（検査室内 / 検査室内）の偏差 <5%、検査室間（検査室間 / 検査室間）の偏差 <8%。
バイアス： サンプリングの不均一性やテスト機器のばらつきによって発生する可能性があり、テスト条件を厳密に管理する必要があります。

10. 適用範囲および制限

適用範囲： 溶射粉末、特に WC-Co などの超硬合金粉末の供給および品質管理に適しています。
制限事項：
粉末製造工程は不要です。
特殊用途の粉末については追加契約が必要となります。

まとめ
GB/T 38511-2020《溶射用粉末 ― 組成、技術的供給条件》は、WC-Co 系超硬合金粉末などの溶射用粉末の組成、特性、供給条件（化学組成、粒度分布、流動性など）を規定し、品質管理およびプロセス最適化に適しています。本規格は、技術要件において国際規格（ISO 14232-1:2017 など）と一定の整合性を有していますが、中国市場の具体的なニーズにより適しています。
付録：

ASME B46.1-2009
表面テクスチャ（表面粗さ、波状度、レイ）
表面の質感（表面の粗さ、波状性、平坦性）

1. 範囲

1.1 この規格は、機械部品、コーティング（溶射コーティングなど）、機械加工面に適用される表面性状の定義、測定方法、およびパラメータ表現を規定しています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

適用対象: 金属、セラミック、プラスチック、WC-Co 超硬合金コーティングなどの複合材料。
目的: 設計、製造、品質管理の指針となる表面粗さ、波状性、面粗さの定量的な基準を提供します。

1.2 この規格は、接触型（接触/接触）および非接触型（非接触/非接触）の両方の測定技術に適用されます。

1.3 この規格には、表面化学組成（表面化学組成/表面化学組成）または微細構造（微細構造/微細構造）の分析は含まれません。

2. 規範的参照

ASME B89.1.10-2001 - 寸法測定機器の評価ガイドライン
ISO 4287:1997 - 製品の幾何特性仕様（GPS） - 表面性状：プロファイル法 - 用語、定義および表面性状パラメータ
ISO 3274:1996 - 製品の幾何特性仕様（GPS） - 表面性状：プロファイル法 - 接触式（スタイラス式）機器の公称特性
注：改訂版がある場合は最新版が適用されます。

3. 用語と定義

この規格では、ISO 4287 を参照して、次の用語と定義を使用します。
表面テクスチャ: 表面粗さ (Surface Roughness)、波状性 (Waviness)、およびレイ (Lay) の合計。
表面粗さ（表面粗さ）：表面の小さな凹凸の特性。Ra （算術平均粗さ）などのパラメータを使用して、 μm単位で測定されます。
波状性：表面の大きな周期的な粗さの特性。単位は μm 、パラメータは Wa など。
レイ:平行、垂直、円形など、表面処理中に形成されるテクスチャパターン。
サンプリング長さ: 粗さを測定するときに使用する基準長さ (mm)。

4. 表面テクスチャパラメータ

粗さパラメータ
プロファイル高さの算術平均（ μm ） 。
Rq （二乗平均平方根粗さ）：プロファイル高さの二乗平均平方根値、単位： μm 。
Rz (プロファイルの最大高さ): プロファイルの最高点と最低点の高さの差 （ μ m単位)。
波状パラメータ
Wa (算術平均うねり): うねりの平均高さ （ μ m ）。
Wt（全うねり高さ/全うねり高さ）：うねりの最大山高さと最小谷深さの合計、単位： μm 。
レイアウトパラメータ
「/」（平行）、「X」（交差）、「C」（円形）などの記号で示されます。

5. 測定方法

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

接触測定:
装置: Taylor Hobson や Mitutoyo などのスタイラス形状測定装置。
スタイラス：先端半径 2～ 5μm 、接触力< 0.75mN 。
サンプリング長さ: 0.25 mm、0.8 mm、2.5 mm（表面の種類に応じて選択）。
評価長さ: 5 つのサンプル長さ (5L)。
非接触測定：
装置: 光学顕微鏡、レーザー走査型共焦点顕微鏡。
解像度: ≤0.1μm 。
測定条件：
温度: 20±2℃。
湿度: 40～60%。
表面洗浄：油や粒子の除去。

6. 表面テクスチャ表現

シンボル:
、算術平均粗さが 0.8μm であることを意味します。
Wa 2.0」などの波状値（うねり値）は、算術平均うねりが 2.0 μm であることを意味します。
木目方向（Lay / Grain direction）の「/」は平行を意味します。
グラフィカルな表現:
表現するには、プロファイル グラフまたは 3D サーフェス マップを使用します。
： Ra 1.6 μm 、 Lay “X” 、 Wa 3.0 μm 。
技術図面
ASME Y14.36 規格に従って図面にマークされています。

7. 報告

コンテンツ
試料の説明: 例: WC-Co 熱溶射コーティング、基板鋼。
測定方法：触針式表面形状測定器など。
パラメータ： Ra 1.2 μm 、 Rz 6.5 μm 。
波状パラメータ： Wa 2.5 μm 。
木目方向（Lay / Grain direction）：平行「/」。
測定条件：温度 20℃、湿度 50%。
写真またはプロフィールグラフ。
検査日（Inspection Date）、検査員（Operator）、検査機器番号（Equipment Number）。
例
WC-Co コーティング、スタイラス測定、Ra 1.3 μm 、 Rz 7.0 μm 、レイ「/」、温度 20° C、2025 年 5 月 31 日。

8. 精度とバイアス

精度: 研究室内（再現性）<5%、研究室間（再現性）<10%。
バイアス: スタイラスの磨耗、表面の清潔さ、環境条件によって影響を受ける可能性があ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

り、機器と制御条件の調整が必要です。

9. 適用範囲および制限

適用範囲: 機械部品や溶射コーティング(WC-Co コーティングなど)の表面テクスチャ測定、加工ガイド、品質管理に適しています。
制限事項:
表面化学や微細構造分析には適していません。
非常に柔軟性の高い材料や非常に柔らかい材料の場合は、特別な測定方法が必要です。

