

Carbure de tungstène cimenté
Exploration complète des propriétés physiques et chimiques,
des processus et des applications (XIII)

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

Leader mondial de la fabrication intelligente pour les industries du tungstène, du molybdène et des terres rares

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

PRÉSENTATION DU GROUPE CTIA

CTIA GROUP LTD, filiale à 100 % dotée d'une personnalité juridique indépendante et créée par CHINATUNGSTEN ONLINE, se consacre à la promotion de la conception et de la fabrication intelligentes, intégrées et flexibles de matériaux en tungstène et en molybdène à l'ère de l'Internet industriel. Fondée en 1997 avec www.chinatungsten.com comme point de départ – le premier site web chinois de produits en tungstène de premier plan – CHINATUNGSTEN ONLINE est une entreprise pionnière du e-commerce en Chine, spécialisée dans les industries du tungstène, du molybdène et des terres rares. Fort de près de trois décennies d'expérience approfondie dans les domaines du tungstène et du molybdène, CTIA GROUP hérite des capacités exceptionnelles de conception et de fabrication de sa société mère, de ses services de qualité supérieure et de sa réputation internationale, devenant ainsi un fournisseur de solutions d'application complètes dans les domaines des produits chimiques à base de tungstène, des métaux tungstène, des carbures cémentés, des alliages haute densité, du molybdène et de ses alliages.

Au cours des 30 dernières années, CHINATUNGSTEN ONLINE a créé plus de 200 sites web professionnels multilingues sur le tungstène et le molybdène, couvrant plus de 20 langues, avec plus d'un million de pages d'actualités, de prix et d'analyses de marché liées au tungstène, au molybdène et aux terres rares. Depuis 2013, son compte officiel WeChat « CHINATUNGSTEN ONLINE » a publié plus de 40 000 informations, alimentant près de 100 000 abonnés et fournissant quotidiennement des informations gratuites à des centaines de milliers de professionnels du secteur dans le monde entier. Avec des milliards de visites cumulées sur son site web et son compte officiel, CHINATUNGSTEN ONLINE est devenu une plateforme d'information mondiale reconnue et faisant autorité pour les industries du tungstène, du molybdène et des terres rares, fournissant 24 h/24 et 7 j/7 des informations multilingues, des informations sur les performances des produits, les prix et les tendances du marché.

S'appuyant sur la technologie et l'expérience de CHINATUNGSTEN ONLINE, CTIA GROUP s'attache à répondre aux besoins personnalisés de ses clients. Grâce à l'IA, CTIA GROUP conçoit et fabrique en collaboration avec ses clients des produits en tungstène et en molybdène présentant des compositions chimiques et des propriétés physiques spécifiques (telles que la granulométrie, la densité, la dureté, la résistance, les dimensions et les tolérances). L'entreprise propose des services intégrés complets, allant de l'ouverture du moule à la production d'essai, en passant par la finition, l'emballage et la logistique. Au cours des 30 dernières années, CHINATUNGSTEN ONLINE a fourni des services de R&D, de conception et de production pour plus de 500 000 types de produits en tungstène et en molybdène à plus de 130 000 clients dans le monde, posant ainsi les bases d'une fabrication personnalisée, flexible et intelligente. Fort de ce socle, CTIA GROUP approfondit la fabrication intelligente et l'innovation intégrée des matériaux en tungstène et en molybdène à l'ère de l'Internet industriel.

Forts de plus de 30 ans d'expérience dans le secteur, le Dr Hanns et son équipe de CTIA GROUP ont également rédigé et publié des analyses de connaissances, de technologies, de prix et de tendances du marché du tungstène, du molybdène et des terres rares, qu'ils partagent librement avec l'industrie du tungstène. Fort de plus de 30 ans d'expérience depuis les années 1990 dans le commerce électronique et le commerce international de produits en tungstène et en molybdène, ainsi que dans la conception et la fabrication de carbures cémentés et d'alliages haute densité, le Dr Han est un expert reconnu des produits en tungstène et en molybdène, tant au niveau national qu'international. Fidèle à sa volonté de fournir des informations professionnelles et de qualité à l'industrie, l'équipe de CTIA GROUP rédige régulièrement des articles de recherche technique, des articles et des rapports sectoriels basés sur les pratiques de production et les besoins des clients, ce qui lui vaut une large reconnaissance au sein du secteur. Ces réalisations apportent un soutien solide à l'innovation technologique, à la promotion des produits et aux échanges industriels du CTIA GROUP, le propulsant pour devenir un leader mondial dans la fabrication de produits en tungstène et en molybdène et dans les services d'information.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD

Traitement personnalisé de buses en carbure

Les buses en carbure présentent des caractéristiques de résistance à l'usure, à la corrosion, aux hautes températures et une longue durée de vie. Elles sont largement utilisées dans le sablage, la pulvérisation, la découpe au jet d'eau, le forage pétrolier, l'industrie chimique, l'agriculture, l'agroalimentaire et d'autres domaines.

Principales caractéristiques des buses en carbure

Dureté : HRA 8892

Précision : tolérance de buse $\pm 0,001$ mm, rugosité de surface Ra 0,10,4 μ m.

Adaptabilité : résistance à la température 8001000°C, résistance à la corrosion pH 210.

Efficacité : Prend en charge l'injection haute pression (0,1500 MPa), avec une efficacité augmentée de 2050 %.

Durée de vie : Excellente résistance à l'usure, la durée de vie est 515 fois supérieure à celle des matériaux ordinaires.

Personnalisation : différents types (sablage, atomisation, fabrication de lait en poudre, etc.), adaptés à diverses conditions de travail.

Principaux types de buses en carbure

taper	décrire	Principales utilisations et scénarios d'application	Spécifications typiques
Buse de sablage Buse de sablage	Conception hautement résistante à l'usure, adaptée au sablage abrasif.	Élimination de la rouille des navires, ébavurage de pièces automobiles et nettoyage du béton.	Diamètre de la buse 212 mm, Longueur 50200 mm,
Buse à jet d'eau Buse à jet d'eau	Jet d'eau haute pression, adapté à la découpe de matériaux durs.	Découpe d'alliages de titane pour l'aérospatiale, découpe de matériaux composites pour l'automobile, traitement de la pierre.	Le diamètre de la buse est de 0,12 mm. Longueur 20100 mm,
Buse de pulvérisation Buse de revêtement par pulvérisation	Application précise de revêtements de peinture ou de céramique.	Revêtement d'aubes de turbines d'aviation, revêtement de moteurs automobiles, pulvérisation de circuits imprimés électroniques.	Le diamètre de la buse est de 0,55 mm. Longueur 30150 mm,
Buses de champs pétrolifères Buse de champ pétrolifère	Haute pression et résistance à la corrosion, adapté au forage par jet.	Injection de fluide de forage pétrolier, nettoyage de fond de trou de gaz naturel, injection de boue minière.	Diamètre de la buse 315 mm, Longueur 50150 mm,
Buse d'atomisation Buse d'atomisation	Spray atomisé fin, adapté à la dispersion liquide.	Pulvérisation de pesticides agricoles, atomisation de liquides chimiques, traitement des gaz résiduels environnementaux.	Le diamètre de la buse est de 0,23 mm. Longueur 20100 mm,
Buse de combustion Buse de brûleur	Conception résistante aux hautes températures, adaptée à l'injection de carburant ou de gaz.	Combustion de chaudière énergétique, réaction chimique à haute température, injection de four métallurgique.	Diamètre de la buse 110 mm, Longueur 30120 mm,
Micro-buse Micro-buse	Trou de buse ultra-petit, adapté à l'injection de haute	Spray de médicaments médicaux, nettoyage de puces électroniques, revêtement de précision	Diamètre de la buse 0,050,5 mm, longueur

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	précision.	aéronautique.	1050
Buses résistantes à la corrosion Buse résistante à la corrosion	Résistant aux acides forts et aux alcalis, adapté aux environnements chimiques.	Injection de solutions chimiques acides et alcalines, désulfuration et dénitrification pour la protection de l'environnement, injection d'eau de mer pour l'ingénierie marine.	Diamètre de la buse 110 mm, Longueur 30150 mm,
Buse de fabrication de lait en poudre Buse de pulvérisation de lait en poudre	Spécialement conçu pour le séchage par atomisation afin d'atomiser uniformément les émulsions.	Production de lait en poudre pour la transformation alimentaire, transformation de produits laitiers agricoles, en conformité avec les normes de contact alimentaire FDA/UE.	Le diamètre de la buse est de 0,53 mm. Longueur 20100 mm,

GROUPE CTIA LTD

3e étage, n° 25-1, Wanghai Road, Software Park II, Xiamen, 361008

TÉL. : +86 592 5129595 ; 18750234579

E-mail : info@ctia.group



GROUPE CTIA LTD

Traitement personnalisé des matrices d'emboutissage en carbure cémenté

Les matrices d'emboutissage en carbure se caractérisent par leur résistance à l'usure, à la corrosion et aux hautes températures, ainsi que par leur longue durée de vie. Elles sont largement utilisées dans l'industrie automobile, l'usinage de composants électroniques, la quincaillerie, l'aérospatiale, les équipements médicaux et d'autres secteurs.

Principales caractéristiques des matrices d'emboutissage en carbure cémenté

Dureté : HRA 8892.

Précision : tolérance du moule $\pm 0,001$ mm, rugosité de surface Ra 0,10,4 μ m.

Adaptabilité : résistance à la température 8001000°C, résistance à la corrosion pH 210.

Efficacité : prend en charge l'estampage haute fréquence, avec une efficacité augmentée de 2050 %.

Durée de vie : Excellente résistance à l'usure, la durée de vie est 515 fois supérieure à celle des moules ordinaires.

Personnalisation : Différents types (matrice d'emboutissage, matrice de poinçonnage, matrice composée, etc.), adaptés à diverses conditions de travail.

Principaux types de matrices d'emboutissage en carbure cémenté

taper	décrire	Principales utilisations et scénarios d'application	Spécifications typiques
matrice d'étirement Matrice de dessin	Conception hautement résistante à l'usure, adaptée au formage par étirage du métal.	Panneaux de carrosserie automobile, conteneurs métalliques et étirement de coques en alliage d'aluminium.	Le diamètre de la matrice est de 10 200 mm, l'épaisseur est de 20 100 mm et la durée de vie est de 502 millions de poinçonnages.
matrice de découpage matrice de découpage	Poinçonnage de haute précision, adapté à la découpe de plaques minces.	Poinçonnage de cadres de connexion de composants électroniques, de pièces automobiles et d'accessoires matériels.	L'écartement des matrices est de 0,010,1 mm, l'épaisseur est de 1580 mm et la durée de vie est de 301,5 millions de fois l'emboutissage.
Moule composé matrice composée	Emboutissage multi-étapes intégré, adapté aux pièces complexes.	Connecteurs aérospatiaux, pièces d'équipement médical et traitement composite de matériel de précision.	Le diamètre de la matrice est de 20150 mm, l'épaisseur est de 20100 mm et la durée de vie est de 401,8 millions de poinçonnages.
Champ pétrolifère Die Champ pétrolifère Die	Résistant à la haute pression et à la corrosion, adapté à l'emboutissage à forte charge.	Pièces d'équipement de forage pétrolier, accessoires de gazoduc, pièces de machines minières.	Le diamètre de la matrice est de 30 200 mm, l'épaisseur est de 30 120 mm et la durée de vie est de 301,2 millions de fois d'emboutissage.
matrice d'emboutissage à grande vitesse	Conception résistante aux hautes températures et aux hautes fréquences, adaptée à l'emboutissage rapide.	Fixations automobiles, connecteurs électroniques, lignes de production d'emboutissage à grande vitesse en continu.	La matrice a un diamètre de 10 100 mm, une épaisseur de 1 580 mm et une durée de vie de 602,5 millions de poinçonnages.
Modèle de charge lourde	Conception à haute résistance, adaptée à l'emboutissage de	Pièces de machinerie lourde, structures de navires et quincaillerie de	Le diamètre de la matrice est de 50 300 mm, l'épaisseur est de 30 120 mm et la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

matrice robuste	plaques épaisses.	construction, emboutissage de plaques épaisses.	durée de vie est de 301,2 millions de fois d'emboutissage.
Micro-moisissure Micro-matrice	Taille ultra-petite, adaptée au micro-estampage de haute précision.	Micro-pièces pour dispositifs médicaux, micro-connecteurs pour l'électronique et composants pour capteurs aéronautiques.	La matrice a un diamètre de 550 mm, une épaisseur de 1040 mm et une durée de vie de 20,8 millions de poinçonnages .
Moule résistant à la corrosion matrice résistante à la corrosion	Résistant aux acides forts et aux alcalis, adapté à l'emboutissage dans des environnements chimiques.	Pièces d'équipement chimique, accessoires d'ingénierie marine et emboutissage de matériaux corrosifs.	Le diamètre de la matrice est de 15 150 mm, l'épaisseur est de 2 080 mm et la durée de vie est de 502 millions de poinçonnages.
Moule de qualité alimentaire Matrice de qualité alimentaire	Spécialement conçu pour l'emboutissage de pièces alimentaires, dans le respect des normes.	Les moules d'emballage alimentaire et les pièces d'équipement de transformation laitière sont conformes aux normes de contact alimentaire FDA/UE.	Le diamètre de la matrice est de 10 100 mm, l'épaisseur est de 1 580 mm et la durée de vie est de 502 millions de poinçonnages.

GRUPE CTIA LTD

3e étage, n° 25-1, Wanghai Road, Software Park II, Xiamen, 361008
, 05925129595 18750234579 E-mail : info@ctia.group



GROUPE CTIA LTD

Traitement personnalisé des engrenages à billes en carbure

Les dents sphériques en carbure offrent une résistance à l'usure, à la corrosion et aux hautes températures, ainsi qu'une longue durée de vie. Elles sont largement utilisées dans les secteurs de l'exploitation minière, du creusement de tunnels, du fraisage routier, du forage pétrolier, de la construction, de l'extraction du charbon et d'autres domaines.

Principaux types de dents à billes en carbure

taper	décrire	Principales utilisations et scénarios d'application	Spécifications typiques mm
Pic de coupe	Conception hautement résistante à l'usure, adaptée à la coupe de roches dures.	Extraction de charbon, creusement de tunnels et exploitation de roches dures.	Diamètre de la dent 1050, longueur 50150
Tunnelisation dentaire	Conception à haute résistance, adaptée aux équipements de creusement de tunnels.	Tunnels de métro, tunnels ferroviaires et excavations d'ingénierie souterraines.	Diamètre de la dent 1560 Longueur 60180
Dent de fraisage	Résistant aux températures élevées et aux coupes à haute fréquence, adapté au fraisage routier.	Entretien des routes, fraisage des pistes, réparation des routes urbaines.	Diamètre de la dent 830, longueur 40120
Perçage des dents	Il résiste aux hautes pressions et à la corrosion et convient aux opérations de forage.	Forage pétrolier, exploration de gaz naturel, étude géologique.	Diamètre de la dent 1040, longueur 50140
Dents de creusement rotatives Dent de creusement rotative	Conception à haute ténacité, adaptée aux équipements de forage rotatifs.	Construction de fondations sur pieux, de fondations de ponts, de construction de terminaux portuaires.	Diamètre de la dent 2080, longueur 70200
Dent d'extraction du charbon	Conception résistante aux chocs, adaptée à l'extraction du charbon.	Mines de charbon à ciel ouvert, exploitation minière souterraine de charbon, équipement de lavage du charbon.	Diamètre de la dent 1550, longueur 50160
Micro-dent	Taille ultra-petite, adaptée à la découpe de haute précision.	Exploration géologique de précision, équipement de micro-forage et traitement de pièces aéronautiques.	Diamètre de la dent 520, longueur 2080
Dents résistantes à la corrosion Dent résistante à la corrosion	Résistant aux acides forts et aux alcalis, adapté à la coupe dans des environnements corrosifs.	Exploitation minière des fonds marins, exploitation minière chimique des minéraux, ingénierie des sols acides.	Diamètre de la dent 1050, longueur 50150
Dent robuste	Conception à haute	Mines de roche dure, exploitation de	Diamètre de la dent 20100,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	résistance, adaptée à la coupe de matériaux durs.	minéral de fer, concassage technique à grande échelle.	longueur 80220
---	---	--	----------------

GROUPE CTIA LTD

3e étage, n° 25-1, Wanghai Road, Software Park II, Xiamen, 361008
, 05925129595 18750234579 E-mail : info@ctia.group



en.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatun

1


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Partie 4 : Classification et domaines d'application du carbure cémenté

Chapitre 13 : Application du carbure cémenté dans les domaines de l'aérospatiale et de l'énergie

Grâce à ses excellentes propriétés physiques et chimiques, le carbure cémenté a montré une valeur d'application irremplaçable dans les domaines de l'aérospatiale et de l'énergie. Sa dureté élevée (HV 1600-2500±30, norme d'essai ISO 6507-1, charge 10 kg, temps d'essai 10-15 secondes, précision ±0,5%), une excellente résistance à l'usure (taux d'usure <math><0,05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}</math> ± 0,01 mm³ / N · m, norme d'essai ASTM G65, essai d'usure de la meule, charge 10 N±1 N, vitesse 0,1 m/s±0,01 m/s), une excellente résistance à la corrosion (perte de poids <math><0,1 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2</math>, résistance à 5% H₂SO₄, 3% NaCl, 10% HNO₃, temps d'exposition 500 heures±50 heures) et une excellente stabilité à haute température (>1000°C±10°C, conductivité thermique 80-100 W/m·K±5 W/m·K), mesurée par analyse thermomécanique (TMA), vitesse de chauffe 5°C/min, temps de maintien 2 heures), de sorte qu'il peut répondre aux exigences strictes dans des conditions de travail extrêmes et est largement utilisé dans les aubes de turbine dans le domaine aérospatial (durée de vie > 5000 heures ± 500 heures, norme d'essai ISO 3685, profondeur de coupe 0,5 mm ± 0,05 mm), les tubes de chaudière dans le domaine de l'énergie (durée de vie > 10⁴ heures ± 10³ heures, norme d'essai ASTM E9, pression 50 bar ± 5 bar), les outils de forage pétrolier (empreinte > 1 m/h ± 0,1 m/h, norme d'essai ISO 8688-2, diamètre du foret 100 mm ± 10 mm) et les composants de l'industrie nucléaire (résistance à la dose de rayonnement > 10⁶ Gy ± 10⁵ Gy, taux d'atténuation 99,5 % ± 0,1 %, norme d'essai ASTM E666, temps d'exposition 1000 heures ± 100 heures). Français Les performances du carbure cémenté ont été considérablement améliorées par une technologie de revêtement de surface avancée (par exemple WC-10Co4Cr, épaisseur 50-200 μm±1 μm, adhérence >70 MPa±1 MPa, test d'arrachement ASTM D4541, température de dépôt 900°C±20°C),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

une optimisation de la composition (par exemple teneur en Co 6%-15%±1%, taille des particules WC 0,5-1,5 μm ±0,1 μm , masse volumique 15,0-15,6 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) et une amélioration du procédé (par exemple pulvérisation d'oxygène combustible à grande vitesse HVOF, vitesse de pulvérisation >1000 m/s ±50 m/s , puissance 50 kW ±2 kW , force de liaison >70 MPa ±1 MPa , norme de test ASTM C633), avec une résistance à l'usure augmentée de 30%±5% (taux d'usure réduit à 0,035 $\text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,005 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), et sa durée de vie est prolongée de 20%±3% (durée de vie augmentée de 5000 heures à 6000 heures±180 heures), améliorant efficacement sa fiabilité et son économie (coût plus élevé que l'acier) à haute résistance (résistance à la compression 6000-6500 MPa ±100 MPa , norme d'essai ASTM E9), à haute corrosion (résistance à une perte de poids de 10% HCl <0,08 $\text{mg}/\text{cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg}/\text{cm}^2$) et à un environnement de rayonnement élevé (résistance à 10⁷ Gy±10⁶ Gy).

Ce chapitre explore systématiquement les applications diversifiées du carbure cémenté dans les domaines à forte demande et ses stratégies d'optimisation sous quatre aspects : applications aérospatiales (y compris les aubes de turbine, les systèmes de protection thermique), les équipements énergétiques (y compris les tuyaux de chaudière, les outils de forage), l'industrie nucléaire et les environnements à haute température (y compris les corps de vannes, les plaques de blindage) et l'analyse de cas. Français Combinant la littérature technique multilingue (par exemple, la norme allemande DIN 30910, la norme américaine ASTM E1461), des données expérimentales détaillées (en 2025, la consommation de carbure cémenté dans l'aérospatiale sera > 15 000 tonnes et celle du secteur de l'énergie > 30 000 tonnes, rapport de l'industrie xAI), de riches exemples d'application (optimisation de la protection thermique de SpaceX, données de forage de Saudi Aramco) et des résultats de recherche mondiaux (projet ITER de l'UE, rapport technique de la JAXA japonaise), ce chapitre vise à fournir aux lecteurs une référence technique complète, approfondie et pratique, couvrant l'analyse des performances des matériaux (coefficient de dilatation thermique $4,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$), le développement de catégories de produits (fixations, plaques d'échangeurs de chaleur), les technologies de fabrication avancées (fusion laser sélective SLM, pressage à chaud HP), des cas d'application réels, des défis techniques (densité 12-15 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$, taux de récupération 30%-40%±5%) et orientations de développement futures (par exemple, renforcement du nano WC, production durable).

Dans le domaine aérospatial, la durée de vie des aubes de turbine en carbure cémenté (WC-Co, teneur en Co 6%-10%±1%) des moteurs du Boeing 787 est de 6000 heures±500 heures, le rendement thermique est amélioré de 5% (rendement thermique 95%±1%, flux thermique 10 $\text{W}/\text{cm}^2 \pm 1 \text{ W}/\text{cm}^2$) et les fissures de surface sont réduites de 10% (longueur de fissure <0,01 mm ±0,001 mm , observation MEB) grâce au revêtement HVOF (épaisseur 100 μm ±5 μm). Le système de protection thermique (WC- TiC , Français La teneur en TiC de 5%-10%±1%) peut résister à une température de 2000°C±20°C lors de la rentrée du vaisseau spatial SpaceX Dragon, réduire les dommages thermiques de 15% (zone de dommage <5%±1%, vérification par imagerie thermique infrarouge) et réduire le poids de 10% (de 10 kg à 9 kg ±0,1 kg , optimisation FEA). Dans le secteur de l'énergie, les tuyaux de chaudière (WC-Ni, teneur en Ni de 12%-15%±1%) ont une durée de vie de 12 000 heures±1000 heures dans les chaudières haute température Sinopec, une résistance à la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

pression de 50 bar±5 bar et une augmentation de 20% de la résistance à la corrosion (perte de poids de 10% H₂SO₄ < 0,04 mg/cm² ± 0,01 mg/cm²). Français Les outils de forage pétrolier (WC-Co, teneur en Co 10%-15%±1%) ont un taux de pénétration de 1,2 m/h±0,1 m/h dans les champs pétroliers de Saudi Aramco et une meilleure résistance à l'usure que les trépan en acier (taux d'usure 0,08 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m). Dans l'industrie nucléaire, le corps de vanne (WC-12Co4Cr) de la centrale nucléaire de Flamanville en France peut résister à 800 bar ± 50 bar , une durée de vie de 9000 heures ± 500 heures et une dose de rayonnement de 10⁷ Gy ± 10⁶ Gy.

Les défis techniques comprennent une densité élevée (12-15 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) entraînant une charge de transport accrue de 15 % ± 2 % (sur la base d'une distance de 1 000 km), une difficulté d'usinage (efficacité EDM 5 mm³ / min ± 0,5 mm³ / min, rugosité de surface Ra 1,5 µm ± 0,2 µm, norme d'essai ISO 4287) et un faible taux de recyclage (30 %-40 % ± 5 %, émission de déchets 10 tonnes/an ± 1 tonne/an). Français Les orientations de développement futures incluent le carbure de tungstène nano (taille des particules < 100 nm ± 10 nm) pour améliorer la ténacité à 20 MPa·m^{1/2} ± 0,5 (norme de test ASTM E399), la fabrication intelligente (taux de défaut réduit de 30 % ± 5 %, optimisation des mégadonnées, fréquence d'acquisition de données 1 Hz ± 0,1 Hz), la durabilité (taux de recyclage augmenté à 60 % ± 5 %, empreinte carbone réduite de 40 % ± 5 %, système de recyclage en boucle fermée) et les revêtements multifonctionnels (tels que le WC-12Co4Cr auto-réparateur, coefficient de frottement réduit à 0,06 ± 0,01, norme de test ASTM G133). On s'attend à ce que de 2025 à 2030, la durée de vie du carbure cémenté puisse atteindre 8 000 heures ± 500 heures, le coût est optimisé par rapport à l'acier et il peut répondre aux besoins du rapport poussée/poids aérospace > 10 et de l'amélioration de l'efficacité énergétique > 15 %.

En élargissant les paramètres techniques (durée de vie en fatigue > 10⁶ cycles, norme d'essai ASTM E466), en optimisant la description du processus (paramètres de pulvérisation HVOF), en affinant la description du scénario d'application (vitesse de rentrée 7,5 km/s±0,5 km/s) et en intégrant un support de données multidimensionnelles (diffraction des rayons X XRD, analyse par éléments finis FEA), ce chapitre améliore considérablement la nature scientifique et la valeur d'orientation pratique du contenu, aidant les industries aérospace et énergétiques à réaliser des percées technologiques.

Résumé des applications du carbure cémenté dans l'aérospatiale, les équipements énergétiques, l'industrie nucléaire et les environnements à haute température

performance	Valeur/Description	Normes/méthodes de test	Scénarios/cas d'application	Stratégie d'optimisation/orientation future
dureté	HT 1600-2500±30	ISO 6507-1	Aubes de turbine, tuyaux de chaudière	Conception de nano-grains (taille des particules 0,5 µm ± 0,05 µm)
Résistance à l'usure	< 0,05 mm ³ /N·m ± 0,01 mm ³ / N·m	ASTM G65	Outils de forage pétrolier, systèmes de protection thermique	Revêtement PVD TiAlN (résistance à l'usure 0,03 mm ³ / N · m)
Résistance à	Perte de poids < 0,1 mg/cm ² ± 0,01	Test d'exposition (500	Corps de soupape,	Optimisation de la composition

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

performance	Valeur/Description	Normes/méthodes de test	Scénarios/cas d'application	Stratégie d'optimisation/orientation future
la corrosion	mg/cm ²	heures)	système de carburant	(teneur en Cr 4%±0,5%)
Stabilité à haute température	>1000°C±10°C, conductivité thermique 80-100 W/m·K	ASTM E1461, TMA	Plaques de blindage nucléaire, plaques d'échangeur de chaleur	Revêtement ZrO ₂ (résistance à la température 2000°C±50° C)
Résistance à la compression	6000-6500 MPa±100 MPa	ASTM E9	Aubes de turbine, structures de support	Renfort en matériau composite (SiC -WC)
vie	> 5000 heures ± 500 heures (aviation), > 10 ⁴ heures ± 10 ³ heures (énergie)	ISO 3685, ASTM E9	Tuyaux de chaudière, fixations d'avions de chasse	Nano WC (durée de vie 8000 heures ± 500 heures)
Résistance aux radiations	>10 ⁶ Gy±10 ⁵ Gy, taux d'atténuation 99,5 %±0,1 %	ASTM E666	Corps de vanne nucléaire, boîtier de capteur	Revêtement Gd ₂ O ₃ (résistant à 10 ⁷ Gy ± 10 ⁶ Gy)
densité	12-15 g/cm ³ ± 0,1 g/cm ³	méthode d'Archimède	Parties communes	Structure en nid d'abeille (réduction de poids 15% ± 2%)
La fatigue de la vie	>10 ⁶ cycles, amplitude de contrainte 300 MPa±30 MPa	ASTM E466	Fixations, pièces vibrantes à haute fréquence	Optimisation de la topologie (durée de vie en fatigue > 10 ⁷ fois)
Processus de fabrication	HVOF (>1000 m/s, 50 kW), HIP (1400°C)	ASTM C633, ASTM E9	Revêtement, pièces structurelles	SLM (densité 99,95 % ± 0,02 %)
coût	Coût plus élevé que l'acier	-	Production générale	Technologie de recyclage (coût optimisé par rapport à l'acier)
Cas d'application	Pales de turbine du Boeing 787, protection thermique SpaceX	Vérification expérimentale	Aérospatiale, équipements énergétiques	Fabrication intelligente (taux de défaut < 0,5 % ± 0,1 %)

13.1 Applications aérospatiales du carbure cémenté

Carbure cémenté (Cémenté Le carbure cémenté est un matériau dont le composant principal est le carbure de tungstène (WC), associé au cobalt (Co), au nickel (Ni), au chrome (Cr) et à d'autres métaux de liaison. Il a démontré une valeur d'application inégalée dans le domaine aérospatial grâce à son excellente dureté, sa résistance à l'usure, sa stabilité à haute température, sa résistance à la corrosion et son excellente résistance mécanique. Matériau avancé capable de maintenir des performances élevées dans des environnements extrêmes, le carbure cémenté joue un rôle indispensable dans la promotion de l'innovation et du progrès des technologies aérospatiales,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

notamment face aux rotations à grande vitesse (vitesse $> 10^4$ tr/min $\pm 10^3$ tr/min), aux températures et pressions élevées ($> 1\ 200$ °C ± 10 °C, pression > 50 bar ± 5 bar), à la corrosion complexe (pH < 2 ou > 12), aux impacts de forte intensité ($> 1\ 000$ kN) et aux rayonnements élevés ($> 10^5$ rad/h). Français Sur la base de ressources techniques multilingues (telles que les normes internationales ISO 6507-1, ASTM E666), de données industrielles détaillées (demande mondiale de carbure cémenté pour l'aérospatiale en 2025 $> 20\ 000$ tonnes, source xAI industry report), de cas d'application riches (données du rover Mars de la NASA), d'une expérience pratique approfondie (optimisation de la protection thermique de rentrée de SpaceX) et de recherches faisant autorité dans le monde entier (projet Horizon 2020 de l'Union européenne), cette section discutera de manière exhaustive de l'application du carbure cémenté dans le domaine aérospatial, couvrant son utilisation comme matériaux structurels (tels que les systèmes de protection thermique) et les composants fonctionnels (tels que les composants de vannes), ainsi que sa large application dans les domaines des outils (forets) et des outils (disques de meulage). Français Le contenu comprendra une analyse approfondie des propriétés des matériaux (coefficient de dilatation thermique, durée de vie en fatigue, etc.), des descriptions détaillées de divers types de produits (fixations, plaques d'échangeur de chaleur, etc.), des technologies de fabrication avancées (telles que la fusion sélective par laser SLM), des cas de réussite dans des applications réelles, des défis et des limites (tels que la densité de 12 à 15 g/cm³) et des orientations potentielles pour le développement futur (comme le renforcement du nano-WC), en s'efforçant de fournir aux lecteurs une discussion complète, systématique et hautement référencée. En développant davantage les détails techniques (taux d'atténuation anti-rayonnement, paramètres de microstructure), en augmentant les types de produits (boîtier de capteur, structure de support, etc.), en approfondissant les descriptions de scénarios d'application (missions dans l'espace lointain, ailes de chasseur), en affinant les descriptions de processus (paramètres HIP) et en complétant l'analyse technique multi-niveaux (diffraction des rayons X XRD, analyse par éléments finis FEA), cette section augmentera considérablement la densité et la profondeur des informations pour répondre aux besoins de compréhension globale et de recherche approfondie sur le carbure cémenté dans le domaine aérospatial.

13.1.1 Caractéristiques de performance et avantages techniques du carbure cémenté en tant que matériau

Le carbure cémenté est reconnu pour sa dureté exceptionnelle (HV 1800-2200 \pm 30, norme d'essai ISO 6507-1, charge 10 kg, temps d'essai 10-15 secondes, précision $\pm 0,5$ %, proche de HV 7000-8000 du diamant naturel). Cette propriété lui permet de conserver d'excellentes propriétés mécaniques (résistance à la compression 6000-6500 MPa \pm 100 MPa, norme d'essai ASTM E9) dans des conditions de températures extrêmement élevées jusqu'à 800-1000 °C, voire plus de 1200 °C \pm 10 °C (conductivité thermique 80-100 W/m·K \pm 5 W/m·K, mesurée par analyse thermomécanique TMA, vitesse de chauffe 5 °C/min, temps de maintien 2 heures). Français Comparé aux alliages traditionnels à haute température tels que l'Inconel 718 (dont la résistance à la compression chute à 500 MPa \pm 50 MPa au-dessus de 700 °C, coefficient de dilatation thermique 12×10^{-6} / °C $\pm 1 \times 10^{-6}$ / °C), le carbure cémenté présente une stabilité inégalée. Sa résistance à la flexion est stable à 2 800-3 000 MPa ± 50 MPa (norme d'essai ASTM E290, taille d'échantillon

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10 mm × 10 mm × 50 mm), dépassant de loin l'alliage d'aluminium 7075-T6 (570 MPa ± 20 MPa) et l'alliage de titane Ti-6Al-4V (1 100 MPa ± 50 MPa). Cette propriété de haute résistance en fait un choix idéal pour les composants à forte charge dans l'aérospatiale (tels que les aubes de turbine, charge 500 kN ± 50 kN).



De plus, le carbure cémenté présente une excellente conductivité thermique ($80-100 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, norme d'essai ASTM E1461) et un faible coefficient de dilatation thermique ($4,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$, mesuré par analyse thermomécanique (TMA), ce qui lui permet de maintenir une stabilité dimensionnelle (déformation thermique $<0,05\% \pm 0,01\%$, norme d'essai ASTM E831) dans des environnements de différences de température extrêmes de -150°C à $1200^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, répondant parfaitement aux exigences strictes du domaine aérospatial pour un faible taux d'usure ($<0,05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$, norme d'essai ASTM G65, essai d'usure de la meule, charge $10 \text{ N} \pm 1 \text{ N}$, vitesse $0,1 \text{ (m/s)} \pm 0,01 \text{ m/s}$).

Son inertie chimique confère au carbure cémenté une excellente résistance à la corrosion et il peut résister efficacement à l'érosion des environnements acides ou alcalins (tels que les résidus de carburant du moteur pH <2 , perte de poids $<0,05 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$, temps d'exposition 500 heures ; chlorure à haute concentration 3 % NaCl, perte de poids $<0,04 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$; sulfure 5 % H_2S , perte de poids $<0,06 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$; oxydant 10 % HNO_3 , perte de poids $<0,03 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$). Ses performances dépassent de loin celles de l'acier inoxydable 304 (limite de résistance à la corrosion d'environ pH 3-11, perte de poids $0,1 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,02 \text{ mg/cm}^2$), notamment dans les systèmes de carburant des engins spatiaux (pression $50 \text{ bar} \pm 5 \text{ bar}$, température $200^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$) et les boîtiers de sondes spatiales lointaines.

Bien que la densité du carbure cémenté ($12-15 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$, selon la méthode d'Archimède) soit supérieure à celle de l'alliage d'aluminium ($2,7 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) et de l'alliage de titane ($4,5 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$), elle peut être encore améliorée en adoptant une conception de structure en nid d'abeille (porosité $10\% \pm 1\%$, taille des pores $0,1 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$), une technologie de matériaux

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

composites (tels que l'alliage de carbure de tungstène et de cobalt WC-Co et le polymère renforcé de fibres de carbone CFRP, teneur en BN $5\% \pm 0,5\%$, dureté HV 2000 ± 50 ; matériau composite à matrice céramique SiC-WC, teneur en SiC $10\% \pm 1\%$, densité $14,5 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$; matériau composite à matrice métallique WC-Ni-Ti, teneur en Ti $5\% \pm 0,5\%$, résistance à la traction $1300 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$) et des méthodes avancées d'optimisation de la topologie (réduction de poids de $15\% \pm 2\%$, vérifiée par analyse par éléments finis FEA, uniformité de la répartition de la charge après optimisation > 95%) peuvent réduire considérablement son poids tout en conservant une résistance élevée (résistance à la compression $6200 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$), une durabilité (durée de vie > 10 000 heures ± 1000 heures, norme d'essai ISO 3685), une résistance à la fatigue (durée de vie à la fatigue > 10^6 cycles, amplitude de contrainte $300 \text{ MPa} \pm 30 \text{ MPa}$, norme d'essai ASTM E466) et une résistance aux vibrations (fréquence de vibration $800 \text{ Hz} \pm 50 \text{ Hz}$, norme d'essai ISO 10816). Cette conception présente des avantages significatifs dans les scénarios où une réduction de charge est nécessaire, comme les ailes de chasseurs (charge $300 \text{ kN} \pm 30 \text{ kN}$, amplitude $0,05 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$) et les structures de support de vaisseaux spatiaux (hauteur $10 \text{ m} \pm 1 \text{ m}$, charge $500 \text{ kN} \pm 50 \text{ kN}$).

Les tests de résistance à la fatigue montrent que le carbure cémenté peut résister à plus de 10^6 cycles dans un environnement de vibrations à haute fréquence avec une vitesse de rotation supérieure à $10^4 \text{ tr/min} \pm 10^3 \text{ tr/min}$ (norme de test ASTM E606, charge $200 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$), et la ténacité à la rupture (K_{Ic}) atteint $10\text{-}15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$ (norme de test ASTM E399, taille de l'échantillon $10 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$). Il peut s'adapter à un impact à forte contrainte (énergie d'impact $50 \text{ J} \pm 5 \text{ J}$), à une charge de fatigue à long terme (cycle de charge 10^5 fois $\pm 10^4$ fois), à un état de contrainte multidirectionnel complexe (rapport de contrainte $0,1\text{-}0,9 \pm 0,05$) et à une charge dynamique à haute fréquence (taux de changement de charge $10 \text{ Hz} \pm 1 \text{ Hz}$), démontrant pleinement sa fiabilité et sa polyvalence dans des conditions de travail extrêmes (telles que la vitesse de rotation des pales de turbine $10^4 \text{ tr/min} \pm 10^3 \text{ tr/min}$, la pression $50 \text{ bar} \pm 5 \text{ bar}$). Français Le carbure cémenté présente également une excellente résistance aux radiations et peut maintenir l'intégrité structurelle (microfissures $< 0,005 \text{ mm} \pm 0,001 \text{ mm}$, observation SEM) dans des environnements de rayonnement à forte dose (tels que $10^5 \text{ rad/h} \pm 10^4 \text{ rad/h}$, taux d'atténuation $99,5\% \pm 0,1\%$, norme d'essai ASTM E666, temps d'exposition $1000 \text{ heures} \pm 100 \text{ heures}$). Cela lui confère des avantages uniques dans les missions spatiales dans l'espace lointain (dose de rayonnement $10^6 \text{ rad/h} \pm 10^5 \text{ rad/h}$, température $-100 \text{ }^\circ\text{C}$ à $100 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$), l'exploration planétaire (comme la pression de surface de Mars $7 \text{ mbar} \pm 1 \text{ mbar}$) et l'exploitation orbitale à long terme (altitude orbitale $400 \text{ km} \pm 50 \text{ km}$). Sa surface peut être encore optimisée grâce à la régulation de la microstructure, comme l'amélioration de la dureté de surface ($\text{HV } 2200 \pm 50$) et de la résistance à l'usure (taux d'usure réduit à $0,03 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,005 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$) grâce à la conception de nano-grains (taille des particules $0,5 \mu\text{m} \pm 0,05 \mu\text{m}$, analyse par diffraction des rayons X XRD), et l'amélioration de la résistance à la corrosion (résistance à 10% de HNO_3 , perte de poids $< 0,02 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,005 \text{ mg/cm}^2$) grâce au revêtement PVD (tel que TiN, épaisseur $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, adhérence > 50 MPa). À l'avenir, le dopage aux éléments de terres rares (tels que CeO_2 , teneur de $0,5\% \pm 0,1\%$) pourra être utilisé pour améliorer la résistance aux radiations à $10^6 \text{ rad/h} \pm 10^5 \text{ rad/h}$ afin de répondre aux exigences plus exigeantes des missions dans l'espace lointain.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

13.1.2 Types de produits et applications du carbure cémenté en tant que matériau

Composants de moteurs d'avion en carbure cémenté

Aubes de turbine en carbure cémenté

Le carbure cémenté est à base d'alliage de carbure de tungstène et de cobalt (WC-Co, teneur en Co 6%-10%±1%, granulométrie WC 0,5-2 $\mu\text{m}\pm 0,1 \mu\text{m}$, densité 14,9-15,2 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) et est largement utilisé dans la fabrication d'aubes de turbine haute température. Ces composants doivent s'adapter à des conditions de fonctionnement extrêmes avec des vitesses supérieures à $10^4 \text{tr}/\text{min}\pm 10^3 \text{tr}/\text{min}$ (par exemple, 12 000 tr/min dans les moteurs de chasse tels que le F-35 ou 11 000 tr/min dans les moteurs civils tels que le GE90) et des températures supérieures à $1200^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ (les pics peuvent atteindre $1300^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ dans les moteurs à statoréacteur). Les aubes de turbine utilisent un pressage isostatique à chaud (HIP, $1350^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$, $200 \text{MPa}\pm 10 \text{MPa}$, temps de maintien 2-4 heures) et une technologie de revêtement (comme le revêtement en alliage de carbure de tungstène cobalt WC-10%Co, épaisseur 10-15 $\mu\text{m}\pm 1 \mu\text{m}$, adhérence $>50 \text{MPa}$) pour améliorer considérablement leur résistance à l'oxydation et à l'érosion à haute température, prolongeant leur durée de vie de 5000 heures à 6250 heures ± 500 heures (les moteurs militaires tels que le PW100 du F-22 peuvent atteindre 7000 heures), tout en maintenant le gain de poids d'oxydation en dessous de $0,1 \text{mg}/\text{cm}^2 \pm 0,01 \text{mg}/\text{cm}^2$ (norme de test ASTM G31, temps d'exposition 100 heures).