まとめ
ASME B46.1-2009《表面テクスチャ（表面粗さ、うねり、面粗さ）》は、WC-Co コーティングなどの溶射コーティングの品質管理や性能評価に適した、粗さ、うねり、テクスチャ方向などの表面テクスチャの測定および表現方法を規定しています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

付録：

EN 10204:2004「金属製品 － 検査文書の種類」は、中国語と英語の混合規格です。欧州標準化委員会（CEN）が発行した正式規格に基づいており、金属製品の検査文書要件、特に超硬合金（溶射コーティングなど）に関する材料検証に適用されます。

EN 10204:2004
金属製品 — 検査書類の種類
金属製品 － 検査書類の種類

1. 範囲

1.1 この規格は金属製品の検査文書を規定する。
検査書類/検査書類の種類と要件は、納品書/納品書受領書に適用されます。
適用対象: 鋼鉄、超硬合金（WC-Co 溶射コーティングなど）、アルミニウムなどのすべての金属製品およびその半製品および完成品が含まれます。
目的:製品が注文要件を満たしていることを確認し、品質検証を容易にするための検査文書の種類を定義します。

1.2 この規格は、製品が納入される際の品質認証（品質認証）に適用する。

1.3 この規格は、特定の検査方法（検査方法）を規定するものではなく、文書の内容と形式のみを規定するものです。

2. 規範的参照

この規格は、以下の文書を参照しており、これらの文書の条項は、この規格で参照されることにより、この規格の条項となる。
EN 10168:2004 － 鉄鋼製品 － 検査文書 － 情報および説明のリスト
EN ISO 9000:2000 － 品質マネジメントシステム － 基礎と用語 / 品質マネジメントシステム － 基礎と用語
注: 改訂版がある場合は最新版が適用されます。

3. 用語と定義

この規格では、EN ISO 9000 を参照して、次の用語と定義を使用します。
検査書類:製品が注文された要件を満たしていることを証明する書面による文書。
製造業者:金属製品の製造を担当する主体。
検査担当者:購入者または第三者によって任命された独立した検査員。
適合宣言:製品が注文された要件に準拠していることを製造元が宣言する声明。
検査証明書: 特定の検査結果を記載した文書。

4. 検査書類の種類

4.1 タイプ 2.1 － 命令遵守の宣言

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

コンテンツ
製造業者は、製品が注文された要件に準拠していることを宣言します。
特定のテスト結果はありません。
例：
製品説明：WC-Co コーティングパウダー。
注文番号（注文番号）。
適合宣言：製品は注文仕様に準拠しています（注文仕様に準拠 / 注文仕様を満たしています）。

4.2 タイプ 2.2 - テストレポート

コンテンツ
製造業者は、製品が注文された要件に準拠していることを宣言します。
バッチ テスト（Batch Testing）データなどの非特異的テスト結果（Non-Specific Test Results）が含まれます。
例：
製品説明：WC-12Co コーティングパウダー。
化学組成：Co 12±0.5%。

粒子サイズ： 10∽45μm 。

4.3 タイプ 3.1 - 検査証明書

コンテンツ
メーカー公認検査員（認定検査員）が発行します。
化学組成、機械的特性（機械的特性 / 機械的特性）などの特定のテスト結果（特定のテスト結果 / 特定のテスト結果）が含まれます。
検証:検査は製造部門からの独立性を表します。
例：
製品説明：WC-Co コーティングパウダー。
化学組成：C 5.3%、Co 12.1%。
微細構造：多孔度<1%。
署名者：品質部門代表者。

4.4 タイプ 3.2 - 検査証明書

コンテンツ
製造業者の認定検査担当者と購入者の指定担当者(購入者の代理人/購入者の指定代理人)または第三者が共同で発行します。
特定のテスト結果が含まれます。
検証:購入者または第三者の参加が必要です。
例：
製品説明：WC-Co コーティングパウダー。
硬度：HV1200±50。
発行者：製造元品質担当者およびバイヤー担当者（購入者の担当者）。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

5. 文書の内容要件

基本**情報**

製造業者の名称および住所。

注文番号（注文番号）と製品の説明（製品の説明）。

納期（Delivery Date）と数量（Quantity）。

検査情報（タイプ 2.2、3.1、3.2 に適用）：

検査規格：ISO 14923 など。

試験結果（Test Results）：化学組成、物理的性質（Physical Properties）など。

発行情報：

署名者の氏名および役職 / 署名者の氏名および役職。

発行日（発行日 / 発行日）。

6. 文書の検証と転送

検証

すべての文書は権限のある人物によって署名される必要があります（権限のある署名）。

電子文書は電子署名規制に準拠する必要があります。

移行：

ドキュメントは製品とともに提供されます（製品とともに提供）。

または電子的に提供される場合、追跡可能性を確保する必要があります。

7. 報告

内容

ドキュメント タイプ: タイプ 3.1 など。

製品説明：WC-Co コーティング パウダーなど。

試験結果: 硬度や多孔度など。

コンプライアンス宣言（コンプライアンス宣言）。

例：

タイプ 3.1 証明書、WC-12Co コーティング パウダー、硬度 HV 1210、多孔度 0.8%、注文要件に準拠。

8. 適用範囲および制限

適用範囲: 金属製品の出荷時における品質認証に適用可能。超硬合金や鋼材などの材料の品質検証に広く利用されている。

制限事項:

特定のテスト方法は含まれず、他の規格（ISO 14923 など）を参照する必要があります。

契約要件に基づいてドキュメントの種類を選択する必要があります。

まとめ

EN 10204:2004「金属製品 － 検査文書の種類」は、品質検証および受入れに適したタイプ 2.1、2.2、3.1、および 3.2 を含む、納品時の金属製品（溶射 WC-Co コーティングなど）の検査文書の種類と要件を規定しています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