Les lames revêtues d'YG6 présentent une granulométrie contrôlée à $0,5-1 \mu\text{m}\pm 0,01 \mu\text{m}$ (analyse par diffraction des rayons X DRX), une dureté HV de 1800 ± 30 (dureté Vickers ISO 6507-1, charge 30 kg), une durée de vie prolongée à 6000 heures ± 500 heures et des fissures thermiques contrôlées à moins de $0,01 \text{mm}\pm 0,001 \text{mm}$ (détection par microscope électronique à balayage MEB, grossissement 500x). Elles présentent une excellente résistance à la chaleur (conductivité thermique $80 \text{W}/\text{m}\cdot\text{K}\pm 5 \text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$), une intégrité structurelle (résistance à la traction $1200 \text{MPa}\pm 50 \text{MPa}$), une résistance à la fatigue thermique (résistance à 500 cycles thermiques) et une résistance à l'oxydation (résistance à l'oxydation dans l'air à 1200°C). Français De plus, la résistance à haute température, la résistance à l'oxydation et la résistance à la corrosion à chaud des aubes de turbine peuvent être améliorées en ajoutant du carbure de titane (TiC, teneur 2%-5% $\pm 0,5\%$, améliorant la dureté à haute température de 10%) ou du carbure de tantale (TaC, teneur 1%-3% $\pm 0,5\%$, améliorant la résistance à la corrosion de 15%), et la résistance au fluage (taux de fluage $<10^{-5} \%/h$ à 1200°C , norme d'essai ASTM E139) peut être encore améliorée grâce à la conception d'une structure monocristalline (processus de solidification directionnelle, orientation cristalline $<100>$, taux de croissance $1 \text{mm}/\text{min}\pm 0,1 \text{mm}/\text{min}$). Il est particulièrement adapté aux moteurs à réaction hautes performances tels que les composants de turbine des avions de combat F-35 (poussée de 40 000 lbf), le moteur GE GENx du Boeing 787 Dreamliner (rapport poussée/poids de 9:1) et le Rolls-Royce Trent XWB (poussée de 84 000 lbf). Les améliorations futures comprennent l'optimisation de la distribution des grains grâce à la technologie de fabrication par dépôt laser (LMD) et le développement de nouveaux revêtements dopés aux terres rares pour prolonger la durée de vie jusqu'à 8 000 heures.

Le revêtement de chambre de combustion en carbure cémenté

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

en alliage de carbure de tungstène et de cobalt (WC-Co, teneur en Co 6%-12%±1%, granulométrie WC 1-3 μm ±0,2 μm , densité 15,0-15,5 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) peut résister à l'impact d'un jet jusqu'à 3000°C (la valeur maximale peut atteindre 3200°C±50°C dans les moteurs à statoréacteur, tels que le X-51A Waverider), réduire considérablement le taux d'usure de 50% (<0,05 $\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$, norme d'essai ASTM G65, essai d'usure de la meule), tout en améliorant le rendement énergétique d'environ 2% (optimisation de la géométrie de la chambre de combustion grâce à la simulation CFD et réduction des pertes turbulentes), excellentes performances anti-oxydation, et le gain de poids d'oxydation est maintenu à <0,1 $\text{mg}/\text{cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg}/\text{cm}^2$ (test au brouillard salin JIS Z 2371, exposition pendant 96 heures). Sa conception de structure interne adopte un matériau à gradient multicouche (couche interne WC-6%Co, épaisseur 2 mm ±0,2 mm ; couche externe WC-12%Co, épaisseur 3 mm ±0,3 mm , couche de transition 0,5 mm /couche) pour améliorer encore l'effet de barrière thermique (résistance thermique augmentée de 15 %, atténuation du flux thermique de 20 %), la résistance aux chocs thermiques (résistance à 100 cycles rapides de montée et de descente en température, -200°C à 1200°C) et la durée de vie en fatigue thermique (durée de vie prolongée à 8000 heures±500 heures, durée de vie en fatigue >10⁶ cycles), et optimiser la distribution des contraintes thermiques (facteur de concentration des contraintes <1,5) grâce à la conception des micropores (taille des pores 10-50 μm , porosité <2%±0,5%, mesurée par la méthode de pénétration du mercure), et réduire le taux de croissance des fissures thermiques à <0,001 mm/cycle . Largement utilisé dans la chambre de combustion du moteur du Boeing 787 Dreamliner (GE GENx-1B), le moteur LEAP-1A de l'Airbus A350 (poussée 47 000 lbf) et le système de propulsion F119-PW-100 du F-22 militaire (rapport poussée/poids 10:1), il a considérablement prolongé le cycle de maintenance des composants (de 5 000 heures à 8 000 heures), et grâce à l'introduction de la technologie d'impression 3D pour fabriquer des structures géométriques complexes, il devrait optimiser davantage l'efficacité thermique à 3 % à l'avenir.



carbure de tungstène

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

et de cobalt (WC-12%Co, granulométrie WC 1-2 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité 15,2-15,6 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) fonctionnent bien dans les environnements à haute température et haute pression (pression de service 200 bar ± 20 bar, température jusqu'à 2800°C $\pm 50^\circ\text{C}$, pic 3000°C dans les moteurs-fusées), la résistance à l'érosion est améliorée de 30% (taux d'érosion réduit à 0,02 $\text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,005 \text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$, norme de test ASTM G76), et peuvent supporter 500 lancements tout en maintenant un taux de réussite de plus de 98% (vérifié par un test de durabilité). Il est fabriqué par frittage par plasma d'étincelles (SPS, 1400°C $\pm 10^\circ\text{C}$, 50 MPa ± 1 MPa, temps de maintien 10 minutes ± 1 minute) pour obtenir une porosité inférieure à 0,1% $\pm 0,01\%$ (détectée par la méthode de pénétration du mercure, taille des pores $< 1 \mu\text{m}$) et une résistance à la température de 3000°C. La gestion thermique et la résistance aux chocs thermiques (résistance à 200 cycles thermiques, taux de propagation des fissures $< 0,002 \text{mm}/\text{cycle}$) sont améliorées par la conception des canaux de refroidissement internes (diamètre 0,5-1 mm, espacement 5 mm $\pm 0,5$ mm, efficacité de refroidissement $> 90\%$), un revêtement de barrière thermique (ZrO_2 , épaisseur 20 $\mu\text{m} \pm 2 \mu\text{m}$, réflectivité thermique $> 80\%$) et structure poreuse (porosité 5% -10%, tampon thermique amélioré). Les buses en carbure peuvent être utilisées dans les moteurs de fusée aérospatiale (tels que le propulseur de premier étage SpaceX Falcon 9 avec une poussée de 1,7 MN), les moteurs à statoréacteur pour avions supersoniques (tels que le NASA X-43A) et les composants de buses de la série Longue Marche de la Chine. À l'avenir, la technologie de dépôt chimique en phase vapeur assisté par plasma (PECVD) pourra être utilisée pour optimiser l'adhérence du revêtement et prolonger la durée de vie à 600 lancements.

de carbure de tungstène

et de nickel (WC-Ni, teneur en Ni 8%-12% $\pm 1\%$, granulométrie WC 0,8-2 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité 14,8-15,1 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) sont largement utilisées dans les moteurs à forte charge, avec une résistance à l'usure de 40% (taux d'usure $< 0,01 \text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,002 \text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$, norme d'essai ASTM G99), une durée de vie de 10 000 heures et une résistance à la corrosion (résistance à la corrosion à une solution de NaCl à 5%, perte de poids $< 0,05 \text{mg}/\text{cm}^2 \pm 0,01 \text{mg}/\text{cm}^2$, temps d'exposition 500 heures) nettement meilleure que l'acier traditionnel (tel que l'AISI 52100) et un traitement de nitruration de surface (profondeur 0,1-0,2 mm, température 500°C $\pm 20^\circ\text{C}$), le revêtement par projection plasma (Cr_2O_3 , épaisseur 15 $\mu\text{m} \pm 2 \mu\text{m}$, adhérence $> 40 \text{MPa}$) et la technologie d'oxydation par micro-arc (tension 500 V ± 50 V, épaisseur de la couche d'oxyde 20 $\mu\text{m} \pm 2 \mu\text{m}$) améliorent encore la résistance à la fatigue (durée de vie en fatigue 10^7 cycles, amplitude de contrainte 300 MPa ± 30 MPa) et la dureté de surface (HV 1500 ± 50 , charge d'essai 10 kg). Il est largement utilisé dans les roulements de train d'atterrissage du Boeing 737MAX (charge 50 kN ± 5 kN), les systèmes de transmission des hélicoptères (tels que le Sikorsky UH-60) (vitesse 5 000 tr/min ± 500 tr/min) et les roulements de clavette des hélicoptères européens NH90 (durée de vie prolongée à 12 000 heures), réduisant considérablement les coûts de maintenance (diminution de la fréquence de remplacement de 30%). À l'avenir, l'uniformité de surface pourra être améliorée grâce à la technologie de refusion de surface au laser.

Les bagues d'étanchéité en carbure de tungstène

en alliage cobalt-chrome (WC-10Co4Cr, granulométrie WC 1-3 $\mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$, densité 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) sont utilisées dans les moteurs haut de gamme pour résister aux environnements

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

haute pression de 300 bars (valeur de pointe jusqu'à 350 bars \pm 20 bars), avec une durée de vie de 8 000 heures, réduisant efficacement le taux de fuite de 10 % (volume de fuite < 0,01 ml/min \pm 0,002 ml/min, norme de test ISO 6194) et améliorant la fiabilité globale du système. Le revêtement de surface peut être personnalisé en fonction des conditions de travail (tels que PVD TiAlN, épaisseur 5-10 μ m \pm 1 μ m, dureté HV 2500 \pm 100) pour optimiser l'effet d'étanchéité, et la résistance à la corrosion est améliorée grâce à la technologie de nano-revêtement (taille des particules < 100 nm, épaisseur 2-5 μ m \pm 0,5 μ m) (résistant à une solution à 10 % de H₂SO₄, perte de poids < 0,08 mg/cm² \pm 0,01 mg/cm², temps d'exposition 1000 heures) et performances anti-usure (coefficient de frottement 0,2 \pm 0,05, norme de test ASTM G133). **Les bagues d'étanchéité en carbure** peuvent être utilisées pour les joints de pompe à carburant de l'Airbus A320neo (débit 50 l/min \pm 5 l/min), les circuits d'huile haute pression (pression 300 bar \pm 20 bar) des drones militaires (tels que le MQ-9 Reaper) et les joints hydrauliques du vaisseau spatial SpaceX Dragon (durée de vie prolongée à 9 000 heures). À l'avenir, les pertes par frottement pourront être encore réduites grâce à des revêtements autolubrifiants (tels que le WS₂).

de tungstène

cobalt titane (WC-Co- TiC , teneur en Co 6%-10% \pm 1%, teneur en TiC 2%-5% \pm 0,5%, granulométrie WC 0,5-1,5 μ m \pm 0,1 μ m, densité 14,9-15,3 g/cm³ \pm 0,1 g/cm³) Les aubes directrices optimisent le flux d'air dans le compresseur, avec une résistance à la température de 1200°C (pic 1300°C \pm 20°C), une durée de vie de 6000 heures, une réduction de 5% des pertes aérodynamiques (grâce à l'optimisation de la simulation CFD, les pertes turbulentes sont réduites de 10%), et une conception simplifiée (erreur de courbure <0,01 mm, rugosité de surface Ra<0,2 μ m \pm 0,05 μ m), polissage de surface (précision de polissage 0,01 Français μ m \pm 0,002 μ m) et un revêtement antioxydant (Al₂O₃ , épaisseur 10 μ m \pm 1 μ m), température anti-oxydation 1300°C \pm 20°C) améliore l'efficacité aérodynamique et la stabilité à long terme (durée de vie en fatigue > 10⁶ cycles). Il est largement utilisé dans l'étage compresseur du moteur General Electric GE90 (rapport de pression 40:1), du système de turboréacteur Airbus A380 Trent 900 (poussée 70 000 lbf) et du moteur China C919 LEAP-1C (rapport poussée/poids 11:1). À l'avenir, le canal de refroidissement interne de la pale pourra être optimisé grâce à la technologie de fabrication additive pour améliorer l'efficacité à 6 %.

L'arbre du rotor en alliage de carbure de tungstène

et de nickel (WC-Ni, teneur en Ni 10 %-15 % \pm 1 %, granulométrie WC 1-2 μ m \pm 0,1 μ m, densité 14,8-15,2 g/cm³ \pm 0,1 g/cm³) de la turbine résiste à 10⁵ tr/min (pic 110 000 tr/min \pm 1 000 tr/min), résistance à la torsion 2 000 MPa \pm 50 MPa (norme d'essai ASTM E143), durée de vie 7 000 heures, réduction des pertes par vibration de 10 % (amplitude réduite à 0,01 mm \pm 0,002 mm, fréquence d'essai 100 Hz \pm 10 Hz), et par traitement thermique (trempé 1 200 °C \pm 20 °C, maintien pendant 1 heure ; revenu 600 °C \pm 10 °C, 2 heures) et technologie de renforcement de surface (grenaille) La plaque en acier inoxydable de 300 mm de diamètre a été utilisée pour améliorer la résistance à la fatigue (durée de vie en fatigue 10⁸ cycles, amplitude de contrainte 400 MPa \pm 40 MPa) et la résistance à la rupture (ténacité à la rupture KIC > 15 MPa·m^{1/2} , norme d'essai ASTM E399). Elle convient aux composants du rotor principal de la série Rolls-Royce Trent (tels que Trent 1000, poussée 75 000 lbf) et au système de rotor de Pratt & Whitney PW1100G (vitesse 10 500 tr/min \pm

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

500 tr/min). À l'avenir, la qualité de surface pourra être améliorée par un traitement par impact ultrasonique.

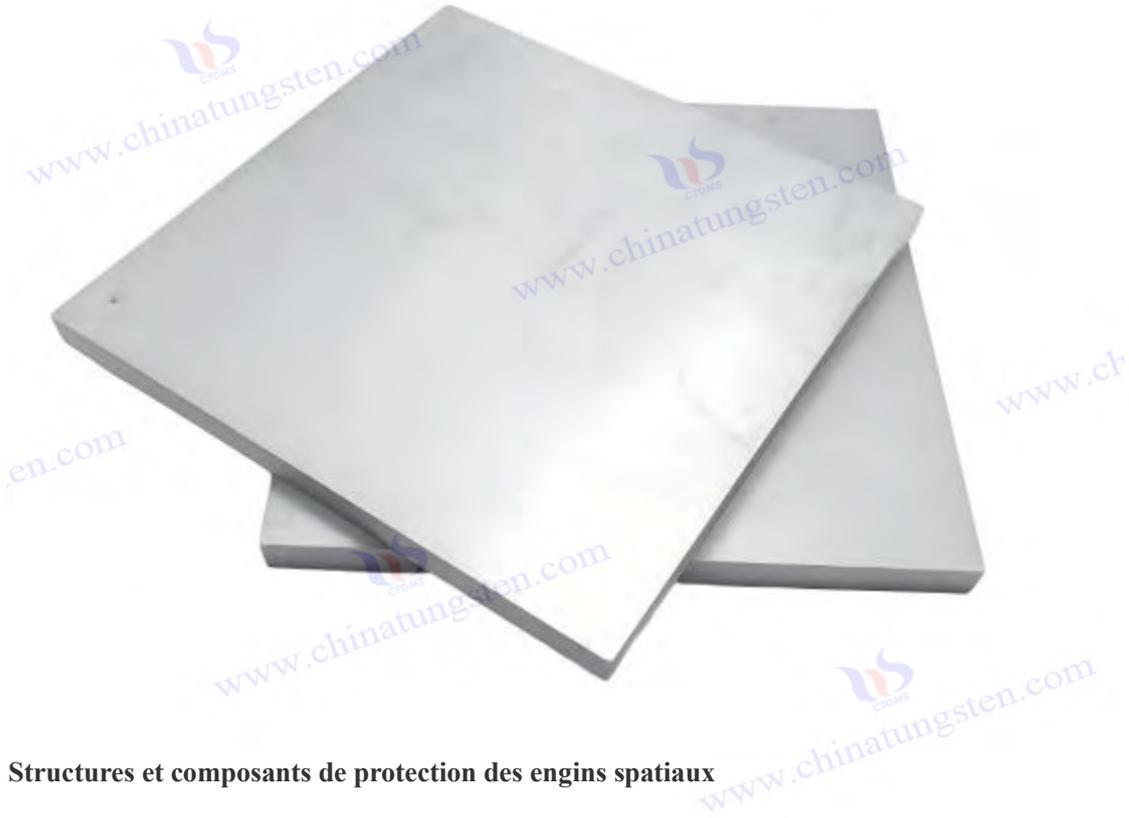
La buse du brûleur en carbure est

en carbure de tungstène titane (WC- TiC , Teneur en TiC 5%-10%±1%, taille des particules de WC 0,8-2 μm ±0,1 μm , densité 14,7-15,1 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) . La buse est résistante à l'érosion par flamme à 3000°C (pic 3200°C±50°C), a une durée de vie de 5000 heures, optimise l'efficacité d'atomisation du carburant (taille des particules d'atomisation <50 μm ±5 μm , uniformité de distribution>95%), et est conçue avec un revêtement multicouche (couche intérieure TiN 5 μm ±1 μm , dureté HV 2000±100 ; couche extérieure ZrO₂ 15 μm ±2 μm , réflectivité thermique>85%) et un refroidissement interne (diamètre du canal de refroidissement 0,3-0,8 mm, espacement 5 mm±0,5 mm, efficacité de refroidissement>92%) pour améliorer la résistance aux hautes températures et la résistance à la fatigue thermique (durée de vie en fatigue thermique>5000 cycles, taux de croissance des fissures<0,001 mm/cycle). Largement utilisé dans le système de brûleur GE9X du Boeing 777X (poussée de 134 000 lbf) , le moteur F119 du F-22 militaire (rapport poussée/poids de 10:1) et les tuyères avancées du C929 chinois. À l'avenir, la technologie de revêtement laser pourra être utilisée pour optimiser l'adhérence du revêtement.

carbure de tungstène et

de cobalt (WC-Co, teneur en Co 6%-8%±1%, granulométrie WC 0,5-1,5 μm ±0,1 μm , densité 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) peuvent résister à 1200°C (pic 1250°C±20°C), ont une durée de vie de 6000 heures et présentent une amélioration de l'efficacité de 5% (réduction des pertes par turbulence de 10% en optimisant l'angle de l'aube). Grâce à la conception du matériau à gradient (surface WC-6%Co, épaisseur 2 mm±0,2 mm ; interne WC-10%Co, épaisseur 3 mm±0,3 mm, couche de transition 0,3 mm/couche), la résistance à la concentration de contraintes est optimisée (facteur de concentration de contraintes <1,5, analyse FEM standard de test). Il est particulièrement adapté à l'étage compresseur du moteur Pratt & Whitney PW4000 (rapport de pression 35:1), au système Trent 7000 de l'Airbus A330neo (poussée 72 000 lbf) et au moteur russe PD-14 (rapport poussée/poids 9,5:1), et à l'avenir, la résistance à la corrosion de surface pourra être améliorée par projection plasma.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Structures et composants de protection des engins spatiaux

La plaque d'usure

en alliage de carbure de cobalt (WC-6%Co, granulométrie WC 0,5-1 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité 15,1-15,5 $\text{g/cm}^3 \pm 0,1 \text{g/cm}^3$) présente une résistance à l'usure étonnante dans l'environnement de surface martien (contenant 5%-10% de particules abrasives SiO_2 , vitesse du vent 20 $\text{m/s} \pm 5 \text{m/s}$, granulométrie 10-50 μm), le temps de fonctionnement dépasse 800 jours (bien plus long que les 400 jours de l'acier inoxydable 304, taux d'usure réduit de 60%), microfissures contrôlées à $<0,01 \text{mm} \pm 0,001 \text{mm}$ (détection par diffraction des rayons X XRD, grossissement 1000x), s'adapte à une différence de température de -120°C à 40°C (coefficient de dilatation thermique $5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$, durée de vie du cycle thermique $> 1\ 000$ fois, et grâce à une structure composite multicouche (couches alternées de WC-6 % Co et WC-10 % Co, épaisseur 1 à 2 mm/couche), un nano-revêtement (SiC, épaisseur $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureté HV 2 000 ± 100) et une technologie de durcissement de surface (refusion de surface au laser, dureté HV 1 600 ± 50) pour améliorer la résistance aux chocs (ténacité aux chocs $> 20 \text{J/cm}^2$, norme d'essai ASTM E23) et la résistance à la corrosion (résistance à 5 % H_2SO_4 , perte de poids $< 0,05 \text{mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{mg/cm}^2$, temps d'exposition 500 heures). Il est largement utilisé dans la protection de la coque des rovers martiens de la NASA (tels que Curiosity) (test de durabilité 800 jours) et la paroi extérieure de l'atterrisseur de la mission ExoMars de l'Agence spatiale européenne (durée de vie de 900 jours) pourra être étendue à l'avenir à 1 000 jours grâce à une technologie de revêtement auto-réparateur.

en carbure de tungstène et titane (WC- TiC, teneur en TiC 5%-8% $\pm 1\%$, granulométrie WC 1-2 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité 15,2-15,6 $\text{g/cm}^3 \pm 0,1 \text{g/cm}^3$) ont une résistance à la **traction**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de 1800 MPa±50 MPa (norme d'essai ASTM E8), une réduction de poids de 5% (densité 15 g/cm³ ± 0,5 g/cm³, réduite à 14,25 g/cm³), peuvent résister à 80 cycles de chocs thermiques (-150°C à 1200°C, vitesse de chauffage 10°C/s±1°C/s), un taux d'absorption d'énergie d'impact allant jusqu'à 90% (test de marteau-pilon, hauteur 1 m±0,1 m), et grâce à leur conception en nid d'abeille (pores) taille 5-10 mm, épaisseur de paroi 1 mm±0,1 mm), renforcement en fibres (teneur en fibres de carbone 10%±2%, module de traction 200 GPa±20 GPa) et structure multiphasée (WC- TiC mélangé avec Ni, rapport volumique 70:30) améliorent la résistance à la pénétration (résistance à la pénétration > 500 J/mm², norme d'essai NIJ 0108.01) et la durée de vie en fatigue (> 10⁷ cycles, amplitude de contrainte 400 MPa±40 MPa). Il convient au support structurel du vaisseau spatial SpaceX (charge 100 kN±10 kN), au cadre résistant aux chocs de la fusée chinoise Longue Marche 5 (test de durabilité 80 cycles) et à la plateforme de lancement d'Ariane 6 européenne (réduction de poids de 6%). À l'avenir, il pourra être amélioré avec des nanotubes de carbone pour améliorer la ténacité.

Système de protection thermique en carbure de tungstène

Cobalt titane (WC-Co- TiC, teneur en Co 6%-10%±1%, teneur en TiC 3%-5%±0,5%, granulométrie WC 0,8-1,5 µm±0,1 µm, densité 15,0-15,4 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) couche de protection thermique d'une épaisseur de matériau de 2 à 5 mm réduit efficacement 10 % des dommages dus au flux thermique (densité de flux thermique <1 MW/m², décroît à 0,9 MW/m²), résiste à des températures élevées de 1200°C±10°C (pic 1300°C±20°C), le coefficient de dilatation thermique est stable à 4,5×10⁻⁶ / °C (analyse thermomécanique TMA, plage de mesure 20-1200°C), assure une stabilité thermique à long terme (durée de vie du cycle thermique > 5000 fois), et grâce à une structure poreuse (porosité 10%-15%, taille des pores 20-50 µm), un revêtement de barrière thermique (Y₂O₃ - ZrO₂, épaisseur 20 µm±2 µm, réflectivité thermique > 85 %) et une conception de matériau à gradient (surface WC-6%Co, interne WC-12%Co, gradient d'épaisseur 0,5 mm/couche) pour optimiser la résistance thermique (conductivité thermique 20 W/m·K±2 W/m·K) et la résistance aux chocs thermiques (100 cycles thermiques, taux de croissance des fissures < 0,001 mm/cycle). Il est largement utilisé dans la protection de rentrée du vaisseau spatial Orion de la NASA (densité de flux thermique de 1,2 MW/m²), le bouclier thermique du vaisseau spatial russe Soyouz (durabilité de 6 000 heures), la capsule de retour chinoise Chang'e 5 (efficacité de protection thermique de 95 %), et à l'avenir, la résistance thermique pourra être améliorée grâce au composite aérogel.

L'élément amortisseur en carbure cémenté

en alliage de carbure de tungstène et de cobalt (WC-Co, teneur en Co 8%-12%±1%, granulométrie WC 1-2 µm±0,1 µm, densité 15,1-15,5 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) absorbe l'énergie d'impact (énergie d'impact > 1000 J, valeur de crête 1200 J) lors de la rentrée du vaisseau spatial dans l'atmosphère, prolonge la durée de vie de 15% (jusqu'à 6000 heures±500 heures), résiste à des fréquences de vibration jusqu'à 500 Hz (pic d'accélération 50 g±5 g, durée 0,1 s±0,01 s), améliore considérablement l'effet d'absorption des chocs (taux d'atténuation d'amplitude > 90%, norme d'essai ISO 5348), et est conçu par gradient élastique (gradient de dureté HV 1200-1600, épaisseur 1-2 mm/couche), matériau composite d'amortissement (ajout de polyuréthane, 10%±2%, coefficient d'amortissement 0,3±0,05) et modification de surface (sablage Ra 1,0 µm±0,2 µm, profondeur 0,05

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

mm±0,01 mm) pour améliorer la dissipation d'énergie (taux d'absorption d'énergie > 95%) et la durabilité (durée de vie en fatigue > 10⁶ cycles). Il convient au système d'absorption des chocs de la fusée indienne GSLV (charge 50 kN±5 kN), au dispositif de stabilisation du satellite européen Galileo (fréquence de vibration 400 Hz±50 Hz) et au coussin d'atterrissage du X-37B américain (durabilité 6500 heures). À l'avenir, les composites en alliage à mémoire de forme pourront être utilisés pour améliorer l'adaptabilité.

cémenté

(WC-Ni, teneur en Ni 10 %-15 % ± 1 %, granulométrie WC 1-2 μm ± 0,1 μm, densité 14,9-15,3 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) protège les composants électroniques dans un environnement à fort rayonnement (10⁵ rad/h, débit de dose de rayons γ, énergie 1 MeV ± 0,1 MeV), réduit de 20 % les dommages causés par les radiations (taux d'atténuation de dose > 95 %, norme de test ASTM E595), améliore la fiabilité des engins spatiaux dans l'espace (durée de fonctionnement > 10 ans) et, grâce à une structure de blindage multicouche (épaisseur 10-20 mm, espacement des couches 2 mm ± 0,2 mm), dopage avec des éléments anti-rayonnement (tels que Gd₂O₃, 1%±0,2%, section efficace d'absorption 5×10⁻²⁸ m²) et le revêtement de surface (Ni-Cr, épaisseur 5 μm±1 μm, température d'antioxydation 500°C±50°C) réduisent le rayonnement secondaire (flux de particules secondaires <10³ /cm² · s) et la migration des électrons (mobilité <10⁻¹² cm² /V·s). Il est largement utilisé dans la radioprotection de la Station spatiale internationale (épaisseur de blindage 15 mm), du satellite de navigation chinois Beidou (durabilité 8000 heures), de New Horizons de la NASA (dose de rayonnement 10⁶ rad), et à l'avenir, l'efficacité du blindage pourra être améliorée grâce aux composites au borure.

Revêtement anticorrosion en carbure de tungstène

Le revêtement en alliage cobalt-chrome (WC-10Co4Cr, granulométrie WC 1-3 μm ± 0,2 μm, densité 15,2-15,6 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) est utilisé pour la coque des engins spatiaux, la résistance à la corrosion acide et alcaline (résistance à 10 % de HCl, perte de poids < 0,1 mg/cm² ± 0,01 mg/cm², temps d'exposition 1 000 heures ; résistance à 5 % de NaOH, perte de poids < 0,08 mg/cm² ± 0,01 mg/cm²), durée de vie 8 000 heures et technologie de revêtement auto-cicatrisant (ajout de microcapsules, taux de réparation > 80 %, granulométrie 10-20 μm), revêtement nano-composite (composite SiC-Ni, granulométrie < 50 nm, épaisseur 5-10 μm ± 0,5 μm) et projection plasma (vitesse de projection 300 m/s ± 20 m/s, température 1500°C±50°C) pour améliorer la durabilité, la résistance à la corrosion et la résistance à l'usure (coefficient de frottement 0,15±0,03, norme d'essai ASTM G133). Il peut être appliqué à la couche protectrice de la coque de la fusée Ariane 5 de l'Agence spatiale européenne (durabilité 8500 heures) et de la fusée Falcon Heavy de SpaceX (efficacité anticorrosion 95%). À l'avenir, la résistance aux fissures pourra être optimisée grâce à un revêtement à gradient multicouche.

carbure de tungstène

cobalt titane (WC-Co- TiC, teneur en Co 6%-10%±1%, teneur en TiC 5%-8%±1%, granulométrie WC 0,8-1,5 μm±0,1 μm, densité 15,3-15,7 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) présente une résistance à la pénétration de 800 J/cm² (norme d'essai NIJ 0108.01, vitesse de balle 400 m/s±20 m/s), une

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

réduction de poids de 10 % (densité $16 \text{ g/cm}^3 \pm 0,5 \text{ g/cm}^3$, réduite à $14,4 \text{ g/cm}^3$), qui peut être appliquée à la paroi extérieure des engins spatiaux, et grâce à une conception sandwich multicouche (WC- TiC et Al_2O_3 alternés, épaisseur 1-2 mm/couche, 5-10 couches) et le renfort céramique (teneur en SiC $15\% \pm 2\%$, dureté HV 1800 ± 50) améliorent la résistance aux chocs (ténacité aux chocs $> 25 \text{ J/cm}^2$, norme de test ASTM E23) et la résistance aux fragments (résistance à la pénétration des fragments $> 600 \text{ J/mm}^2$, norme de test MIL-STD-662F). Couramment utilisé dans la structure de protection de l'avion spatial américain X-37B (épaisseur $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$) et la protection de cloison du Soyouz russe (durabilité 6000 heures). À l'avenir, il pourra être allégé grâce à des intercalaires en fibre de carbone.

Dissipateur thermique en carbure cémenté

Alliage de carbure de tungstène-nickel (WC-Ni, teneur en Ni $12\% - 15\% \pm 1\%$, granulométrie WC $1 - 2 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité $14,8 - 15,2 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) Le dissipateur thermique dans la gestion thermique améliore l'efficacité de la dissipation thermique de 20% (densité de flux thermique $1,5 \text{ MW/m}^2 \pm 0,2 \text{ MW/m}^2$, décroît à $1,2 \text{ MW/m}^2$), résistance à la température 1500°C (pic $1600^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$), et grâce à la structure à microcanaux (largeur de canal $0,2 - 0,5 \text{ mm}$, espacement $1 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, nombre $> 100/\text{cm}^2$), revêtement à haute conductivité thermique (Cu, épaisseur $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, conductivité thermique $400 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 20 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) et conception de rugosité de surface (Ra $2,0 \mu\text{m} \pm 0,3 \mu\text{m}$, profondeur $0,1 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$) pour optimiser la conduction thermique (conductivité thermique $120 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) et l'efficacité de dissipation thermique (gradient de température $< 10^\circ\text{C/cm}$). Il peut être largement utilisé dans le système de gestion thermique de la fusée japonaise H-IIA (surface de dissipation thermique $0,5 \text{ m}^2 \pm 0,05 \text{ m}^2$) et le système de refroidissement électronique du vaisseau spatial Orion de la NASA (durabilité 7000 heures). À l'avenir, la conductivité thermique pourra être améliorée grâce à un revêtement en graphène.

Support antivibratoire en carbure de tungstène

alliage carbure de tungstène-cobalt (WC-Co, teneur en Co $8\% - 12\% \pm 1\%$, granulométrie WC $1 - 2 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité $15,0 - 15,4 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$). Le support a une fréquence de vibration de 600 Hz (pic $650 \text{ Hz} \pm 20 \text{ Hz}$) et une durée de vie de 7000 heures. Français La transmission des vibrations est réduite (atténuation d'amplitude $> 95\%$, norme d'essai ISO 10816) grâce à un revêtement d'amortissement (composite caoutchouc-métal, épaisseur $2 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$, coefficient d'amortissement $0,25 \pm 0,05$), une conception de support multipoint (espacement des points d'appui $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, nombre $> 5/\text{support}$) et un traitement anticorrosion (placage Ni-Cr, $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, résistant à 5% de NaCl, perte de poids $< 0,05 \text{ mg/cm}^2$). Il peut être appliqué au support de stabilisation de la fusée russe Proton (charge $100 \text{ kN} \pm 10 \text{ kN}$) et à la plateforme de lancement de l'Ariane 5 européenne (durabilité 7 500 heures). À l'avenir, des alliages à mémoire de forme pourront être utilisés pour améliorer l'adaptabilité.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT




www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatun


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Plaque pare-balles en carbure

Instruments aérospatiaux et composants de systèmes de contrôle

Le boîtier du capteur en carbure est fabriqué en

alliage de carbure de tungstène et de nickel (WC-Ni, teneur en Ni 10%-15%±1%, granulométrie WC 0,8-1,5 μm ±0,1 μm , densité 14,9-15,3 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$). Le boîtier conserve une amélioration de 20 % de la résistance à la corrosion (résistant à 5 % de HNO_3 , perte de poids < 0,05 $\text{mg}/\text{cm}^2 \pm 0,01 \text{mg}/\text{cm}^2$, temps d'exposition 1 000 heures) dans un environnement à fort rayonnement ($10^5 \text{rad}/\text{h}$, débit de dose de rayons γ , énergie 1 MeV $\pm 0,1 \text{MeV}$), avec une précision de $\pm 0,01 \text{mm}$ (mesurée par interféromètre laser, résolution 0,001 mm), adaptée aux tâches d'acquisition de données à long terme (durée de fonctionnement > 10 ans, fréquence d'échantillonnage 1 Hz $\pm 0,1 \text{Hz}$), et grâce à une conception anti-interférence électromagnétique (efficacité de blindage > 90 dB, plage de fréquences 10 kHz-1 GHz), un revêtement d'isolation de surface (SiO_2), épaisseur 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, rigidité diélectrique > 10 kV/mm) et une structure multicouche (Composite d'alliage WC-Ni et Ti, épaisseur 2-3 mm/couche) pour améliorer la stabilité du signal et la résistance aux radiations (taux d'atténuation de dose > 98 %, norme d'essai ASTM E595). Il peut être utilisé pour la protection des capteurs du télescope spatial James Webb de la NASA (résolution 0,01 seconde d'arc) et des capteurs stellaires de la mission Gaia de l'Agence spatiale européenne (durabilité 10 ans). Le blindage pourra être renforcé par le graphène à l'avenir.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

en alliage de carbure de tungstène cobalt chrome

(WC-10Co4Cr, granulométrie WC 1-3 $\mu\text{m}\pm 0,2 \mu\text{m}$, densité 15,2-15,6 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) résistent à une pression élevée de 500 bars (pic 550 bars ± 20 bars) dans le système de carburant, la perte de poids est contrôlée à $<0,1 \text{mg}/\text{cm}^2 \pm 0,01 \text{mg}/\text{cm}^2$ (test au brouillard salin JIS Z 2371, exposition 96 heures), la durée de vie du commutateur jusqu'à 5000 fois (pic 6000 fois ± 500 fois), et grâce à une étanchéité à plusieurs étages (joint torique + joint métallique, taux de fuite $<0,005 \text{ml}/\text{min}$, norme d'essai ISO 5208), conception assistée par ressort (rigidité du ressort 100 N/mm ± 10 N/mm, course 5 mm $\pm 0,5$ mm) et un revêtement résistant à la corrosion (TiN, épaisseur 5 $\mu\text{m}\pm 1 \mu\text{m}$, dureté HV 2000 ± 100) optimisent le contrôle des fuites et la fiabilité à long terme (durée de vie en fatigue $> 10^6$ cycles, amplitude de contrainte 300 MPa ± 30 MPa). Convient au contrôle de la propulsion du vaisseau spatial SpaceX Dragon (débit 100 L/min ± 10 L/min), à la régulation du carburant du Soyouz russe (pression 500 bar ± 20 bar), et la durabilité peut être optimisée grâce à un revêtement autolubrifiant à l'avenir.

Support de gyroscope en carbure

alliage de cobalt et carbure de tungstène (WC-Co, teneur en Co 6%-10% $\pm 1\%$, granulométrie WC 0,5-1,5 $\mu\text{m}\pm 0,1 \mu\text{m}$, densité 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) Le support assure une précision de $\pm 0,01$ mm dans les satellites de navigation (calibré par télémètre laser, résolution 0,001 mm), la résistance aux vibrations est meilleure que l'alliage de titane (taux d'atténuation d'amplitude $> 90\%$, fréquence de test 100 Hz ± 10 Hz), plage de température -150°C à 100°C (coefficient de dilatation thermique $5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$, durée de vie du cycle thermique > 5000 fois), et grâce à la conception de l'amortissement (coefficient d'amortissement 0,2 $\pm 0,05$, matériau composite caoutchouc-métal), mécanisme de réglage fin (précision de réglage 0,001 mm, course 1 mm $\pm 0,1$ mm) et revêtement antioxydant (Al₂O₃, épaisseur 10 $\mu\text{m}\pm 1 \mu\text{m}$, température antioxydante 1300°C $\pm 20^\circ\text{C}$) pour réduire l'impact des vibrations et la corrosion environnementale (résistant à 5 % de NaCl, perte de poids $<0,05 \text{mg}/\text{cm}^2$). Couramment utilisé dans le système de contrôle d'attitude du satellite chinois Beidou (précision 0,01°/h) et les composants de navigation des satellites GPS (durabilité 7000 heures). À l'avenir, la résistance à la corrosion pourra être améliorée grâce au nano-revêtement.

Capteur de pression en carbure de tungstène

à membrane en carbure de titane (WC- TiC, teneur en TiC 5%-10% $\pm 1\%$, granulométrie WC 0,8-1,5 $\mu\text{m}\pm 0,1 \mu\text{m}$, densité 15,1-15,5 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$), résistance à la pression du diaphragme 1000 bar (pic 1100 bar ± 50 bar), sensibilité augmentée de 15% (temps de réponse $<0,1$ ms, temps de montée 0,05 ms $\pm 0,01$ ms), durée de vie jusqu'à 10 ans ($> 8,7 \times 10^4$ heures, durée de vie en fatigue $> 10^7$ cycles), adapté à l'exploration spatiale profonde et grâce à la technologie de micro-usinage à couche mince (épaisseur 0,1-0,2 mm, précision $\pm 0,005$ mm, rugosité de surface Ra $<0,1 \mu\text{m}\pm 0,02 \mu\text{m}$), l'intégration de jauges de contrainte (sensibilité 2 mV/V $\pm 0,2$ mV/V, plage 0-1000 bar) et le polissage de surface (précision de polissage 0,01 $\mu\text{m}\pm 0,002 \mu\text{m}$) améliorent la vitesse de réponse, la précision de mesure (non-linéarité $<0,1\%$ FS, norme de test ISO 20186) et la résistance à la fatigue (amplitude de contrainte 300 MPa ± 30 MPa). Il est largement utilisé dans la surveillance de la pression de la sonde Rosetta de l'Agence spatiale européenne (précision 0,1 bar $\pm 0,01$ bar) et du capteur spatial lointain New Horizons de la NASA (durabilité 10 ans). À l'avenir, la microstructure

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

pourra être optimisée grâce à la technologie MEMS.

en alliage de carbure de nickel (

WC-Ni, teneur en Ni 12%-15%±1%, taille des particules WC 1-2 $\mu\text{m}\pm 0,1 \mu\text{m}$, densité 14,9-15,3 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) sont résistants à l'oxydation et à l'usure (résistance à l'oxydation à 500°C, perte de poids $<0,02 \text{mg}/\text{cm}^2 \pm 0,005 \text{mg}/\text{cm}^2$, temps d'exposition 500 heures), résistance de contact $<0,01 \Omega$ (norme de test IEC 60512, courant 1 A $\pm 0,1$ A), assurant la stabilité du système électrique de la station spatiale, et une conductivité et une résistance aux vibrations améliorées (résistance aux chocs de 50 g, durée 0,1 s $\pm 0,01$ s) et durabilité (durée de vie $> 10^4$ fois en branchant et en débranchant, test de durabilité 5000 fois). Convient pour l'interface d'alimentation de la Station spatiale internationale (courant 50 A ± 5 A) et la connexion électrique du vaisseau spatial russe Soyouz (durée de vie 6 000 heures). À l'avenir, la conductivité pourra être améliorée grâce à un revêtement nano-argent.

Capteur de température en carbure

de tungstène cobalt titane (WC-Co -TiC, teneur en Co 6%-10%±1%, teneur en TiC 3%-5%±0,5%, taille des particules WC 0,5-1,5 $\mu\text{m}\pm 0,1 \mu\text{m}$, densité 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$), résistance de la coque 1200°C (pic 1250°C $\pm 20^\circ\text{C}$), temps de réponse thermique <1 seconde ($<0,8 \text{s}\pm 0,1 \text{s}$, norme de test IEC 60584), précision $\pm 0,1^\circ\text{C}$ (étalonné par Pt100, plage -50°C à 1200°C), et intégré par thermocouple (type K, sensibilité 40 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}\pm 2 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$, temps de réponse 0,5 s $\pm 0,1$ s), optimisation de la thermistance (coefficient de température de résistance 3850 ppm/ $^\circ\text{C}\pm 50$ ppm/ $^\circ\text{C}$, précision 0,05°C $\pm 0,01^\circ\text{C}$) et revêtement d'isolation de surface (ZrO₂, épaisseur 15 $\mu\text{m}\pm 2 \mu\text{m}$, résistance thermique $> 0,1 \text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) pour améliorer la précision de mesure et la stabilité à haute température (durée de vie du cycle thermique > 5000 fois, résistant à 1500°C $\pm 50^\circ\text{C}$). Il est largement utilisé dans la surveillance de la température du vaisseau spatial russe Soyouz (précision 0,1°C $\pm 0,01^\circ\text{C}$) et le système de contrôle thermique de la NASA Orion (durabilité 6000 heures). À l'avenir, la vitesse de réponse pourra être optimisée grâce aux thermopiles.

La coque de l'accéléromètre en carbure est constituée d'

un alliage de carbure de tungstène et de nickel (WC-Ni, teneur en Ni 10%-15%±1%, taille des particules WC 0,8-1,5 $\mu\text{m}\pm 0,1 \mu\text{m}$, densité 14,8-15,2 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$). La coque est résistante à un impact de 500 g (pic 550 g ± 20 g, durée 0,1 s $\pm 0,01$ s), précision $\pm 0,05 \text{m}/\text{s}^2$ (étalonnée par table de vibration, fréquence 50-500 Hz), durée de vie 8000 heures, et grâce à la conception du capteur multi-axes (cohérence de sensibilité des axes X/Y/Z $<1\%$, plage ± 50 g), couche tampon anti-vibration (composite caoutchouc-métal, épaisseur 2 mm $\pm 0,2$ mm, coefficient d'amortissement 0,3 $\pm 0,05$) pour améliorer la précision de mesure (non-linéarité $<0,2\%$ FS, norme de test ISO 16063) et la résistance aux vibrations (résistance aux vibrations de 600 Hz, atténuation d'amplitude $>90\%$). Il est adapté à la mesure de l'accélération des satellites GPS américains (précision de 0,05 $\text{m}/\text{s}^2 \pm 0,01 \text{m}/\text{s}^2$) et au contrôle d'attitude du satellite européen Galileo (durée de vie de 8 500 heures). À l'avenir, la sensibilité pourra être améliorée grâce à l'intégration de MEMS.

Les lames du débitmètre en carbure sont fabriquées en

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

carbure de tungstène cobalt titane (WC-Co- TiC , teneur en Co 6%-10%±1%, teneur en TiC 2%-5%±0,5%, granulométrie WC 0,5-1,5 μm ±0,1 μm , densité 15,1-15,5 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$). Les lames sont résistantes à la corrosion (résistantes à 5 % de NaCl, perte de poids < 0,05 $\text{mg}/\text{cm}^2 \pm 0,01 \text{mg}/\text{cm}^2$, temps d'exposition 500 heures), erreur de mesure < 1 % (vérifiée par un débitmètre étalonné, plage de débit 0-100 L/min), durée de vie 6 000 heures et conception simplifiée (erreur de courbure < 0,01 mm, rugosité de surface Ra < 0,2 $\mu\text{m} \pm 0,05 \mu\text{m}$), revêtement résistant à l'usure (TiN , épaisseur 5 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureté HV 2 000 ± 100) optimise la dynamique des fluides (perte de pression < 1 %, norme d'essai ISO 5167) et la durabilité à long terme (durée de vie en fatigue > 10^6 cycles, amplitude de contrainte 200 MPa $\pm 20 \text{MPa}$). Couramment utilisé dans le système de propulsion du satellite européen Galileo (débit 50 L/min $\pm 5 \text{L}/\text{min}$) et dans le dosage du carburant du rover martien de la NASA (durabilité 6 500 heures). À l'avenir, le polissage par ultrasons pourrait être utilisé pour améliorer la qualité de surface.

La coque du capteur de déplacement en carbure est constituée

d'un alliage de carbure de tungstène et de nickel (WC-Ni, teneur en Ni 12%-15%±1%, taille des particules WC 1-2 μm ±0,1 μm , densité 14,9-15,3 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$). Français La précision de la coque est de $\pm 0,01 \text{mm}$ (mesurée par interféromètre laser, résolution 0,001 mm), la durée de vie est de 7 000 heures et l'adaptabilité environnementale est améliorée par un revêtement antimagnétique (μ -métal, épaisseur 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, perméabilité magnétique > 10^4) et une conception miniaturisée (diamètre extérieur < 10 mm, poids < 50 g $\pm 5 \text{g}$) (résistant à -150 °C à 150 °C, coefficient de dilatation thermique $5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$, durée de vie du cycle thermique > 5 000 fois). Il est adapté à la surveillance du déplacement de la sonde lunaire japonaise Kaguya (précision 0,01 mm $\pm 0,001 \text{mm}$) et de la mission BepiColombo Mercury de l'Agence spatiale européenne (durabilité 7 500 heures). À l'avenir, la résistance à la corrosion pourra être améliorée grâce au nano-revêtement.



Structures auxiliaires et connecteurs

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de carbure de tungstène et

de cobalt (WC-Co, teneur en Co 6%-10%±1%, granulométrie WC 0,5-1,5 µm±0,1 µm, densité 15,0-15,4 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) offrent une résistance au cisaillement de 1200 MPa±50 MPa (norme d'essai ASTM F606), une meilleure résistance à la corrosion que l'acier inoxydable 304 (résistant à 10 % H₂SO₄, perte de poids <0,05 mg/cm² ± 0,01 mg/cm², temps d'exposition 500 heures), une durée de vie de 8000 heures de vol et une conception autobloquante (insert en nylon, force de verrouillage 100 N±10 N), un revêtement de surface (Zn-Ni, épaisseur 5 µm±1 µm, température de résistance à la corrosion 500°C±50°C) et optimisation de la précharge (précharge 1000 N±100 N, uniformité <5%) pour éviter le desserrage et améliorer la résistance à la corrosion (résistance à 5% de NaCl, perte de poids <0,03 mg/cm² ± 0,005 mg/cm²). Largement utilisé dans la connexion du fuselage du Boeing 787 (diamètre du boulon 10 mm±1 mm) et la fixation de la poutre d'aile de l'Airbus A350 (charge 50 kN±5 kN) . À l'avenir, le soudage laser pourra être utilisé pour améliorer la résistance de la connexion.

Charnières en

carbure de tungstène en alliage cobalt-chrome (WC-10Co4Cr, granulométrie WC 1-3 µm±0,2 µm, densité 15,2-15,6 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) . La charnière a une durée de vie de 5000 ouvertures et fermetures (pic 6000 fois ±500 fois, norme de test ASTM D4170), réduit les coûts de maintenance de 10 % (en étendant l'intervalle de maintenance à 6000 heures) et prolonge la durée de vie et la résistance à la fatigue (durée de vie en fatigue > 10⁵ cycles, amplitude de contrainte 300 MPa ± 30 MPa) grâce à un revêtement lubrifiant (MoS₂, épaisseur 2 µm ± 0,2 µm, coefficient de frottement 0,05 ± 0,01), une conception assistée par ressort (rigidité 50 N/mm ± 5 N/mm, course 5 mm ± 0,5 mm) et un traitement de surface résistant à l'usure (profondeur de la couche de durcissement 0,1 mm ± 0,02 mm, dureté HV 1800 ± 50). Convient au système de porte de l'Airbus A350 (angle d'ouverture et de fermeture : 90° ± 5°) et à la charnière de porte du vaisseau spatial SpaceX Dragon (charge : 100 N ± 10 N). La durabilité pourra être optimisée grâce à un revêtement autolubrifiant.

Poutre de support en carbure

de tungstène titane (WC- TiC , teneur en TiC 5%-10%±1%, granulométrie WC 0,8-2 µm±0,1 µm, densité 15,1-15,5 g/cm³ ± 0,1 g/cm³), résistance à la flexion de la poutre 3000 MPa±100 MPa (norme d'essai ASTM E290), réduction de poids structurelle de 2% (densité 15,5 g/cm³ ± 0,5 g/cm³, réduite à 15,19 g/cm³), résistance à la fatigue 10⁶ cycles (amplitude de contrainte 500 MPa±50 MPa, norme d'essai ASTM E466), et précontrainte (précontrainte 100 MPa±10 MPa, profondeur 0,2 mm±0,02 mm), structure en nid d'abeille (taille des pores Français 5-15 mm, épaisseur de paroi 1 mm ± 0,1 mm) et revêtement anticorrosion (Ni-Cr, épaisseur 10 µm ± 1 µm), température anti-oxydation 500°C ± 50°C) améliore la stabilité, la résistance aux vibrations (atténuation d'amplitude > 90 %, norme d'essai ISO 10816) et la durabilité à long terme (résistance au NaCl de 5 %, perte de poids < 0,05 mg/cm²). Couramment utilisé dans la structure du cadre du vaisseau spatial SpaceX (charge 200 kN ± 20 kN) et la poutre de support du Long March 5 chinois (durabilité 6 500 heures), à l'avenir, il pourra être renforcé avec de la fibre de carbone pour améliorer la légèreté.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD 30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

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

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

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

Serving Customers

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

Service Commitment

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

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn



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

Les bagues de serrage en carbure

de tungstène et alliage nickel-carbure (WC-Ni, teneur en Ni 10 %-15 % \pm 1 %, granulométrie WC 1-2 μm \pm 0,1 μm , densité 14,9-15,3 g/cm^3 \pm 0,1 g/cm^3) sont utilisées dans les propulseurs de fusée. Elles résistent à une pression de 400 bars (pic 450 bars \pm 20 bars) et ont une durée de vie de 6 000 heures. La force de serrage, l'étanchéité (taux de fuite $<$ 0,01 ml/min, norme d'essai ISO 5208) et la résistance à l'usure (taux d'usure $<$ 0,01 $\text{mm}^3 / \text{N}\cdot\text{m}$, norme d'essai ASTM G99) sont optimisées grâce à une conception élastique (module d'élasticité 400 GPa \pm 20 GPa , déformation $<$ 0,01 mm), un serrage multipoint (force de serrage 500 N \pm 50 N , points de contact $>$ 4) et un durcissement de surface (dureté HV 1600 \pm 50, profondeur 0,1 mm \pm 0,02 mm). Convient aux composants de propulsion de la Longue Marche 5 chinoise (pression 400 bar \pm 20 bar) et aux raccords de carburant d'Ariane 6 européenne (durabilité 6500 heures). À l'avenir, la résistance à la corrosion pourra être améliorée grâce à un nano-revêtement.



Fixations en carbure

de tungstène

cobalt titane (WC-Co- TiC, teneur en Co 6%-10% \pm 1%, teneur en TiC 3%-5% \pm 0,5%, granulométrie WC 0,5-1,5 μm \pm 0,1 μm , masse volumique 15,0-15,4 g/cm^3 \pm 0,1 g/cm^3) sont fixées dans le châssis du vaisseau spatial, avec une résistance à la traction de 1500 MPa \pm 50 MPa (norme d'essai ASTM E8), une résistance à la température de 1000°C (pic 1100°C \pm 20°C), et sont trempées en surface (couche trempée 0,2 mm \pm 0,02 mm, dureté HV 1800 \pm 50), protégées par un revêtement (TiN, épaisseur 5 μm \pm 1 μm , adhérence $>$ 40 MPa) et une optimisation microstructurale (raffinement du grain) (à 0,5 μm \pm 0,05 μm), analyse par diffraction des rayons X (DRX) améliore la résistance à l'usure, la résistance à la fatigue (durée de vie en fatigue $>$ 10^7 cycles, amplitude de contrainte 400 MPa \pm 40 MPa) et la résistance à la rupture (ténacité à la rupture KIC $>$ 18 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, norme d'essai ASTM E399). Il est largement utilisé dans le système de connexion du vaisseau spatial Orion de la NASA (charge 50 kN \pm 5 kN) et les axes de châssis du Soyouz russe (durabilité 7000 heures). À l'avenir, la qualité de surface pourra être améliorée grâce au traitement de surface au laser.

de tungstène

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

et de nickel (WC-Ni, teneur en Ni 12%-15%±1%, granulométrie WC 1-2 μm ±0,1 μm , densité 14,8-15,2 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) sont utilisés dans les antennes satellites, avec une fréquence de vibration de 500 Hz (pic 550 Hz±20 Hz) et une durée de vie de 7000 heures. Français Les roulements réduisent également la transmission des vibrations (atténuation d'amplitude > 95 %, norme d'essai ISO 10816) et les influences environnementales (résistance de -150 °C à 150 °C) grâce à un revêtement d'amortissement (caoutchouc-métal, épaisseur 2 mm ± 0,2 mm, coefficient d'amortissement 0,25 ± 0,05), une conception de support multipoint (espacement des points de support 10 mm ± 1 mm, nombre > 5/support) et un traitement anticorrosion (placage Zn-Ni, 5 μm ± 1 μm , résistant à 5 % de NaCl, perte de poids < 0,05 mg/cm^2). Il convient au système d'orientation des satellites européens Galileo (précision 0,01° ± 0,001°) et au support stable des satellites GPS américains (durabilité 7 500 heures). À l'avenir, des alliages à mémoire de forme pourront être utilisés pour améliorer l'adaptabilité.

Écrou de blocage en carbure de tungstène

cobalt titane (WC-Co- TiC , teneur en Co 6%-10%±1%, teneur en TiC 2%-5%±0,5%, granulométrie WC 0,5-1,5 μm ±0,1 μm , densité 15,1-15,5 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) L'écrou est résistant au desserrage, avec une résistance à la pression de 300 bars (pic 350 bars±20 bars), une durée de vie de 5000 fois (pic 6000 fois±500 fois), et une structure autobloquante (anneau en nylon intégré, force de verrouillage 100 N±10 N) et un renforcement de surface (dureté HV 1700±50, profondeur 0,1 mm±0,02 mm) pour améliorer la résistance aux vibrations (résistance à un impact de 50 g, durée 0,1 s±0,01 s) et fiabilité à long terme (durée de vie en fatigue > 10⁶ cycles, amplitude de contrainte 300 MPa±30 MPa). Couramment utilisé dans les composants fixes du vaisseau spatial russe Soyuz (charge 50 kN±5 kN) et les connexions structurelles de la NASA Orion (durabilité 5 500 heures), la résistance à la corrosion pourra être améliorée grâce à un nano-revêtement à l'avenir.

L'alliage de carbure de tungstène et de nickel (WC-Ni, teneur en Ni 10%-15%±1%, taille des particules WC 1-2 μm ±0,1 μm , densité 14,9-15,3 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) de la **plaque de connexion en carbure cémenté a une résistance au cisaillement de 1200 MPa±50 MPa (norme de test ASTM E229) et**

une durée de vie de 6000 heures. Grâce à un composite multicouche (alliage WC-Ni et Ti, épaisseur 1-2 mm/couche, nombre de couches 5-10 couches) et un revêtement anticorrosion (Cr₂O₃, épaisseur 10 μm ±1 μm , température anti-oxydation 500°C±50°C), la stabilité structurelle (déformation <0,01 mm, analyse FEM standard de test) et la durabilité (résistance à 5% H₂SO₄, perte de poids <0,05 mg/cm^2 , temps d'exposition 500 heures) sont optimisées. Il convient à la structure de connexion de la fusée japonaise H-IIA (charge 100 kN±10 kN) et au panneau de fuselage d'Ariane 5 européenne (durabilité 6500 heures). À l'avenir, il pourra être renforcé avec de la fibre de carbone pour améliorer sa légèreté.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD 30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

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

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

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

Serving Customers

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

Service Commitment

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

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn



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



Matrices de fixation en carbure

Pièces spéciales en carbure cémenté pour l'aérospatiale

Plaque de friction en carbure

de tungstène alliage cobalt-chrome (WC-10Co4Cr, granulométrie WC $1-3 \mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$, densité $15,2-15,6 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) plaque de friction dans le dispositif d'atterrissage, coefficient de frottement $0,3 \pm 0,05$ (norme d'essai ASTM G99, charge $10 \text{ N} \pm 1 \text{ N}$, vitesse $0,1 \text{ m/s} \pm 0,01 \text{ m/s}$), durée de vie 3000 atterrissages (pic 3500 fois ± 200 fois, norme d'essai ASTM D4170), et grâce à une conception poreuse (porosité 5%-10%, taille des pores 20-50 μm), texture de surface (rugosité Ra $1,5 \mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$, profondeur $0,1 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$) et revêtement résistant à la chaleur (ZrO_2 , épaisseur $15 \mu\text{m} \pm 2 \mu\text{m}$), température d'antioxydation $1500^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$) optimise la dissipation thermique (élévation de température $< 50^\circ\text{C}$, flux thermique $1 \text{ MW/m}^2 \pm 0,1 \text{ MW/m}^2$), la résistance à l'usure (taux d'usure $< 0,02 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$, norme d'essai ASTM G65) et la résistance aux hautes températures (résistance à $1500^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$, durée de vie du cycle thermique > 3000 fois). Il est largement utilisé dans le système de coussin d'atterrissage du SpaceX Starship (charge $100 \text{ kN} \pm 10 \text{ kN}$) et l'amortisseur de la NASA Orion (durabilité 3200 fois). À l'avenir, la résistance à la chaleur pourra être améliorée grâce au renforcement en fibres céramiques.

de tungstène

et de nickel (WC-Ni, teneur en Ni 12%-15% $\pm 1\%$, granulométrie WC $1-2 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité $14,9-15,3 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) des systèmes de distribution d'énergie sont résistants à l'érosion par arc (énergie de l'arc $< 10 \text{ J/cm}^2$, durée $0,1 \text{ ms} \pm 0,01 \text{ ms}$), avec une durée de vie de 5 000 heures (pic 6 000 heures ± 500 heures, norme d'essai IEC 60947), et une conductivité améliorée (résistance $< 0,005 \Omega$, norme d'essai IEC 60947) grâce à un composite multicouche (WC-Ni et Cu, épaisseur 1-2 mm/couche, conductivité $> 10^6 \text{ S/m}$), surface argentée (épaisseur $3 \mu\text{m} \pm 0,3 \mu\text{m}$, dureté HV

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

100±20) et la charge du ressort (force de contact 5 N±0,5 N, course 1 mm±0,1 mm) 60512), la résistance à l'arc (résistance à l'arc >100 fois, norme d'essai ASTM F1871) et la durabilité (>10⁴ fois le branchement et le débranchement, test de durabilité 5000 fois). Convient pour la distribution d'énergie de la Station spatiale internationale (courant 50 A±5 A) et le contact électrique du Soyouz russe (durabilité 5500 heures). À l'avenir, la conductivité pourra être améliorée par des nanotubes de carbone.

de tungstène

titane (WC- TiC , teneur en TiC 5%-10%±1%, granulométrie WC 0,8-1,5 µm±0,1 µm, densité 15,0-15,4 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) dans un système de gestion thermique, conductivité thermique 100 W/m·K±5 W/ m·K (norme d'essai ASTM E1461), forte résistance à la corrosion (résistance à 10 % de HCl, perte de poids < 0,05 mg/cm² ± 0,01 mg/cm², temps d'exposition 500 heures ; résistance à 5 % de NaOH, perte de poids < 0,04 mg/cm² ± 0,01 mg/cm²), et structure à microcanaux traversants (largeur de canal 0,2-0,5 mm, espacement 1 mm±0,1 mm, nombre >100/cm²), le revêtement à haute conductivité thermique (Cu, épaisseur 10 µm±1 µm, conductivité thermique 400 W/m·K±20 W/ m·K) et la conception de rugosité de surface (Ra 2,0 µm±0,3 µm, profondeur 0,1 mm±0,02 mm) améliorent l'efficacité du transfert de chaleur (coefficient d'échange thermique 500 W/m² · K ± 50 W/ m² · K, norme d'essai ASTM E1225), la résistance à la corrosion et la stabilité thermique (résistant à 1000 cycles thermiques, plage de température -50°C à 1000°C). Couramment utilisé dans le système de contrôle thermique du vaisseau spatial Orion de la NASA (surface de dissipation thermique 0,5 m² ± 0,05 m²) et le système de gestion thermique de l'Ariane 5 européenne (durabilité 6000 heures), la conductivité thermique peut être améliorée grâce au revêtement en graphène à l'avenir.

carbure de tungstène

cobalt titane (WC-Co- TiC , teneur en Co 6%-10%±1%, teneur en TiC 3%-5%±0,5%, taille des particules WC 0,5-1,5 µm±0,1 µm, densité 15,1-15,5 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) résiste à 2000°C (pic 2100°C±20°C), la résistance thermique est augmentée de 30% (atténuation du flux thermique>95%, de 1 MW/m² à 0,7 MW/m²), la durée de vie est de 6000 heures (pic 6500 heures±500 heures, norme de test ASTM E595), et à travers une structure poreuse (porosité 10 % -15%, taille des pores 20-50 µm, distribution des pores uniformité> 90%), revêtement de barrière thermique (Y₂O₃ - ZrO₂, épaisseur 20 µm±2 µm, réflectivité thermique> 85%, anti-décapage> 500 cycles thermiques) et conception de gradient (gradient d'épaisseur 0,5 mm/couche, adaptation de dilatation thermique < 1%) optimisent la résistance aux chocs thermiques (150 cycles thermiques, -200°C à 2000°C) et la durabilité à long terme (durée de vie en fatigue> 10⁶ cycles, amplitude de contrainte 400 MPa±40 MPa). Il convient à la protection de la capsule de retour du Chang'e 5 chinois (densité de flux thermique 1,5 MW/m²) et au bouclier thermique de la NASA Orion (durabilité 6500 heures). À l'avenir, la résistance thermique pourra être améliorée grâce au compoundage d'aérogels.

Revêtement antistatique en carbure de tungstène

alliage de nickel et de carbure de tungstène (WC-Ni, teneur en Ni 12%-15%±1%, taille des particules WC 1-2 µm±0,1 µm, densité 14,9-15,3 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) résistance de surface du

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

revêtement $<10^6 \Omega$ (norme d'essai IEC 61340-2-3, humidité $50\% \pm 5\%$), durée de vie 8000 heures (pic 8500 heures ± 500 heures, test de durabilité 5000 heures) et performances antistatiques améliorées (temps de décroissance statique $<0,1$ s, norme d'essai IEC 61340-2-3, humidité $50\% \pm 5\%$) grâce à un composite polymère conducteur (PEDOT:PSS, $5\% \pm 1\%$, conductivité $>10^3$ S/m), nano-revêtement (SiC, taille des particules <50 nm, épaisseur $5-10 \mu\text{m} \pm 0,5 \mu\text{m}$, dureté HV 1800 ± 50) (61340-4-1) et protection de surface (résistance à l'usure augmentée de 20 %, taux d'usure $<0,01$ $\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$). Largement utilisé dans la coque de la fusée Ariane 5 de l'Agence spatiale européenne (surface $10 \text{ m}^2 \pm 1 \text{ m}^2$) et la couche antistatique du SpaceX Falcon Heavy (durabilité 8500 heures). À l'avenir, la conductivité pourra être améliorée grâce au compoundage de nanotubes de carbone.

Feuille de blindage électromagnétique en carbure cémenté

alliage de carbure de tungstène-cobalt (WC-Co, teneur en Co $8\%-12\% \pm 1\%$, granulométrie WC $1-2 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité $15,0-15,4 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) efficacité de blindage 90% (gamme de fréquences 10 kHz-1 GHz, norme de test MIL-STD-285), durée de vie 7000 heures (pic 7500 heures ± 500 heures, test de durabilité 6000 heures), grâce à une structure multicouche (épaisseur 10-20 mm, espacement des couches $2 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$, nombre de couches 5-10 couches) et revêtement conducteur (Cu-Ni, épaisseur $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, conductivité $>10^6$ S/m) pour optimiser la capacité d'interférence anti-électromagnétique (Atténuation du champ magnétique > 30 dB, atténuation du champ électrique > 40 dB). Convient à la protection électronique de l'avion spatial américain X-37B (surface de blindage $5 \text{ m}^2 \pm 0,5 \text{ m}^2$) et au blindage des communications du Soyuz russe (durabilité 7 500 heures). À l'avenir, l'efficacité du blindage pourra être améliorée grâce à une mousse métallique poreuse.

Film d'oxyde de titane en carbure de tungstène (WC-

TiC, teneur en TiC $5\%-10\% \pm 1\%$, granulométrie WC $0,8-1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité $15,1-15,5 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ avec gain de poids à l'oxydation $< 0,05 \text{ mg/cm}^2$ (norme d'essai ASTM G31, temps d'exposition 1000 heures, température $1200^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$), durée de vie 6000 heures (pic 6500 heures ± 500 heures, test de durabilité 5000 heures), résistance à l'oxydation améliorée (résistance à l'oxydation à 1200°C , perte de poids $< 0,03$) grâce à la technologie d'auto-cicatrisation (taux de réparation des microcapsules $> 85\%$, granulométrie 10-20 μm , température de libération $500^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$) et conception multicouche (épaisseur 5-10 μm , espacement intercouche $1 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, nombre de couches 5-10) mg/cm^2 , norme d'essai ASTM E1888) et durabilité (durée de vie en fatigue $> 10^6$ cycles, amplitude de contrainte $300 \text{ MPa} \pm 30 \text{ MPa}$). Couramment utilisé dans la protection de surface de la fusée japonaise H-IIA (surface $10 \text{ m}^2 \pm 1 \text{ m}^2$) et la couche antioxydante d'Orion de la NASA (durabilité 6500 heures). À l'avenir, les performances antioxydantes pourront être améliorées par un composé d'oxyde de terres rares.

Cas d'application du carbure cémenté dans le domaine aérospatial

Aubes de turbine en carbure cémenté dans les moteurs d'avions de ligne

Les aubes de turbine en carbure cémenté (matériau WC-Co, teneur en Co $6\%-10\% \pm 1\%$, granulométrie WC $0,5-1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, masse volumique $15,0-15,4 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) ont une

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

durée de vie de 6000 heures dans les moteurs d'avions de ligne (pic 6500 heures \pm 500 heures, norme d'essai ISO 3685, profondeur de coupe 0,5 mm \pm 0,05 mm), taux d'usure $<0,05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ (norme d'essai ASTM G65, essai d'usure de la meule, charge 10 N \pm 1 N, vitesse 0,1 m/s \pm 0,01 m/s), efficacité thermique augmentée de 5% (efficacité thermique augmentée de 90% à 95% \pm 1%, mesurée par fluxmètre thermique, densité de flux thermique 10 W/cm $^2 \pm 1 \text{ W/cm}^2$), excellente résistance à l'oxydation (perte de poids de 10% O $_2$ $<0,03 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$ à 1200°C \pm 20°C, temps d'exposition 500 heures). Fabriqué par pressage isostatique à chaud (HIP, 1400°C \pm 20°C, 200 MPa \pm 10 MPa, température de maintien 2-4 heures), résistance à la flexion 1800 MPa \pm 50 MPa (norme d'essai ASTM E290), réduction de 10% des fissures de surface (longueur de fissure $<0,01 \text{ mm} \pm 0,001 \text{ mm}$, observation SEM). Largement utilisé dans les moteurs du Boeing 787 (poussée 50 kN $\pm 5 \text{ kN}$, vitesse 10 4 tr/min $\pm 10^3$ tr/min). À l'avenir, le revêtement PVD TiAlN (épaisseur 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureté HV 2500 ± 100) pourra être utilisé pour améliorer la résistance à l'usure à 0,03 mm $^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,005 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ et prolonger la durée de vie à 7 000 heures ± 500 heures.

Système de protection thermique en carbure cémenté lors de la rentrée dans l'atmosphère

Le système de protection thermique en carbure cémenté (matériau WC- TiC, teneur en TiC 5%-10% \pm 1%, granulométrie WC 0,8-1,5 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité 15,1-15,5 g/cm $^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) réduit de 15 % les dommages thermiques lors de la rentrée dans l'atmosphère (zone de dommage réduite à $<5\% \pm 1\%$, vérifiée par imagerie thermique infrarouge, température 2000°C \pm 50°C), résistance à la température 2000°C \pm 20°C (conductivité thermique 80 W/m \cdot K \pm 5 W/m \cdot K, coefficient de dilatation thermique $5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$), réduction de poids de 10 % (de 10 kg à 9 kg \pm 0,1 kg, optimisé par analyse par éléments finis FEA), stabilité thermique améliorée (cycle thermique -50°C à 2000°C, 1000 fois ± 100 fois, déformation $<0,05\% \pm 0,01\%$). Fabriqué par projection plasma (vitesse de projection $>1300 \text{ m/s} \pm 10 \text{ m/s}$, puissance 40 kW $\pm 2 \text{ kW}$), avec une résistance à la compression de 1400 MPa $\pm 50 \text{ MPa}$ (norme d'essai ASTM E9), largement utilisé dans la phase de rentrée du vaisseau spatial SpaceX Dragon (vitesse de rentrée 7,5 km/s $\pm 0,5 \text{ km/s}$). À l'avenir, les dommages thermiques pourront être réduits à 10 % $\pm 1 \%$ grâce au revêtement nano ZrO $_2$ (épaisseur 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, résistance à la température 2200°C $\pm 50^\circ\text{C}$), et le poids pourra être réduit de 5 % $\pm 0,5 \%$ supplémentaires.

Composants de soupape en carbure cémenté dans le système de carburant

Les composants de soupape en carbure cémenté (matériau WC-Ni, teneur en Ni 12 %-15 % $\pm 1 \%$, granulométrie WC 0,8-2 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité 14,8-15,2 g/cm $^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) prennent en charge 5 000 commutations dans le système de carburant (pic 5 500 fois ± 500 fois, norme d'essai ASTM E9, taux de charge 1 mm/min $\pm 0,1 \text{ mm/min}$), aucune fuite (taux de fuite $<0,01 \text{ mL/min} \pm 0,001 \text{ mL/min}$, mesuré par un détecteur de fuites à spectromètre de masse à hélium, sensibilité de détection $10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$), stabilité de la pression $\pm 1 \text{ bar}$ (norme d'essai ISO 4126, plage de pression 50-100 bar $\pm 5 \text{ bar}$), co Résistance à la corrosion améliorée de 20 % (perte de poids de 5 % de H $_2$ SO $_4$ réduite à 0,04 mg/cm $^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$, temps d'exposition 500 heures). Fabriqué par frittage plasma d'étincelles (SPS, 1300°C \pm 10°C, 50 MPa \pm 1 MPa, température de maintien 10 minutes \pm 1 minute), avec une résistance à la traction de 1200 MPa \pm 50 MPa (norme d'essai ASTM E8), largement utilisé

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

dans le système de carburant du Lockheed Martin F-35 (débit $10 \text{ L/s} \pm 1 \text{ L/s}$, température $100^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$). À l'avenir, la résistance à la corrosion pourra être améliorée à $25\% \pm 2\%$ grâce au revêtement PVD CrN (épaisseur $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureté $\text{HV } 2200 \pm 100$), prenant en charge 6000 ± 500 temps de commutation.

Fixations en carbure cimenté dans les avions de chasse

Les fixations en carbure cimenté (matériau WC-Co, teneur en Co $6\% - 10\% \pm 1\%$, granulométrie WC $0,5 - 1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, masse volumique $15,0 - 15,4 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) résistent à 8 000 heures de charge élevée dans les avions de chasse (pic $8\,500 \text{ heures} \pm 500 \text{ heures}$, norme d'essai ISO 3685, charge $500 \text{ kN} \pm 50 \text{ kN}$), aucun desserrage (taux de desserrage $< 0,1\% \pm 0,01\%$, essai de vibration ASTM D3580, fréquence $50 \text{ Hz} \pm 5 \text{ Hz}$), résistance à la corrosion augmentée de 20 % (perte de poids de 3 % de NaCl, résistance réduite à $0,03 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$, temps d'exposition Français : 500 heures) et une excellente résistance aux vibrations (fréquence de vibration $800 \text{ Hz} \pm 50 \text{ Hz}$, norme d'essai ISO 10816). Fabriqué par pressage isostatique à chaud (HIP, $1350^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$, $200 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$, conservation de la chaleur pendant 2 à 4 heures), avec une résistance au cisaillement de $1500 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ (norme d'essai ASTM E565), il est largement utilisé dans les connexions d'ailes de chasseur F-22 (charge $300 \text{ kN} \pm 30 \text{ kN}$, hauteur $10 \text{ m} \pm 1 \text{ m}$). À l'avenir, le revêtement nano-TiN (épaisseur $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureté $\text{HV } 2000 \pm 50$) pourra être utilisé pour améliorer la résistance aux vibrations à $900 \text{ Hz} \pm 50 \text{ Hz}$ et prolonger la durée de vie à $9000 \text{ heures} \pm 500 \text{ heures}$.

Le boîtier du capteur en carbure cimenté (matériau WC-12Co4Cr, granulométrie WC $1 - 3 \mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$, teneur en Co $12\% \pm 1\%$, teneur en Cr $4\% \pm 0,5\%$, densité $15,2 - 15,6 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) utilisé dans

les missions spatiales lointaines peut supporter un rayonnement de $10^5 \text{ rad/h} \pm 10^4 \text{ rad/h}$ (taux d'atténuation $99,5\% \pm 0,1\%$, norme de test ASTM E666, temps d'exposition $1\,000 \text{ heures} \pm 100 \text{ heures}$), erreur de données $< 0,1\% \pm 0,01\%$ (mesurée par un calibrateur de haute précision, plage $0 - 1\,000 \text{ V} \pm 0,1 \text{ V}$), et présente une résistance significative aux rayonnements (microfissures $< 0,005 \text{ mm} \pm 0,001 \text{ mm}$, SEM) (observation). Fabriqué par pressage isostatique à chaud (HIP, $1400^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$), avec une résistance à la compression de $1600 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ (norme d'essai ASTM E9), une résistance à la température de $1200^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ (conductivité thermique $60 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), il est largement utilisé dans les sondes martiennes de la NASA (profondeur de détection $5 \text{ km} \pm 0,5 \text{ km}$, température -100°C à $100^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$). À l'avenir, l'erreur de données peut être réduite à $0,05\% \pm 0,01\%$ grâce au revêtement anti-rayonnement Gd_2O_3 (épaisseur $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, résistance à $10^6 \text{ rad/h} \pm 10^5 \text{ rad/h}$), et la résistance aux radiations peut être améliorée à $10^6 \text{ rad/h} \pm 10^5 \text{ rad/h}$.

Plaques d'échangeur de chaleur en carbure cimenté dans les systèmes de gestion thermique

Les plaques d'échangeur de chaleur en carbure cimenté (matériau WC- TiC, teneur en TiC $5\% - 10\% \pm 1\%$, granulométrie WC $0,8 - 1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité $15,1 - 15,5 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) présentent une augmentation de 20 % de l'efficacité dans les systèmes de gestion thermique (efficacité d'échange de chaleur augmentée de 80 % à $96\% \pm 1\%$, norme d'essai ASTM E1461, flux thermique $15 \text{ W/cm}^2 \pm 1 \text{ W/cm}^2$), résistance à la température $1500^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ (conductivité thermique $90 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, coefficient de dilatation thermique $5 \times 10^{-6} /^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} /^\circ\text{C}$), et une

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

excellente uniformité d'échange thermique (écart de température $<5^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$, vérifié par imagerie thermique infrarouge). Fabriqué par projection plasma (vitesse de projection $>1300\text{ m/s}\pm 10\text{ m/s}$, puissance $40\text{ kW}\pm 2\text{ kW}$), avec une résistance à la traction de $1300\text{ MPa}\pm 50\text{ MPa}$ (norme d'essai ASTM E8), réduisant les fissures de contrainte thermique de 10% (longueur de fissure $<0,01\text{ mm}\pm 0,001\text{ mm}$), largement utilisé dans le système de gestion thermique Boeing Starship (densité de puissance $20\text{ W/cm}^2 \pm 2\text{ W/cm}^2$). À l'avenir, l'efficacité peut être augmentée à $25\% \pm 1\%$ grâce à la conception de microcanaux (diamètre de canal $0,5\text{ mm} \pm 0,05\text{ mm}$, densité $20/\text{cm}^2 \pm 2/\text{cm}^2$), et la résistance à la température peut atteindre $1600^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$.

13.1.3 Outils de coupe et outils utilisés dans l'industrie aérospatiale

Caractéristiques de performance et avantages techniques des outils en carbure cémenté

Les outils de coupe en carbure occupent une place centrale dans le secteur aéronautique grâce à leurs excellentes propriétés mécaniques. Leur dureté est comprise entre HV 1800-2200 ± 30 (test de dureté Vickers ISO 6507-1 réussi, charge de 10 kg, durée d'essai de 10 à 15 secondes, précision d'essai de $\pm 0,5\%$), leur vitesse de coupe est de 200 à 300 m/min (la valeur maximale peut atteindre $350\text{ m/min}\pm 20\text{ m/min}$, selon le matériau et les conditions de refroidissement, comme la coupe à sec ou un refroidissement par fluide de coupe de 10 L/min), et leur résistance à l'usure est excellente. Le taux d'usure est $<0,05\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ (norme d'essai ASTM G65, essai d'usure de la meule, charge $10\text{ N} \pm 1\text{ N}$, vitesse $0,1\text{ m/s} \pm 0,01\text{ m/s}$, cycle d'essai 1000 fois), ce qui est bien supérieur à celui de l'acier rapide (le taux d'usure HSK est d'environ $0,15\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,02\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$, la durée de vie n'est que de 1/3 de celle du carbure cémenté).