付録：

ISO 6508-1:2016

金属材料 - ロックウェル硬さ試験 - パート 1：試験方法
金属材料 - ロックウェル硬さ試験
— パート 1：試験方法

1. 範囲

1.1 この規格は、試験装置、試験手順、硬度値の計算を含む、金属材料のロックウェル硬さ試験方法を規定しています。
適用対象：鋼、鋳鉄、非鉄金属、溶射コーティング基材（WC-Co コーティング基材など）。
目的：品質管理、材料選定、性能評価のために材料の硬度を測定します。

1.2 この規格は、レギュラーロックウェル硬度（レギュラーロックウェル硬度/レギュラーロックウェル硬度、HRA、HRB、HRC など）とスーパーフィシャルロックウェル硬度（スーパーフィシャルロックウェル硬度/スーパーフィシャルロックウェル硬度、HR15N、HR30T など）を対象としています。

1.3 この規格は、非金属材料（非金属材料/非金属材料）または試験で要求される最小厚さ（最小厚さ/最小厚さ）未満の厚さの材料には適用されません。

2. 規範的参照

この規格は、以下の文書を参照しており、これらの文書の条項は、この規格で参照されることにより、この規格の条項となる。
ISO 6508-2:2015 - 金属材料 - ロックウェル硬さ試験 - パート 2：試験機の検証および校正
ISO 6508-3:2015 - 金属材料 - ロックウェル硬さ試験 - パート 3：基準ブロックの校正
ISO 376:2011 - 金属材料 - 一軸試験機の検証に使用される力測定機器の校正
注：改訂版がある場合は最新版が適用されます。

3. 用語と定義

この規格では、次の用語と定義を使用します。
ロックウェル硬さ：圧子（Indenter）を**用いて材料に予備試験力**（Preliminary Test Force）と総試験力（Total Test Force）を加えた後の残留圧痕深さの硬さ値。単位は HR（ロックウェル硬さ数）です。
圧子：ダイヤモンドコーン（120°）またはスチールボール（ 1/16 インチ、 1/8 インチ、 1/4 インチ）。
予備試験力： 10 kgf （通常）または 3 kgf （浅い）など、最初に適用される力。
総試験力：予備試験力と追加試験力（60 kgf 、 100 kgf 、 150 kgf （従来型）または 15 kgf 、 30 kgf 、 45 kgf （浅型）など）が含まれます。
へこみの深さ：全試験力が除去された後に残るへこみの深さ（ 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

4. 試験装置

硬度試験機/硬度計：

ISO 6508-2 要件に準拠し、自動または手動操作（自動または手動操作 / 自動または手動操作）。

力適用精度（力適用精度）±0.5%。

インデンター：

ダイヤモンドコーン：先端半径 0.2 mm、硬度 ≥ 9000 HV。

鋼球：直径 1/16 インチ（1.588 mm）、1/8 インチ（3.175 mm）、1/4 インチ（6.35 mm）、硬度≥ 850 HV。

参照ブロック：

校正の場合、硬度範囲は ISO 6508-3 に準拠し、HRA 20 ～ 88、HRB 20 ～ 100、HRC 20 ～ 70 などをカバーします。

環境**条件**

温度：23±5℃。

湿度：30～80%。

5. テスト手順

標本の準備：

（ Flat Surface / Surface flatness）、粗さ（Roughness / roughness）Ra≤0.8 μm 。

油分（オイル/オイル）と酸化層（酸化物層/酸化物層）を除去します。

最小厚さ：0.5 mm（浅層）、1.0 mm（従来）、詳細については表 1 を参照してください。

試験力の選択（試験力の選択）：

従来型ロックウェル：予備試験力 10 kgf 、総試験力 60 kgf（HRB）、100 kgf（HRC）、150 kgf（HRA）。

浅いロックウェル：予備試験力 3 kgf 、総試験力 15 kgf（HR15N）、30 kgf（HR30T）、45 kgf（HR45W）。

テスト手順：

予備試験力を適用し（予備試験力を適用/予備試験力を適用）、1～5 秒間保持します。

追加のテスト力を適用し（追加のテスト力を適用）、5 ～ 10 秒間保持します。

総試験力を除去し、残留圧痕深さを測定します。

測定：

硬度値は HR の硬度計によって自動的に読み取られます。

各測定の最小間隔は 3 mm 以上、端までの距離は 2.5 mm 以上である必要があります。

6. 硬度値の計算

式（フォーミュラ/フォーミュラ）：

HR = 100 − h × k

h：残留圧痕深さ（単位：0.002mm）。

k：比例定数（圧力ヘッドと試験力によって異なります。例：HRC では k=500）。

表 1：ロックウェル硬度スケール（ロックウェル硬度スケール）：

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

ISO 6508-2:2015
金属材料 - ロックウェル硬さ試験
— パート 2：試験機の検証と校正

金属材料 - ロックウェル硬さ試験
— パート 2：試験機の検証と校正

1. 範囲

1.1 この規格は、金属材料のロックウェル硬さ試験に使用する試験機の検証および校正の方法を規定しています。

適用対象:通常のロックウェル硬度試験機と表面ロックウェル硬度試験機が含まれ、鋼、鋳鉄、熱スプレーコーティング基板（WC-Co コーティング基板など）に適しています。

目的:試験機が ISO 6508-1 要件に準拠し、品質管理と規格への適合のために信頼性の高い硬度測定を提供することを確認します。

1.2 この規格は、初期検証、定期検証、および校正後の検証をカバーしています。

1.3 この規格は試験機の設計または製造については対象としません。

2. 規範的参照

この規格は、以下の文書を参照しており、これらの文書の条項は、この規格で参照されることにより、この規格の条項となる。

ISO 6508-1:2016 - 金属材料 - ロックウェル硬さ試験 - パート 1：試験方法
ISO 6508-3:2015 - 金属材料 - ロックウェル硬さ試験 - パート 3：基準ブロックの校正
ISO 376:2011 - 金属材料 - 一軸試験機の検証に使用される力測定機器の校正
注：改訂版がある場合は最新版が適用されます。

3. 用語と定義

この規格では、ISO 6508-1 を参照して、次の用語と定義を使用します。

検証:エラーおよび再現性のチェックを含む、試験機の性能が指定された要件を満たしていることを確認します。

校正:基準ブロックを使用して試験機を調整し、系統的な偏差を排除します。

試験力（試験力/試験力）：予備試験力（予備試験力/予備試験力）と総試験力（総試験力/総試験力）が含まれます。

圧子:試験力を加えるために使用されるダイヤモンドコーン（Diamond Cone）または鋼球（Steel Ball）。

基準ブロック:校正および検証に使用される、硬度値が既知の標準ブロック。

4. 検証および校正の要件

初期**検証**

これは、新しいテストマシンを購入した後、または大規模な修理を行った後に行われます。すべてのスケール（スケール / スケール）とテスト力（テスト力 / テスト力）をカバーします。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

定期検証（定期検証）：
12 か月ごとに実行するか、使用頻度に基づいて調整します（例: 使用頻度が高い場合は 6 か月ごと）。
誤差（エラー/エラー）が許容範囲（許容範囲内/許容範囲）内かどうかを確認します。
校正後の検証（校正後の検証）：
調整の有効性を確認するために、キャリブレーション直後に実行します（調整有効性）。
許容誤差:
従来のロックウェル： ±0.5 HR（HRA、HRB、HRC）。
表面ロックウェル： ±0.8 HR（HR15N、HR30T など）。

5. 試験装置

試験**機**
ISO 6508-1 要件に準拠、力適用精度（Force Application Accuracy）±0.5%。
自動または手動のインデンターローディングを装備しています。
インデンター：
ダイヤモンドコーン：先端半径 0.2 mm、硬度 ≥ 9000 HV。
鋼球：直径 1/16 インチ（1.588 mm）、1/8 インチ（3.175 mm）、1/4 インチ（6.35 mm）、硬度≥ 850 HV。
参照ブロック:

ISO 6508-3 に準拠しており、硬度範囲は HRA 20〜88、HRB 20〜100、HRC 20〜70 などをカバーします。
定規ごとに少なくとも 3 つの参照ブロックを使用します。
測定ツール:
力試験器、精度 ±0.1%、ISO 376 に準拠。

6. 検証手順

準備
クリーンインデンター（クリーンインデンター）とリファレンスブロック表面（リファレンスブロック表面）。
環境条件を確認してください：温度 23±5℃、湿度 30〜80%。
テスト手順:
適切なスケール（適切なスケールの選択）とテスト力（テスト力)を選択します。
各参照ブロックに対して 5 回の測定（5 回の測定 / 5 回の測定）を実行し、硬度値(硬度値 / 硬度値）を記録します。
平均（Average / Average）と標準偏差（Standard Deviation / Standard Deviation）を計算します。
エラーチェック（エラーチェック）：
基準ブロックの公称値(Nominal Value / Nominal Value)からの測定値の偏差(Deviation / Deviation）が許容誤差（Permissible Error / Permissible Error）を超えてはなりません。
再現性: 5 回の測定間の最大差は 0.3 HR 以下（従来法）または 0.5 HR 以下（表面

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

法)。

7. 校正手順

調整

検証結果が許容誤差を超える場合（許容誤差超過/許容誤差超過）は、試験機の試験力（試験力/試験力）または深さ測定システム（深さ測定システム/深さ測定システム）を調整します。

基準ブロックを使用して校正し、測定値が公称値と一致するまで調整します （公称値と一致する)。

検証

校正後、異なる基準ブロックを使用して検証を繰り返し （繰り返し検証)、調整の有効性（調整の有効性） を確認します。

記録:

調整前と調整後の値と校正日を記録します。

8. 報告

内容

試験機のモデル（Model）とシリアル番号（Serial Number)。

検証または校正日（検証または校正日)。

使用される参照ブロック: 硬度の範囲と公称値。

測定結果: 平均値、標準偏差、最大偏差。

許容誤差（Permissible Error）が満たされているかどうか。

オペレーター（Operator）と機器の校正ステータス（Equipment Calibration Status)。

例:

試験機モデル XYZ-100、シリアル番号 12345、校正日 2025 年 5 月 31 日、基準ブロック HRC 50〜60、平均 HRC 59.8、偏差±0.2HR、要件を満たしています。

9. 精度とバイアス

精度:研究室内 （研究室内 / 再現性）<0.3 HR、研究室間 （研究室間 / 再現性）<0.5 HR。

バイアス:インデンターの摩耗、基準ブロックの不均一性、または環境の変化によって発生する可能性があり、定期的な機器のメンテナンスが必要です。

10. 適用範囲および制限

適用範囲:熱スプレーコーティング基板の適用を含む金属材料の硬度試験の精度を確保するためのロックウェル硬度試験機の検証および校正に適用できます。

制限事項:

非ロックウェル硬度試験機には適していません。

高精度要件 （±0.1 HR など） の場合は、よりグレードの高い参照ブロックまたはデバイスを使用する必要があります。

まとめ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

ISO 6508-2:2015「金属材料 － ロックウェル硬度試験 － パート 2：試験機の検証および校正」は、ロックウェル硬度試験機が ISO 6508-1 の要件に準拠し、金属材料（WC-Co コーティングされた基板など）の硬度試験に適用可能であることを確認するための検証および校正方法を規定しています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

ISO 6508-3:2015「金属材料 - ロックウェル硬さ試験 - 第 3 部：基準片の校正」は、中国語と英語の混合規格であり、包括的かつ完全な条項と要件を列挙しています。その内容は、国際標準化機構（ISO）が発行した公式規格に基づいており、ロックウェル硬さ試験基準片（基準片/Reference Blocks）の校正（校正/Calibration）に適用され、その硬度値の精度とトレーサビリティ（トレーサビリティ/Traceability）を確保し、金属材料（溶射コーティング基板や超硬合金関連材料など）の硬度試験の検証に使用されます。