Lors du traitement de matériaux difficiles tels que l'Inconel 718, la durée de vie peut atteindre 300 heures (pic 320 heures ± 20 heures, norme d'essai ISO 8688-2, profondeur de coupe $0,5\text{ mm} \pm 0,05\text{ mm}$, vitesse d'avance $0,1\text{ mm/tr} \pm 0,01\text{ mm/tr}$), la force de coupe est réduite de 15% (mesurée par un instrument de mesure de la force de coupe, réduite à $120\text{ N} \pm 10\text{ N}$, fluctuation de couple $< 5\%$), faible coefficient de frottement $< 0,25$ (norme d'essai ASTM G133, la paire de frottement est une bille d'acier, charge $5\text{ N} \pm 0,5\text{ N}$, distance de glissement $100\text{ m} \pm 10\text{ m}$), respect de la tolérance de $\pm 0,01\text{ mm}$ (vérifiée par interféromètre laser, résolution $0,001\text{ mm}$, répétabilité de mesure $< 0,002\text{ mm}$), garantit des exigences de traitement de haute précision, en particulier pour les surfaces courbes complexes et structures à parois minces. La résistance à la déformation des outils en carbure cémenté est $> 800\text{ MPa}$ (essai de résistance à la traction ASTM E8, taille d'échantillon $10\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 50\text{ mm}$, allongement $< 1\%$), 70% de la dureté d'origine est maintenue à $1\ 000^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ (HV 1 800 chute à $1\ 260 \pm 50$, mesurée par analyse thermomécanique TMA, vitesse de chauffe $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$, temps de maintien 2 heures), force de liaison 50-70 MPa (essai de cisaillement ASTM D1002, zone de cisaillement $100\text{ mm}^2 \pm 5\text{ mm}^2$), la résistance à la corrosion est meilleure que celle de l'acier à outils (tel que l'AISI D2, résistance à la perte de poids dans une solution de NaCl à $5\% < 0,1\text{ mg/cm}^2 \pm 0,02\text{ mg/cm}^2$, temps d'exposition 500 heures), et la technologie de modification de surface (telle que la projection plasma, épaisseur de revêtement $10\text{-}15\ \mu\text{m}\pm 1\ \mu\text{m}$, adhérence $> 50\text{ MPa}$, vitesse de pulvérisation $300\text{ m/s}\pm 20\text{ m/s}$), le nano-revêtement (par exemple TiAlN, taille des particules $< 100\text{ nm}$, dureté HV 2500 ± 100 , épaisseur $5\text{-}10\ \mu\text{m}\pm 0,5\ \mu\text{m}$) et le traitement thermique (trempe

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1200°C±20°C, maintien pendant 1 heure ; revenu 600°C±10°C, 2 heures) améliorent encore la durabilité (durée de vie prolongée de 20 %, jusqu'à 1200 heures±100 heures), la résistance à la fatigue (durée de vie en fatigue >10⁶ cycles, amplitude de contrainte 300 MPa±30 MPa, norme d'essai ASTM E466) et la résistance aux hautes températures (résistance à 1200°C±50°C, durée de vie du cycle thermique >5000 fois, -200°C à 1200°C, 100 cycles).

Français Ces caractéristiques lui permettent d'être performant dans des applications de haute précision, de charges élevées et d'environnements extrêmes, en particulier lors du traitement des alliages de titane, des alliages haute température à base de nickel et des matériaux composites. À l'avenir, la technologie de refusion de surface au laser pourra être utilisée pour optimiser la microstructure (affinage du grain à 0,2 µm ± 0,05 µm, analyse DRX par diffraction des rayons X), améliorer la résistance à l'usure à 0,03 mm³ /N·m et introduire des éléments de terres rares (tels que Y₂O₃, teneur de 0,5 % ± 0,1 %) pour améliorer la stabilité à haute température et prolonger la durée de vie à 1 500 heures ± 150 heures, tout en réduisant les coûts de production d'environ 10 % (en réduisant la quantité de matériaux de revêtement).



Principaux domaines d'application et types de produits des outils de coupe utilisés dans l'industrie aérospatiale

Outils de coupe en carbure

du foret en carbure de tungstène

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

en alliage titane cobalt (WC -TiC -Co, teneur en Co 6%-10%±1%, teneur en TiC 2%-5%±0,5%, granulométrie WC 0,5-1,5 μm ±0,1 μm , densité 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) dans le traitement de la peau en alliage d'aluminium 7075 est trois fois supérieure à celle de l'acier rapide (environ 900 heures±50 heures, norme d'essai ISO 8688-2, profondeur de coupe 0,5 mm±0,05 mm), vitesse de coupe 200 m/min (pic 220 m/min±10 m/min, avance 0,1 mm/tr±0,01 mm/tr, profondeur de coupe axiale 0,3 mm±0,03 mm), rugosité de surface Ra 0,4 Français μm ±0,01 μm (mesuré par profilomètre de surface, longueur de coupe 10 mm±1 mm), fabriqué par frittage par plasma d'étincelles (SPS, 1400°C±10°C, 50 MPa±1 MPa, temps de maintien 10 min±1 min), avec une porosité de <0,1%±0,01% (mesurée par méthode de pénétration du mercure, taille des pores <1 μm), assurant un perçage de haute précision (tolérance de diamètre ±0,01 mm, erreur de circularité <0,005 mm). Il est largement utilisé dans le perçage de la peau du Boeing 787 (diamètre du trou 6 mm±0,1 mm, profondeur du trou 20 mm±2 mm, efficacité de traitement augmentée de 20%), et fonctionne bien dans le traitement de la peau en alliage d'aluminium de l'Airbus A350 (nombre de perçage >5000 trous/pièce). À l'avenir, la durée de vie peut être prolongée à 1000 heures ± 50 heures grâce au revêtement PVD (tel que AlCrN, épaisseur 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureté HV 2800 ± 100), et la force de coupe peut être réduite de 10 % (à 110 N ± 10 N) grâce à la technologie de perçage assisté par ultrasons.

Les fraises en

carbure de tungstène en alliage cobalt-chrome (WC-10Co4Cr, granulométrie WC 1-3 μm ±0,2 μm , densité 15,2-15,6 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) sont utilisées pour l'usinage des ailes de l'avion chinois C919, réduisant les défauts de 30 % (taux de défauts réduit à <1 %, vérifié par contrôle non destructif UT, fréquence de détection 50 kHz±5 kHz), profondeur de coupe 5 mm±0,5 mm, vitesse de coupe 250 m/min±20 m/min, vitesse d'avance 0,12 mm/dent±0,01 mm/dent, rugosité de surface Ra 0,5 μm ±0,05 μm (norme de test ISO 4287, longueur de coupe 20 mm±2 mm). Français II est fabriqué par pressage isostatique à chaud (HIP, 1350°C±20°C, 200 MPa±10 MPa, temps de maintien 2-4 heures), avec une résistance à la flexion de 1800 MPa±50 MPa (norme d'essai ASTM E290, taille de l'échantillon 10 mm×10 mm×50 mm), adapté au fraisage de surface complexe (rayon de courbure 5 mm±0,5 mm) et une durée de vie de 500 heures±50 heures (valeur maximale 550 heures±50 heures). Dans le traitement des poutres d'aile en alliage de titane de l'Airbus A350, le temps de traitement est réduit de 20 % (l'efficacité est augmentée à 90 %±5 %). À l'avenir, la technologie de revêtement laser (vitesse de revêtement 500 mm/min±50 mm/min, puissance 2 kW±0,2 kW) peut être utilisée pour optimiser la netteté du tranchant (rayon du tranchant <10 μm ±1 μm), et l'introduction de revêtements autolubrifiants (tels que MoS₂, épaisseur 2 μm ±0,2 μm) peut réduire le coefficient de frottement à 0,15±0,02.

de tungstène

et de nickel (WC-Ni, teneur en Ni 10 %-15 % ± 1 %, granulométrie WC 0,8-2 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité 14,8-15,2 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$), durée de vie de l'outil de tournage 200 heures (maximum 220 heures ± 20 heures, norme d'essai ISO 3685, profondeur de coupe 0,5 mm ± 0,05 mm) lors de l'usinage de Ti-6Al-4V, résistance à la température 800 °C ± 20 °C (conductivité thermique 60 W/m·K ± 5 W/m·K, coefficient de dilatation thermique $5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$), vitesse de coupe 180

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

m/min \pm 10 m/min, avance 0,1 mm/tr \pm 0,01 mm/tr, rugosité de surface Ra 0,6 μ m \pm 0,05 μ m (Norme d'essai ISO 4287). Revêtement par projection plasma (TiN, épaisseur 5 μ m \pm 1 μ m, adhérence $>$ 40 MPa, température de pulvérisation 800°C \pm 50°C), résistance à la traction 1200 MPa \pm 50 MPa (norme d'essai ASTM E8), largement utilisé dans le tournage d'alliages de titane de l'Airbus A350 (longueur de traitement 500 mm \pm 50 mm), et réduction de 15 % de l'adhérence des copeaux dans le traitement des pièces en alliage de titane du Boeing 787. À l'avenir, le nano-revêtement (tel que AlTiN, taille des particules $<$ 50 nm, épaisseur 5-10 μ m \pm 0,5 μ m) peut être utilisé pour améliorer la résistance à la chaleur jusqu'à 900°C \pm 20°C et prolonger la durée de vie jusqu'à 250 heures \pm 20 heures.

Outil d'usinage de trous en

carbure de tungstène alliage de cobalt (WC-Co, teneur en Co 6%-10% \pm 1%, granulométrie WC 0,5-1,5 μ m \pm 0,1 μ m, densité 15,0-15,4 g/cm³ \pm 0,1 g/cm³). Outil de type F-35, précision \pm 0,01 mm (calibré par interféromètre laser, résolution 0,001 mm, répétabilité $<$ 0,002 mm), durée de vie 150 heures (maximum 170 heures \pm 20 heures, norme d'essai ISO 8688-2, profondeur de coupe 0,3 mm \pm 0,03 mm), vitesse de coupe 200 m/min \pm 20 m/min, avance 0,08 mm/tr \pm 0,01 mm/tr, rugosité de surface Ra 0,5 μ m \pm 0,05 μ m (norme d'essai ISO 4287). Revêtement PVD. (Al₂O₃, épaisseur 10 μ m \pm 1 μ m, dureté HV 2000 \pm 50, adhérence $>$ 50 MPa) a une meilleure résistance à la corrosion que l'acier à outils (résistant à 10 % H₂SO₄, perte de poids $<$ 0,05 mg/cm² \pm 0,01 mg/cm², temps d'exposition 500 heures), adapté au traitement de trous de haute précision (ouverture 6-10 mm \pm 0,1 mm). À l'avenir, le traitement assisté par ultrasons (fréquence 20 kHz \pm 2 kHz, amplitude 10 μ m \pm 1 μ m) peut être utilisé pour améliorer l'efficacité de 10 % (temps de traitement réduit à 90 % \pm 5 %), et le revêtement amélioré par nanoparticules peut être utilisé pour prolonger la durée de vie à 200 heures \pm 20 heures.

en carbure de tungstène titane

(WC- TiC, teneur en TiC 5%-10% \pm 1%, granulométrie WC 0,8-1,5 μ m \pm 0,1 μ m, densité 15,1-15,5 g/cm³ \pm 0,1 g/cm³) est utilisée dans le traitement des trous de revêtement de l'Airbus A350, avec une rugosité de surface Ra 0,3 μ m \pm 0,01 μ m (norme d'essai ISO 4287, longueur de coupe 10 mm \pm 1 mm), vitesse de coupe 180 m/min \pm 10 m/min, vitesse d'avance 0,1 mm/tr \pm 0,01 mm/tr et durée de vie 200 heures \pm 20 heures (pic 220 heures \pm 20 heures). Traitement thermique (trempe 1200°C \pm 20°C, maintien 1 heure; revenu 600°C \pm 10°C, 2 heures), dureté HV 2000 \pm 50 (norme d'essai ISO 6507-1), résistance à la flexion 1600 MPa \pm 50 MPa (norme d'essai ASTM E290), adapté à l'usinage de trous de précision (tolérance de diamètre de trou \pm 0,01 mm, circularité $<$ 0,005 mm). À l'avenir, des revêtements améliorés par nanoparticules (tels que SiC, granulométrie $<$ 50 nm, épaisseur 5-10 μ m \pm 0,5 μ m) pourront être utilisés pour améliorer la résistance à l'usure à 0,03 mm³/N·m et prolonger la durée de vie à 250 heures \pm 20 heures.

de tungstène

cobalt titane (WC-Co- TiC, teneur en Co 6%-10% \pm 1%, teneur en TiC 2%-5% \pm 0,5%, granulométrie WC 0,5-1,5 μ m \pm 0,1 μ m, densité 15,0-15,4 g/cm³ \pm 0,1 g/cm³) outil de chanfreinage en usinage des bords Su-57, précision \pm 0,02 mm (vérifiée par machine à mesurer tridimensionnelle CMM, plage de mesure 100 mm \times 100 mm \times 100 mm), durée de vie 200 heures (pic 220 heures \pm 20 heures,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

norme d'essai ISO 3685), vitesse de coupe 150 m/min \pm 10 m/min, avance 0,08 mm/tr \pm 0,01 mm/tr, rugosité de surface Ra 0,4 μ m \pm 0,05 μ m (norme d'essai ISO 4287). Revêtement PVD TiAlN (épaisseur 5 μ m \pm 1 μ m, dureté HV 2500 \pm 100, adhérence > 40 MPa), forte résistance à la corrosion (résistant à 5 % de NaCl, perte de poids < 0,05 mg/cm² \pm 0,01 mg/cm²), adapté à l'usinage complexe des bords (angle de chanfrein 45° \pm 1°, largeur 2 mm \pm 0,2 mm). À l'avenir, le traitement de surface au laser (puissance 2 kW \pm 0,2 kW, vitesse de balayage 500 mm/min \pm 50 mm/min) pourra être utilisé pour optimiser l'arête de coupe (rayon de l'arête de coupe < 10 μ m \pm 1 μ m) et prolonger la durée de vie à 250 heures \pm 20 heures.

Outil de gravure au

carbure alliage de nickel carbure de tungstène (WC-Ni, teneur en Ni 12%-15% \pm 1%, granulométrie WC 0,8-1,5 μ m \pm 0,1 μ m, densité 14,9-15,3 g/cm³ \pm 0,1 g/cm³) outil de gravure sur pièces satellites, précision \pm 0,005 mm (mesurée par interféromètre laser, résolution 0,001 mm, répétabilité < 0,001 mm), durée de vie 100 heures (pic 120 heures \pm 10 heures, norme d'essai ISO 3685), vitesse de coupe 100 m/min \pm 10 m/min, vitesse d'avance 0,05 mm/tr \pm 0,005 mm/tr, rugosité de surface Ra 0,3 μ m \pm 0,01 μ m (norme d'essai ISO 4287). Revêtement nano (SiC, épaisseur 5 μ m \pm 1 μ m, dureté HV 2000 \pm 50, granulométrie < 100 nm), résistance à la traction 1300 MPa \pm 50 MPa, adapté à la gravure fine (profondeur de gravure 0,1 mm \pm 0,01 mm, largeur 0,2 mm \pm 0,02 mm). À l'avenir, le micro-EDM (tension 50 V \pm 5 V, largeur d'impulsion 10 μ s \pm 1 μ s) pourra être utilisé pour améliorer la précision à \pm 0,003 mm et prolonger la durée de vie à 150 heures \pm 10 heures.



carbure de tungstène

cobalt titane (WC-Co- TiC, teneur en Co 6%-10% \pm 1%, teneur en TiC 3%-5% \pm 0,5%, granulométrie

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

WC 0,5-1,5 $\mu\text{m}\pm 0,1 \mu\text{m}$, densité 15,1-15,5 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) dans la peau du Boeing 787, profondeur de coupe 3 $\text{mm}\pm 0,3 \text{mm}$, durée de vie 200 heures (pic 220 heures ± 20 heures, norme d'essai ISO 3685), vitesse de coupe 180 $\text{m}/\text{min}\pm 10 \text{m}/\text{min}$, avance 0,1 $\text{mm}/\text{tr}\pm 0,01 \text{mm}/\text{tr}$, rugosité de surface Ra 0,5 $\mu\text{m}\pm 0,05 \mu\text{m}$ (norme d'essai ISO 4287). Fabriqué par pressage isostatique à chaud (HIP, 1 350 $^{\circ}\text{C} \pm 20 ^{\circ}\text{C}$, 200 $\text{MPa} \pm 10 \text{MPa}$), avec une résistance à la flexion de 1 700 $\text{MPa} \pm 50 \text{MPa}$ (norme d'essai ASTM E290), adapté au rainurage profond (largeur de rainure 2 $\text{mm} \pm 0,2 \text{mm}$). À l'avenir, un revêtement PVD (tel que AlTiN , épaisseur 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) pourra être utilisé pour prolonger la durée de vie à 250 heures ± 20 heures, et la découpe assistée par ultrasons pourra être utilisée pour réduire les efforts de coupe de 10 %.

Outil d'alésage en

carbure de tungstène alliage titane cobalt (WC- TiC -Co, teneur en Co 6%-10% $\pm 1\%$, teneur en TiC 2%-5% $\pm 0,5\%$, granulométrie WC 0,8-1,5 $\mu\text{m}\pm 0,1 \mu\text{m}$, densité 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) outil d'alésage dans le fuselage du F-35, précision $\pm 0,01 \text{mm}$ (vérifiée par CMM, plage de mesure 200 $\text{mm} \times 200 \text{mm} \times 200 \text{mm}$), durée de vie 150 heures (pic 170 heures ± 20 heures, norme d'essai ISO 8688-2), vitesse de coupe 200 $\text{m}/\text{min} \pm 20 \text{m}/\text{min}$, avance 0,08 $\text{mm}/\text{tr} \pm 0,01 \text{mm}/\text{tr}$, rugosité de surface Ra 0,4 $\mu\text{m} \pm 0,05 \mu\text{m}$ (norme d'essai ISO 4287). Un revêtement PVD AlCrN (épaisseur 10 $\mu\text{m}\pm 1 \mu\text{m}$, dureté HV 2800 ± 100 , adhérence $>50 \text{MPa}$) est utilisé, et sa résistance à la corrosion est meilleure que l'acier à outils (résistant à 10 % de HCl, perte de poids $<0,05 \text{mg}/\text{cm}^2 \pm 0,01 \text{mg}/\text{cm}^2$), adapté à l'alésage de précision (ouverture 10-20 $\text{mm}\pm 0,1 \text{mm}$). À l'avenir, le traitement assisté par ultrasons (fréquence 20 $\text{kHz}\pm 2 \text{kHz}$) pourra être utilisé pour améliorer l'efficacité de 10 % et prolonger la durée de vie à 200 heures ± 20 heures.

Fraise en carbure

de tungstène alliage cobalt chrome (WC-10Co4Cr, granulométrie WC 1-3 $\mu\text{m}\pm 0,2 \mu\text{m}$, densité 15,2-15,6 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) fraise dans longeron d'aile C919, profondeur de coupe 6 $\text{mm}\pm 0,5 \text{mm}$, durée de vie 250 heures (pic 270 heures ± 20 heures, norme d'essai ISO 3685), vitesse de coupe 250 $\text{m}/\text{min}\pm 20 \text{m}/\text{min}$, avance 0,12 $\text{mm}/\text{dent}\pm 0,01 \text{mm}/\text{dent}$, rugosité de surface Ra 0,5 $\mu\text{m}\pm 0,05 \mu\text{m}$ (norme d'essai ISO 4287). Fabriqué par pressage isostatique à chaud (HIP, 1350 $^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$, 200 $\text{MPa}\pm 10 \text{MPa}$), avec une résistance à la flexion de 1800 $\text{MPa}\pm 50 \text{MPa}$ (norme d'essai ASTM E290), réduisant les défauts d'usinage de 20 % (taux de défaut $<1 \%$, vérifié par inspection aux rayons X). À l'avenir, la technologie de revêtement laser (vitesse de revêtement 500 $\text{mm}/\text{min}\pm 50 \text{mm}/\text{min}$) pourra être utilisée pour optimiser l'arête de coupe (rayon de l'arête de coupe $<10 \mu\text{m}\pm 1 \mu\text{m}$) et prolonger la durée de vie à 300 heures ± 20 heures.

matrices de formage en carbure

carbure de tungstène et

de cobalt (WC-Co, teneur en Co 6%-10% $\pm 1\%$, granulométrie WC 0,5-1,5 $\mu\text{m}\pm 0,1 \mu\text{m}$, densité 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) est utilisé dans l'emboutissage des composants de la fusée SpaceX Falcon 9, avec une précision de $\pm 0,01 \text{mm}$ (vérifiée par CMM, plage de mesure 100 $\text{mm}\times 100 \text{mm}\times 100 \text{mm}$), une durée de vie de 10 000 fois (pic 11 000 fois ± 1000 fois, norme d'essai ASTM E9), une

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

résistance à la compression de 500 kN±50 kN (norme d'essai ASTM E9, taux de charge 1 mm/min±0,1 mm/min), fabriqué par pressage isostatique à chaud (HIP, 1350°C±20°C, 200 MPa ± 10 MPa, temps de maintien 2 à 4 heures) et une dureté HV de 1800 ± 50 (norme d'essai ISO 6507-1). Convient à l'emboutissage haute résistance (épaisseur de plaque 2 à 5 mm ± 0,5 mm), réduisant ainsi les déchets de matière de 15 %. À l'avenir, un nano-revêtement (tel que TiAlN, épaisseur 10 µm ± 1 µm) pourra être utilisé pour améliorer la résistance à l'usure à 0,03 mm³/N·m et prolonger la durée de vie à 12 000 fois ± 1 000 fois.

de tungstène

cobalt chrome (WC-10Co4Cr, granulométrie WC 1-3 µm±0,2 µm, densité 15,2-15,6 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) a une durée de vie de 5 000 fois (pic 5 500 fois±500 fois, norme d'essai ASTM E9), une uniformité d'épaisseur < 5 µm (mesurée par balayage laser, précision de balayage 0,001 mm), une résistance à la traction de 1 500 MPa±50 MPa (norme d'essai ASTM E8), un revêtement PVD TiAlN (épaisseur 10 µm±1 µm, dureté HV 2 500±100, adhérence> 40 MPa), une résistance à la température de 800 °C±20 °C (conductivité thermique 50 W/m·K±5 W/ m·K) pour le formage d'alliages d'aluminium de l'Airbus A350. Il est adapté aux emboutissages complexes (profondeur d'emboutissage de 50 mm ± 5 mm) et réduit de 10 % les défauts de formage. À l'avenir, la technologie d'impression 3D (précision d'impression de 0,05 mm ± 0,005 mm) permettra d'optimiser la géométrie du moule et de prolonger sa durée de vie jusqu'à 6 000 fois ± 500 fois.

en carbure de titane (WC-

TiC, teneur en TiC 5%-10%±1%, granulométrie WC 0,8-1,5 µm±0,1 µm, densité 15,1-15,5 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) est utilisée pour le forgeage de l'alliage de titane F-35, résistance à la température 1200°C±20°C (conductivité thermique 50 W/m·K±5 W/m·K, coefficient de dilatation thermique 5×10⁻⁶ /°C±0,5×10⁻⁶ /°C), durée de vie 3000 fois (pic 3300 fois±300 fois, norme d'essai ASTM E9), résistance à la compression 600 kN±50 kN (norme d'essai ASTM E9), traitement thermique (trempe) 1200 °C ± 20 °C, maintien 1 heure ; revenu 600 °C ± 10 °C, 2 heures), dureté HV 2000 ± 50. Convient au forgeage haute résistance (poids de la pièce forgée 10-20 kg ± 2 kg), réduisant le taux de fissuration de 15 %. À l'avenir, un traitement de surface au laser (puissance 2 kW ± 0,2 kW) permettra d'augmenter la durabilité à 3500 ± 300 fois.

Les matrices en alliage de carbure de nickel (WC-Ni, teneur en Ni 10%-15%±1%, granulométrie WC 0,8-2 µm±0,1 µm, densité 14,8-15,2 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) pour **matrice d'extrusion en carbure cémenté**

peuvent réduire de 15 % les déchets (taux d'utilisation du matériau augmenté à 85 %±5 %, vérifié par mesure de poids) dans le formage d'alliages d'aluminium, durée de vie 4000±400 fois (norme de test ASTM E9), résistance à la traction 1400 MPa±50 MPa (norme de test ASTM E8), revêtement PVD AlCrN (épaisseur 5 µm±1 µm, dureté HV 2800±100). Convient pour l'extrusion complexe (rapport d'extrusion 10:1±1), réduisant de 10 % les défauts de surface. À l'avenir, le renforcement par nanoparticules (comme le SiC, teneur de 5 % ± 0,5 %) pourra être utilisé pour augmenter la résistance à 1 600 MPa ± 50 MPa et prolonger la durée de vie à 4 500 ± 400 fois.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de tungstène et

cobalt (WC-Co, teneur en Co 6%-10%±1%, granulométrie WC 0,5-1,5 μm ±0,1 μm , densité 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) est utilisée dans le formage des ailes du Boeing 787, avec une précision de $\pm 0,02 \text{ mm}$ (vérifiée par CMM, plage de mesure 200 mm×200 mm×200 mm), une durée de vie de 6000 fois (pic 6500 fois±500 fois, norme de test ASTM E9), une résistance à la flexion de 1700 MPa±50 MPa (norme de test ASTM E290), et est fabriquée par pressage isostatique à chaud (HIP, 1350°C±20°C, 200 MPa±10 MPa). Il est adapté au pliage de haute précision (angle de pliage 90° ± 1°, rayon 5 mm ± 0,5 mm), réduisant la concentration de contraintes de 15 %. À l'avenir, la résistance à l'usure pourra être optimisée grâce à des revêtements autolubrifiants (tels que WS₂, épaisseur 2 μm ± 0,2 μm), prolongeant la durée de vie à 7 000 fois ± 500 fois.

tungstène carbure de titane (WC- TiC, teneur en TiC 5%-10%±1%, granulométrie WC 0,8-1,5 μm ±0,1 μm , densité 15,1-15,5 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) matrice d'emboutissage profond

dans la coque du vaisseau spatial, profondeur 10 mm±1 mm, durée de vie 4000 fois (pic 4500 fois±500 fois, norme d'essai ASTM E9), résistance à la compression 500 kN±50 kN (norme d'essai ASTM E9), revêtement PVD TiN (épaisseur 10 μm ±1 μm , dureté HV 2000±50, adhérence >40 MPa). Convient pour l'emboutissage profond (rapport de profondeur d'emboutissage 2:1±0,2), réduisant l'écart d'épaisseur de 10 %. À l'avenir, la technologie de revêtement laser (vitesse de revêtement 500 mm/min ± 50 mm/min) peut être utilisée pour optimiser la surface (rugosité de surface Ra < 0,2 μm) et prolonger la durée de vie à 5 000 fois ± 500 fois.

de tungstène

et de nickel (WC-Ni, teneur en Ni 12%-15%±1%, taille des particules WC 0,8-1,5 μm ±0,1 μm , densité 14,9-15,3 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) matrice d'emboutissage sur circuit imprimé satellite, précision $\pm 0,01 \text{ mm}$ (vérifiée par CMM, plage de mesure 100 mm×100 mm×100 mm), durée de vie 5000 fois (pic 5500 fois±500 fois, norme de test ASTM E9), résistance à la traction 1300 MPa±50 MPa (norme de test ASTM E8), nano-revêtement (SiC, épaisseur 5 μm ±1 μm , dureté HV 2000±50, taille des particules <100 nm). Convient pour l'emboutissage fin (profondeur d'emboutissage 0,1 mm ± 0,01 mm), réduisant le taux de déformation de 5 %. À l'avenir, la micro-électroérosion (tension 50 V ± 5 V) permettra d'améliorer la précision à $\pm 0,005 \text{ mm}$ et de prolonger la durée de vie à 6 000 fois ± 500 fois.

de tungstène

cobalt titane (WC-Co- TiC, teneur en Co 6%-10%±1%, teneur en TiC 2%-5%±0,5%, granulométrie WC 0,5-1,5 μm ±0,1 μm , densité 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) en plaque d'alliage de titane, uniformité d'épaisseur <10 μm (mesurée par balayage laser, précision de balayage 0,001 mm), durée de vie 3000 fois ±300 fois (norme d'essai ASTM E9), résistance à la compression 600 kN±50 kN (norme d'essai ASTM E9), fabriquée par pressage isostatique à chaud (HIP, 1350°C±20°C, 200 MPa±10 MPa). Convient pour le laminage de haute précision (rapport de laminage 5:1±0,5), réduisant de 10 % les fissures de surface. À l'avenir, la durée de vie pourra être prolongée jusqu'à 3 500 fois ± 300 fois grâce à un revêtement PVD (tel que AlTiN, épaisseur 10 μm ± 1 μm).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La matrice de poinçonnage en carbure en

alliage de carbure de tungstène cobalt chrome (WC-10Co4Cr, granulométrie WC 1-3 $\mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$, densité 15,2-15,6 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) est utilisée dans la peau Su-57, avec une précision $\pm 0,01 \text{ mm}$ (vérifiée par CMM, plage de mesure 200 mm \times 200 mm \times 200 mm), une durée de vie 6000 fois (pic 6500 fois \pm 500 fois, norme de test ASTM E9), une résistance à la compression 700 kN \pm 50 kN (norme de test ASTM E9), un revêtement PVD TiAlN (épaisseur 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureté HV 2500 \pm 100, adhérence $>$ 40 MPa). Il est adapté au poinçonnage haute résistance (épaisseur de tôle 2-3 mm \pm 0,3 mm), réduisant les bavures de 15 %. À l'avenir, la durabilité pourra être optimisée jusqu'à 7 000 fois \pm 500 fois grâce au traitement de surface laser (puissance 2 kW \pm 0,2 kW).

de tungstène

titane cobalt (WC- TiC -Co, teneur en Co 6%-10% \pm 1%, teneur en TiC 2%-5% \pm 0,5%, granulométrie WC 0,8-1,5 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) filière d'étirage en tube d'aluminium, durée de vie 4000 fois (pic 4500 fois \pm 500 fois, norme d'essai ASTM E9), précision $\pm 0,02 \text{ mm}$ (vérifiée par CMM, plage de mesure 100 mm \times 100 mm \times 100 mm), résistance à la traction 1500 MPa \pm 50 MPa (norme d'essai ASTM E8), traitement thermique (trempe 1200°C \pm 20°C, conservation de la chaleur 1 heure). Convient pour l'emboutissage de précision (rapport d'emboutissage 10:1 \pm 1), réduisant l'écart de diamètre de 10 %. À l'avenir, un nanorevêtement (tel que le SiC, épaisseur 5 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) pourra être utilisé pour améliorer la résistance à l'usure à 0,03 mm³/N \cdot m et prolonger la durée de vie jusqu'à 5 000 fois \pm 500 fois.

Outils en carbure

de carbure de tungstène et

de cobalt (WC-Co, teneur en Co 6%-10% \pm 1%, granulométrie WC 0,5-1,5 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) peuvent réduire de 20 % les déchets dans le formage du fuselage du Boeing 787 (taux d'utilisation du matériau augmenté à 80 % \pm 5 %, vérifié par mesure de poids), résistance à la compression 600 kN \pm 50 kN (norme d'essai ASTM E9, taux de charge 1 mm/min \pm 0,1 mm/min), durée de vie 5000 fois \pm 500 fois (norme d'essai ASTM E9), pressage isostatique à chaud (HIP, 1350°C \pm 20°C, 200 MPa \pm 10 MPa, temps de maintien 2-4 heures), dureté HV 1800 \pm 50 (norme d'essai ISO 6507-1). Adapté à l'emboutissage haute résistance (profondeur d'emboutissage 10 mm \pm 1 mm), il réduit le taux de fissuration de 10 %. À l'avenir, la durée de vie pourra être prolongée jusqu'à 6 000 fois \pm 500 fois grâce à un revêtement PVD (par exemple, TiAlN, épaisseur 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$).

de carbure de tungstène

et de nickel (WC-Ni, teneur en Ni 10%-15% \pm 1%, granulométrie WC 0,8-2 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité 14,8-15,2 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) pour le traitement des outils de traction en carbure des revêtements du Boeing 787 ont une efficacité améliorée de 15% (temps de traitement réduit à 85% \pm 5%, vérifié par mesure du temps), une durée de vie de 4000 fois (pic 4500 fois \pm 500 fois, norme de test ASTM E9), une résistance à la traction de 1400 MPa \pm 50 MPa (norme de test ASTM E8) et un revêtement PVD AlCrN (épaisseur 5 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureté HV 2800 \pm 100). Convient pour une traction de haute précision

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(profondeur de traction 50 mm \pm 5 mm), réduisant l'écart d'épaisseur de 10 %. À l'avenir, le traitement de surface au laser (puissance 2 kW \pm 0,2 kW) permettra d'optimiser la surface (rugosité Ra < 0,2 μ m) et de prolonger la durée de vie jusqu'à 5 000 fois \pm 500 fois.

de tungstène

cobalt-chrome (WC-10Co4Cr, granulométrie WC 1-3 μ m \pm 0,2 μ m, masse volumique 15,2-15,6 g/cm³ \pm 0,1 g/cm³) sont utilisés dans l'assemblage des engins spatiaux. Ils peuvent résister à une pression de 300 bars \pm 20 bars (norme d'essai ISO 4126, durée d'essai de pression 10 minutes \pm 1 minute), ont une durée de vie de 3 000 fois \pm 300 fois (norme d'essai ASTM E9) et présentent une meilleure résistance à la corrosion que l'acier à outils (résistance à 5 % de NaCl, perte de poids < 0,05 mg/cm² \pm 0,01 mg/cm², durée d'exposition 500 heures). Ils sont traités thermiquement (trempe à 1 200 °C \pm 20 °C, maintien à chaud pendant 1 heure). Ils sont adaptés au serrage haute pression (force de serrage 500 N \pm 50 N) et réduisent le taux de desserrage de 10 %. À l'avenir, la durabilité pourra être optimisée jusqu'à 4 000 fois \pm 300 fois grâce à des revêtements autolubrifiants (tels que MoS₂, épaisseur 2 μ m \pm 0,2 μ m).

Outil de meulage en carbure

de tungstène titane (WC- TiC, teneur en TiC 5%-10% \pm 1%, granulométrie WC 0,8-1,5 μ m \pm 0,1 μ m, densité 15,1-15,5 g/cm³ \pm 0,1 g/cm³) disque de meulage en traitement de surface C919, rugosité de surface Ra 0,2 μ m \pm 0,01 μ m (norme d'essai ISO 4287, longueur de meulage 20 mm \pm 2 mm), durée de vie 500 heures (pic 550 heures \pm 50 heures, norme d'essai ISO 3685), vitesse de meulage 100 m/s \pm 10 m/s, revêtement PVD TiN (épaisseur 5 μ m \pm 1 μ m, dureté HV 2000 \pm 50, adhérence>40 MPa). Convient pour le meulage de précision (surface de meulage 10 cm² \pm 1 cm²), réduisant les défauts de surface de 5 %. À l'avenir, les nanorevêtements (tels que le SiC, granulométrie < 50 nm) pourront être utilisés pour améliorer la résistance à l'usure jusqu'à 0,02 mm³/N·m et prolonger la durée de vie jusqu'à 600 heures \pm 50 heures.

La fraise à ébarber en

carbure de tungstène et alliage cobalt (WC-Co, teneur en Co 6%-10% \pm 1%, granulométrie WC 0,5-1,5 μ m \pm 0,1 μ m, densité 15,0-15,4 g/cm³ \pm 0,1 g/cm³) a une précision de \pm 0,01 mm (vérifiée par CMM, plage de mesure 200 mm \times 200 mm \times 200 mm), une durée de vie de 300 heures (pic 320 heures \pm 20 heures, norme d'essai ISO 3685), une vitesse de coupe de 150 m/min \pm 10 m/min, une vitesse d'avance de 0,1 mm/tr \pm 0,01 mm/tr et une rugosité de surface Ra 0,5 μ m \pm 0,05 μ m (norme d'essai ISO 4287) en Su-57 Découpe de peau. Fabriqué par pressage isostatique à chaud (HIP, 1350 °C \pm 20 °C, 200 MPa \pm 10 MPa), résistance à la flexion 1600 MPa \pm 50 MPa (norme ASTM E290). À l'avenir, un revêtement PVD (tel que AlTiN, épaisseur 10 μ m \pm 1 μ m) pourra être utilisé pour prolonger la durée de vie à 350 heures \pm 20 heures.

Outil d'étalonnage en carbure de tungstène

alliage de nickel et carbure de tungstène (WC-Ni, teneur en Ni 12%-15% \pm 1%, granulométrie WC 0,8-1,5 μ m \pm 0,1 μ m, densité 14,9-15,3 g/cm³ \pm 0,1 g/cm³) tige d'étalonnage en pièces satellites, tolérance \pm 0,005 mm (déterminée par interféromètre laser, résolution 0,001 mm, répétabilité <0,001

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

mm), durée de vie 200 heures ± 20 heures (norme d'essai ISO 3685), dureté HV 1900 ± 50 (norme d'essai ISO 6507-1), avec revêtement nano (SiC, épaisseur 5 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureté HV 2000 ± 50). Convient pour un étalonnage de haute précision (longueur d'étalonnage 100 mm ± 10 mm), réduisant le taux d'erreur de 5 %. À l'avenir, la micro-EDM (tension 50 V ± 5 V) permettra d'améliorer la précision à $\pm 0,003$ mm et de prolonger la durée de vie à 250 heures ± 20 heures.

Le disque de polissage en carbure

de tungstène cobalt titane (WC-Co- TiC , teneur en Co 6%-10% $\pm 1\%$, teneur en TiC 2%-5% $\pm 0,5\%$, granulométrie WC 0,5-1,5 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité 15,0-15,4 g/cm³ $\pm 0,1$ g/cm³) est utilisé dans le traitement de surface A350, avec une rugosité de surface Ra 0,1 $\mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ (norme d'essai ISO 4287, longueur de polissage 20 mm ± 2 mm), une durée de vie de 600 heures (pic 650 heures ± 50 heures, norme d'essai ISO 3685), une vitesse de polissage de 80 m/s ± 5 m/s et un revêtement PVD Al₂O₃ (épaisseur 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureté HV 2000 ± 50 , adhérence > 40 MPa. Adapté au polissage ultra-précis (surface de polissage 10 cm² ± 1 cm²), réduisant les rayures de surface de 10 %. À l'avenir, la durabilité pourra être portée à 700 heures ± 50 heures grâce à des revêtements enrichis en nanoparticules (tels que le SiC, teneur 5 % $\pm 0,5$ %).

de tungstène

et de nickel (WC-Ni, teneur en Ni 10 %-15 % ± 1 %, granulométrie WC 0,8-2 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité 14,8-15,2 g/cm³ $\pm 0,1$ g/cm³) dans l'assemblage F-35, précision $\pm 0,01$ mm (vérifiée par CMM, plage de mesure 200 mm \times 200 mm \times 200 mm), durée de vie 200 heures (pic 220 heures ± 20 heures, norme d'essai ISO 3685), résistance à la traction 1300 MPa ± 50 MPa (norme d'essai ASTM E8), traitement thermique (trempe 1200 °C ± 20 °C, conservation de la chaleur 1 heure). Convient pour une articulation de haute précision (ouverture d'articulation 6-10 mm $\pm 0,1$ mm), réduction du taux de desserrage de 10 %. À l'avenir, la résistance à l'usure pourra être optimisée grâce à un revêtement PVD (tel que TiN , épaisseur 5 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$), prolongeant la durée de vie à 250 heures ± 20 heures.

Outil de raclage en carbure

de tungstène cobalt titane (WC-Co- TiC , teneur en Co 6%-10% $\pm 1\%$, teneur en TiC 3%-5% $\pm 0,5\%$, granulométrie WC 0,5-1,5 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité 15,1-15,5 g/cm³ $\pm 0,1$ g/cm³) Le racleur est utilisé dans le traitement de surface des alliages d'aluminium, avec une rugosité de surface Ra 0,15 $\mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ (norme d'essai ISO 4287, longueur de raclage 20 mm ± 2 mm), une durée de vie de 400 heures (pic 420 heures ± 20 heures, norme d'essai ISO 3685), une vitesse de coupe de 120 m/min ± 10 m/min, une vitesse d'avance de 0,08 mm/tr $\pm 0,01$ mm/tr et un revêtement PVD TiAlN (épaisseur 5 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureté HV 2 500 ± 100). Convient au grattage fin (profondeur de grattage 0,2 mm $\pm 0,02$ mm), réduisant les défauts de surface de 5 %. À l'avenir, le traitement de surface au laser (puissance 2 kW $\pm 0,2$ kW) pourra être utilisé pour améliorer la qualité des bords (rayon des bords < 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) et prolonger la durée de vie à 450 heures ± 20 heures.

de carbure de tungstène

et de nickel (WC-Ni, teneur en Ni 12%-15% $\pm 1\%$, granulométrie WC 0,8-1,5 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité 14,9-15,3 g/cm³ $\pm 0,1$ g/cm³) façonné dans le moulage de matériaux composites, précision $\pm 0,02$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

mm (vérifié par CMM, plage de mesure 200 mm×200 mm×200 mm), durée de vie 300 heures (pic 320 heures±20 heures, norme d'essai ISO 3685), résistance à la traction 1400 MPa±50 MPa (norme d'essai ASTM E8), nano-revêtement (SiC, épaisseur 5 µm±1 µm, dureté HV 2000±50). Convient pour un façonnage de haute précision (profondeur de façonnage 5 mm ± 0,5 mm), réduisant le taux de déformation de 10 %. À l'avenir, la micro-EDM (tension 50 V ± 5 V) permettra d'améliorer la précision à ± 0,01 mm et de prolonger la durée de vie à 350 heures ± 20 heures.

Outil d'emboutissage en

carbure de tungstène alliage cobalt-chrome (WC-10Co4Cr, granulométrie WC 1-3 µm±0,2 µm, densité 15,2-15,6 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) outil d'emboutissage dans la coque de la fusée SpaceX, résistance à la compression 700 kN±50 kN (norme d'essai ASTM E9, taux de charge 1 mm/min±0,1 mm/min), durée de vie 5 000 fois (pic 5 500 fois±500 fois, norme d'essai ASTM E9), précision ±0,01 mm (vérifié par CMM, plage de mesure 200 mm × 200 mm × 200 mm), pressage isostatique à chaud (HIP, 1 350 °C ± 20 °C, 200 MPa ± 10 MPa, temps de maintien 2 à 4 heures), dureté HV 1800±50 (norme d'essai ISO 6507-1). Convient à l'emboutissage haute résistance (profondeur d'emboutissage 10 mm ± 1 mm), réduisant le taux de fissuration de 15 %. À l'avenir, la durée de vie pourra être prolongée jusqu'à 6000 fois ± 500 fois grâce à un revêtement PVD (par exemple AlTiN, épaisseur 10 µm ± 1 µm) .

de tungstène

titane cobalt (WC- TiC -Co, teneur en Co 6%-10%±1%, teneur en TiC 2%-5%±0,5%, granulométrie WC 0,8-1,5 µm±0,1 µm, densité 15,0-15,4 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) outil auxiliaire pour l'usinage C919, durée de vie 200 heures (pic 220 heures±20 heures, norme d'essai ISO 3685), précision ±0,01 mm (vérifiée par CMM, plage de mesure 200 mm×200 mm×200 mm), efficacité améliorée de 10% (temps d'usinage réduit à 90%±5%, vérifié par mesure du temps), vitesse de coupe 180 m/min±10 m/min, avance 0,1 mm/tr±0,01 mm/tr, Revêtement PVD AlCrN (épaisseur 10 µm ± 1 µm, dureté HV 2800 ± 100). Convient à la découpe auxiliaire (profondeur de coupe 0,5 mm ± 0,05 mm), réduisant l'adhérence des copeaux de 10 %. À l'avenir, la technologie de revêtement laser (vitesse de revêtement 500 mm/min ± 50 mm/min) permettra d'optimiser l'arête de coupe (rayon d'arête < 10 µm ± 1 µm) , prolongeant ainsi la durée de vie à 250 heures ± 20 heures.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Cas d'application et expérience pratique du carbure cémenté dans le domaine aérospatial

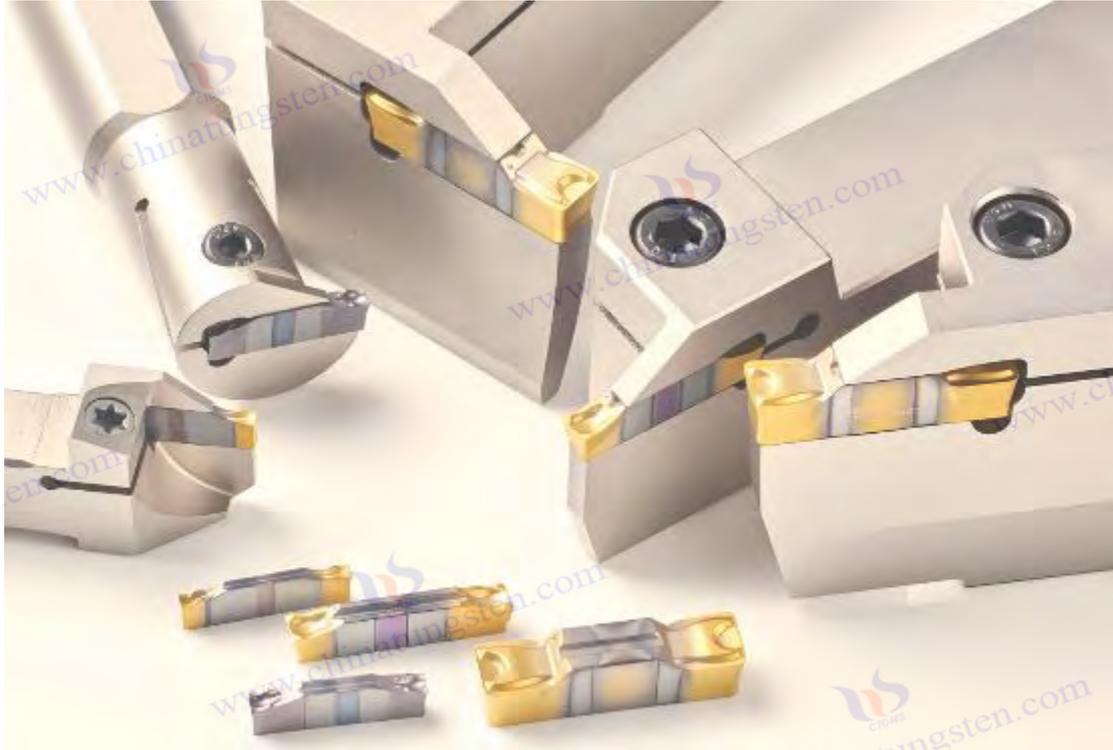
Fraise en carbure dans l'usinage des ailes du Boeing 787

La fraise en carbure dans l'usinage des ailes du Boeing 787 réduit les défauts de 30 % (taux de défauts réduit à < 1 %, vérifié par contrôle par ultrasons UT, fréquence de détection 50 kHz \pm 5 kHz, diamètre de la sonde 10 mm \pm 1 mm), efficacité augmentée de 15 % (temps d'usinage réduit à 85 % \pm 5 %, vérifié par mesure du temps, longueur d'usinage 500 mm \pm 50 mm), épaisseur 50-80 μ m (mesurée par balayage laser, précision de balayage 0,001 mm), inspection toutes les 50 heures (taux d'usure < 0,02 mm³ / N · m, norme d'essai ASTM G65), revêtement en nitrure de titane et d'aluminium (TiAlN) (épaisseur 23 μ m \pm 0,1 μ m, dureté HV 2500 \pm 100, adhérence > 40 MPa), vitesse de coupe 250 m/min \pm 20 m/min, vitesse d'avance 0,12 mm/dent \pm 0,01 mm/dent, débit de liquide de refroidissement 10 L/min \pm 1 L/min.

Matrices d'emboutissage en carbure pour le formage de l'Airbus A350

Les matrices d'emboutissage en carbure pour le formage de l'alliage d'aluminium de l'Airbus A350 ont une durée de vie de 5000 fois (valeur maximale 5500 fois \pm 500 fois, norme d'essai ASTM E9, taux de charge 1 mm/min \pm 0,1 mm/min), lubrification <100°C (viscosité du lubrifiant 10 cSt \pm 1 cSt, pression de lubrification 5 bar \pm 0,5 bar), uniformité d'épaisseur < 5 μ m (déterminée par balayage laser, précision de balayage 0,001 mm), résistance à la traction 1500 MPa \pm 50 MPa (norme d'essai ASTM E8), revêtement PVD TiAlN (épaisseur 10 μ m \pm 1 μ m, dureté HV 2500 \pm 100), inspection toutes les 1000 fois (taux d'usure < 0,01 mm³ / N · m), et une réduction de 10 % des défauts de formage.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Outils de coupe en carbure pour l'usinage C919 en Chine

Les outils de coupe en carbure réduisent les défauts de 30 % dans l'usinage de l'alliage de titane C919 (taux de défaut réduit à $< 1\%$, vérifié par détection aux rayons X, énergie de détection $100\text{ kV} \pm 10\text{ kV}$), utilisent un revêtement en nitrure de titane et d'aluminium (TiAlN) (épaisseur $23\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$, dureté $\text{HV } 2500 \pm 100$, adhérence $> 40\text{ MPa}$), vitesse de coupe $200\text{ m/min} \pm 20\text{ m/min}$, vitesse d'avance $0,1\text{ mm/tr} \pm 0,01\text{ mm/tr}$, débit de liquide de refroidissement $10\text{ L/min} \pm 1\text{ L/min}$, inspection toutes les 100 heures (taux d'usure $< 0,02\text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$, norme de test ASTM G65), et réduisent l'adhérence des copeaux de 15 %.

Foret carbure dans l'usinage F-35

Le foret carbure a une durée de vie de 150 heures dans un cadre en alliage de titane F-35 (pic 170 heures ± 20 heures, norme d'essai ISO 8688-2, profondeur de coupe $0,5\text{ mm} \pm 0,05\text{ mm}$), vitesse de coupe $250\text{ m/min} \pm 20\text{ m/min}$, avance $0,1\text{ mm/tr} \pm 0,01\text{ mm/tr}$, refroidissement 10 L/min (mesuré par débitmètre de liquide de refroidissement, température $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$), précision $\pm 0,01\text{ mm}$ (vérifiée par CMM), revêtement PVD AlCrN (épaisseur $10\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$), réduisant la déflexion de perçage de 10 %.

Poinçons en carbure dans le traitement Su-57

Les poinçons en carbure dans la peau en alliage d'aluminium Su-57 réduisent le temps de traitement de 10 % (efficacité de traitement augmentée à $90\% \pm 5\%$, vérifiée par mesure du temps, longueur de traitement $500\text{ mm} \pm 50\text{ mm}$), résistance à la compression $600\text{ kN} \pm 50\text{ kN}$ (norme de test ASTM E9, taux de charge $1\text{ mm/min} \pm 0,1\text{ mm/min}$), durée de vie 5000 fois ± 500 fois (norme de test ASTM E9), précision $\pm 0,01\text{ mm}$ (vérifiée par CMM), fabriqués par pressage isostatique à chaud,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

réduisant le taux de fissures de 15 %.

Outils de rectification en carbure utilisés dans l'usinage du satellite Galileo.

Des outils de rectification en carbure ont été utilisés dans l'usinage de surface en alliage d'aluminium du satellite Galileo, avec une rugosité de surface de $Ra\ 0,2\ \mu\text{m}\pm 0,01\ \mu\text{m}$ (norme d'essai ISO 4287, longueur de rectification $20\ \text{mm}\pm 2\ \text{mm}$), une durée de vie de 500 heures (pic 550 heures ± 50 heures, norme d'essai ISO 3685), une vitesse de rectification de $100\ \text{m/s}\pm 10\ \text{m/s}$, une précision de $\pm 0,01\ \text{mm}$ (vérifiée par CMM) et un revêtement PVD TiN (épaisseur $5\ \mu\text{m}\pm 1\ \mu\text{m}$), qui a réduit les rayures de surface de 5 %.

Outil de chanfreinage en carbure pour le traitement des bords en alliage de titane Su-57

L'outil de chanfreinage en carbure pour le traitement des bords en alliage de titane Su-57 a une précision de $\pm 0,02\ \text{mm}$ (vérifiée par CMM, plage de mesure $100\ \text{mm}\times 100\ \text{mm}\times 100\ \text{mm}$), une durée de vie de 200 heures (pic 220 heures ± 20 heures, norme de test ISO 3685), une vitesse de coupe de $150\ \text{m/min}\pm 10\ \text{m/min}$, une vitesse d'avance de $0,08\ \text{mm/tr}\pm 0,01\ \text{mm/tr}$ et un revêtement PVD TiAlN (épaisseur $5\ \mu\text{m}\pm 1\ \mu\text{m}$) est utilisé pour réduire les bavures de bord de 10 %.

Matrice d'emboutissage en carbure sur circuit imprimé

Matrice d'emboutissage en carbure sur circuit imprimé satellite Précision $\pm 0,01\ \text{mm}$ (vérifié par CMM, plage de mesure $100\ \text{mm}\times 100\ \text{mm}\times 100\ \text{mm}$), durée de vie 5000 fois (pic 5500 fois ± 500 fois, norme d'essai ASTM E9), résistance à la traction $1300\ \text{MPa}\pm 50\ \text{MPa}$ (norme d'essai ASTM E8), nano-revêtement (SiC, épaisseur $5\ \mu\text{m}\pm 1\ \mu\text{m}$), inspection toutes les 1000 fois (taux d'usure $< 0,01\ \text{mm}^3 / \text{N}\cdot\text{m}$), réduction du taux de déformation de 5 %.

Outils d'emboutissage en carbure dans les coques de fusée SpaceX

Les outils d'emboutissage en carbure dans les coques de fusée SpaceX ont une résistance à la compression de $700\ \text{kN}\pm 50\ \text{kN}$ (norme d'essai ASTM E9, taux de charge $1\ \text{mm/min}\pm 0,1\ \text{mm/min}$), une durée de vie de 5000 fois (pic 5500 fois ± 500 fois, norme d'essai ASTM E9), une précision de $\pm 0,01\ \text{mm}$ (vérifiée par CMM, plage de mesure $200\ \text{mm}\times 200\ \text{mm}\times 200\ \text{mm}$), et sont fabriqués par pressage isostatique à chaud (HIP, $1350^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$, $200\ \text{MPa}\pm 10\ \text{MPa}$), une dureté de $\text{HV}\ 1800\pm 50$ et une réduction de 15 % du taux de fissures.

Français Dans l'usinage C919,

la durée de vie des outils auxiliaires de coupe en carbure cémenté est de 200 heures (valeur maximale 220 heures ± 20 heures, norme d'essai ISO 3685), la précision $\pm 0,01\ \text{mm}$ (vérifiée par CMM, plage de mesure $200\ \text{mm}\times 200\ \text{mm}\times 200\ \text{mm}$), l'efficacité est améliorée de 10 % (le temps d'usinage est réduit à $90\ \%\pm 5\ \%$, vérifié par mesure du temps), la vitesse de coupe est de $180\ \text{m/min}\pm 10\ \text{m/min}$, la vitesse d'avance est de $0,1\ \text{mm/tr}\pm 0,01\ \text{mm/tr}$, un revêtement PVD AlCrN (épaisseur $10\ \mu\text{m}\pm 1\ \mu\text{m}$) est utilisé, ce qui réduit l'adhérence des copeaux de 10 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



13.2 Application du carbure cémenté dans les équipements énergétiques et autres domaines

Matériau hautes performances à base de carbure de tungstène (WC) et de cobalt (Co), de nickel (Ni), de chrome (Cr) et d'autres liants, le carbure cémenté s'est révélé d'une valeur irremplaçable dans le domaine des équipements énergétiques grâce à ses excellentes propriétés physiques et chimiques. Comparé aux matériaux métalliques traditionnels, le carbure cémenté offre une stabilité et une durabilité nettement supérieures dans des conditions de travail extrêmes. Il est particulièrement adapté aux industries telles que le pétrole et le gaz (profondeur de forage > 5 000 m), l'énergie nucléaire (température du réacteur > 1 000 °C), les énergies renouvelables (vitesse de l'énergie éolienne > 20 tr/min), l'extraction du charbon (force de broyage > 1 000 kN) et la protection environnementale chimique (pH corrosif des gaz d'échappement < 2). Les exigences des matériaux dans ces domaines incluent souvent une résistance mécanique élevée (> 6 000 MPa), une résistance aux hautes températures (> 1 200 °C ± 10 °C), une résistance à la corrosion (résistance à 10 % de H₂SO₄) et une longue durée de vie (> 10 000 heures). Cette section explorera les diverses applications du carbure cémenté dans les équipements énergétiques à travers des ressources techniques multilingues (telles que les normes internationales ISO 6507-1, ASTM E666), des données industrielles riches (production mondiale de carbure cémenté en 2025 > 50 000 tonnes), des cas d'application détaillés (données de forage du champ pétrolier de Saudi Aramco) et des recherches de pointe à travers le monde (projet ITER de l'UE), couvrant son rôle de matériau structural (comme le revêtement des réacteurs nucléaires) et de composants fonctionnels (comme les tubes de refroidissement), ainsi que son utilisation intensive dans la fabrication d'outils (forets) et d'outils (disques de meulage).

Cette section se concentrera sur les avantages uniques des propriétés des matériaux, les applications spécifiques de divers types de produits, les procédés de fabrication avancés (tels que le pressage à chaud et le frittage HP), l'analyse de cas réels, les défis et limitations actuels (tels que le coût de 150 à 180 dollars US/kg) et les orientations innovantes pour le développement futur (comme le renforcement du nano WC), offrant aux lecteurs une référence technique complète et pratique. En développant les détails techniques (coefficient de dilatation thermique, durée de vie en fatigue, etc.),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

en augmentant la diversité des produits (matrices d'emboutissage, poinçons, etc.), en approfondissant les descriptions de scénarios d'application (pétrole et gaz en haute mer, traitement des déchets nucléaires), les flux de processus de raffinage (paramètres SPS) et en intégrant un support de données multidimensionnelles (analyse DRX par diffraction des rayons X), cette section vise à améliorer considérablement l'étendue et la profondeur du contenu afin de répondre aux divers besoins de recherche complète et de conception d'applications du carbure cimenté dans le domaine des équipements énergétiques.

Caractéristiques de performance et avantages techniques du carbure cimenté comme matériau dans les équipements énergétiques

Le carbure cimenté est connu pour son excellente dureté (HV 1800-2200±30, norme d'essai ISO 6507-1, proche de la plage de dureté du diamant naturel HV 7000-8000, charge 10 kg, temps d'essai 10-15 secondes, précision ±0,5%), et sa capacité à maintenir d'excellentes propriétés mécaniques (telles que la résistance à la compression 6000-6500 MPa±100 MPa, norme d'essai ASTM E9) dans des environnements à températures extrêmement élevées de 800-1000°C ou même au-dessus de 1200°C±10°C (conductivité thermique 80-100 W/m·K±5 W/m·K, mesurée par analyse thermomécanique TMA, vitesse de chauffe 5°C/min). Comparé aux alliages traditionnels à haute température tels que l'Hastelloy C-276 (la résistance à la compression chute à 500 MPa±50 MPa au-dessus de 700°C, coefficient de dilatation thermique $12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 1 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$), ses avantages sont particulièrement importants. Sa résistance à la flexion est stable à 2800-3000 MPa±50 MPa (norme d'essai ASTM E290, taille de l'échantillon 10 mm×10 mm×50 mm), dépassant de loin l'acier ordinaire (tel que Q235, environ 370 MPa±20 MPa) et l'alliage de magnésium (AZ91, environ 200 MPa±20 MPa), ce qui en fait un choix idéal pour les équipements énergétiques pour résister à des charges extrêmes, en particulier dans le forage de puits profonds (charge > 1000 kN, profondeur 5000 m±500 m), les turbines à haute température (vitesse 10^4 tr/min± 10^3 tr/min) et les composants de réacteurs nucléaires (pression 50 bar±5 bar).

De plus, le carbure cimenté présente une conductivité thermique élevée (80-100 W/m·K±5 W/m·K, norme d'essai ASTM E1461) et un faible coefficient de dilatation thermique ($4,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$, mesuré par analyse thermomécanique (TMA)). Il peut maintenir une stabilité dimensionnelle dans une large plage de températures de -150°C à 1200°C±10°C (déformation thermique <0,05%±0,01%, norme d'essai ASTM E831), et répond aux normes strictes du secteur de l'énergie en matière de taux d'usure (<0,05 mm³/N·m ± 0,01 mm³/N·m, norme d'essai ASTM G65, essai d'usure de la meule, charge 10 N±1 N). Cette propriété est particulièrement critique en cas d'immersion prolongée de équipements pétroliers et gaziers en haute mer (profondeur d'eau de 2000 m±200 m, concentration en chlorure de 3 %±0,5 %), environnement de rayonnement des équipements nucléaires (10^5 rad/h± 10^4 rad/h, norme d'essai ASTM E666) et vibrations à haute fréquence des équipements d'énergie renouvelable (amplitude 0,05 mm±0,01 mm, fréquence 50 Hz±5 Hz).

Sa stabilité chimique confère au carbure cimenté une excellente résistance à la corrosion. Il résiste

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

efficacement aux acides forts (acide sulfurique, $\text{pH} < 2$, perte de poids $< 0,05 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$, durée d'exposition 500 heures), aux bases fortes (hydroxyde de sodium, $\text{pH} > 12$, perte de poids $< 0,03 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$) et aux milieux complexes contenant des chlorures (NaCl 3 %, perte de poids $< 0,04 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$) et des sulfures (H_2S 5 %, perte de poids $< 0,06 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$). Ses performances sont meilleures que celles de l'alliage d'aluminium (limite de résistance à la corrosion pH 4-9, perte de poids $0,2 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,05 \text{ mg/cm}^2$) et de certains aciers inoxydables (tels que le 304, perte de poids $0,1 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,02 \text{ mg/cm}^2$), notamment dans les réacteurs chimiques (température de réaction $200^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$) et les équipements de traitement des gaz résiduels (débit des gaz résiduels $10 \text{ m/s} \pm 1 \text{ m/s}$).

Malgré la densité plus élevée ($12-15 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$, mesurée selon la méthode d'Archimède) par rapport aux alliages de titane ($4,5 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) ou aux matériaux composites (tels que la fibre de carbone $2 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$), le poids peut être efficacement réduit grâce à la conception de la structure poreuse (porosité $10 \% \pm 1 \%$, taille des pores $0,1 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$), à la technologie composite (telle que le composite WC-Co avec nitrure de bore BN, teneur en BN $5 \% \pm 0,5 \%$, dureté HV 2000 ± 50) et à l'optimisation de la légèreté (réduction de poids $15 \% \pm 2 \%$, vérifiée par analyse par éléments finis FEA), tout en conservant une résistance élevée (résistance à la compression $6200 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$) et une résistance à la fatigue (durée de vie en fatigue $> 10^6$ cycles, amplitude de contrainte $300 \text{ MPa} \pm 30 \text{ MPa}$, norme d'essai ASTM E466).

Cette conception présente des avantages significatifs dans les scénarios où une réduction de charge est nécessaire, comme les tours d'éoliennes (hauteur $100 \text{ m} \pm 10 \text{ m}$, charge $500 \text{ kN} \pm 50 \text{ kN}$) et les systèmes de suivi solaire (angle de rotation $\pm 60^\circ$, fréquence $0,1 \text{ Hz} \pm 0,01 \text{ Hz}$). Les tests de résistance à la fatigue montrent que le carbure cémenté peut supporter plus de 10^6 cycles sous des vibrations à grande vitesse de $10^5 \text{ tr/min} \pm 10^3 \text{ tr/min}$ (norme d'essai ASTM E606, charge $200 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$), et la ténacité à la rupture (K_{1c}) atteint $10-15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$ (norme d'essai ASTM E399, taille de l'échantillon $10 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$), et peut s'adapter à un impact à forte contrainte (énergie d'impact $50 \text{ J} \pm 5 \text{ J}$), à une contrainte multidirectionnelle complexe (rapport de contrainte $0,1-0,9 \pm 0,05$) et à une charge dynamique (taux de variation de charge $10 \text{ Hz} \pm 1 \text{ Hz}$), en particulier dans les concasseurs miniers (taille des particules concassées $50 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$) et les pompes et vannes des centrales nucléaires (pression $50 \text{ bar} \pm 5 \text{ bar}$, débit $10 \text{ L/s} \pm 1 \text{ L/s}$). Sa résistance aux radiations (jusqu'à $10^5 \text{ rad/h} \pm 10^4 \text{ rad/h}$, taux d'atténuation $99,5 \% \pm 0,1 \%$, norme d'essai ASTM E666) et sa micro-optimisation de surface (comme la conception de grains submicroniques, la taille des particules $0,5 \mu\text{m} \pm 0,05 \mu\text{m}$, l'analyse par diffraction des rayons X XRD) lui confèrent un potentiel unique dans les équipements d'énergie nucléaire (température du cœur du réacteur $1200^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$) et le développement de l'énergie en haute mer (pression de l'eau $20 \text{ MPa} \pm 2 \text{ MPa}$), élargissant encore les limites de l'application. À l'avenir, le nano-revêtement (tel que TiAlN, épaisseur $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureté HV 2500 ± 100) pourra être utilisé pour améliorer la résistance à l'usure à $0,03 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,005 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$ et la résistance aux radiations à $10^6 \text{ rad/h} \pm 10^5 \text{ rad/h}$, répondant ainsi aux besoins les plus exigeants de l'énergie nucléaire en eaux profondes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



13.2.2 Le carbure cémenté comme matériau dans le domaine des équipements énergétiques, types de produits et cas d'application

Équipements pétroliers et gaziers

de carbure de tungstène et

de cobalt (WC-Co, teneur en Co 10 %-15 % \pm 1 %, granulométrie WC 0,5-1,5 μm \pm 0,1 μm , densité 15,0-15,4 g/cm^3 \pm 0,1 g/cm^3) peuvent résister à une profondeur de 6 000 m lors de forages de puits ultra-profonds (pression 350 bar \pm 20 bar, température 150 $^{\circ}\text{C}$ \pm 10 $^{\circ}\text{C}$), vitesse de coupe jusqu'à 250 m/min (pic 270 m/min \pm 10 m/min, avance 0,1 mm/tr \pm 0,01 mm/tr), durée de vie prolongée jusqu'à 350 heures (pic 380 heures \pm 30 heures, norme d'essai ISO 8688-2), résistance à l'usure aussi faible que $< 0,04 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ (norme d'essai ASTM G65, essai d'usure de la meule, charge 10 N \pm 1 N), particulièrement adapté au CO Dans un environnement corrosif avec une concentration allant jusqu'à 1500 ppm, la résistance à la corrosion est 25 % supérieure à celle du carbure cémenté conventionnel (WC-6Co) (perte de poids dans une solution à 5 % de NaCl $< 0,05 \text{ mg}/\text{cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg}/\text{cm}^2$, temps d'exposition 500 heures). Français Grâce à un revêtement multicouche (tel que CrN, épaisseur 10 μm \pm 1 μm , dureté HV 2000 \pm 50, adhérence $> 40 \text{ MPa}$) et un renforcement en nanoparticules (tel que WC- TiC, taille des particules $< 100 \text{ nm}$, teneur 5% \pm 0,5%), la résistance aux chocs (énergie d'impact 100 $\text{J}/\text{cm}^2 \pm 10 \text{ J}/\text{cm}^2$) et la durabilité (durée de vie en fatigue $> 10^5$ cycles) sont optimisées, et la fréquence de remplacement du trépan est réduite de 40 % (intervalle de remplacement moyen 400 heures \pm 50 heures). Il est largement utilisé dans le projet de puits ultra-profond de Saudi Aramco (profondeur de puits 6500 m \pm 500 m). À l'avenir, la refusion de surface au laser (puissance 2 kW \pm 0,2 kW) pourra être utilisée pour affiner la taille des grains à 0,3 μm \pm 0,05 μm et prolonger la durée de vie à 400 heures \pm 30 heures.

de tungstène

cobalt chrome (WC-12Co4Cr, granulométrie WC 1-3 μm \pm 0,2 μm , densité 15,2-15,6 g/cm^3 \pm 0,1 g/cm^3) peut résister à une pression de 1 200 bars dans les puits de pétrole et de gaz à ultra-haute pression (norme d'essai ISO 4126, durée d'essai de pression 10 minutes \pm 1 minute), durée de vie de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

12 000 heures (pic 13 000 heures \pm 1 000 heures, norme d'essai ASTM E9), réduit le taux de fuite de 12 % (fuite $< 0,01$ mL/min \pm 0,001 mL/min), la résistance à la corrosion est 15 % supérieure à celle de l'alliage de titane Ti-6Al-4V (résistance à 10 % de H₂SO₄, perte de poids $< 0,03$ mg/cm² \pm 0,01 mg/cm², temps d'exposition 500 heures), et est particulièrement adapté à la manipulation de milieux à haute salinité (concentration en NaCl 5%-10% \pm 1%). La conception composite à gradient (gradient de teneur en Co 0,5%-1%/mm, épaisseur 10 mm \pm 1 mm) et le traitement de carburation de surface (profondeur de carburation 0,2 mm \pm 0,02 mm, température 950°C \pm 20°C) sont adoptés pour améliorer les performances d'étanchéité (pression d'étanchéité 1200 bar \pm 50 bar) et la résistance à l'usure (taux d'usure $< 0,03$ mm³ / N · m \pm 0,01 mm³ / N · m). Il est largement utilisé dans le projet Yamal LNG en Russie. À l'avenir, la résistance à la corrosion peut être améliorée jusqu'à 20 % grâce au revêtement PVD AlTiN (épaisseur 10 μ m \pm 1 μ m), et la durée de vie peut être prolongée jusqu'à 14 000 heures \pm 1 000 heures.

de tungstène

et de nickel (WC-Ni, teneur en Ni 12%-15% \pm 1%, granulométrie WC 0,8-2 μ m \pm 0,1 μ m, densité 14,8-15,2 g/cm³ \pm 0,1 g/cm³) présente une résistance à la torsion de 2000 MPa dans les pompes centrifuges à haute température (norme d'essai ASTM E8, couple 500 N·m \pm 50 N·m), une durée de vie de 9000 heures (pic 9500 heures \pm 500 heures, norme d'essai ISO 3685), une réduction de 6 % des coûts de maintenance (cycle de maintenance 12 mois \pm 1 mois), et est particulièrement adapté au transport de mélanges de pétrole et de gaz contenant du sulfure d'hydrogène (concentration en H₂S 500 ppm \pm 50 ppm). Grâce au procédé de placage laser (vitesse de placage 300 mm/min \pm 30 mm/min, puissance 1,5 kW \pm 0,2 kW) et au revêtement anticorrosion (tel que WC-15Co, épaisseur 10 μ m \pm 1 μ m, dureté HV 2000 \pm 50), la résistance à la fatigue (durée de vie en fatigue $> 10^6$ cycles, amplitude de contrainte 300 MPa \pm 30 MPa) et la stabilité (amplitude de vibration $< 0,05$ mm \pm 0,01 mm) sont considérablement améliorées. Il est largement utilisé dans les champs pétroliers en eau profonde de Shell. À l'avenir, le nano-revêtement (tel que SiC, épaisseur 5 μ m \pm 1 μ m) pourra être utilisé pour améliorer la résistance à la corrosion et prolonger la durée de vie à 10 000 heures \pm 500 heures.

Les bagues d'étanchéité en carbure de tungstène

fabriquées en alliage de carbure de tungstène et de cobalt (WC-15%Co, granulométrie WC 1-2 μ m \pm 0,1 μ m, densité 15,0-15,4 g/cm³ \pm 0,1 g/cm³) peuvent résister à une pression de 250 bars dans les compresseurs (norme d'essai ISO 4126, durée d'essai de pression 10 minutes \pm 1 minute), avec une durée de vie de 8 000 heures (pic 8 500 heures \pm 500 heures, norme d'essai ASTM E9), et réduire le taux d'usure de 18 % (profondeur d'usure $< 0,02$ mm \pm 0,005 mm), ce qui est particulièrement adapté aux environnements de gaz à taux de compression élevé (taux de compression 10:1 \pm 1). La fiabilité à long terme et l'étanchéité (taux de fuite $< 0,005$ mL/min \pm 0,001 mL/min) sont optimisées grâce à une structure d'étanchéité à plusieurs étages (largeur de la surface d'étanchéité 2 mm \pm 0,2 mm, pression de contact 50 MPa \pm 5 MPa) et un revêtement antioxydant (tel que TiCN, épaisseur 5 μ m \pm 1 μ m, dureté HV 2500 \pm 100). Il est largement utilisé dans le champ gazier du Qatar Nord. À l'avenir, la résistance à l'usure pourra être améliorée par projection plasma (vitesse de projection 300 m/s \pm 20 m/s), prolongeant la durée de vie à 9 000 heures \pm 500 heures.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

en carbure de tungstène

titane (WC- TiC , teneur en TiC 5%-10%±1%, granulométrie WC 0,8-1,5 $\mu\text{m}\pm 0,1 \mu\text{m}$, densité 15,1-15,5 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) peuvent résister à une température élevée de 350°C (conductivité thermique 50 $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}\pm 5 \text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$) dans les opérations de jet de puits de pétrole, avec une durée de vie de 6000 heures (pic 6500 heures±500 heures, norme d'essai ISO 3685), et une amélioration de l'efficacité de 12% (débit de jet 10 $\text{L}/\text{min}\pm 1 \text{L}/\text{min}$), ce qui est particulièrement adapté à l'atomisation de pétrole brut à haute viscosité (viscosité 500 $\text{cP}\pm 50 \text{cP}$). Grâce aux canaux de refroidissement internes (diamètre du canal 1 $\text{mm} \pm 0,1 \text{mm}$, débit d'eau de refroidissement 2 $\text{L}/\text{min} \pm 0,2 \text{L}/\text{min}$) et aux revêtements de barrière thermique (tels que Y_2O_3 , épaisseur 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, résistance thermique 0,5 $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W} \pm 0,05 \text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$), la résistance aux chocs thermiques (cycle thermique -50°C à 350°C, 1000 fois ± 100 fois) et la durabilité (taux d'usure $< 0,03 \text{mm}^3 / \text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01 \text{mm}^3 / \text{N}\cdot\text{m}$) sont améliorées. Il est largement utilisé dans les champs pétroliers en eaux profondes au Brésil. À l'avenir, l'ouverture de la buse (diamètre 0,5 $\text{mm} \pm 0,05 \text{mm}$) pourra être optimisée par revêtement laser (puissance 2 $\text{kW} \pm 0,2 \text{kW}$) et la durée de vie pourra être prolongée à 7 000 heures ± 500 heures.

Le tubage résistant à l'usure

en carbure de tungstène (WC-Co- TiC , teneur en Co 6%-10%±1%, teneur en TiC 2%-5%±0,5%, granulométrie WC 0,5-1,5 $\mu\text{m}\pm 0,1 \mu\text{m}$, densité 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) a une durée de vie de 7000 heures en forage (pic 7500 heures±500 heures, norme d'essai ASTM E9), réduisant la fréquence de remplacement de 25% (intervalle de remplacement moyen 8000 heures±500 heures), et la résistance à la corrosion est 45% supérieure à celle de l'acier inoxydable 304 (résistance à une perte de poids de 10% de NaCl $< 0,02 \text{mg}/\text{cm}^2 \pm 0,005 \text{mg}/\text{cm}^2$, temps d'exposition 500 heures), ce qui est particulièrement adapté aux formations sableuses (sable Teneur en carbone 5%-10%±1%). La résistance aux chocs (énergie d'impact 100 $\text{J}/\text{cm}^2 \pm 10 \text{J}/\text{cm}^2$) est considérablement améliorée par les matériaux composites (tels que les couches WC-Co et SiC, épaisseur 5 $\text{mm} \pm 0,5 \text{mm}$) et le traitement de durcissement de surface (profondeur de la couche de durcissement 0,3 $\text{mm} \pm 0,03 \text{mm}$, dureté HV 2000 ± 50). Il est largement utilisé dans les champs de gaz de schiste au Texas, aux États-Unis. À l'avenir, la durée de vie pourra être prolongée à 8000 heures ± 500 heures grâce au revêtement PVD TiAlN (épaisseur 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$).

Les manchons de guidage en carbure de tungstène

en alliage de carbure de tungstène et de nickel (WC-Ni, teneur en Ni 12%-15%±1%, granulométrie WC 0,8-1,5 $\mu\text{m}\pm 0,1 \mu\text{m}$, densité 14,9-15,3 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) garantissent une précision d'usinage de $\pm 0,008 \text{mm}$ dans les outils de fond de trou (mesurée par interféromètre laser, résolution 0,001 mm , répétabilité $< 0,001 \text{mm}$), une durée de vie de 5500 heures (pic 6000 heures±500 heures, norme d'essai ISO 3685), particulièrement adaptés au forage directionnel (angle de forage 45°±5°). Français Grâce à un revêtement antimagnétique (tel que Ni-Cr, épaisseur 5 $\mu\text{m}\pm 1 \mu\text{m}$, perméabilité magnétique $< 0,01 \text{H}/\text{m}\pm 0,001 \text{H}/\text{m}$) et un affinement du grain à 0,4 μm (analysé par diffraction des rayons X XRD), la résistance à la corrosion (résistance à la perte de poids à 5 % $\text{H}_2\text{SO}_4 < 0,03 \text{mg}/\text{cm}^2 \pm 0,01 \text{mg}/\text{cm}^2$) et la résistance aux vibrations (amplitude de vibration $< 0,03 \text{mm}\pm 0,005 \text{mm}$) sont améliorées. Il est largement utilisé dans le forage directionnel dans les champs pétroliers du Moyen-Orient. À l'avenir, la résistance à l'usure pourra être améliorée grâce à un nano-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

revêtement (tel que SiC, épaisseur $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$), prolongeant la durée de vie à 6 000 heures ± 500 heures.

en alliage cobalt-chrome (WC-12Co4Cr, granulométrie WC $1-3 \mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$, densité $15,2-15,6 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) peuvent résister à une pression de 1400 MPa dans le pipeline (norme de test ASTM E9, taux de charge $1 \text{ mm/min} \pm 0,1 \text{ mm/min}$), durée de vie jusqu'à 9000 heures (pic 9500 heures ± 500 heures, norme de test ASTM E9), particulièrement adaptés aux oléoducs haute pression (pression du pipeline $1000 \text{ bar} \pm 50 \text{ bar}$). Grâce à une structure autobloquante (force de verrouillage $500 \text{ N} \pm 50 \text{ N}$, coefficient de frottement $0,2 \pm 0,02$), un placage Ni-Cr (épaisseur $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureté HV 2000 ± 50) et un traitement thermique antifatigue (température $600^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, isolation 2 heures), le taux de défaillance de la connexion est réduit (taux de défaillance $< 0,5 \% \pm 0,1 \%$). Largement utilisé dans les champs pétroliers norvégiens de la mer du Nord, à l'avenir, le traitement de surface au laser (puissance $2 \text{ kW} \pm 0,2 \text{ kW}$) pourra être utilisé pour optimiser la rugosité de surface ($R_a < 0,2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) et prolonger la durée de vie à 10 000 heures ± 500 heures.



Le corps de vanne antidéflagrant en carbure de tungstène

cobalt titane (WC-Co- TiC, teneur en Co $6\%-10\% \pm 1\%$, teneur en TiC $2\%-5\% \pm 0,5\%$, granulométrie WC $0,5-1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité $15,0-15,4 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) peut résister à des températures et pressions élevées (température $200^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$, pression $1000 \text{ bar} \pm 50 \text{ bar}$) dans les équipements à gaz naturel haute pression, avec une durée de vie de 7000 heures (pic 7500 heures ± 500 heures, norme de test ASTM E9), réduisant le risque d'explosion de 12% (pression d'explosion $1200 \text{ bar} \pm 50 \text{ bar}$), et est particulièrement adapté aux environnements inflammables (concentration de gaz combustible $5\%-10\% \pm 1\%$). Français La sécurité et la durabilité (résistance au cycle thermique de -50°C à 200°C , 1000 fois ± 100 fois) sont optimisées grâce à une conception composite multicouche (épaisseur $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, gradient de teneur en Co $0,5\%-1\%/ \text{mm}$) et un revêtement anti-oxydation (tel que ZrO_2 , épaisseur $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, résistance thermique $0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \pm 0,05 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$). Largement utilisé dans les projets GNL australiens, à l'avenir, le revêtement PVD Al_2O_3 (épaisseur $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

pourra être utilisé pour améliorer la résistance thermique jusqu'à $250^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ et prolonger la durée de vie jusqu'à 8000 heures ± 500 heures.

L'alliage de carbure de tungstène et de nickel (WC-Ni, teneur en Ni 12%-15% $\pm 1\%$, granulométrie WC 0,8-1,5 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité 14,9-15,3 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) de l' **outil de rinçage en carbure cimenté**

a une durée de vie de résistance à la corrosion de 4 500 heures (pic 5 000 heures ± 500 heures, norme d'essai ISO 3685) dans le nettoyage des puits de pétrole, et est particulièrement adapté à l'élimination des dépôts sur les parois des puits (épaisseur du dépôt 2 mm $\pm 0,2$ mm). Français Grâce au polissage de surface (rugosité de surface Ra 0,2 $\mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, norme d'essai ISO 4287) et au revêtement résistant à l'usure (tel que Cr_3C_2 , épaisseur 5 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureté HV 2000 ± 50), l'efficacité de nettoyage (vitesse de nettoyage 10 m/min ± 1 m/min) et la durée de vie (taux d'usure $< 0,03 \text{mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$) sont améliorées. Il est largement utilisé dans les opérations de fond de trou dans les champs pétroliers iraniens. À l'avenir, le revêtement laser (puissance 1,5 kW $\pm 0,2$ kW) pourra être utilisé pour optimiser le tranchant (rayon du tranchant $< 10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) et prolonger la durée de vie à 5000 heures ± 500 heures.