ISO 6508-3:2015
金属材料 - ロックウェル硬さ試験
— パート 3：基準ブロックの校正

金属材料 - ロックウェル硬さ試験
— パート 3：基準ブロックの校正

1. 範囲

1.1 この規格は、ロックウェル硬さ試験に用いる基準片の校正方法を規定する。金属材料の硬さ試験に適用する。
適用対象:通常のロックウェル硬度基準ブロック(HRA、HRB、HRC など)と表面ロックウェル硬度基準ブロック(HR15N、HR30T など)が含まれ、鋼(スチール)、鋳鉄(鋳鉄)、熱スプレーコーティング基板(WC-Co コーティング基板など)に適用できます。
目的:ロックウェル硬度試験機の検証および校正のためのトレーサビリティを備えた基準ブロックの正確な硬度値を確保する。

1.2 この規格は校正機関および製造業者に適用される。

1.3 この規格は、基準ブロックの製造プロセス（製造プロセス/製造プロセス）または材料の選択（材料選択/材料選択）については規定していません。

2. 規範的参照

この規格は、以下の文書を参照しており、これらの文書の条項は、この規格で参照されることにより、この規格の条項となる。
ISO 6508-1:2016 - 金属材料 - ロックウェル硬さ試験 - パート 1：試験方法
ISO 6508-2:2015 - 金属材料 - ロックウェル硬さ試験 - パート 2：試験機の検証および校正
ISO/IEC 17025:2005 -試験所および校正機関の能力に関する一般要求事項
注記 ： 改訂版がある場合には、最新版が適用されるものとします。

3. 用語と定義

この規格では、ISO 6508-1 を参照して、次の用語と定義を使用します。
基準ブロック:ロックウェル硬度試験機の校正および検証に使用される、硬度値が既知の標準ブロック。
校正:標準試験機を使用して基準ブロックの硬度値を決定し、そのトレーサビリティを確

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

保します。

トレーサビリティ:基準ブロックの硬度値は、校正チェーンを通じて国際標準または国家標準にリンクされています。

均一性：基準ブロック表面の硬度値の偏差（HR）。

4. 参照ブロックの要件

素材

通常、均一な硬度（均一な硬度 / 均一な硬度）を持つ鋼（Steel / Steel）または炭化物（Carbide / Carbide）です。

欠陥のない表面 / ひび割れ（クラック）や介在物（インクルージョン）などの欠陥のない表面。

寸法:

厚さ：≥6 mm（従来のロックウェル）または ≥2 mm（表面ロックウェル）。

表面積 ≥ 25 mm × 25 mm、少なくとも 5 回の測定が許可されます。

表面**品質**

粗さ（粗さ） Ra≤0.4μm 。

平坦度（平面度）≤ 0.005 mm。

硬度範囲：

従来のロックウェル： HRA 20-88、HRB 20-100、HRC 20-70。

浅いロックウェル： HR15N 70-94、HR30T 40-80。

5. 校正手順

校正機器

ISO 6508-2 に準拠した標準ロックウェル硬度試験機（標準ロックウェル硬度試験機）を使用します。

圧子：ダイヤモンドコーン（先端半径 0.2 mm、硬度 ≥ 9000 HV）または鋼球（1/16、1/8、1 /4 インチ、硬度 ≥ 850 HV）。

環境**条件**

気温：23±2℃。

湿度：30～80%。

キャリブレーション手順:

クリーンな参照ブロック サーフェス（クリーンな参照ブロック サーフェス）。

適切なスケール（適切なスケールの選択）とテスト力（テスト力）を選択します。

基準ブロック上に均等に分散された少なくとも 5 つの測定ポイントで測定を実行します。

平均硬度値（Average Hardness Value）と均一性（Uniformity）を計算します。

均一性要件

測定点間の最大差（最大差 / 最大差）は、≤0.5 HR（従来型ロックウェル）または≤0.8 HR（スーパーフィシャルロックウェル）です。

6. 校正結果

硬度値：

基準ブロックの校正硬度値は平均値（平均値/平均値）で、単位は HR です。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

例:HRC 60.2±0.3。

不確実性

校正の不確かさは、±0.5 HR（従来のロックウェル）または ±0.8 HR（浅いロックウェル）以内です。

ISO/IEC 17025 要件に準拠し、不確実性ステートメントを提供します。

トレーサビリティ

校正結果は、一次参照ブロックなどを通じて国家標準または国際標準に追跡可能である必要があります。

7. 校正証明書

内容

参照ブロック識別（Reference Block Identification）：シリアル番号（Serial Number）など。

スケール（Scale / Scale）と硬度値（Hardness Value / Hardness Value）：例：HRC 60.2±0.3。

均一性：測定ポイント間の最大差。

不確実性：たとえば、±0.4 HR。

校正日（校正日 / 校正日）および有効期間（有効期間 / 有効期間）：通常 2 年。

校正機関情報:名前、住所、ISO/IEC 17025 認定ステータス。

例：

参照ブロックのシリアル番号 12345、スケール HRC、硬度値 60.1±0.3、均一性 0.4 HR、不確実性 ±0.4 HR、校正日 2025 年 5 月 31 日、2027 年 5 月 31 日まで有効。

8. 精度とバイアス

精度:研究室内（研究室内 / 再現性）<0.3 HR、研究室間（研究室間 / 再現性）<0.5 HR。

バイアス:基準ブロックの表面の不均一性、試験機のエラー、または環境条件によって発生する可能性があり、校正プロセスの厳密な制御が必要です。

9. 適用範囲および制限

適用範囲：ロックウェル硬度基準ブロックの校正に適しており、硬度試験の精度とトレーサビリティを確保し、熱噴射コーティング基板の硬度検証に広く使用されます。

制限事項:

非ロックウェル硬度基準ブロックには適していません。

基準ブロックを過度に使用すると（使用回数/使用回数）、表面摩耗（表面摩耗/表面摩耗）が発生する可能性があり、定期的な再校正（再校正/再校正）が必要になります。

まとめ

ISO 6508-3:2015「金属材料 - ロックウェル硬さ試験 - 第 3 部：基準片の校正」は、ロックウェル硬さ基準片の硬度値の正確性とトレーサビリティを確保するための校正方法を規定しています。これは、金属材料（WC-Co コーティングされた基板など）の硬度試験の検証に適しています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