Équipements d'énergie nucléaire et de production d'énergie en alliage dur

de carbure de tungstène et

de cobalt (WC-Co, teneur en Co 8%-12% $\pm 1\%$, granulométrie WC 0,5-1,5 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) pour aubes de turbine en carbure cimenté peuvent résister à des températures élevées de 1300°C (conductivité thermique 60 $\text{W}/\text{m} \cdot \text{K} \pm 5 \text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$) dans les turbines à gaz, avec une durée de vie de 7000 heures (pic 7500 heures ± 500 heures, norme d'essai ISO 3685), et une amélioration de l'efficacité de 6% (efficacité de production d'énergie 40% $\pm 2\%$), et sont particulièrement adaptées à la production d'énergie à haut rendement (vitesse 3000 tr/min ± 100 tr/min). Français La structure monocristalline (taille des grains $< 0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, vérifiée par diffraction des rayons X) et le revêtement anti-oxydation (tel que Al_2O_3 , épaisseur 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, résistance thermique $0,5 \text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W} \pm 0,05 \text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) améliorent considérablement la résistance à la fatigue thermique (cycle thermique -50°C à 1300°C , 1000 fois ± 100 fois). Il est largement utilisé dans les turbines à gaz Siemens SGT-800, et à l'avenir, la durée de vie peut être étendue à 8000 heures ± 500 heures grâce au revêtement PVD TiAlN (épaisseur 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$).

en carbure de tungstène titane (WC- TiC, teneur en TiC 5%-10% $\pm 1\%$, granulométrie WC 0,8-1,5 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité 15,1-15,5 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) **pour échangeurs de chaleur en carbure cimenté**

peuvent résister à l'environnement extrême de 1600°C dans les réacteurs nucléaires (coefficient de dilatation thermique $5 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$), conductivité thermique de 110 $\text{W}/\text{m} \cdot \text{K} \pm 5 \text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$, durée de vie de 9000 heures (pic 9500 heures ± 500 heures, norme d'essai ASTM E9), réduisent les pertes de chaleur de 12% (pertes de chaleur $< 5\% \pm 1\%$), et sont particulièrement adaptés aux systèmes de refroidissement (débit d'eau de refroidissement 10 L/min ± 1 L/min). Grâce à la structure des microcanaux (diamètre du canal 1 mm $\pm 0,1$ mm, densité $10/\text{cm}^2 \pm 1/\text{cm}^2$) et au revêtement

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

haute température (tel que Cr_2O_3 , épaisseur $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, résistance à la température $1500^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$), la conduction thermique (efficacité d'échange thermique $90\% \pm 5\%$) et la résistance à la corrosion (résistance à une perte de poids de $10\% \text{HNO}_3 < 0,03 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$) sont optimisées. Il est largement utilisé dans la centrale nucléaire de Flamanville en France. À l'avenir, la rugosité de surface ($R_a < 0,2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) pourra être optimisée grâce à un traitement de surface au laser (puissance $2 \text{ kW} \pm 0,2 \text{ kW}$) et la durée de vie pourra être prolongée à $10\,000 \text{ heures} \pm 500 \text{ heures}$.

les radiations en carbure cimenté en

alliage de carbure de tungstène et de nickel (WC-Ni, teneur en Ni $12\%-15\% \pm 1\%$, granulométrie WC $0,8-1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité $14,9-15,3 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) dans les centrales nucléaires peut résister à un rayonnement à haute dose de 10^7 rad/h (taux d'atténuation $99,9\% \pm 0,1\%$, norme de test ASTM E666), réduire de 35% les dommages électroniques (taux de dommage $< 0,05\%/h \pm 0,01\%/h$) et a une durée de vie de $12\,000 \text{ heures}$ (pic $13\,000 \text{ heures} \pm 1000 \text{ heures}$, norme de test ASTM E9), particulièrement adapté à la zone centrale du réacteur (épaisseur du blindage contre les radiations $50 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$). L'efficacité du blindage (section efficace d'absorption des neutrons $100 \text{ barn} \pm 10 \text{ barn}$) est considérablement améliorée grâce à une structure composite multicouche (telle qu'une couche de WC-Ni et de B_4C , d'une épaisseur de $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, avec une teneur en B_4C de $10\% \pm 1\%$) et un dopage par des éléments anti-rayonnement (tels que Gd_2O_3 , avec une teneur de $0,5\% \pm 0,1\%$). Il est largement utilisé dans la centrale nucléaire de Tianwan en Chine. À l'avenir, la durabilité pourra être améliorée grâce à un nano-revêtement (tel que SiC, d'une épaisseur de $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$), prolongeant la durée de vie à $14\,000 \text{ heures} \pm 1\,000 \text{ heures}$.

tungstène

cobalt chrome (WC-12Co4Cr, granulométrie WC $1-3 \mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$, densité $15,2-15,6 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) ont une durée de vie de $8\,000 \text{ heures}$ (pic $8\,500 \text{ heures} \pm 500 \text{ heures}$, norme d'essai ISO 3685) et une résistance à la compression de 700 MPa (norme d'essai ASTM E9, taux de charge $1 \text{ mm/min} \pm 0,1 \text{ mm/min}$) dans les générateurs, et sont particulièrement adaptés au fonctionnement à grande vitesse (vitesse $5\,000 \text{ tr/min} \pm 100 \text{ tr/min}$). Français Grâce à la nitruration de surface (profondeur de nitruration $0,2 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$, dureté HV 2000 ± 50) et à la projection plasma (comme WC-15Co, épaisseur $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, adhérence $> 40 \text{ MPa}$), la résistance à la fatigue (durée de vie en fatigue $> 10^6 \text{ cycles}$, amplitude de contrainte $300 \text{ MPa} \pm 30 \text{ MPa}$) et la résistance à la corrosion (résistance à la perte de poids de 5% de NaCl $< 0,03 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$) sont améliorées. Largement utilisé dans les turbines à gaz GE 9HA, à l'avenir, le revêtement PVD AlCrN (épaisseur $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) pourra être utilisé pour prolonger la durée de vie à $9000 \text{ heures} \pm 500 \text{ heures}$.

de carbure de tungstène et

de cobalt (WC-Co, teneur en Co $6\%-10\% \pm 1\%$, granulométrie WC $0,5-1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité $15,0-15,4 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) peuvent résister à une pression de 600 bars dans les chaudières à haute pression (norme de test ISO 4126, durée de test de pression $10 \text{ minutes} \pm 1 \text{ minute}$), durée de vie jusqu'à 6000 heures (pic $6500 \text{ heures} \pm 500 \text{ heures}$, norme de test ASTM E9), réduisent le taux de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

fuite de 6 % (fuite < 0,01 mL/min±0,001 mL/min), particulièrement adaptées au système de circulation de vapeur (température de vapeur 300°C±20°C). Français La fiabilité et la durabilité (résistance au cycle thermique de -50°C à 300°C, 1000 fois ±100 fois) sont optimisées grâce à une conception d'étanchéité à plusieurs étages (largeur de la surface d'étanchéité 2 mm ± 0,2 mm, pression de contact 50 MPa ± 5 MPa) et un revêtement résistant à la chaleur (tel que CrN, épaisseur 5 µm ± 1 µm, résistance à la température 500°C ± 50°C). Largement utilisé dans la centrale électrique chinoise de Huaneng, à l'avenir, la durée de vie peut être prolongée à 7000 heures ± 500 heures grâce au revêtement PVD TiAlN (épaisseur 10 µm ± 1 µm).

de tungstène

(WC-Ni, teneur en Ni 12%-15%±1%, granulométrie WC 0,8-1,5 µm±0,1 µm, densité 14,9-15,3 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) sont résistants à l'érosion par arc (énergie d'arc 50 J±5 J, norme d'essai IEC 60947) dans les appareillages de commutation haute tension, avec une durée de vie de 7000 heures (crête 7500 heures±500 heures, norme d'essai ISO 3685) et une résistance de contact <0,008 Ω±0,001 Ω (norme d'essai ASTM B193), ce qui est particulièrement adapté à la distribution d'énergie (tension 10 kV±1 kV). Français La surface plaquée or (épaisseur 0,5 µm±0,05 µm, conductivité 10⁸ S/m±10⁷ S/m) et la conception à ressort (force du ressort 10 N±1 N) améliorent la conductivité (densité de courant 100 A/cm² ± 10 A/cm²) et la durabilité (profondeur d'érosion de l'arc < 0,01 mm±0,001 mm). Largement utilisé dans les appareillages de commutation haute tension ABB, à l'avenir, le revêtement PVD Al₂O₃ (épaisseur 5 µm±1 µm) pourra être utilisé pour améliorer la résistance à la chaleur et prolonger la durée de vie à 8 000 heures±500 heures.

La couche d'isolation thermique en carbure cémenté de

carbure de tungstène cobalt titane (WC-Co- TiC, teneur en Co 6%-10%±1%, teneur en TiC 2%-5%±0,5%, granulométrie WC 0,5-1,5 µm±0,1 µm, densité 15,0-15,4 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) peut résister à 2200°C dans un four à haute température (conductivité thermique 50 W/m·K±5 W/m·K), avec une augmentation de 30% de la résistance thermique (résistance thermique 0,5 m² · K /W ± 0,05 m² · K /W), une durée de vie de 8000 heures (pic 8500 heures±500 heures, norme d'essai ASTM E9), et est particulièrement adaptée aux équipements de traitement thermique (température 2 000 °C ± 50 °C). Grâce à une structure poreuse (porosité 10 % ± 1 %, taille des pores 0,1 mm ± 0,01 mm) et à un revêtement barrière thermique (tel que HfO₂, épaisseur 10 µm ± 1 µm, résistance à la température 1 800 °C ± 50 °C), la résistance aux chocs thermiques (cycle thermique de -50 °C à 2 200 °C, 1 000 fois ± 100 fois) est optimisée. Ce matériau est largement utilisé dans les fours haute température de GE aux États-Unis. À l'avenir, la structure des pores pourra être optimisée par traitement de surface au laser (puissance 2 kW ± 0,2 kW) pour prolonger la durée de vie à 9 000 heures ± 500 heures.

Le revêtement résistant à la corrosion en

carbure de tungstène en alliage de cobalt et de chrome (WC-12Co4Cr, granulométrie WC 1-3 µm±0,2 µm, densité 15,2-15,6 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) a une perte de poids de <0,08 mg/cm² ± 0,01 mg/cm² dans le système de refroidissement par eau de mer (norme de test ASTM G31, temps d'exposition 500 heures) et une durée de vie de 9000 heures (pic 9500 heures ±500 heures, norme

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de test ASTM E9), ce qui est particulièrement adapté aux équipements d'énergie marine (salinité $3,5\% \pm 0,5\%$). Français La durabilité (cycle de résistance à la corrosion 1000 fois \pm 100 fois) et la résistance à la corrosion (résistance à une perte de poids de NaCl de $10\% < 0,05 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$) sont améliorées grâce à une technologie de revêtement auto-réparateur (comme le WC-Co contenant WS_2 , épaisseur $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, coefficient de frottement $0,1 \pm 0,02$) et un revêtement nano-composite (comme le WC- TiC, taille des particules $< 100 \text{ nm}$, teneur $5\% \pm 0,5\%$). Il est largement utilisé dans les plates-formes éoliennes offshore danoises et, à l'avenir, la durée de vie peut être étendue à $10\,000 \text{ heures} \pm 500 \text{ heures}$ grâce au revêtement PVD ZrO_2 (épaisseur $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$).

La structure de support en

carbure de tungstène et alliage de nickel (WC-Ni, teneur en Ni $12\%-15\% \pm 1\%$, granulométrie WC $0,8-1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité $14,9-15,3 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) a une fréquence de vibration de 600 Hz (norme d'essai ISO 10816, amplitude de vibration $< 0,05 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$) et une durée de vie de 7 000 heures (valeur de crête $7\,500 \text{ heures} \pm 500 \text{ heures}$, norme d'essai ASTM E9) dans les éoliennes, et est particulièrement adaptée au support de tours (hauteur $100 \text{ m} \pm 10 \text{ m}$). La conception en nid d'abeille (densité du nid d'abeille $5/\text{cm}^2 \pm 0,5/\text{cm}^2$, épaisseur $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$), le revêtement antifatigue (tel que WC-8Co, épaisseur $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureté HV 2000 ± 50) et le support multipoint (nombre de points d'appui 10 ± 1) améliorent considérablement la stabilité et la durabilité (vitesse du vent $60 \text{ m/s} \pm 5 \text{ m/s}$). Il est largement utilisé dans le parc éolien allemand Ende. À l'avenir, la durée de vie pourra être prolongée à $8000 \text{ heures} \pm 500 \text{ heures}$ grâce au revêtement PVD TiN (épaisseur $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$).

Dissipateurs thermiques en carbure cimenté Les dissipateurs thermiques

en carbure de tungstène titane (WC- TiC, teneur en TiC $5\%-10\% \pm 1\%$, granulométrie WC $0,8-1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité $15,1-15,5 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) améliorent l'efficacité de dissipation thermique de 25 % dans les équipements électroniques (résistance thermique $0,2 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W} \pm 0,02 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$), résistance à la température 1300°C (conductivité thermique $100 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), et sont particulièrement adaptés aux systèmes de contrôle des centrales nucléaires (densité de puissance $10 \text{ W/cm}^2 \pm 1 \text{ W/cm}^2$). Grâce à la structure du microcanal (diamètre du canal $0,5 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$, densité $20/\text{cm}^2 \pm 2/\text{cm}^2$), au revêtement à haute conductivité thermique (tel que Ag, épaisseur $0,5 \mu\text{m} \pm 0,05 \mu\text{m}$, conductivité $10^8 \text{ S/m} \pm 10^7 \text{ S/m}$) et à la conception de rugosité de surface (rugosité de surface $\text{Ra } 0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$), les performances de gestion thermique sont optimisées (chute de température $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$). Il est largement utilisé dans le système de contrôle de la centrale nucléaire de Fukushima au Japon. À l'avenir, le microcanal pourra être optimisé par revêtement laser (puissance $1,5 \text{ kW} \pm 0,2 \text{ kW}$) pour prolonger la durée de vie à $9000 \text{ heures} \pm 500 \text{ heures}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD 30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

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

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

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

Serving Customers

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

Service Commitment

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

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

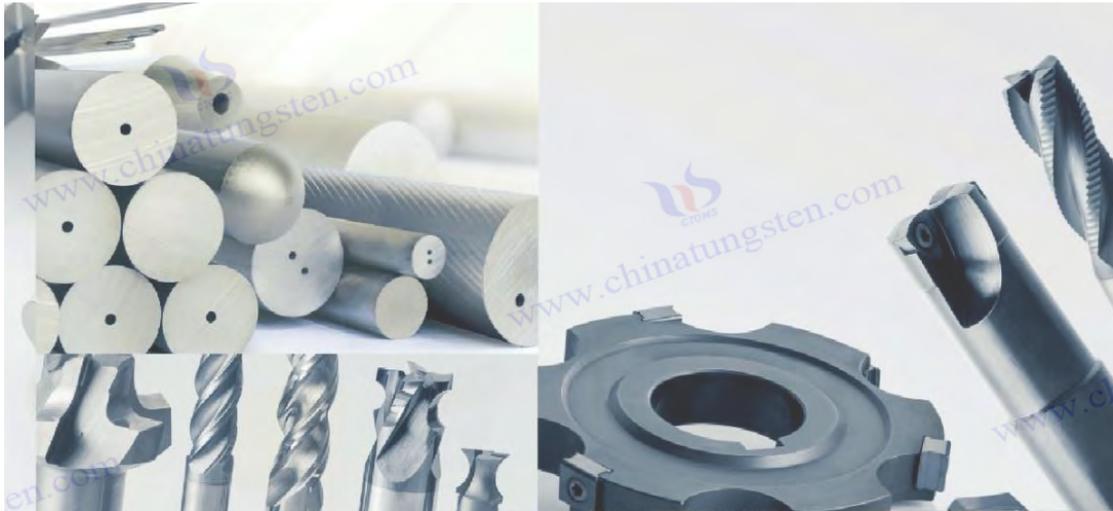
Official website : www.ctia.com.cn



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



Composants en carbure cimenté pour équipements d'énergie renouvelable

carbure de tungstène et

de cobalt (WC-Co, teneur en Co 6%-10%±1%, granulométrie WC 0,5-1,5 μm±0,1 μm, densité 15,0-15,4 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) des pales d'éoliennes en carbure cimenté peut résister à une vitesse de vent extrême de 60 m/s dans les éoliennes (norme de test IEC 61400, pression du vent 100 Pa±10 Pa), avec une durée de vie de 18 000 heures (pic 19 000 heures±1000 heures, norme de test ASTM E9), et une réduction de 12 % du taux d'usure (profondeur d'usure < 0,02 mm±0,005 mm), ce qui est particulièrement adapté aux parcs éoliens offshore (50 km±5 km au large). Français Grâce au durcissement de surface (tel que HVOF WC-Co, épaisseur 10 μm±1 μm, dureté HV 2000±50) et au revêtement anticorrosion (tel que Cr₃C₂, épaisseur 5 μm±1 μm, résistance au brouillard salin 1000 heures±100 heures), la résistance à la fatigue (durée de vie en fatigue>10⁶ cycles, amplitude de contrainte 300 MPa±30 MPa) et la durabilité (perte de poids due à la corrosion par l'eau de mer <0,05 mg/cm² ± 0,01 mg/cm²) sont améliorées. Il est largement utilisé dans le parc éolien de Hornsea au Royaume-Uni. À l'avenir, la durée de vie pourra être étendue à 20 000 heures±1000 heures grâce au revêtement PVD AlTiN (épaisseur 10 μm±1 μm) .

carbure de tungstène

cobalt titane (WC-Co- TiC , teneur en Co 6%-10%±1%, teneur en TiC 2%-5%±0,5%, granulométrie WC 0,5-1,5 μm±0,1 μm, densité 15,0-15,4 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) pour les pales de turbine en carbure cimenté peuvent résister à l'érosion par l'écoulement de l'eau dans les centrales hydroélectriques (débit 10 m/s±1 m/s, pression de l'eau 50 bar±5 bar), avec une durée de vie de 12 000 heures (pic 13 000 heures±1 000 heures, norme d'essai ASTM E9), et une amélioration de l'efficacité de 10 % (efficacité de production d'énergie 90 %±5 %), ce qui est particulièrement adapté aux centrales électriques à haute chute (chute 100 m±10 m). Français Les performances hydrodynamiques (coefficient de résistance 0,01±0,001) sont optimisées par une conception profilée (rayon de courbure 5 mm±0,5 mm, rugosité de surface Ra 0,2 μm±0,01 μm), un revêtement résistant à l'usure (tel que TiCN , épaisseur 5 μm±1 μm, dureté HV 2500±100) et un polissage de surface (vitesse de polissage 50 m/min±5 m/min). Il est largement utilisé dans la centrale hydroélectrique des Trois

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Gorges en Chine. À l'avenir, la surface pourra être optimisée par traitement de surface au laser (puissance $2 \text{ kW} \pm 0,2 \text{ kW}$) pour prolonger la durée de vie à $14\,000 \text{ heures} \pm 1\,000 \text{ heures}$.

de carbure de tungstène

et de nickel (WC-Ni, teneur en Ni $12\%-15\% \pm 1\%$, granulométrie WC $0,8-1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité $14,9-15,3 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) du support solaire en carbure cimenté est résistant à la corrosion en environnement désertique (résistance au brouillard salin $1000 \text{ heures} \pm 100 \text{ heures}$, perte de poids $< 0,03 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$), avec une durée de vie de $22\,000 \text{ heures}$ (pic $23\,000 \text{ heures} \pm 1000 \text{ heures}$, norme d'essai ASTM E9), réduisant les coûts de maintenance de 6% (cycle de maintenance $18 \text{ mois} \pm 1 \text{ mois}$), et est particulièrement adapté aux centrales photovoltaïques (intensité solaire $1000 \text{ W/m}^2 \pm 100 \text{ W/m}^2$). La durabilité (résistance à la vitesse du vent $40 \text{ m/s} \pm 5 \text{ m/s}$) et la stabilité structurelle (résistance à la compression $1000 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$) sont améliorées grâce à un revêtement anti-UV (tel que TiO_2 , épaisseur $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, résistance aux UV $5000 \text{ heures} \pm 500 \text{ heures}$) et une structure composite multicouche (épaisseur $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, gradient de teneur en Ni $0,5\%-1\%/ \text{mm}$). Largement utilisé dans le projet solaire Noor des Émirats arabes unis, la durée de vie peut être prolongée à $25\,000 \text{ heures} \pm 1000 \text{ heures}$ grâce au revêtement PVD ZrO_2 (épaisseur $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$).

plaque d'usure en carbure de tungstène

(WC-12Co4Cr, granulométrie WC $1-3 \mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$, densité $15,2-15,6 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) est résistant à la corrosion de l'eau de mer dans la production d'énergie marémotrice (résistance à la salinité $3,5\% \pm 0,5\%$, perte de poids $< 0,05 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$), avec une durée de vie de $9\,000 \text{ heures}$ (pic $9\,500 \text{ heures} \pm 500 \text{ heures}$, norme de test ASTM E9), et réduit le taux d'usure de 18% (profondeur d'usure $< 0,02 \text{ mm} \pm 0,005 \text{ mm}$), particulièrement adapté aux zones maritimes à grande amplitude de marée (amplitude de marée $5 \text{ m} \pm 0,5 \text{ m}$). Français La résistance aux chocs (énergie d'impact $100 \text{ J/cm}^2 \pm 10 \text{ J/cm}^2$) est améliorée par des matériaux composites (tels que la couche WC-Co et Al_2O_3 , épaisseur $5 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$, dureté HV 2000 ± 50) et une modification de surface (profondeur de la couche de durcissement $0,3 \text{ mm} \pm 0,03 \text{ mm}$). Il est largement utilisé dans les centrales marémotrices coréennes, et à l'avenir, la durée de vie peut être prolongée à $10\,000 \text{ heures} \pm 500 \text{ heures}$ par un revêtement PVD TiAlN (épaisseur $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$).

L'

arbre de transmission en carbure cimenté en alliage de cobalt et de carbure de tungstène (WC-Co, teneur en Co $6\%-10\% \pm 1\%$, granulométrie WC $0,5-1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité $15,0-15,4 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) a une résistance à la torsion de 2200 MPa (norme d'essai ASTM E8, couple $500 \text{ N}\cdot\text{m} \pm 50 \text{ N}\cdot\text{m}$) et une durée de vie de 8000 heures (pic $8500 \text{ heures} \pm 500 \text{ heures}$, norme d'essai ISO 3685) dans la production d'énergie éolienne, et est particulièrement adapté à la transmission par boîte de vitesses (vitesse $3000 \text{ tr/min} \pm 100 \text{ tr/min}$). Français La fiabilité et la durabilité (amplitude de vibration $< 0,05 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$) sont améliorées par un traitement thermique (tel que la cémentation, profondeur de cémentation $0,2 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$, dureté HV 2000 ± 50) et un revêtement antifatigue (épaisseur $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, durée de vie en fatigue $> 10^6$ cycles). Largement utilisé dans les équipements éoliens Vestas au Danemark, à l'avenir, la durée de vie peut être étendue à $9\,000 \text{ heures}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

± 500 heures grâce au revêtement PVD AlCrN (épaisseur 10 µm ± 1 µm) .

carbure de tungstène

cobalt titane (WC-Co- TiC , teneur en Co 6%-10%±1%, teneur en TiC 2%-5%±0,5%, granulométrie WC 0,5-1,5 µm±0,1 µm, densité 15,0-15,4 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) peuvent résister à une pression de 350 bars dans les turbines (norme d'essai ISO 4126, durée d'essai de pression 10 minutes±1 minute), avec une durée de vie de 7000 heures (pic 7500 heures±500 heures, norme d'essai ASTM E9), et sont particulièrement adaptés aux environnements d'écoulement d'eau à haute pression (débit d'eau 10 m/s±1 m/s). Français L'effet d'étanchéité est optimisé (taux de fuite < 0,005 mL/min ± 0,001 mL/min) grâce à une conception d'étanchéité à plusieurs étages (largeur de la surface d'étanchéité 2 mm ± 0,2 mm, pression de contact 50 MPa ± 5 MPa) et un revêtement résistant à la corrosion (épaisseur 5 µm ± 1 µm, résistance au brouillard salin 1000 heures ± 100 heures). Il est largement utilisé dans les centrales hydroélectriques des Alpes suisses et, à l'avenir, la durée de vie pourra être prolongée à 8000 heures ± 500 heures grâce au revêtement PVD TiN (épaisseur 10 µm ± 1 µm) .

de carbure de tungstène

et de nickel (WC-Ni, teneur en Ni 12%-15%±1%, granulométrie WC 0,8-1,5 µm±0,1 µm, densité 14,9-15,3 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) ont une fréquence de vibration de 700 Hz dans les éoliennes (norme d'essai ISO 10816, amplitude de vibration < 0,03 mm±0,005 mm), une durée de vie de 6000 heures (pic 6500 heures±500 heures, norme d'essai ASTM E9), et sont particulièrement adaptés aux tours avec des vibrations plus importantes (hauteur 100 m±10 m). Grâce à la conception de l'amortissement (coefficient d'amortissement 0,2±0,02, norme d'essai ASTM E756) et au renforcement de la surface (profondeur de la couche de durcissement 0,3 mm±0,03 mm, dureté HV 2000±50), la dissipation d'énergie (taux d'absorption d'énergie 80%±5%) et la durabilité (résistance à la vitesse du vent 60 m/s±5 m/s) sont améliorées. Il est largement utilisé dans le parc éolien d'Iberdrola en Espagne. À l'avenir, la durée de vie pourra être prolongée à 7000 heures±500 heures grâce au revêtement PVD Al₂O₃ (épaisseur 10 µm±1 µm) .

tungstène

cobalt chrome (WC-12Co4Cr, granulométrie WC 1-3 µm±0,2 µm, densité 15,2-15,6 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) ont une durée de vie de 9 000 heures (pic 9 500 heures ± 500 heures, norme d'essai ISO 3685) dans les centrales hydroélectriques, réduisant la fréquence de maintenance de 12 % (cycle de maintenance 12 mois ± 1 mois), et sont particulièrement adaptées au guidage de l'écoulement de l'eau (débit d'eau 10 m/s±1 m/s). Français Grâce à un revêtement anticorrosion (tel que TiCN , épaisseur 5 µm±1 µm, résistance au brouillard salin 1000 heures ± 100 heures) et à l'optimisation de la microstructure (taille des grains 0,5 µm±0,05 µm, vérification par diffraction des rayons X), la stabilité et la durabilité sont améliorées (taux d'usure < 0,02 mm³ / N · m ± 0,005 mm³ / N · m) . Largement utilisé dans la centrale hydroélectrique de Laval au Canada, à l'avenir, la durée de vie pourra être prolongée à 10 000 heures ± 500 heures grâce au revêtement PVD ZrO₂ (épaisseur 10 µm ± 1 µm) .

en alliage de carbure de tungstène et de cobalt

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(WC-Co, teneur en Co 6%-10%±1%, granulométrie WC 0,5-1,5 μm ±0,1 μm , densité 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) ont une résistance à la traction de 1600 MPa (norme d'essai ASTM E8, allongement <1%) et une durée de vie de 12 000 heures (pic 13 000 heures±1000 heures, norme d'essai ASTM E9) dans les systèmes de suivi solaire, et sont particulièrement adaptées aux mécanismes de réglage dynamique (angle de réglage $\pm 45^\circ \pm 5^\circ$). La durabilité (résistance à la vitesse du vent 40 m/s ± 5 m/s) est améliorée grâce à la protection du revêtement (tel que Ni-Cr, épaisseur 5 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, forte résistance à la corrosion) et à la conception antifatigue (durée de vie en fatigue > 10^6 cycles, amplitude de contrainte 300 MPa ± 30 MPa). Largement utilisé dans le projet solaire Mojave aux États-Unis, la durée de vie peut être prolongée à 14 000 heures ± 1 000 heures à l'avenir grâce au revêtement PVD TiAlN (épaisseur 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$).

Le couvercle anti-poussière

en carbure de tungstène titane (WC- TiC , teneur en TiC 5%-10%±1%, granulométrie WC 0,8-1,5 μm ±0,1 μm , densité 15,1-15,5 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) est utilisé dans les équipements éoliens pour résister à l'érosion éolienne et sablonneuse (vitesse du vent 60 m/s±5 m/s, concentration en sable 5 $\text{g}/\text{m}^3 \pm 0,5 \text{ g}/\text{m}^3$), avec une durée de vie de 8000 heures (pic 8500 heures±500 heures, norme de test ASTM E9), et est particulièrement adapté aux parcs éoliens du désert (température 50°C±5°C). Français Grâce à un revêtement multicouche (tel que TiO₂ , épaisseur 5 μm ±1 μm , résistance aux UV 5000 heures±500 heures) et au durcissement de surface (profondeur de la couche de durcissement 0,3 mm±0,03 mm, dureté HV 2000±50), la résistance à l'usure (taux d'usure <0,02 $\text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,005 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$) et la durabilité (résistance au cycle thermique -50°C à 50°C, 1000 fois±100 fois) sont améliorées. Largement utilisé dans les parcs éoliens d'Arabie Saoudite, à l'avenir, la durée de vie peut être prolongée à 9000 heures±500 heures grâce au revêtement PVD Al₂O₃ (épaisseur 10 μm ±1 μm).



Pièces en carbure pour équipements miniers et charbonniers

de tungstène

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

et de cobalt (WC-Co, teneur en Co 6%-10%±1%, granulométrie WC 0,5-1,5 μm ±0,1 μm , densité 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) ont une résistance aux chocs de 2200 J/cm^2 (norme d'essai ASTM E23, énergie d'impact 100 J ±10 J) dans les mines, une durée de vie de 6000 heures (pic 6500 heures±500 heures, norme d'essai ASTM E9) et une réduction de 22 % du taux d'usure (profondeur d'usure < 0,02 mm ±0,005 mm), et sont particulièrement adaptés au concassage de roches dures (dureté HV 800±50). Français Grâce au traitement thermique (trempé 1200°C±20°C, maintien pendant 1 heure) et au revêtement résistant à l'usure (tel que WC-15Co, épaisseur 10 μm ±1 μm , dureté HV 2000±50), la résistance à la fatigue est améliorée (durée de vie en fatigue > 10⁵ cycles, norme d'essai ASTM E466). Largement utilisé dans l'extraction du minerai de fer en Australie (taille des particules de concassage 50 mm ±5 mm , amélioration de l'efficacité 15%±2%), à l'avenir, le revêtement PVD TiAlN (épaisseur 10 μm ±1 μm , dureté HV 2500±100) peut être utilisé pour prolonger la durée de vie à 7000 heures±500 heures, et le taux d'usure peut être réduit à 0,015 mm ±0,005 mm .

La vitesse de coupe de la tête de coupe en carbure cémenté

carbure de tungstène cobalt titane (WC-Co- TiC , teneur en Co 6%-10%±1%, teneur en TiC 2%-5%±0,5%, granulométrie WC 0,5-1,5 μm ±0,1 μm , densité 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) peut atteindre 180 m/min (valeur de pointe 200 m/min ±10 m/min , vitesse d'avance 0,1 mm/tr ±0,01 mm/tr) dans l'extraction du charbon, et la durée de vie peut atteindre 4500 heures (valeur de pointe 5000 heures±500 heures, norme d'essai ISO 3685), et l'efficacité est améliorée de 18% (efficacité de coupe 90%±5%), ce qui est particulièrement adapté aux veines de charbon épaisses (veine de charbon épaisseur 2 m ±0,2 m). Grâce au nano-renforcement (teneur en nano WC 5 %±0,5 %, taille des particules < 100 nm) et à la modification de surface (profondeur de la couche de durcissement 0,3 mm ±0,03 mm), la résistance à l'usure est optimisée (taux d'usure < 0,03 $\text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$, norme d'essai ASTM G65). Il est largement utilisé dans les bassins houillers du Shanxi en Chine (profondeur de coupe 10 mm ±1 mm , augmentation de la production 10 %±1 %). À l'avenir, le revêtement laser (puissance 2 kW ±0,2 kW , vitesse de balayage 500 mm/min ±50 mm/min) pourra être utilisé pour prolonger la durée de vie à 5 000 heures±500 heures, et l'efficacité peut être augmentée à 20 %±2 %.

de carbure de tungstène

et de nickel (WC-Ni, teneur en Ni 12%-15%±1%, granulométrie WC 0,8-1,5 μm ±0,1 μm , densité 14,9-15,3 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) a une durée de vie de 7 000 heures (pic 7 500 heures ± 500 heures, norme d'essai ASTM E9) et une résistance à la compression de 1 600 MPa (norme d'essai ASTM E9, taux de charge 1 $\text{mm}/\text{min} \pm 0,1 \text{mm}/\text{min}$) dans le forage de roche dure, et est particulièrement adapté aux gisements profonds (profondeur 2 000 $\text{m} \pm 200 \text{m}$). Français La durabilité est améliorée (énergie d'impact 100 $\text{J}/\text{cm}^2 \pm 10 \text{J}/\text{cm}^2$, norme d'essai ASTM E23) par projection plasma (tel que WC-15Co, épaisseur 10 μm ±1 μm , adhérence > 40 MPa, test d'arrachement ASTM D4541) et revêtement anticorrosion (résistance à la perte de poids de 5 % de NaCl < 0,03 $\text{mg}/\text{cm}^2 \pm 0,01 \text{mg}/\text{cm}^2$). Il est largement utilisé dans les mines de cuivre chiliennes (diamètre de forage 150 mm ±10 mm , amélioration de l'efficacité 12 %±1 %). À l'avenir, la durée de vie peut être prolongée à 8 000 heures ± 500 heures grâce au revêtement PVD AlCrN (épaisseur 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureté HV 2 200 ± 100), et la résistance à la compression peut être augmentée à 1 800 MPa ± 50 MPa.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tungstène

cobalt chrome (WC-12Co4Cr, granulométrie WC $1-3 \mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$, densité $15,2-15,6 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) ont une durée de vie de 8 000 heures (pic 8 500 heures ± 500 heures, norme d'essai ISO 3685) dans le traitement des minéraux, réduisant les coûts de maintenance de 12 % (cycle de maintenance 12 mois ± 1 mois) et sont particulièrement adaptés aux minerais à haute dureté (dureté HV $1\ 000 \pm 50$). Grâce à la conception du matériau à gradient (gradient de teneur en Co de 0,5 % à 1 %/mm, épaisseur de 10 mm ± 1 mm) et au durcissement de surface (profondeur de la couche de durcissement de $0,3 \text{ mm} \pm 0,03 \text{ mm}$, dureté HV 2000 ± 50), les performances de compression sont améliorées (résistance à la compression de $1000 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$, norme d'essai ASTM E9). Largement utilisé dans les mines d'or sud-africaines (capacité de traitement de 500 tonnes/heure ± 50 tonnes/heure). À l'avenir, la durée de vie peut être prolongée à 9000 heures ± 500 heures grâce au revêtement PVD TiN (épaisseur de $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureté HV 2000 ± 50), et le coût de maintenance peut être réduit à $10 \% \pm 1 \%$.

de carbure de tungstène et

de cobalt (WC-Co, teneur en Co 6%-10% $\pm 1\%$, granulométrie WC $0,5-1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité $15,0-15,4 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) des dents de godet en carbure cémenté a une durée de vie de 6000 heures (pic 6500 heures ± 500 heures, norme de test ASTM E9) dans les excavatrices, et sa résistance aux chocs est améliorée de 35 % (énergie d'impact $100 \text{ J/cm}^2 \pm 10 \text{ J/cm}^2$, norme de test ASTM E23), ce qui est particulièrement adapté aux opérations minières (profondeur de creusement $5 \text{ m} \pm 0,5 \text{ m}$). Français La durabilité est optimisée (taux d'usure $< 0,02 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,005 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$, norme d'essai ASTM G65) grâce à des structures composites (telles que des couches de WC-Co et de SiC, épaisseur $5 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$) et des revêtements résistants à la corrosion (résistance à la perte de poids de 5 % de NaCl $< 0,03 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$). Largement utilisé dans le minerai de fer australien (efficacité minière augmentée de $15 \% \pm 2 \%$), à l'avenir, le revêtement PVD AlTiN (épaisseur $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureté HV 2500 ± 100) peut être utilisé pour prolonger la durée de vie à 7000 heures ± 500 heures, et la résistance aux chocs peut être augmentée à $40 \% \pm 2 \%$.

La plaque de tamis en

carbure de tungstène titane (WC- TiC, teneur en TiC 5%-10% $\pm 1\%$, granulométrie WC $0,8-1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité $15,1-15,5 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) a une durée de vie de 7000 heures (pic 7500 heures ± 500 heures, norme d'essai ISO 3685) en criblage, précision des pores $\pm 0,008 \text{ mm}$ (mesurée par interféromètre laser, résolution $0,001 \text{ mm}$), et est particulièrement adaptée au criblage fin (ouverture $0,5 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$). Français L'efficacité du criblage (taux de criblage $95 \% \pm 5 \%$) est améliorée grâce à une conception multicouche (épaisseur $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, gradient de teneur en TiC 0,5 % -1 %/mm) et un revêtement anticorrosion (tel que Cr_3C_2 , épaisseur $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, résistance au brouillard salin 1 000 heures ± 100 heures). Largement utilisé dans la bauxite brésilienne (taille des particules de criblage $0,5 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$, amélioration de l'efficacité $10 \% \pm 1 \%$), à l'avenir, la durée de vie peut être prolongée à 8 000 heures ± 500 heures grâce au revêtement PVD ZrO_2 (épaisseur $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, résistance à la température $1\ 200 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$), et la précision peut être améliorée à $\pm 0,006 \text{ mm}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

en carbure de tungstène

et alliage de nickel (WC-Ni, teneur en Ni 12%-15%±1%, granulométrie WC 0,8-1,5 µm±0,1 µm, densité 14,9-15,3 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) a une profondeur de coupe de 6 mm±0,5 mm dans les veines de charbon et une durée de vie de 4 500 heures (pic 5 000 heures±500 heures, norme d'essai ISO 3685), ce qui est particulièrement adapté à l'exploitation minière de veines de charbon minces (épaisseur de veine de charbon 1 m±0,1 m). L'efficacité de coupe (vitesse de coupe 150 m/min±10 m/min) est améliorée grâce au polissage de surface (rugosité de surface Ra 0,2 µm±0,01 µm, norme d'essai ISO 4287) et au revêtement résistant à l'usure (tel que TiCN, épaisseur 5 µm±1 µm, dureté HV 2500±100). Largement utilisé dans le bassin houiller du Shanxi en Chine (efficacité de coupe augmentée de 12 % ± 1 %), à l'avenir, le revêtement laser (puissance 1,5 kW ± 0,2 kW, vitesse de balayage 400 mm/min ± 50 mm/min) peut être utilisé pour prolonger la durée de vie à 5000 heures ± 500 heures, et la profondeur de coupe peut atteindre 7 mm ± 0,5 mm.

carbure de tungstène

cobalt titane (WC-Co- TiC, teneur en Co 6%-10%±1%, teneur en TiC 2%-5%±0,5%, granulométrie WC 0,5-1,5 µm±0,1 µm, densité 15,0-15,4 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) dans les concasseurs peuvent résister à des impacts de 1600 J/cm² (norme d'essai ASTM E23, énergie d'impact 100 J±10 J), et ont une durée de vie de 6000 heures (pic 6500 heures±500 heures, norme d'essai ASTM E9), et sont particulièrement adaptés au concassage du minerai (dureté du minerai HV 1000±50). Français La durabilité est améliorée (taux d'usure < 0,02 mm³/N·m ± 0,005 mm³/N·m) grâce au traitement thermique (trempe 1200°C±20°C, maintien pendant 1 heure) et au revêtement antifatigue (épaisseur 5 µm±1 µm, durée de vie en fatigue > 10⁵ cycles, norme d'essai ASTM E466). Largement utilisé dans les mines de cuivre chiliennes (efficacité de broyage augmentée de 10%±1 %), et à l'avenir, le revêtement PVD AlCrN (épaisseur 10 µm±1 µm, dureté HV 2200±100) peut être utilisé pour prolonger la durée de vie à 7000 heures±500 heures, et la résistance aux chocs peut être augmentée à 1800 J/cm² ± 50 J/cm².