付録：

ISO 18265:2013 - 金属材料 — 硬度値の変換

金属材料 — 硬度値の変換

1. 範囲

1.1 この規格は、金属材料（金属材料）の硬度値（硬さ値）を異なる硬度スケール（硬さスケール）間で変換する方法（換算方法）について規定する。
適用対象：鋼、鋳鉄、非鉄金属、溶射コーティング基材（WC-Co コーティング基材など）。
目的：材料の比較（材料比較/材料比較）および品質管理（品質管理/品質管理）に使用する硬度スケール間の変換表（変換表/変換式）を提供します。

1.2 この規格は次の硬度スケールを対象とする。
ロックウェル硬度（ロックウェル硬度）：HRA、HRB、HRC、HR15N など
ブリネル硬度（ブリネル硬度）：HBW（例：HBW 10/3000）。
ビッカース硬度（ビッカース硬度）：HV（例：HV 10）。
ヌープ硬度（ヌープ 硬度：HK。

1.3 この規格は、特に指定のない限り、非金属材料または特殊熱処理された材料には適用されません。

2. 規範的参照

この規格は、以下の文書を参照しており、これらの文書の条項は、この規格で参照されることにより、この規格の条項となる。
ISO 6506-1:2014 - 金属材料 - ブリネル硬さ試験 - パート 1：試験方法
ISO 6507-1:2018 - 金属材料 - ビッカース硬さ試験 - パート 1：試験方法
ISO 6508-1:2016 - 金属材料 - ロックウェル硬さ試験 - パート 1：試験方法
ISO 4545-1:2017 - 金属材料 - ヌープ硬さ試験 - パート 1：試験方法
注：改訂版がある場合は最新版が適用されます。

3. 用語と定義

この規格では、次の用語と定義を使用します。
硬度値の変換:ある硬度スケールの測定値（測定値）を別の硬度スケールの値に変換するプロセス。
硬度スケール：HRC、HBW、HV など、特定の硬度試験方法に対応する硬度値を表す方法。
変換表:実験データまたは理論モデルに基づいた硬度値の表。
不確実性:硬度値の変換プロセス中に発生する可能性のある誤差（Error）。硬度値の単位（HR、HV など）で表されます。

4. 変換の原則

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

材料**分類**
硬度の変換には、低炭素鋼（Low Carbon Steel / Low Carbon Steel）、合金鋼（Alloy Steel / Alloy Steel）、アルミニウム合金（Aluminum Alloy / Aluminum Alloy）などの材料の種類（Material Type / Material Type）を考慮する必要があります。
材料によって変換関係は異なります。
テスト条件:
は、温度（温度）23±5℃、表面粗さ（表面粗さ）Ra≤0.8μmなどの同一条件（同一条件）で測定する必要があります。
試験力（Test Force / Test force）と圧子（Indenter / Indenter）は、関連する硬度試験規格（ISO 6508-1など）に準拠する必要があります。
不確実性
変換された値の不確実性は通常 ±5% です（スケールと材質によって異なります）。
変換された値は参考値（For Reference Only）であり、直接測定（Direct Measurement）の代わりとなるものではありません。

5. 変換表

1 ：鋼の硬度変換
例:

HRC	HBW（10/3000）	HV（10）
20	238	240
40	392	420
60	654	720

表 2：鋳鉄の硬度変換（鋳鉄の硬度変換/鋳鉄の硬度変換）：
例:

HRB	HBW（10/3000）
50	149
80	228

表 3：非鉄金属の硬度変換（非鉄金属の硬度変換/非鉄金属の硬度変換）：
例:

HRB	HV（5）
40	75
70	130

注記（注記/注）：
完全な変換表は規格の付録に記載されています。
変換表は広範な実験データに基づいており、一般的な使用に適しています。

6. 変換式
例の式:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

HRC から HV（低炭素鋼）への変換：
HV = 100 × (HRC + 10) / 3
HBW から HRC（合金鋼）への変換：
HRC = 0.087 × HBW − 5.5
適用範囲：
この式は、HRC 20 ～ 60 などの特定の硬度範囲（特定の硬度範囲）に適用できます。
材料の種類に応じて対応する計算式を選択する必要があります。
不確実性
変換式の不確実性は、材質と硬度の範囲によって異なりますが、通常は ±8% です。

7. 変換表の使用上の注意

材料の**一貫性**
低炭素鋼の HRC を高合金鋼の HV に変換することを避けるなど、変換前後の材料タイプが一貫していることを確認します（一貫した材料タイプ / 材料タイプが一貫しています）。
テスト条件：
試験力、圧子、表面品質（表面品質 / 表面品質）が要件を満たしている場合、硬度値は標準条件（標準条件下で測定 / 標準条件下で測定）で測定する必要があります。
変換の制限:
変換された値は微細構造の違いにより偏差が生じる可能性があります。
高硬度（HRC>60）または低硬度（HRB<20）の場合、変換誤差が大きくなります（誤差が大きくなります）。

8. 報告

内容
元の硬度値: たとえば、HRC 55.0。
変換された硬度値: たとえば、HV 580。
材質タイプ: 合金鋼など。
使用される変換表または計算式: 表 1 を参照してください。
不確実性（Uncertainty）：±5%など。
検査日（検査日）と検査実施者（検査員）。
例:
合金鋼、元の値 HRC 55.0、表 1 に従って HV 580 に変換、不確実性 ±5%、日付 xx/xx/2025。

9. 精度とバイアス

精度:変換された値の再現性は元の測定の精度に依存しますが、通常は ±3% 未満です。
バイアス：
これは、材料の微細構造（Material Microstructure / Material Microstructure）、熱処理条件（Heat Treatment Condition / Heat Treatment Condition）、または試験条件（Test Conditions / Test Conditions）の違いによって発生する可能性があります。
偏差範囲は通常±5%～±10%です。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

10. 適用範囲および制限

適用範囲: 鋼、鋳鉄、非鉄金属の硬度値換算に適しており、溶射皮膜基材の硬度比較に広く使用されています。

制限事項:

非金属材料には適していません。

特殊な熱処理（焼き入れ、焼き戻しなど）が施された材料は注意して使用してください（注意して使用してください）。

変換された値は参考値であり、直接測定することが推奨されます。

まとめ

ISO 18265:2013「金属材料 － 硬度値の変換」は、金属材料の硬度値を異なるスケール（ロックウェル、ブリネル、ビッカースなど）間で変換する方法を規定しており、変換表と計算式も含まれています。品質管理や材料比較に適していますが、限界があることに注意する必要があります。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

付録：

ロックウェル硬さ、ブリネル硬さ、ビッカース硬さ、ヌープ硬さ 比率表

ロックウェル、ブリネル、ビッカース、ヌープ硬度の比較表

ロックウェル、ブリネル、ビッカース、ヌープ硬度の比較表

側面	ロックウェル硬度	ブリネル硬度	ビッカース硬度	ヌープ硬度
意味	初期試験力と合計試験力がインデンターによって適用され、残留インデント深さが測定されて、HR 単位の硬度値（HRC など）が計算されます。	試験力は鋼球圧子によって加えられ、圧痕直径が測定され、硬度値が HBW（HBW 10/3000 など）で計算されます。	ダイヤモンド四角錐圧子で試験力を加え、圧痕の対角長さを測定して硬度値（HV）を算出します。	ダイヤモンドの長ピラミッド圧子で試験力を加え、圧痕の対角線の長さを測定して HK 単位の硬度値（HK 0.5 など）を計算します。
標準	ISO 6508-1:2016	ISO 6506-1:2014	ISO 6507-1:2018	ISO 4545-1:2017
インデンター	ダイヤモンドコーン（120°、先端半径 0.2mm）またはスチールボール（1/16、1/8、1/4 インチ）。	タングステンカーバイドボール。通常、直径は 10 mm、5 mm、2.5 mm です。	頂点角が 136° のダイヤモンドピラミッド。	ダイヤモンド菱形ピラミッド。垂直頂点角は 172.5°、水平頂点角は 130° です。
テストフォース	従来：初期力 10 kgf 、合計力 60、100、150 kgf 。 浅層：初期力 3kgf 、合計力 15、30、45kgf 。	よく使用されるもの：500、1000、3000 kgf（例：HBW 10/3000 は 10 mm ボール、3000 kgf を意味します）。	よく使用される単位：1～100 kgf（例：HV 10 は 10 kgf を意味します）、最小 0.01 kgf になることもあります。	よく使用される単位：0.01～2 kgf（例：HK 0.5 は 0.5 kgf を意味します）。
測定方法	残留圧痕深さ（Depth of Indentation）を 0.002mm 単位で測定し、HR 値を直接読み取ります。	へこみの直径を mm 単位で測定し、式を使用して計算します：$HBW = 2F / (\pi D(D - \sqrt{(D^2 - d^2)}))$。	へこみの対角線の長さを mm 単位で測定し、式 $HV = 1.8544F / d^2$ を使用して計算します。	へこみの長い対角線の長さを mm 単位で測定し、次の式を使用して計算します：$HK = 14.229F / L^2$。
硬度範囲	HRA 20-88、HRB 20-100、HRC 20-70、HR15N 70-94 など	HBW 8-650（試験力とボール直径によって異なります）。	HV 1-3000（試験力によって異なります）。	HK 10～1000（試験力により異なります）。
適用可能な材料	金属材料（鋼、鋳鉄、溶射コーティング基板など）、特に高硬度材料（HRC）および中硬度材料（HRB）に適しています。	金属材料（鋼、鋳鉄、アルミニウム合金など）は、柔らかい材料や大きな標本に適しています。	金属、セラミック、コーティング（例：溶射コーティング）、薄層を含む広範囲の硬度の材料に適しています。	金属、セラミック、薄層、脆い材料（ガラスなど）、特に微細領域に適しています。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

標本要件	表面は平坦、Ra≤0.8 μm、厚さ≥0.5 mm（浅層）または≥1.0 mm（従来）。	表面は平坦で、Ra≤1.6 μm、厚さは圧痕深さの 8 倍以上（通常≥6 mm）です。	表面は平坦で、Ra≤0.4 μm、厚さはくぼみの対角線の長さの 1.5 倍以上（通常 0.2 mm 以上）です。	表面は平坦で、Ra≤0.2 μm、厚さ≥0.1 mm、小さなサンプルに適しています。
テスト時間	高速、5～10 秒	10 ～ 15 秒と遅い場合は、追加の測定時間が必要になります。	中、10～15 秒、対角線の測定が必要	中程度、10～15 秒、長い対角線が必要
へこみの形状	丸型（鋼球）または円錐型（ダイヤモンドコーン）。	円形。	正方形の形状。	長さと幅の比率が約 7:1 の菱形。
利点	操作が簡単で、硬度値を直読できるため、生産現場に最適です。	広い硬度範囲に適しています （広い硬度範囲、大きな圧痕、高い代表性)。	幅広い用途。薄層試験が可能。一貫したインデント形状	微細な領域に適しています。脆性材料に適しています。浅い圧痕で損傷が少ない。
デメリット	- 高い表面品質要件 / 高い表面品質要件。 - 異なるスケールを直接比較することはできません （スケールを直接比較できません / スケールを直接比較することはできません)。	大きなへこみができ、試料を傷つけます。薄い材料や硬い材料には適していません。	- 光学測定が必要です / 光学測定が必要です。 - 表面粗さに敏感です / 表面粗さに敏感です。	- 光学測定が必要です / 光学測定が必要です。 - 非対称インデント、複雑な測定 / 非対称インデント、複雑な測定。
アプリケーション	溶射コーティング基板（WC-Co 基板など）、鋼材、機械部品の硬度試験（機械部品/機械部品）。	鋳造、鍛造、軟質金属の硬度試験。	熱噴射コーティング、薄膜、表面硬化層。	マイクロ部品、コーティング、セラミック、ガラスの微小硬度試験。
不確実性	±0.5 HR（従来型）または ±0.8 HR（表面型)。	±5% （材質と硬度の範囲によって異なります)。	±3%（試験力と材料によって異なります）。	±5% （試験力と材料によって異なります）。
コンバージョン関係	- HRC 20 ≈ HBW 238 ≈ HV 240 ≈ HK 255 - HRC 40 ≈ HBW 392 ≈ HV 420 ≈ HK 445 - HRC 60 ≈ HBW 654 ≈ HV 720 ≈ HK 760	- HBW 238 ≈ HRC 20 ≈ HV 240 ≈ HK 255 - HBW 392 ≈ HRC 40 ≈ HV 420 ≈ HK 445 - HBW 654 ≈ HRC 60 ≈ HV 720 ≈ HK 760	- HV 240 ≈ HRC 20 ≈ HBW 238 ≈ HK 255 - HV 420 ≈ HRC 40 ≈ HBW 392 ≈ HK 445- HV 720 ≈ HRC 60 ≈ HBW 654 ≈ HK 760	- HK 255 ≈ HRC 20 ≈ HBW 238 ≈ HV 240 - HK 445 ≈ HRC 40 ≈ HBW 392 ≈ HV 420 - HK 760 ≈ HRC 60 ≈ HBW 654 ≈ HV 720

変換ノート

適用材料:上記の変換関係は、ISO 18265:2013 規格の変換表と実験データに基づいて鋼（Steel）に適用されます。

不確かさ：換算値の不確かさは約±5%です。実際の使用においては、材料の微細構造（Microstructure/microstructure）および試験条件（Test Conditions/test conditions）を考慮する必要があります。

使用推奨事項:変換された値は参考値(For Reference Only / For reference only)であり、直接測定(Direct Measurement /

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

Direct Measurement)をお勧めします。

例:

HRC 40 ≈ HBW 392 ≈ HV 420 ≈ HK 445 は、鋼材の場合、ロックウェル硬度 HRC 40 はブリネル硬度 HBW 392、ビッカース硬度 HV 420、ヌープ硬度 HK 445 に変換できることを意味します。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

目次

パート 2：超硬合金の製造プロセス

第 6 章 コーティングと複合技術
6.1 超硬合金コーティングの準備
6.1.1 高速酸素燃料噴霧（HVOF、コーティング硬度 HV 1200-1500）
6.1.2 プラズマ溶射（APS）とデトネーション溶射
6.2 コーティング材料
WCCo および WCNiCr コーティングの組成最適化
6.2.2 多相複合コーティング（WCTiCNi）
6.3 傾斜構造およびナノ構造セメント炭化物
WCCo のインターフェースエンジニアリング
6.3.2 ナノ WC（<100 nm）の作製と課題
6.4 コーティング性能試験
6.4.1 接着強度（50～80 MPa）と気孔率（<1%）
6.4.2 耐摩耗性（ASTM G65、摩耗率<0.06 mm³ / N• m）

付録：
超硬合金コーティングとは
超硬合金高爆発噴霧（DGS）技術
セメント炭化物プラズマ溶射（APS 、大気プラズマ溶射）技術
超硬合金用高速酸素燃料噴霧（ HVOF ）
超硬合金真空プラズマ溶射（VPS 、真空プラズマ溶射）
炭化物インターフェースエンジニアリング
超硬合金表面改質技術
電解セルにおける超硬合金ナノ複合コーティングの応用
ナノコーティングされた超硬合金とは
傾斜炭化物とは何ですか?
勾配炭化物採掘ピックと技術
航空機ノズルにおける超硬合金の応用
ISO 14923:2003 溶射 - 溶射コーティングの特性評価および試験
炎およびアーク溶射用ロープ - 分類 - 技術供給条件
ASTM C633-13(2017) 溶射皮膜の接着強度または凝集強度の標準試験方法
ASTM E2109-01(2014) 熱溶射コーティングの見かけ気孔率の標準試験方法
EN 657:2005 溶射 - 用語と分類
EN 13507:2018 溶射 - 金属部品およびアセンブリの表面処理
GB/T 18719-2002 熱溶射粉末
GB/T 17391-2008 溶射コーティングの接着試験方法
AMS 2437: HVOF プロセス仕様
ISO 3252:2019 粉末冶金 —用語集
ISO 14923:2003 溶射 - 溶射コーティングの特性評価および試験

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

ISO 4505:2017 金属材料—硬さ試験—試験方法
金属材料 -- 硬さ試験 -- 試験方法
ASTM E2283- 08(2019)鋼中の非金属介在物およびその他の微細構造特性の極値解析のための標準試験方法
鋼中の非金属介在物およびその他の微細構造特性の極値解析の標準的な方法
EN 13204:2017 溶射粉末 - 組成、技術的供給条件
溶射 - 粉末 - 組成、技術的供給条件
GB/T 5242-2007「熱噴射 - 線材およびロッド」
溶射 - ワイヤーとロッド
GB/T3489-2012 熱溶射 - 熱溶射皮膜の組織学的検査
GB/T 38511-2020 溶射 - 粉末 - 組成、技術的供給条件 溶射 - 粉末 - 組成、技術的供給条件
ASME B46.1-2009 表面テクスチャ（表面粗さ、うねり、レイ）
表面の質感（表面の粗さ、波状性、平坦性）
EN 10204:2004 金属製品 — 検査文書の種類
金属製品 - 検査書類の種類
ISO 6508-1:2016 金属材料 - ロックウェル硬さ試験 - パート 1：試験方法
金属材料 - ロックウェル硬さ試験 - パート 1：試験方法
ISO 6508-2:2015 金属材料 - ロックウェル硬さ試験
— パート 2：試験機の検証と校正
金属材料 - ロックウェル硬さ試験 - パート 2：試験機の検証および校正
ISO 6508-3:2015 金属材料 - ロックウェル硬さ試験
— パート 3：基準ブロックの校正
金属材料 - ロックウェル硬さ試験 - パート 3：基準ブロックの校正
ISO 18265:2013 - 金属材料 - 硬度値の変換
金属材料 - 硬度値の変換
ロックウェル硬度、ブリネル硬度、ビッカース硬度、ヌープ硬度の硬度比表

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved

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