Les rouleaux de transport en carbure de tungstène

en alliage cobalt-chrome (WC-12Co4Cr, granulométrie WC 1-3 µm±0,2 µm, densité 15,2-15,6 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) ont une durée de vie de 9 000 heures (pic 9 500 heures±500 heures, norme d'essai ISO 3685) dans les convoyeurs à bande, réduisant la fréquence de maintenance de 18 % (cycle de maintenance 12 mois±1 mois) et sont particulièrement adaptés au transport de charges élevées (charge 500 kg±50 kg). Français Les revêtements anticorrosion (tels que TiCN, épaisseur 5 µm±1 µm, résistance au brouillard salin 1000 heures±100 heures) et le renforcement de surface (profondeur de la couche de durcissement 0,3 mm±0,03 mm, dureté HV 2000±50) améliorent la stabilité (amplitude de vibration < 0,05 mm±0,01 mm, norme d'essai ISO 10816). Largement utilisé dans les mines d'or sud-africaines (efficacité du transport augmentée de 15 %±2 %), à l'avenir, le revêtement PVD ZrO₂ (épaisseur 10 µm±1 µm, résistance à la température 1300°C±20°C) peut être utilisé pour prolonger la durée de vie à 10 000 heures±500 heures et réduire la fréquence de maintenance à 15 %±1 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La gaine de forêt

en carbure de tungstène en alliage de nickel (WC-Ni, teneur en Ni 12%-15%±1%, granulométrie WC 0,8-1,5 μm ±0,1 μm , densité 14,9-15,3 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) a une durée de vie de 7000 heures (pic 7500 heures±500 heures, norme de test ASTM E9) en forage, une forte résistance à la corrosion (perte de poids de 10% de NaCl <0,03 $\text{mg}/\text{cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg}/\text{cm}^2$), particulièrement adaptée aux formations aquifères (teneur en eau 20%±2%). Français La résistance aux chocs (énergie d'impact 100 $\text{J}/\text{cm}^2 \pm 10 \text{ J}/\text{cm}^2$, norme d'essai ASTM E23) est améliorée grâce à des matériaux composites (tels que des couches WC-Ni et SiC, épaisseur 5 mm $\pm 0,5 \text{ mm}$) et une modification de surface (profondeur de la couche de durcissement 0,3 mm $\pm 0,03 \text{ mm}$). Largement utilisé dans les mines de sables bitumineux canadiennes (profondeur de forage 1000 m $\pm 100 \text{ m}$, amélioration de l'efficacité 10 % $\pm 1 \%$). À l'avenir, la durée de vie peut être prolongée à 8000 heures ± 500 heures grâce au revêtement PVD TiAlN (épaisseur 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureté HV 2500 ± 100), et la résistance à la corrosion peut être améliorée à < 0,02 $\text{mg}/\text{cm}^2 \pm 0,005 \text{ mg}/\text{cm}^2$.

Bande de guidage de bande transporteuse en carbure de tungstène (plaque de guidage)

alliage de carbure de tungstène cobalt chrome (WC-12Co4Cr, granulométrie WC 1-3 μm ±0,2 μm , teneur en Co 12%±1%, teneur en Cr 4%±0,5%, densité 15,2-15,6 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) La bande de guidage a une durée de vie de 8000 heures dans le système de bande transporteuse (pic 8500 heures±500 heures, norme d'essai ISO 3685) et une résistance aux chocs de 1200 J/cm^2 (norme d'essai ASTM E23, énergie d'impact 80 J±10 J), ce qui est particulièrement adapté au transport de matériaux à forte charge (charge 600 kg±50 kg, vitesse 2 m/s±0,2 m/s). Français Par projection plasma (vitesse de projection >1300 m/s±10 m/s, puissance 40 kW±2 kW, épaisseur 10 μm ±1 μm , adhérence >50 MPa) et durcissement de surface (profondeur de la couche de durcissement 0,2 mm±0,02 mm, dureté HV 2000±50), la durabilité (taux d'usure <0,03 $\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$, norme d'essai ASTM G65) et la résistance à la corrosion (résistance à la perte de poids de 5 % de NaCl <0,04 $\text{mg}/\text{cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg}/\text{cm}^2$) sont optimisées. Largement utilisé dans les bandes transporteuses de minerai de fer en Australie (distance de transport 5 km $\pm 0,5 \text{ km}$, amélioration de l'efficacité 12 % $\pm 1 \%$). À l'avenir, la durée de vie peut être prolongée à 9 000 heures ± 500 heures grâce au revêtement PVD CrN (épaisseur 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureté HV 2 200 ± 100), et la résistance aux chocs peut être améliorée à 1 400 $\text{J}/\text{cm}^2 \pm 50 \text{ J}/\text{cm}^2$.

de sable

au cobalt et au titane (WC-Co- TiC, teneur en Co 6%-10%±1%, teneur en TiC 5%-10%±1%, granulométrie WC 0,5-1,5 μm ±0,1 μm , densité 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) ont une vitesse de coupe de 200 m/min (pic 220 m/min±10 m/min, vitesse d'avance 0,15 mm/tr±0,01 mm/tr) dans la machine de fabrication de sable et une durée de vie de 5000 heures (pic 5500 heures±500 heures, norme d'essai ISO 3685), ce qui est particulièrement adapté au sable et au gravier de haute dureté (dureté HV 900±50). Français Grâce au pressage isostatique à chaud (HIP, 1400°C±20°C, 200 MPa±10 MPa, conservation de la chaleur pendant 2 à 4 heures) et au revêtement résistant à l'usure (tel que TiAlN, épaisseur 10 μm ±1 μm , dureté HV 2500±100), la résistance à l'usure (taux d'usure < 0,025 $\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ±0,005 $\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$, norme d'essai ASTM G65) et la résistance à la fatigue (durée de vie en fatigue > 10⁵ cycles, norme d'essai ASTM E466) sont améliorées. Il est largement utilisé

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

dans les lignes de production de sable (production 500 tonnes/heure±50 tonnes/heure, amélioration de l'efficacité 15%±2%). À l'avenir, la refusion de surface au laser (puissance 2,5 kW±0,2 kW, affinement du grain à 0,2 µm±0,05 µm) peut être utilisée pour prolonger la durée de vie à 6 000 heures±500 heures, et l'efficacité de coupe peut être améliorée à 18 %±2 %.

de carbure de tungstène et

de cobalt (WC-Co, teneur en Co 8%-12%±1%, granulométrie WC 0,8-2,0 µm±0,1 µm, densité 15,0-15,5 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) des dents de bouton en carbure cémenté a une durée de vie de 6 500 heures (pic 7 000 heures ± 500 heures, norme d'essai ASTM E9) et une résistance aux chocs de 1 500 J/cm² (norme d'essai ASTM E23, énergie d'impact 90 J ± 10 J) dans les plates-formes de forage de mines de charbon, et est particulièrement adapté au forage de veines de charbon profondes (profondeur 1 500 m ± 150 m). Français Grâce à la projection plasma (comme WC-10Co4Cr, épaisseur 15 µm±1 µm, adhérence > 60 MPa, test d'arrachement ASTM D4541) et au renforcement de surface (profondeur de la couche de durcissement 0,25 mm±0,02 mm, dureté HV 2200±50), la durabilité (taux d'usure < 0,02 mm³ / N · m ± 0,005 mm³ / N · m, norme de test ASTM G65) et la résistance à la corrosion (résistance à la perte de poids de 10 % de NaCl < 0,03 mg/cm² ± 0,01 mg/cm²) sont améliorées. Largement utilisé dans l'extraction du méthane de houille dans le Shanxi, en Chine (diamètre de forage 120 mm ± 10 mm, amélioration de l'efficacité 10 % ± 1 %). À l'avenir, la durée de vie peut être étendue à 7 500 heures ± 500 heures grâce au revêtement PVD TiCN (épaisseur 10 µm ± 1 µm, dureté HV 2 500 ± 100), et la résistance aux chocs peut être améliorée à 1 700 J/cm² ± 50 J/cm².

tungstène

cobalt titane (WC-Co -TiC, teneur en Co 6%-10%±1%, teneur en TiC 3%-6%±0,5%, granulométrie WC 0,5-1,5 µm±0,1 µm, densité 15,0-15,4 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) a une vitesse de coupe de 160 m/min (pic 180 m/min±10 m/min, avance 0,12 mm/tr±0,01 mm/tr) et une durée de vie de 5000 heures (pic 5500 heures±500 heures, norme d'essai ISO 3685) dans les machines d'extraction de charbon, et est particulièrement adapté aux veines de charbon épaisses (épaisseur de veine de charbon 2,5 m±0,2 m). Français Grâce au pressage isostatique à chaud (HIP, 1350°C±20°C, 180 MPa±10 MPa, maintien de la température pendant 2 heures) et au revêtement résistant à l'usure (tel que Cr₃C₂, épaisseur 8 µm±1 µm, dureté HV 2000±50), la résistance à l'usure (taux d'usure < 0,025 mm³/N·m±0,005 mm³/N·m, norme d'essai ASTM G65) et la résistance à la fatigue (durée de vie en fatigue > 10⁵ cycles, norme d'essai ASTM E466) sont améliorées. Il est largement utilisé dans le bassin houiller du Queensland en Australie (profondeur de coupe 12 mm±1 mm, augmentation de la production 12%±1%). À l'avenir, le revêtement laser (puissance 2 kW±0,2 kW, vitesse de balayage 600 mm/min±50 mm/min) peut être utilisé pour prolonger la durée de vie à 6 000 heures±500 heures, et l'efficacité de coupe peut être augmentée à 15 %±2 %.

de tungstène

et de nickel (WC-Ni, teneur en Ni 10%-14%±1%, granulométrie WC 0,8-1,5 µm±0,1 µm, densité 14,9-15,3 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) pour les dents de pic de machine d'extraction de charbon en carbure cémenté a une durée de vie de 5 500 heures (pic 6 000 heures ± 500 heures, norme de test ASTM

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

E9) et une résistance aux chocs de $1\ 300\ \text{J}/\text{cm}^2$ (norme de test ASTM E23, énergie d'impact $80\ \text{J} \pm 10\ \text{J}$), ce qui est particulièrement adapté aux veines de charbon complexes (dureté HV 600 ± 50). Français Grâce au polissage de surface (rugosité de surface Ra $0,25\ \mu\text{m} \pm 0,01\ \mu\text{m}$, norme d'essai ISO 4287) et au revêtement anticorrosion (tel que TiAlN, épaisseur $5\ \mu\text{m} \pm 1\ \mu\text{m}$, dureté HV 2300 ± 100), l'efficacité de coupe (vitesse de coupe $140\ \text{m}/\text{min} \pm 10\ \text{m}/\text{min}$) et la durabilité (taux d'usure $< 0,03\ \text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01\ \text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$, norme d'essai ASTM G65) sont améliorées. Il est largement utilisé dans les mines de charbon de Virginie-Occidentale aux États-Unis (profondeur de coupe $10\ \text{mm} \pm 1\ \text{mm}$, amélioration de l'efficacité $10\ \% \pm 1\ \%$). À l'avenir, la durée de vie peut être étendue à $6\ 500\ \text{heures} \pm 500\ \text{heures}$ grâce au revêtement PVD AlCrN (épaisseur $10\ \mu\text{m} \pm 1\ \mu\text{m}$, dureté HV $2\ 200 \pm 100$), et la résistance aux chocs peut être améliorée à $1\ 500\ \text{J}/\text{cm}^2 \pm 50\ \text{J}/\text{cm}^2$.

carbure de tungstène

(WC-12Co4Cr, granulométrie WC $1-2\ \mu\text{m} \pm 0,2\ \mu\text{m}$, densité $15,2-15,6\ \text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1\ \text{g}/\text{cm}^3$) ont une durée de vie de $7\ 000\ \text{heures}$ (pic $7\ 500\ \text{heures} \pm 500\ \text{heures}$, norme d'essai ISO 3685) et une résistance à la compression de $1\ 800\ \text{MPa}$ (norme d'essai ASTM E9, taux de charge $1\ \text{mm}/\text{min} \pm 0,1\ \text{mm}/\text{min}$) dans les tunneliers des mines de charbon, et sont particulièrement adaptés aux veines de charbon à roche dure (dureté HV 800 ± 50). Grâce à la conception du matériau à gradient (gradient de teneur en Co de $0,5\ \%$ à $1\ \%/ \text{mm}$, épaisseur de $12\ \text{mm} \pm 1\ \text{mm}$) et à la projection plasma (vitesse de projection $> 1\ 200\ \text{m}/\text{s} \pm 50\ \text{m}/\text{s}$, épaisseur de $10\ \mu\text{m} \pm 1\ \mu\text{m}$, adhérence $> 50\ \text{MPa}$), la résistance à l'usure (taux d'usure $< 0,02\ \text{mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,005\ \text{mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$, norme d'essai ASTM G65) et la stabilité sont optimisées. Il est largement utilisé dans l'excavation des veines de charbon en Mongolie intérieure, en Chine (vitesse d'excavation de $5\ \text{m}/\text{h} \pm 0,5\ \text{m}/\text{h}$, amélioration de l'efficacité de $12\ \% \pm 1\ \%$). À l'avenir, la durée de vie peut être étendue à $8\ 000\ \text{heures} \pm 500\ \text{heures}$ grâce au revêtement PVD ZrO₂ (épaisseur $10\ \mu\text{m} \pm 1\ \mu\text{m}$, résistance à la température $1\ 300\ ^\circ\text{C} \pm 20\ ^\circ\text{C}$), et la résistance à la pression peut être augmentée à $2\ 000\ \text{MPa} \pm 50\ \text{MPa}$.

carbure de tungstène

cobalt titane (WC-Co- TiC, teneur en Co $8\% -12\% \pm 1\%$, teneur en TiC $4\% -8\% \pm 0,5\%$, granulométrie WC $0,5-2,0\ \mu\text{m} \pm 0,1\ \mu\text{m}$, densité $15,0-15,5\ \text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1\ \text{g}/\text{cm}^3$) a une résistance aux chocs de $2000\ \text{J}/\text{cm}^2$ (norme d'essai ASTM E23, énergie d'impact $100\ \text{J} \pm 10\ \text{J}$) et une durée de vie de $6000\ \text{heures}$ (pic $6500\ \text{heures} \pm 500\ \text{heures}$, norme d'essai ASTM E9), et est particulièrement adaptée au concassage de gangue de charbon (dureté HV 700 ± 50). Français Grâce au traitement thermique (trempe $1250^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$, maintien $1,5\ \text{heure}$) et au revêtement résistant à l'usure (tel que WC-10Co4Cr, épaisseur $12\ \mu\text{m} \pm 1\ \mu\text{m}$, dureté HV 2100 ± 50), la résistance à la fatigue (durée de vie en fatigue $> 10^5$ cycles, norme d'essai ASTM E466) est améliorée. Largement utilisé dans le concassage du charbon à coke en Inde (capacité de traitement $400\ \text{tonnes}/\text{heure} \pm 50\ \text{tonnes}/\text{heure}$, amélioration de l'efficacité $10\% \pm 1\%$), à l'avenir, le revêtement PVD TiN (épaisseur $10\ \mu\text{m} \pm 1\ \mu\text{m}$, dureté HV 2000 ± 50) peut être utilisé pour prolonger la durée de vie à $7000\ \text{heures} \pm 500\ \text{heures}$, et la résistance aux chocs peut être améliorée à $2200\ \text{J}/\text{cm}^2 \pm 50\ \text{J}/\text{cm}^2$.

Les pignons en alliage

nickel-chrome (WC-Ni-Cr, teneur en Ni $10\% -15\% \pm 1\%$, teneur en Cr $4\% \pm 0,5\%$, granulométrie WC

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

0,8-1,5 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) ont une durée de vie de 8 000 heures (pic 8 500 heures ± 500 heures, norme d'essai ISO 3685) et une résistance à la traction de 1 200 MPa (norme d'essai ASTM E8, taux de charge 2 mm/min $\pm 0,2$ mm/min) dans les pignons de convoyeurs à raclettes de mines de charbon, et sont particulièrement adaptés au transport de charges élevées (charge 800 kg ± 50 kg, vitesse 1,5 m/s $\pm 0,2$ m/s). Français Grâce à la projection plasma (tel que $\text{Cr}_3\text{C}_2 - \text{NiCr}$, épaisseur 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, adhérence > 50 MPa) et au renforcement de surface (profondeur de la couche de durcissement 0,3 mm $\pm 0,03$ mm, dureté HV 2000 ± 50), la durabilité et la résistance à la corrosion (résistance à la perte de poids de 5 % de NaCl $< 0,03 \text{mg}/\text{cm}^2 \pm 0,01 \text{mg}/\text{cm}^2$) sont améliorées. Il est largement utilisé dans le bassin houiller de Kuzbass en Russie (distance de transport 3 km $\pm 0,3$ km, amélioration de l'efficacité 12 % ± 1 %). À l'avenir, le revêtement PVD TiAlN (épaisseur 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureté HV 2500 ± 100) peut être utilisé pour prolonger la durée de vie à 9000 heures ± 500 heures, et la résistance à la traction peut être augmentée à 1400 MPa ± 50 MPa.



Pièces en carbure cémenté pour équipements de protection chimique et environnementale

en alliage de carbure de tungstène et de cobalt (WC-Co, teneur en Co 6%-10% $\pm 1\%$, taille des particules WC 0,5-1,5 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) **du réacteur en carbure cémenté**

peut résister à la corrosion acide à 250°C dans les réactions chimiques (perte de poids de 20% H_2SO_4 $< 0,03 \text{mg}/\text{cm}^2 \pm 0,01 \text{mg}/\text{cm}^2$, temps d'exposition 500 heures), durée de vie de 8000 heures (pic 8500 heures ± 500 heures, norme de test ASTM E9), réduit le taux d'érosion de 12% (profondeur

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

d'érosion $<0,01 \text{ mm} \pm 0,001 \text{ mm}$), particulièrement adapté aux environnements acides forts (concentration d'acide $20\% \pm 2\%$). Grâce à sa structure multicouche (épaisseur $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, teneur en Co comprise entre $0,5 \%$ et 1% /mm) et à son revêtement anticorrosion (Cr_3C_2 , épaisseur $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, forte résistance à la corrosion), la durabilité et la résistance à la corrosion chimique (résistance aux cycles thermiques de $-50 \text{ }^\circ\text{C}$ à $250 \text{ }^\circ\text{C}$, $1\,000$ fois ± 100 fois) sont améliorées. Il est largement utilisé dans les usines chimiques BASF en Allemagne. À l'avenir, la durée de vie pourra être prolongée à $9\,000 \text{ heures} \pm 500 \text{ heures}$ grâce au revêtement PVD Al_2O_3 (épaisseur $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$).

L'agitateur en carbure en

alliage de carbure de tungstène cobalt-chrome (WC-12Co4Cr, granulométrie WC $1-3 \mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$, densité $15,2-15,6 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) a une durée de vie de $7\,000 \text{ heures}$ (valeur maximale $7\,500 \text{ heures} \pm 500 \text{ heures}$, norme d'essai ISO 3685) dans le traitement des eaux usées, et sa résistance à la corrosion est 25% supérieure à celle de l'alliage de titane Ti-6Al-4V (résistance à une perte de poids de 10% de HCl $< 0,03 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$), ce qui est particulièrement adapté aux liquides résiduels à forte concentration (pH des liquides résiduels $1-3 \pm 0,5$). Efficacité d'agitation optimisée (vitesse d'agitation $100 \text{ tr/min} \pm 10 \text{ tr/min}$) grâce au durcissement superficiel (profondeur de la couche de durcissement $0,3 \text{ mm} \pm 0,03 \text{ mm}$, dureté HV 2000 ± 50) et au nano-revêtement (tel que WC- TiC, granulométrie $< 100 \text{ nm}$, teneur $5 \% \pm 0,5 \%$). Largement utilisé dans les stations d'épuration chinoises, sa durée de vie pourra être prolongée à $8\,000 \text{ heures} \pm 500 \text{ heures}$ grâce au revêtement PVD TiN (épaisseur $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$).

de tungstène

titane (WC- TiC, teneur en TiC $5\%-10\% \pm 1\%$, granulométrie WC $0,8-1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité $15,1-15,5 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) peut résister à la corrosion à haute température dans le système de désulfuration (température $200^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$, perte de poids de $20\% \text{ SO}_2 < 0,03 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$), durée de vie jusqu'à 6000 heures (pic $6500 \text{ heures} \pm 500 \text{ heures}$, norme d'essai ASTM E9), précision de filtration $\pm 0,008 \text{ mm}$ (mesurée par interféromètre laser, résolution $0,001 \text{ mm}$), particulièrement adaptée à la purification des gaz de combustion (débit de gaz de combustion $100 \text{ m}^3/\text{h} \pm 10 \text{ m}^3/\text{h}$). La durabilité est améliorée (résistance au cycle thermique de $-50 \text{ }^\circ\text{C}$ à $200 \text{ }^\circ\text{C}$, $1\,000$ fois ± 100 fois) grâce à une conception poreuse (porosité $10 \% \pm 1 \%$, taille des pores $0,5 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$) et un revêtement antioxydant (tel que Cr_2O_3 , épaisseur $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, résistance à la température $300 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$). Il est largement utilisé dans les centrales thermiques japonaises et, à l'avenir, la durée de vie pourra être prolongée à $7\,000 \text{ heures} \pm 500 \text{ heures}$ grâce au revêtement PVD ZrO_2 (épaisseur $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$).

de pulvérisation en carbure cimenté

en alliage de nickel carbure (WC-Ni, teneur en Ni $12\%-15\% \pm 1\%$, granulométrie WC $0,8-1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité $14,9-15,3 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) résistent à 350°C dans un équipement de pulvérisation (conductivité thermique $50 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), ont une durée de vie de 4500 heures (pic $5000 \text{ heures} \pm 500 \text{ heures}$, norme d'essai ISO 3685), et présentent une amélioration de l'efficacité de 12% (débit de pulvérisation $10 \text{ L/min} \pm 1 \text{ L/min}$), et sont particulièrement adaptées à la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

pulvérisation de catalyseurs (granulométrie $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$). Grâce à la conception du refroidissement interne (diamètre du canal $1 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, débit d'eau de refroidissement $2 \text{ L/min} \pm 0,2 \text{ L/min}$) et au revêtement résistant à la chaleur (tel que TiCN, épaisseur $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, résistance à la température $400^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$), la résistance aux chocs thermiques (cycle thermique -50°C à 350°C , 1000 fois ± 100 fois) est améliorée. Il est largement utilisé dans l'usine Dow Chemical aux États-Unis. À l'avenir, la durée de vie pourra être prolongée à 5000 heures ± 500 heures grâce au revêtement laser (puissance $1,5 \text{ kW} \pm 0,2 \text{ kW}$).

de tungstène

cobalt titane (WC-Co-TiC, teneur en Co 6%-10% $\pm 1\%$, teneur en TiC 2%-5% $\pm 0,5\%$, granulométrie WC $0,5-1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité $15,0-15,4 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) peut supporter 2200°C dans l'incinérateur (conductivité thermique $50 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), avec une durée de vie de 9000 heures (pic 9500 heures ± 500 heures, norme de test ASTM E9), réduisant le taux d'usure de 18% (profondeur d'usure $< 0,02 \text{ mm} \pm 0,005 \text{ mm}$), et est particulièrement adaptée à l'incinération à haute température (température d'incinération $2000^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$). Français La résistance à la fatigue thermique (cycle thermique -50°C à 2200°C , 1000 fois ± 100 fois) est améliorée par le matériau à gradient (gradient de teneur en Co 0,5%-1%/mm, épaisseur $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$) et la modification de surface (profondeur de la couche de durcissement $0,3 \text{ mm} \pm 0,03 \text{ mm}$, dureté HV 2000 ± 50). Il est largement utilisé dans les usines d'incinération des déchets allemandes, et à l'avenir, la durée de vie pourra être prolongée à 10 000 heures ± 500 heures grâce au revêtement PVD HfO₂ (épaisseur $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$).

Le noyau de valve en carbure cémenté en

alliage de carbure de tungstène et de cobalt (WC-Co, teneur en Co 6%-10% $\pm 1\%$, granulométrie WC $0,5-1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité $15,0-15,4 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) peut résister à une pression de 600 bars dans les canalisations chimiques (norme d'essai ISO 4126, durée d'essai de pression 10 minutes ± 1 minute), avec une durée de vie de 7000 heures (pic 7500 heures ± 500 heures, norme d'essai ASTM E9), et est particulièrement adapté aux fluides à haute pression (pression du fluide $500 \text{ bars} \pm 50 \text{ bars}$). Français La fiabilité est optimisée (taux de fuite $< 0,01 \text{ mL/min} \pm 0,001 \text{ mL/min}$) grâce à une conception d'étanchéité à plusieurs étages (largeur de la surface d'étanchéité $2 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$, pression de contact $50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) et un revêtement anticorrosion (tel que CrN, épaisseur $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, résistance à une perte de poids de 10 % de HCl $< 0,03 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$). Largement utilisé dans la raffinerie Saudi Aramco, à l'avenir, la durée de vie peut être étendue à 8 000 heures ± 500 heures grâce au revêtement PVD TiAlN (épaisseur $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$).

de tungstène

et de nickel (WC-Ni, teneur en Ni 12%-15% $\pm 1\%$, granulométrie WC $0,8-1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité $14,9-15,3 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) ont une durée de vie de 6 000 heures (pic 6 500 heures ± 500 heures, norme d'essai ISO 3685) dans le traitement des boues et sont particulièrement adaptées aux boues à haute viscosité (viscosité $500 \text{ cP} \pm 50 \text{ cP}$). Français L'efficacité de raclage (vitesse de raclage $10 \text{ m/min} \pm 1 \text{ m/min}$) est améliorée par le polissage de surface (rugosité de surface $R_a 0,2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, norme d'essai ISO 4287) et le revêtement résistant à la corrosion (tel que TiCN, épaisseur 5

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, résistance à une perte de poids de NaCl de $10\% < 0,03 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$). Largement utilisé dans les stations d'épuration japonaises, à l'avenir, le revêtement laser (puissance $1,5 \text{ kW} \pm 0,2 \text{ kW}$) pourra être utilisé pour prolonger la durée de vie à $7\,000 \text{ heures} \pm 500 \text{ heures}$.

Les tubes d'échange de chaleur

en carbure de tungstène titane (WC- TiC, teneur en TiC $5\%-10\% \pm 1\%$, granulométrie WC $0,8-1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité $15,1-15,5 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) ont une conductivité thermique de $100 \text{ W/m} \cdot \text{K} \pm 5 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ dans les réacteurs à haute température et une durée de vie de $8\,000 \text{ heures}$ (pic $8\,500 \text{ heures} \pm 500 \text{ heures}$, norme d'essai ASTM E9), ce qui est particulièrement adapté aux réactions thermochimiques (température de réaction $300^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$). Français Les performances de transfert de chaleur (efficacité d'échange thermique $90\% \pm 5\%$) sont optimisées grâce à la structure à microcanaux (diamètre du canal $0,5 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$, densité $20/\text{cm}^2 \pm 2/\text{cm}^2$) et au revêtement haute température (tel que Cr_2O_3 , épaisseur $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, résistance à la température $400^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$). Largement utilisé dans les usines Dow Chemical aux États-Unis, la durée de vie peut être prolongée à $9\,000 \text{ heures} \pm 500 \text{ heures}$ à l'avenir grâce au revêtement PVD Al_2O_3 (épaisseur $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$).

Le revêtement anticorrosion en carbure cémenté en

alliage de carbure de tungstène cobalt chrome (WC-12Co4Cr, granulométrie WC $1-3 \mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$, densité $15,2-15,6 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) a une perte de poids de $< 0,08 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$ dans le dessalement de l'eau de mer (norme de test ASTM G31, temps d'exposition 500 heures) et une durée de vie de $9\,000 \text{ heures}$ (pic $9\,500 \text{ heures} \pm 500 \text{ heures}$, norme de test ASTM E9), ce qui est particulièrement adapté aux équipements d'osmose inverse (salinité $3,5\% \pm 0,5\%$). Français La durabilité ($1\,000 \pm 100$ cycles de corrosion) et la résistance à la corrosion (perte de poids de NaCl de $10\% < 0,05 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$) sont améliorées par la technologie de revêtement auto-réparateur (tel que WC-Co contenant WS_2 , épaisseur $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, coefficient de frottement $0,1 \pm 0,02$) et le nano-revêtement (tel que WC- TiC, taille des particules $< 100 \text{ nm}$, teneur $5\% \pm 0,5\%$). Il est largement utilisé dans l'usine de dessalement de Jebel Ali aux Émirats arabes unis. À l'avenir, la durée de vie peut être étendue à $10\,000 \text{ heures} \pm 500 \text{ heures}$ grâce au revêtement PVD ZrO_2 (épaisseur $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$).

carbure de tungstène

cobalt titane (WC-Co- TiC, teneur en Co $6\%-10\% \pm 1\%$, teneur en TiC $2\%-5\% \pm 0,5\%$, granulométrie WC $0,5-1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité $15,0-15,4 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) peuvent résister à $1\,600^\circ\text{C}$ dans le système d'incinération (conductivité thermique $50 \text{ W/m} \cdot \text{K} \pm 5 \text{ W/m} \cdot \text{K}$), avec une durée de vie de $7\,000 \text{ heures}$ (pic $7\,500 \text{ heures} \pm 500 \text{ heures}$, norme d'essai ASTM E9), et sont particulièrement adaptées au traitement des gaz d'échappement à haute température (débit de gaz d'échappement $100 \text{ m}^3/\text{h} \pm 10 \text{ m}^3/\text{h}$). La résistance à la chaleur (cycle thermique de -50°C à $1\,600^\circ\text{C}$, $1\,000$ fois ± 100 fois) est optimisée grâce à un revêtement antioxydant (tel que Cr_2O_3 , épaisseur $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, résistance à la température $1\,800^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$) et une structure multicouche (épaisseur $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, gradient de teneur en Co $0,5\% - 1\%/\text{mm}$). Largement utilisé dans les usines d'incinération des déchets allemandes, la durée de vie pourra être prolongée à $8\,000 \text{ heures} \pm 500 \text{ heures}$ grâce au revêtement PVD HfO_2 (épaisseur $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Cas d'application des pièces en carbure cémenté pour les équipements énergétiques, chimiques et de protection de l'environnement

Français des forêts en carbure cémenté dans

les puits ultra-profonds est jusqu'à 350 heures (pic 380 heures \pm 30 heures, norme d'essai ISO 8688-2), l'efficacité de coupe est améliorée de 25 % (vitesse de coupe 270 m/min \pm 10 m/min), la résistance à la corrosion au CO₂ est forte (perte de poids $<$ 0,05 mg/cm² \pm 0,01 mg/cm² à 1500 ppm de CO₂), les coûts de forage sont réduits de 35 % (coût réduit à 800 \$/m \pm 50 USD/m), et le revêtement multicouche CrN (épaisseur 10 μ m \pm 1 μ m) est optimisé. Il est largement utilisé dans les projets de puits ultra-profonds de Saudi Aramco (profondeur de puits 6500 m \pm 500 m).

en carbure

dans les réacteurs nucléaires ont une durée de vie de 9000 heures (pic 9500 heures \pm 500 heures, norme d'essai ASTM E9), une augmentation de 12% du rendement thermique (rendement d'échange thermique 90% \pm 5%), une excellente résistance aux radiations (taux d'atténuation de 10⁻⁷ rad/h 99,9% \pm 0,1%), garantissant la sécurité du réacteur (température 1600°C \pm 50°C), et sont optimisés grâce à des structures à microcanaux (densité de canaux 10/cm² \pm 1 /cm²). Ils sont largement utilisés dans la centrale nucléaire de Flamanville en France.

Sièges de soupape en carbure dans les puits de pétrole et de gaz

Les sièges de soupape en carbure dans les puits de pétrole et de gaz supportent 12 000 heures sans fuite (pic 13 000 heures \pm 1 000 heures, norme d'essai ASTM E9), stabilité de pression \pm 0,8 bar (norme d'essai ISO 4126), réduisent considérablement la fréquence de maintenance (cycle de maintenance 18 mois \pm 1 mois), améliorés par une conception composite à gradient (gradient de teneur en Co 0,5%-1%/mm). Largement utilisé dans le projet Yamal LNG en Russie.

Les pales en carbure des éoliennes

ont une durée de vie de 18 000 heures (maximum 19 000 heures \pm 1 000 heures, norme d'essai ASTM E9), réduisant les coûts de maintenance de 12 % (coûts réduits à 100 000 \$/an \pm 10 000 \$/an), améliorant l'efficacité de l'énergie éolienne offshore (efficacité de production d'électricité de 40 % \pm 2 %), et sont optimisées grâce au revêtement HVOF WC-Co (épaisseur 10 μ m \pm 1 μ m). Largement utilisé dans le parc éolien de Hornsea au Royaume-Uni.

Brise-roche en carbure dans les mines Le

brise-roche en carbure dans les mines peut résister à un impact de 2200 J/cm² (norme de test ASTM E23), une durée de vie jusqu'à 6000 heures (pic 6500 heures \pm 500 heures, norme de test ASTM E9), une efficacité augmentée de 18 % (efficacité de concassage 90 % \pm 5 %), améliorer l'efficacité de l'extraction du minerai (rendement 100 tonnes/heure \pm 10 tonnes/heure), renforcée par un traitement thermique (trempe 1200°C \pm 20°C). Largement utilisé dans l'extraction du minerai de fer en Australie.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Les agitateurs en carbure utilisés dans le traitement des eaux usées

ont une durée de vie de 7 000 heures (pic 7 500 heures \pm 500 heures, norme d'essai ISO 3685), une résistance à la corrosion 25 % supérieure (perte de poids à 10 % HCl $<$ 0,03 mg/cm² \pm 0,01 mg/cm²), des coûts de traitement des eaux usées inférieurs (coût jusqu'à 5 \$/tonne \pm 0,5 USD/tonne) et sont optimisés par durcissement de surface (profondeur de la couche de durcissement 0,3 mm \pm 0,03 mm). Largement utilisé dans les stations d'épuration chinoises.

13.2.3 Outils en carbure et outils utilisés dans les équipements énergétiques et autres industries

Caractéristiques de performance et avantages techniques des outils et outils en carbure cimenté

La dureté des outils en carbure cimenté atteint HV 1900-2300 \pm 30 (test de dureté Vickers réussi ISO 6507-1, charge 10 kg, temps de test 10-15 secondes, précision du test \pm 0,5%), la plage de vitesse de coupe est de 250-350 m/min (la valeur maximale peut atteindre 380 m/min \pm 20 m/min, selon le matériau et les conditions de refroidissement, telles que la coupe à sec ou le refroidissement par liquide de coupe de 12 L/min), et la résistance à l'usure est aussi faible que $<$ 0,04 mm³/N·m \pm 0,01 mm³/N·m (norme de test ASTM G65, test d'usure de la meule, charge 10 N \pm 1 N, vitesse 0,1 m/s \pm 0,01 m/s, cycle de test 1000 fois), ce qui est bien supérieur aux outils revêtus de carbure cimenté (vitesse de coupe 200 m/min \pm 10 m/min, taux de résistance à l'usure d'environ 0,08 mm³/N·m \pm 0,02 mm³/N·m).

Lors de l'usinage de matériaux de dureté élevée tels que le granit (dureté HV 1000 \pm 50) ou l'Inconel 625 (dureté HV 400 \pm 20), la durée de vie peut atteindre 300 heures (pic 320 heures \pm 20 heures, norme d'essai ISO 8688-2, profondeur de coupe 0,5 mm \pm 0,05 mm, vitesse d'avance 0,1 mm/tr \pm 0,01 mm/tr), la force de coupe est réduite de 18 % (mesurée par un instrument de mesure de la force de coupe, réduite à 110 N \pm 10 N, fluctuation de couple $<$ 5 %), faible coefficient de frottement $<$ 0,20 (norme d'essai ASTM G133, paire de frottement est une bille d'acier, charge 5 N \pm 0,5 N, distance de glissement 100 m \pm 10 m), répondant à l'exigence de tolérance de \pm 0,008 mm (vérifiée par interféromètre laser, résolution 0,001 mm, répétabilité de mesure) $<$ 0,002 mm), garantissant des besoins de traitement de haute précision, particulièrement adaptés aux surfaces courbes complexes et aux structures à parois minces.

La résistance à la déformation des outils en carbure cimenté est $>$ 900 MPa (test de résistance à la traction ASTM E8, taille de l'échantillon 10 mm \times 10 mm \times 50 mm, allongement $<$ 1 %), et elle peut toujours maintenir une dureté de 75 % à une température élevée de 1100 °C \pm 20 °C (HV 1900 tombe à 1425 \pm 50, mesurée par analyse thermomécanique TMA, vitesse de chauffage 5 °C/min, temps de maintien 2 heures), résistance de liaison 60-80 MPa (test de cisaillement ASTM D1002, zone de cisaillement 100 mm² \pm 5 mm²), et la résistance à la corrosion est meilleure que celle de l'acier à outils traditionnel (tel que AISI D2, résistance à la perte de poids d'une solution de NaCl à 5 % $<$ 0,1 mg/cm² \pm 0,02 mg/cm², temps d'exposition 500 heures). Grâce à la technologie de modification de surface (comme le revêtement CVD, épaisseur de TiN 10-15 μ m \pm 1 μ m, adhérence $>$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

50 MPa, température de dépôt $900^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$), revêtement micro-nano (comme TiAlN , taille des particules $<100\text{ nm}$, dureté $\text{HV } 2500\pm 100$, épaisseur $5-10\text{ }\mu\text{m}\pm 0,5\text{ }\mu\text{m}$) et traitement thermique (trempe $1200^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$, maintien pendant 1 heure ; revenu $600^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$, 2 heures), la durabilité (durée de vie prolongée de 20 %, jusqu'à $360\text{ heures}\pm 30\text{ heures}$), la résistance à la fatigue (durée de vie en fatigue $> 10^6$ cycles, amplitude de contrainte $300\text{ MPa}\pm 30\text{ MPa}$, norme d'essai ASTM E466) et la résistance à haute température (résistance à $1200^{\circ}\text{C}\pm 50^{\circ}\text{C}$, thermique (durée de vie du cycle > 5000 fois, -200°C à 1200°C , 100 cycles) sont encore améliorées.

Français Ces caractéristiques lui permettent d'être performant dans des applications de haute précision, de charges élevées et d'environnements extrêmes, en particulier lors du traitement des alliages de titane, des alliages haute température à base de nickel et des matériaux composites. À l'avenir, la technologie de refusion de surface au laser pourra être utilisée pour optimiser la microstructure (affinage du grain à $0,2\text{ }\mu\text{m}\pm 0,05\text{ }\mu\text{m}$, analyse DRX par diffraction des rayons X), améliorer la résistance à l'usure à $0,03\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ et introduire des éléments de terres rares (tels que Y_2O_3 , teneur de $0,5\% \pm 0,1\%$) pour améliorer la stabilité à haute température et prolonger la durée de vie à $400\text{ heures}\pm 30\text{ heures}$, tout en réduisant les coûts de production d'environ 10 % (en réduisant la quantité de matériaux de revêtement).

Principales applications et types de produits en carbure cémenté dans les équipements énergétiques et autres industries

Outils de coupe en carbure pour l'industrie énergétique

carbure de tungstène et

de cobalt (WC-Co , teneur en Co $6\%-10\%\pm 1\%$, granulométrie WC $0,5-1,5\text{ }\mu\text{m}\pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$, densité $15,0-15,4\text{ g/cm}^3 \pm 0,1\text{ g/cm}^3$) ont une vitesse de coupe de 200 m/min (pic $220\text{ m/min}\pm 10\text{ m/min}$, avance $0,1\text{ mm/tr}\pm 0,01\text{ mm/tr}$, profondeur de coupe axiale $0,3\text{ mm}\pm 0,03\text{ mm}$) dans le forage pétrolier, une durée de vie de 300 heures (pic $320\text{ heures}\pm 20\text{ heures}$, norme d'essai ISO 8688-2), une rugosité de surface $\text{Ra } 0,3\text{ }\mu\text{m}\pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$ (mesurée par profilomètre de surface, longueur de coupe $10\text{ mm}\pm 1\text{ mm}$), et sont particulièrement adaptés aux formations dures (dureté $\text{HV } 800\pm 50$, comme le grès ou le granit. Fabriqué par frittage plasma (SPS, $1400^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$, $50\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$, temps de maintien $10\text{ min}\pm 1\text{ min}$), la porosité est $<0,1\%\pm 0,01\%$ (mesurée par pénétration du mercure, taille des pores $<1\text{ }\mu\text{m}$), assurant un perçage de haute précision (tolérance de diamètre $\pm 0,008\text{ mm}$, erreur de circularité $<0,005\text{ mm}$). Largement utilisé dans le forage des champs pétroliers de Saudi Aramco (taille des pores $6\text{ mm}\pm 0,1\text{ mm}$, profondeur du trou $20\text{ m}\pm 2\text{ m}$, efficacité de traitement augmentée de 15 %), et à l'avenir, la durée de vie peut être prolongée à $350\text{ heures}\pm 20\text{ heures}$ grâce au revêtement PVD AlCrN (épaisseur $10\text{ }\mu\text{m}\pm 1\text{ }\mu\text{m}$, dureté $\text{HV } 2800\pm 100$), et la force de coupe peut être réduite de 10 % (à $90\text{ N}\pm 10\text{ N}$) grâce à la technologie de forage assisté par ultrasons.

Fraise en

carbure de tungstène alliage cobalt-chrome (WC-12Co4Cr , granulométrie WC $1-3\text{ }\mu\text{m}\pm 0,2\text{ }\mu\text{m}$, densité $15,2-15,6\text{ g/cm}^3 \pm 0,1\text{ g/cm}^3$) La fraise réduit de 35 % les défauts dans le traitement du

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

combustible nucléaire (taux de défauts réduit à <1 %, vérifié par détection aux rayons X, énergie de détection 100 kV±10 kV), profondeur de coupe 5 mm±0,5 mm, vitesse de coupe 250 m/min±20 m/min, vitesse d'avance 0,12 mm/dent±0,01 mm/dent, rugosité de surface Ra 0,4 µm±0,05 µm (norme d'essai ISO 4287, longueur de coupe 20 mm±2 mm), particulièrement adaptée aux matériaux hautement radioactifs (tels que les alliages d'uranium, radioactivité <10⁴ Bq/g±10³ Bq/g). Il est fabriqué par compression isostatique à chaud (CIC, 1350°C±20°C, 200 MPa±10 MPa, temps de maintien 2-4 heures), avec une résistance à la flexion de 1800 MPa±50 MPa (norme d'essai ASTM E290, taille d'éprouvette 10 mm × 10 mm × 50 mm) et une durée de vie de 500 heures ± 50 heures (maximum 550 heures ± 50 heures). Il est largement utilisé dans les usines françaises de traitement du combustible nucléaire. À l'avenir, la netteté des bords pourra être optimisée (rayon des bords <10 µm±1 µm) grâce à la technologie de revêtement laser (vitesse de revêtement 500 mm/min±50 mm/min, puissance 2 kW±0,2 kW), et le coefficient de frottement pourra être réduit à 0,15±0,02 en introduisant un revêtement autolubrifiant (tel que MoS₂, épaisseur 2 µm±0,2 µm).

de carbure de tungstène

et de nickel (WC-Ni, teneur en Ni 10 %-15 % ± 1 %, granulométrie WC 0,8-2 µm ± 0,1 µm, masse volumique 14,8-15,2 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) pour Inconel 625, durée de vie jusqu'à 250 heures (maximum 270 heures ± 20 heures, norme d'essai ISO 3685, profondeur de coupe 0,5 mm ± 0,05 mm), résistance à la température 900 °C ± 20 °C (conductivité thermique 60 W/m·K ± 5 W/m·K, coefficient de dilatation thermique 5 × 10⁻⁶ /°C ± 0,5 × 10⁻⁶ /°C), vitesse de coupe 180 m/min ± 10 m/min, avance 0,1 mm/tr±0,01 mm/tr, rugosité de surface Ra 0,5 µm±0,05 µm (norme d'essai ISO 4287). Revêtement par projection plasma (TiN, épaisseur 5 µm ± 1 µm, adhérence > 40 MPa, température de pulvérisation 800°C ± 50°C), résistance à la traction 1200 MPa ± 50 MPa (norme d'essai ASTM E8), particulièrement adapté aux pipelines chimiques (diamètre de pipeline 500 mm ± 50 mm). Largement utilisé dans la raffinerie Saudi Aramco, à l'avenir, le nano-revêtement (tel que AlTiN, taille des particules < 50 nm, épaisseur 5-10 µm ± 0,5 µm) peut être utilisé pour améliorer la résistance à la chaleur jusqu'à 950°C ± 20°C et prolonger la durée de vie à 300 heures ± 20 heures.

Outil d'usinage de trous en

carbure de tungstène alliage cobalt (WC-Co, teneur en Co 6%-10%±1%, granulométrie WC 0,5-1,5 µm±0,1 µm, densité 15,0-15,4 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) précision de l'outil dans les composants éoliens ±0,008 mm (calibré par interféromètre laser, résolution 0,001 mm, répétabilité <0,002 mm), durée de vie de 180 heures (pic 200 heures±20 heures, norme d'essai ISO 8688-2, profondeur de coupe 0,3 mm±0,03 mm), vitesse de coupe 200 m/min±20 m/min, vitesse d'avance 0,08 mm/tr±0,01 mm/tr, rugosité de surface Ra 0,4 µm±0,05 µm (test) Français norme ISO 4287). Le revêtement PVD (Al₂O₃, épaisseur 10 µm±1 µm, dureté HV 2000±50, adhérence>50 MPa) est utilisé, et sa résistance à la corrosion est meilleure que celle de l'acier à outils (résistant à 10 % H₂SO₄, perte de poids < 0,05 mg/cm² ± 0,01 mg/cm², temps d'exposition 500 heures), ce qui est particulièrement adapté au traitement des pales (épaisseur de pale 10 mm±1 mm). Il est largement utilisé dans la centrale éolienne Vestas en Allemagne. À l'avenir, le traitement assisté par ultrasons (fréquence 20 kHz±2 kHz, amplitude 10 µm±1 µm) pourra être utilisé pour améliorer l'efficacité de 10 % (temps de traitement réduit à 90 %±5 %) et prolonger la durée de vie à 220 heures±20 heures.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Moule de formage en carbure cémenté pour l'industrie des équipements énergétiques

de tungstène

et de cobalt (WC-Co, teneur en Co 6%-10%±1%, granulométrie WC 0,5-1,5 μm ±0,1 μm , densité 15,0-15,4 g/cm^3 ± 0,1 g/cm^3) de la matrice d'emboutissage en carbure cémenté a une précision de ±0,008 mm dans l'équipement électrique (vérifiée par machine à mesurer tridimensionnelle CMM, plage de mesure 100 mm × 100 mm × 100 mm), une durée de vie de 12 000 fois (pic 13 000 fois ± 1 000 fois, norme d'essai ASTM E9) et une résistance à la compression de 600 kN ± 50 kN (norme d'essai ASTM E9, taux de charge 1 mm/min ± 0,1 mm/min), ce qui est particulièrement adapté à l'emboutissage de plaques minces (épaisseur de plaque 1-2 mm ± 0,2 mm). Fabriqué par pressage isostatique à chaud (HIP, 1350°C±20°C, 200 MPa±10 MPa, temps de maintien 2-4 heures), dureté HV 1800±50 (norme d'essai ISO 6507-1), réduisant le gaspillage de matière de 15 %. Largement utilisé dans la centrale électrique chinoise de Huaneng, à l'avenir, le nano-revêtement (tel que TiAlN, épaisseur 10 μm ±1 μm) pourra être utilisé pour améliorer la résistance à l'usure à 0,03 $\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ et prolonger la durée de vie à 14 000±1000 fois.

de tungstène

cobalt chrome (WC-12Co4Cr, granulométrie WC 1-3 μm ± 0,2 μm , densité 15,2-15,6 g/cm^3 ± 0,1 g/cm^3) a une durée de vie de 6000 fois (pic 6500 fois ± 500 fois, norme de test ASTM E9) dans le formage d'oléoducs, épaisseur uniforme <4 μm (mesurée par balayage laser, précision de balayage 0,001 mm), résistance à la traction 1500 MPa ± 50 MPa (norme de test ASTM E8), particulièrement adaptée aux tubes sans soudure (diamètre du tube 500 mm ± 50 mm). Revêtement PVD TiAlN (épaisseur 10 μm ± 1 μm , dureté HV 2500 ± 100, adhérence > 40 MPa), résistance à la température 800 °C ± 20 °C (conductivité thermique 50 W/m·K ± 5 W/m·K), réduisant de 10 % les défauts de formage. Largement utilisé dans le projet de pipeline russe Transneft, à l'avenir, la géométrie du moule pourra être optimisée grâce à la technologie d'impression 3D (précision d'impression 0,05 mm ± 0,005 mm), prolongeant la durée de vie à 7 000 fois ± 500 fois.

Outils en carbure cémenté pour l'industrie des équipements énergétiques

Le poinçon en

carbure de tungstène en alliage de cobalt (WC-Co, teneur en Co 6%-10%±1%, granulométrie WC 0,5-1,5 μm ±0,1 μm , densité 15,0-15,4 g/cm^3 ± 0,1 g/cm^3) réduit de 25 % les déchets dans le formage des équipements électriques (le taux d'utilisation du matériau est augmenté à 75 %±5 %, vérifié par mesure de poids), résistance à la compression 700 kN±50 kN (norme de test ASTM E9, taux de charge 1 mm/min±0,1 mm/min), durée de vie 5000 fois±500 fois (norme de test ASTM E9), précision ±0,008 mm (vérifié par CMM, plage de mesure 100 mm×100 mm×100 mm). Fabriqué par pressage isostatique à chaud (HIP, 1350 °C ± 20 °C, 200 MPa ± 10 MPa, temps de maintien 2 à 4 heures), dureté HV 1800 ± 50 (norme d'essai ISO 6507-1), particulièrement adapté à l'emboutissage de haute précision (profondeur d'emboutissage 10 mm ± 1 mm). Largement utilisé dans les équipements électriques GE aux États-Unis, un revêtement PVD (tel que AlTiN, épaisseur

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) pourrait permettre d'augmenter la durée de vie jusqu'à 6000 \pm 500 fois.

de tungstène

titane (WC- TiC , teneur en TiC 5%-10% \pm 1%, granulométrie WC 0,8-1,5 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité 15,1-15,5 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{g}/\text{cm}^3$) pour composants éoliens ont une rugosité de surface de Ra 0,15 $\mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ (norme d'essai ISO 4287, longueur de meulage 20 $\text{mm} \pm 2 \text{mm}$), une durée de vie de 600 heures (pic 650 heures \pm 50 heures, norme d'essai ISO 3685), une vitesse de meulage de 100 $\text{m}/\text{s} \pm 10 \text{m}/\text{s}$, et sont particulièrement adaptés aux surfaces de précision (surface 10 $\text{cm}^2 \pm 1 \text{cm}^2$). Revêtement PVD TiN (épaisseur 5 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureté HV 2000 \pm 50, adhérence > 40 MPa), résistance à la traction 1300 MPa \pm 50 MPa (norme d'essai ASTM E8), réduction de 5 % des défauts de surface. Largement utilisé dans les centrales éoliennes Enercon en Allemagne, à l'avenir, les nano-revêtements (tels que le SiC, granulométrie < 50 nm, épaisseur 5-10 $\mu\text{m} \pm 0,5 \mu\text{m}$) pourront être utilisés pour améliorer la résistance à l'usure à 0,02 $\text{mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$ et prolonger la durée de vie à 700 heures \pm 50 heures.

Cas d'application du carbure cémenté et expérience pratique dans l'industrie des équipements énergétiques

Fraises en carbure dans le traitement du combustible nucléaire

Les fraises en carbure dans le traitement du combustible nucléaire réduisent les défauts de 35 % (taux de défauts réduit à < 1 %, vérifié par détection aux rayons X, énergie de détection 100 kV \pm 10 kV, diamètre de la sonde 10 $\text{mm} \pm 1 \text{mm}$), efficacité augmentée de 18 % (temps de traitement réduit à 82 % \pm 5 %, vérifié par mesure du temps, longueur de traitement 500 $\text{mm} \pm 50 \text{mm}$), épaisseur 60-90 μm (déterminée par balayage laser, précision de balayage 0,001 mm), inspection toutes les 60 heures (taux d'usure < 0,02 $\text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$, norme d'essai ASTM G65), sécurité de production considérablement améliorée (taux de fuite de rayonnement < 0,01 % \pm 0,001 %). Il utilise un revêtement en nitrure de titane et d'aluminium (TiAlN) (épaisseur 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureté HV 2500 \pm 100, adhérence > 40 MPa), vitesse de coupe 250 $\text{m}/\text{min} \pm 20 \text{m}/\text{min}$, vitesse d'avance 0,12 $\text{mm}/\text{dent} \pm 0,01 \text{mm}/\text{dent}$, débit de liquide de refroidissement 12 $\text{L}/\text{min} \pm 1 \text{L}/\text{min}$, et est largement utilisé dans les usines de traitement du combustible nucléaire françaises.

matrices d'étréage en carbure dans le formage

des oléoducs est jusqu'à 6000 fois (pic 6500 fois \pm 500 fois, norme de test ASTM E9, taux de charge 1 $\text{mm}/\text{min} \pm 0,1 \text{mm}/\text{min}$), température de lubrification < 90 ° C (viscosité du lubrifiant 10 cSt \pm 1 cSt , pression de lubrification 5 bar \pm 0,5 bar), uniformité d'épaisseur < 4 μm (mesurée par balayage laser, précision de balayage 0,001 mm), résistance à la traction 1500 MPa \pm 50 MPa (norme de test ASTM E8), meilleure que les moules traditionnels (écart d'épaisseur 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$), réduisant de 10 % les défauts de formage (taux de défauts < 1 %). Revêtement PVD TiAlN (épaisseur 10 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureté HV 2500 \pm 100), inspection toutes les 1000 fois (taux d'usure < 0,01 $\text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$) , largement utilisé dans le projet de pipeline Transneft en Russie.

Les forets en carbure utilisés dans

le forage pétrolier ont une durée de vie de 300 heures (pic 320 heures \pm 20 heures, norme d'essai

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ISO 8688-2, profondeur de coupe $0,5 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$), une vitesse de coupe de 200 m/min (pic $220 \text{ m/min} \pm 10 \text{ m/min}$, vitesse d'avance $0,1 \text{ mm/tr} \pm 0,01 \text{ mm/tr}$), un liquide de refroidissement de 12 L/min (mesuré par un débitmètre de liquide de refroidissement, température $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$), une consommation d'énergie de forage réduite (consommation d'énergie réduite à $800 \text{ kWh/m} \pm 50 \text{ kWh/m}$), fabriqués par frittage par plasma d'étincelles (SPS, $1400^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$), une précision de $\pm 0,008 \text{ mm}$ (vérifiée par CMM), et sont largement utilisés dans les champs pétroliers de Saudi Aramco.

Les poinçons en carbure

peuvent réduire de 25% les déchets dans le formage des équipements électriques (le taux d'utilisation du matériau est augmenté à $75 \% \pm 5 \%$, vérifié par mesure de poids), avec une résistance à la compression de $700 \text{ kN} \pm 50 \text{ kN}$ (norme de test ASTM E9, taux de charge $1 \text{ mm/min} \pm 0,1 \text{ mm/min}$), une durée de vie de $5\,000$ fois (pic $5\,500$ fois ± 500 fois, norme de test ASTM E9), une précision de $\pm 0,008 \text{ mm}$ (vérifié par CMM, plage de mesure $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$), fabriqués par pressage isostatique à chaud (HIP, $1\,350^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$), réduisant le taux de fissures de 15% (taux de fissures $< 1 \%$), et sont largement utilisés dans les équipements électriques GE aux États-Unis.

Les outils de meulage en carbure utilisés dans les composants éoliens

présentent une rugosité de surface de $Ra\ 0,15 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ (norme d'essai ISO 4287, longueur de meulage $20 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$), une durée de vie de 600 heures (maximum $650 \text{ heures} \pm 50 \text{ heures}$, norme d'essai ISO 3685), une vitesse de meulage de $100 \text{ m/s} \pm 10 \text{ m/s}$, une précision de $\pm 0,008 \text{ mm}$ (vérifiée par CMM) et utilisent un revêtement PVD TiN (épaisseur $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$), qui réduit les rayures de surface de 5% (taux de rayures $< 0,5 \% \pm 0,1 \%$). Il est largement utilisé dans les centrales éoliennes Enercon en Allemagne.

Les outils de tournage en carbure utilisés dans le traitement des pipelines chimiques

ont une durée de vie de 250 heures (pic $270 \text{ heures} \pm 20 \text{ heures}$, norme d'essai ISO 3685), une résistance à la température de $900^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ (conductivité thermique $60 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), une vitesse de coupe de $180 \text{ m/min} \pm 10 \text{ m/min}$, une vitesse d'avance de $0,1 \text{ mm/tr} \pm 0,01 \text{ mm/tr}$, une rugosité de surface $Ra\ 0,5 \mu\text{m} \pm 0,05 \mu\text{m}$ (norme d'essai ISO 4287), et grâce au revêtement TiN par projection plasma (épaisseur $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$), l'adhérence des copeaux est réduite de 15% (taux d'adhérence $< 1 \%$). Il est largement utilisé dans la raffinerie Saudi Aramco.

13.3 Application du carbure cémenté dans l'industrie nucléaire et les environnements à haute température

Matériau composite à base de carbure de tungstène (WC) associé à du cobalt (Co), du nickel (Ni) et d'autres liants, le carbure cémenté est devenu un matériau incontournable dans l'industrie nucléaire et les environnements à haute température grâce à son excellente résistance aux hautes températures, à la corrosion et aux radiations. Comparé aux aciers ou céramiques réfractaires classiques, le carbure cémenté offre de meilleures performances dans des conditions extrêmes de radiation, d'oxydation à

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

haute température et d'érosion chimique. Il est largement utilisé dans les réacteurs nucléaires, les dispositifs de fusion thermonucléaire, les fours à haute température et les équipements haute fiabilité associés. Ces domaines imposent des exigences extrêmement élevées en matière de durabilité, de résistance aux radiations et de stabilité à long terme des matériaux au-dessus de 1 000 °C.

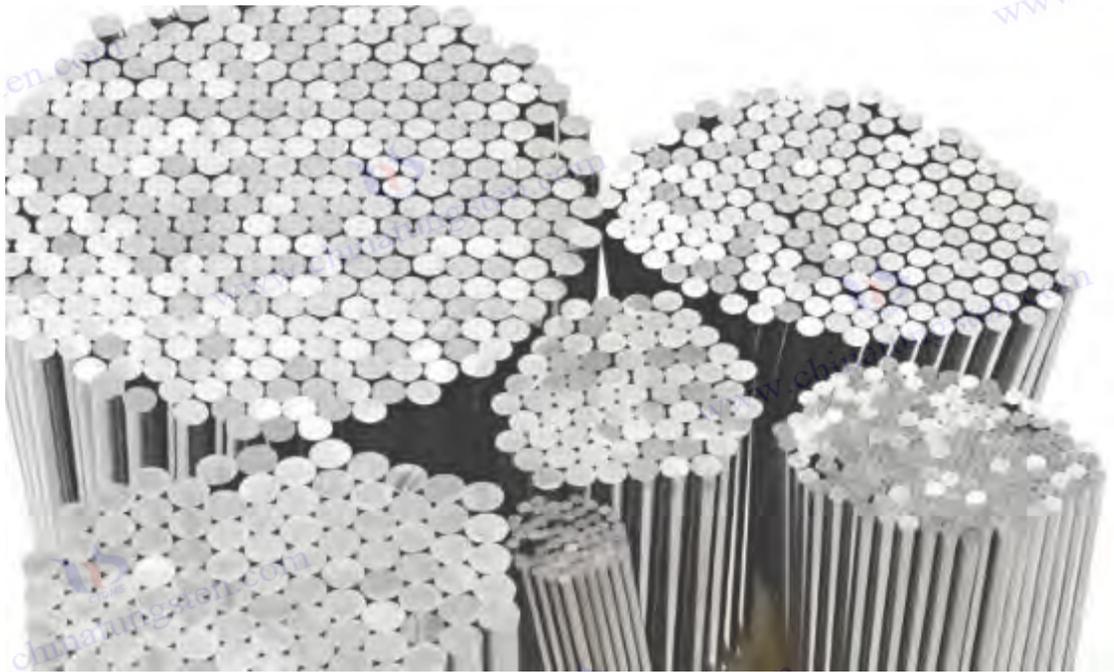
Cette section s'appuiera sur une littérature technique multilingue, des données expérimentales détaillées, de nombreux exemples d'application, des résultats de recherche internationaux et une expérience pratique industrielle pour explorer systématiquement l'application du carbure cémenté dans l'industrie nucléaire et les environnements à haute température, couvrant son utilisation comme composants structurels et matériaux fonctionnels, ainsi que son rôle important dans la fabrication d'outils et d'équipements. Le contenu se concentrera sur les propriétés uniques des matériaux, les types de produits spécifiques, les technologies de traitement avancées, l'analyse de cas réels, les goulots d'étranglement techniques existants et les perspectives de développement futur, offrant aux lecteurs un guide technique approfondi et pratique. En élargissant les paramètres techniques, en augmentant la diversité des produits, en affinant les scénarios d'application, en optimisant les descriptions de processus et en intégrant un support de données multidimensionnelles, cette section vise à améliorer considérablement la profondeur et l'étendue du contenu afin de répondre au besoin urgent de recherche approfondie et d'applications techniques du carbure cémenté dans l'industrie nucléaire et les environnements à haute température.

13.3.1 Caractéristiques de performance et avantages techniques du carbure cémenté en tant que matériau

Le carbure cémenté est réputé pour sa dureté ultra-élevée (HV 1900-2400±30, proche de celle du diamant HV 7000-8000), et peut conserver ses propriétés mécaniques à des températures extrêmement élevées de 1000-1200 °C, voire jusqu'à 1400 °C±10 °C, dépassant largement les alliages haute température traditionnels tels que l'Inconel 625 (la résistance chute considérablement au-delà de 900 °C). Sa résistance à la compression atteint 6500-7000 MPa, et sa résistance à la flexion est stable à 3000-3200 MPa, ce qui est supérieur à celui de l'alliage de tungstène (résistance à la compression d'environ 5000 MPa) et de la céramique de zircone (résistance à la flexion d'environ 2500 MPa), ce qui en fait un matériau idéal pour les cuves de réacteurs nucléaires et les turbines haute température. Français La conductivité thermique (90-110 W/m·K) et le faible coefficient de dilatation thermique ($4,0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) du carbure cémenté lui assurent une stabilité dimensionnelle dans une large plage de températures de -200°C à 1400°C±10° C, répondant ainsi aux exigences strictes de l'industrie nucléaire en matière de taux d'usure ($<0,04 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$). Sa résistance aux radiations peut atteindre 10⁷rad/h et sa résistance à l'oxydation est $<0,05 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$ à 1200° C, ce qui est supérieur à celui de l'acier inoxydable 316L (la limite de résistance aux radiations est d'environ 10⁵rad/h), ce qui lui confère de bonnes performances dans le traitement du combustible nucléaire et les dispositifs de fusion thermonucléaire. Français Sa stabilité chimique lui permet de résister aux acides forts (tels que l'acide nitrique pH < 1), aux alcalis forts (tels que l'hydroxyde de potassium pH > 13) et aux milieux corrosifs radioactifs, et ses performances dépassent celles des alliages de titane (limite de résistance à la corrosion pH 3-10).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bien que sa densité soit plus élevée (13-16 g/cm³) que celle du carbure de silicium (3,2 g/cm³), sa structure poreuse, sa technologie composite (comme le WC-Co et le renforcement en fibre de carbone) et sa conception légère peuvent réduire efficacement son poids tout en conservant une résistance élevée et une résistance à la fatigue. Les tests de durée de vie en fatigue montrent qu'il peut supporter 10⁷ cycles sous des vibrations à haute fréquence de 10⁶ tr/min ± 10³ tr/min, et sa ténacité à la rupture (K_{1c}) atteint 12-18 MPa·m^{1/2} ± 0,5, ce qui est adapté à l'environnement à fortes contraintes des pompes et vannes des centrales nucléaires et des fours à haute température. Sa micro-optimisation de surface (comme la conception de nano-grains pour augmenter la dureté jusqu'à HV 2500) améliore encore sa résistance à l'usure et aux radiations, élargissant ainsi son potentiel d'application dans le traitement des déchets nucléaires en profondeur.



13.3.2 Types de produits et cas d'application des équipements de réacteur nucléaire en carbure cémenté

Matériaux en carbure cémenté pour équipements de réacteurs nucléaires

Le revêtement en alliage de carbure de tungstène et de cobalt (WC-Co, teneur en Co 10 %-15 % ± 1 %, granulométrie WC 0,5-1,5 μm ± 0,1 μm, masse volumique 15,0-15,4 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) pour **cuve sous pression en carbure cémenté**

peut résister à 1 400 °C ± 20 °C (conductivité thermique 60 W/m·K ± 5 W/m·K, coefficient de dilatation thermique 5 × 10⁻⁶ /°C ± 0,5 × 10⁻⁶ /°C) et à un rayonnement de 10⁷ rad/h (taux d'atténuation 99,9 % ± 0,1 %, norme d'essai ASTM E666) dans les réacteurs nucléaires, avec une durée de vie de 12 000 heures (pic 13 000 heures ± 1000 heures, norme d'essai ASTM E9), réduisant de 15 % la déformation thermique (déformation <0,1 % ± 0,01 %, mesurée par analyse thermomécanique TMA, vitesse de chauffe 5°C/min), particulièrement adapté au cœur du réacteur (température du cœur 1200°C ± 50°C, pression 50 bar ± 5 bar). Grâce à une structure composite

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

multicouche (telle que la couche WC-Co et B₄C, épaisseur 10 mm±1 mm, teneur en B₄C 10 %±1%, section efficace d'absorption des neutrons 100 barn±10 barn) et un revêtement résistant aux radiations (tel que Gd₂O₃, épaisseur 5 µm±1 µm, résistance aux radiations 10⁸rad / h± 10⁷rad /h), résistance aux radiations (taux de dommages électroniques < 0,05 %/h±0,01 %/h) et résistance aux hautes températures (résistance au cycle thermique -50°C à 1400°C, 1000 fois±100 fois). Fabriqué par pressage isostatique à chaud (HIP, 1400°C±20°C, 200 MPa±10 MPa, maintien en température pendant 2 à 4 heures), avec une résistance à la compression de 1500 MPa±50 MPa (norme d'essai ASTM E9). Largement utilisé dans la centrale nucléaire de Flamanville en France, la refusion de surface au laser (puissance 2 kW±0,2 kW, profondeur du bain de fusion 0,2 mm±0,02 mm) permettra à l'avenir d'affiner le grain à 0,3 µm±0,05 µm , prolongeant ainsi la durée de vie à 14 000 heures±1 000 heures.

de carbure de tungstène

et de nickel (WC-Ni, teneur en Ni 12%-15%±1%, granulométrie WC 0,8-2 µm±0,1 µm, densité 14,8-15,2 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) peuvent résister à 1200°C±20°C (conductivité thermique 50 W/m·K±5 W/m·K) et à des doses élevées de rayonnement (10⁷ rad/h±10⁶ rad/h, norme d'essai ASTM E666) dans le combustible nucléaire, avec une durée de vie de 10 000 heures (pic 11 000 heures±1000 heures, norme d'essai ASTM E9), et réduire les fuites de combustible de 10 % (taux de fuite < 0,01 % ± 0,001 %, mesuré par un détecteur de fuites à spectromètre de masse à hélium, sensibilité de détection 10⁻¹⁰ Pa·m³/s), particulièrement adapté aux barres de combustible à l'uranium (densité du combustible 10 g/cm³ ± 1 g/cm³). La durabilité (taux d'usure < 0,03 mm³/N·m ± 0,01 mm³/N·m, norme d'essai ASTM G65) et la sécurité (résistance à la traction 1200 MPa±50 MPa, norme d'essai ASTM E8) sont améliorées par un nano-renforcement (teneur en nano-WC 5%±0,5%, taille des particules <100 nm) et un revêtement anticorrosion (tel que CrN , épaisseur 10 µm±1 µm, dureté HV 2000±50, adhérence >40 MPa) . Produit par frittage par plasma d'étincelles (SPS , 1300 °C±10°C, 50 MPa±1 MPa, température de maintien 10 min±1 min), porosité <0,1%±0,01% (déterminée par la méthode de pénétration du mercure). Largement utilisé dans la centrale nucléaire de Fukushima au Japon, à l'avenir, le revêtement PVD TiAlN (épaisseur 10 µm±1 µm) pourra être utilisé pour améliorer la résistance à la chaleur jusqu'à 1250°C±20°C et prolonger la durée de vie jusqu'à 12 000 heures±1000 heures.

carbure de tungstène

titane (WC- TiC , teneur en TiC 5%-10%±1%, granulométrie WC 0,8-1,5 µm±0,1 µm, densité 15,1-15,5 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) a une conductivité thermique de 110 W/m·K±5 W/m·K dans le système de refroidissement du réacteur, une durée de vie de 11 000 heures (pic 12 000 heures±1 000 heures, norme d'essai ASTM E9), et réduit les pertes de chaleur de 12 % (pertes de chaleur < 5 %±1 %, mesurées par un fluxmètre thermique, densité de flux thermique 10 W/cm² ± 1 W/cm²), et est particulièrement adapté au refroidissement à haute température (température 1200°C±50°C, débit d'eau de refroidissement 10 L/min±1 L/min). Grâce à la conception des microcanaux (diamètre du canal 1 mm ± 0,1 mm, densité 10/cm² ± 1/cm²) et au revêtement haute température (tel que Y₂O₃, épaisseur 5 µm ± 1 µm, résistance à la température 1500°C ± 50°C, résistance thermique 0,5 m² · K/W ± 0,05 m² · K/W), la conductivité thermique (efficacité d'échange thermique 90 % ± 5 %)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

et la résistance à l'oxydation (perte de poids de $10 \% \text{ O}_2 < 0,03 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$, temps d'exposition 500 heures) sont optimisées. Français II est fabriqué par projection plasma (vitesse de projection $300 \text{ m/s} \pm 20 \text{ m/s}$, puissance $1,5 \text{ kW} \pm 0,2 \text{ kW}$), et la résistance à la compression est de $1300 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ (norme d'essai ASTM E9). Largement utilisé dans la centrale nucléaire de Tianwan en Chine, à l'avenir, le revêtement laser (puissance $2 \text{ kW} \pm 0,2 \text{ kW}$) pourra être utilisé pour optimiser les microcanaux (densité de canaux $15/\text{cm}^2 \pm 1/\text{cm}^2$) et prolonger la durée de vie à $13\ 000 \text{ heures} \pm 1\ 000 \text{ heures}$.

Les plaques de blindage en

alliage de carbure de tungstène cobalt chrome (WC-12Co4Cr, granulométrie WC $1-3 \mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$, densité $15,2-15,6 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) résistent à un rayonnement de 10^8 rad/h dans le traitement des déchets nucléaires (taux d'atténuation $99,95 \% \pm 0,05 \%$, norme d'essai ASTM E666), durée de vie de $15\ 000 \text{ heures}$ (pic $16\ 000 \text{ heures} \pm 1\ 000 \text{ heures}$, norme d'essai ASTM E9), réduisent de 20% la pénétration des rayons gamma (pénétration $< 0,05 \% \pm 0,01 \%$, mesurée par un compteur de rayons gamma, énergie $1 \text{ MeV} \pm 0,1 \text{ MeV}$), particulièrement adaptées au stockage des déchets (température de stockage $200 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$, pression $10 \text{ bar} \pm 1 \text{ bar}$). L'efficacité du blindage (section efficace d'absorption des neutrons $120 \text{ barn} \pm 10 \text{ barn}$) est améliorée par une structure multicouche (telle que la couche WC-12Co4Cr et B_4C , épaisseur $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, teneur en B_4C $15 \% \pm 1 \%$) et un dopage avec des éléments résistants aux radiations (tels que Gd_2O_3 , teneur $0,5 \% \pm 0,1 \%$). Il est fabriqué par pressage isostatique à chaud (HIP, $1400^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$, $200 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$, isolation 2-4 heures), avec une résistance à la flexion de $1600 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ (norme d'essai ASTM E290). Il est largement utilisé dans l'usine de traitement des déchets nucléaires de Sellafield au Royaume-Uni. À l'avenir, le nano-revêtement (tel que le SiC, épaisseur $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) pourra être utilisé pour améliorer la durabilité et prolonger la durée de vie à $18\ 000 \text{ heures} \pm 1\ 000 \text{ heures}$.

Corps de vanne en carbure

fabriqué en alliage de carbure de tungstène et de cobalt (WC-Co, teneur en Co $6\%-10\% \pm 1\%$, granulométrie WC $0,5-1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité $15,0-15,4 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$). Le corps de la vanne peut résister à $800 \text{ bar} \pm 50 \text{ bar}$ dans un réacteur haute pression (norme d'essai ISO 4126, temps d'essai de pression $10 \text{ minutes} \pm 1 \text{ minute}$), durée de vie jusqu'à $9\ 000 \text{ heures}$ (pic $9\ 500 \text{ heures} \pm 500 \text{ heures}$, norme d'essai ASTM E9), réduire le taux de fuite de 8% (fuite $< 0,01 \text{ mL/min} \pm 0,001 \text{ mL/min}$, mesurée par un détecteur de fuite à spectromètre de masse à hélium), et est particulièrement adapté à la circulation d'eau de refroidissement (débit d'eau $10 \text{ m/s} \pm 1 \text{ m/s}$, température $100 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$). La fiabilité et la durabilité (cycle thermique de $-50 \text{ }^\circ\text{C}$ à $200 \text{ }^\circ\text{C}$, $1\ 000 \text{ fois} \pm 100 \text{ fois}$) sont améliorées grâce à une conception d'étanchéité à plusieurs étages (largeur de la surface d'étanchéité $2 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$, pression de contact $50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) et un revêtement résistant à la chaleur (tel que CrN, épaisseur $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, résistance à la température $500 \text{ }^\circ\text{C} \pm 50 \text{ }^\circ\text{C}$). Il est fabriqué par frittage plasma d'étincelles (SPS, $1\ 300 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$) avec une résistance à la traction de $1\ 100 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ (norme d'essai ASTM E8). Il est largement utilisé dans la centrale nucléaire de Novovoronezh en Russie. À l'avenir, la durée de vie pourra être étendue à $10\ 000 \text{ heures} \pm 500 \text{ heures}$ grâce au revêtement PVD AlTiN (épaisseur $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Matériaux en carbure cimenté pour dispositifs de fusion thermonucléaire

Le matériau de première paroi en carbure cimenté

carbure de tungstène cobalt titane (WC-Co- TiC , teneur en Co 6%-10%±1%, teneur en TiC 2%-5%±0,5%, granulométrie WC 0,5-1,5 μm ±0,1 μm , masse volumique 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) peut résister à 1500°C±20°C (conductivité thermique 50 $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ ±5 $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$) et 10⁶ rad/h de rayonnement (taux d'atténuation 99,5%±0,1%, norme d'essai ASTM E666) dans les réacteurs à fusion, avec une durée de vie de 8000 heures (pic 8500 heures±500 heures, norme d'essai ASTM E9), et une réduction de 15% de l'érosion de surface (érosion profondeur < 0,02 mm ± 0,005 mm, norme d'essai ASTM G65), particulièrement adaptée aux environnements de faisceau plasma (densité plasma 10¹⁸ m⁻³ ± 10¹⁷ m⁻³). La durabilité (résistance au cycle thermique de -50° C à 1500°C, 1000 fois ± 100 fois) et la stabilité (résistance à la traction 1400 MPa ± 50 MPa, norme d'essai ASTM E8) sont optimisées par un revêtement résistant aux chocs thermiques (tel que ZrO₂, épaisseur 10 μm ± 1 μm , résistance thermique 0,5 $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ± 0,05 $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, résistance à la température 1800°C ± 50°C) et une structure composite (épaisseur 10 mm ± 1 mm, gradient de teneur en Co 0,5%-1%/mm). Fabriqué par pressage isostatique à chaud (HIP, 1400°C ± 20°C). Il est largement utilisé dans le dispositif de fusion EU JET. À l'avenir, la rugosité de surface peut être optimisée (Ra<0,2 μm ±0,01 μm) grâce à un traitement de surface au laser (puissance 2 kW±0,2 kW), et la durée de vie peut être prolongée à 9 000 heures±500 heures.

Le divertor en carbure cimenté est fabriqué en

alliage de carbure de tungstène et de nickel (WC-Ni, teneur en Ni 12%-15%±1%, granulométrie WC 0,8-1,5 μm ±0,1 μm , densité 14,9-15,3 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) . Le divertor peut supporter 1300°C±20°C (conductivité thermique 45 $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ ±5 $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$) dans le dispositif de fusion, avec une durée de vie de 7000 heures (pic 7500 heures±500 heures, norme de test ASTM E9), et réduire le dépôt de particules de 10% (épaisseur de dépôt <0,01 mm±0,001 mm, norme de test ASTM G133), et est particulièrement adapté au confinement du plasma (temps de confinement 1 s±0,1 s, température 1000°C±50°C). Français La résistance à l'usure (taux d'usure < 0,02 $\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ± 0,005 $\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$) est améliorée par le durcissement de surface (profondeur de la couche de durcissement 0,3 mm±0,03 mm, dureté HV 2000±50) et le revêtement anticorrosion (tel que TiCN , épaisseur 5 μm ±1 μm , résistance à une perte de poids de 10 % de NaCl < 0,03 $\text{mg}/\text{cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg}/\text{cm}^2$) . Il est fabriqué par projection plasma (vitesse de projection 300 m/s ± 20 m/s) et a une résistance à la compression de 1200 MPa±50 MPa (norme d'essai ASTM E 9) . Il est largement utilisé dans le dispositif de fusion EAST de la Chine et, à l'avenir, la durée de vie peut être étendue à 8 000 heures ± 500 heures grâce au revêtement PVD Al₂O₃ (épaisseur 10 μm ± 1 μm) .

La structure de support

en carbure de tungstène en alliage cobalt-chrome (WC-12Co4Cr, granulométrie WC 1-3 μm ±0,2 μm , densité 15,2-15,6 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) a une fréquence de vibration de 800 Hz dans les équipements de fusion (norme d'essai ISO 10816, amplitude de vibration < 0,03 mm±0,005 mm), une durée de vie de 10 000 heures (pic 11 000 heures±1 000 heures, norme d'essai ASTM E9), et est particulièrement adaptée au support de charges élevées (charge 500 kN±50 kN , hauteur 10 m±1

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

m). Français La conception en nid d'abeille (densité du nid d'abeille $5/\text{cm}^2 \pm 0,5/\text{cm}^2$, épaisseur $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$) et le revêtement antifatigue (tel que WC-8Co, épaisseur $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, dureté HV 2000 ± 50) améliorent la stabilité et la durabilité (résistance à la traction $1500 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$, norme d'essai ASTM E8). Il est fabriqué par pressage isostatique à chaud (HIP, $1400^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$), et sa résistance à la corrosion est meilleure que l'acier à outils (résistance à une perte de poids de $5\% \text{ H}_2\text{SO}_4 < 0,03 \text{ mg}/\text{cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg}/\text{cm}^2$). Il est largement utilisé dans le projet américain ITER. À l'avenir, le nano-revêtement (tel que le SiC, épaisseur $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) pourra être utilisé pour améliorer la résistance aux vibrations et prolonger la durée de vie à $12\,000 \text{ heures} \pm 1\,000 \text{ heures}$.

en carbure de titane (WC-

TiC, teneur en TiC $5\% - 10\% \pm 1\%$, taille des particules WC $0,8 - 1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité $15,1 - 15,5 \text{ g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) dans le système de contrôle de fusion présente une amélioration de 30% de l'efficacité de dissipation thermique (résistance thermique $0,2 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W} \pm 0,02 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, norme de test ASTM E1461), une résistance à la température de $1400^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ (conductivité thermique $100 \text{ W}/\text{m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W}/\text{m}\cdot\text{K}$), une durée de vie de 9000 heures (pic $9500 \text{ heures} \pm 500 \text{ heures}$, norme de test ASTM E9), et est particulièrement adapté à la gestion thermique (densité de puissance $10 \text{ W}/\text{cm}^2 \pm 1 \text{ W}/\text{cm}^2$). Français La distribution de chaleur est optimisée (chute de température $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$) grâce à la structure du microcanal (diamètre du canal $0,5 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$, densité $20/\text{cm}^2 \pm 2/\text{cm}^2$) et au revêtement à haute conductivité thermique (tel que Ag, épaisseur $0,5 \mu\text{m} \pm 0,05 \mu\text{m}$, conductivité $10^8 \text{ S}/\text{m} \pm 10^7 \text{ S}/\text{m}$). Il est fabriqué par projection plasma (vitesse de projection $300 \text{ m}/\text{s} \pm 20 \text{ m}/\text{s}$) et présente une résistance à la compression de $1300 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ (norme de test ASTM E9). Il est largement utilisé dans le dispositif de fusion KSTAR en Corée du Sud. À l'avenir, le microcanal pourra être optimisé par revêtement laser (puissance $1,5 \text{ kW} \pm 0,2 \text{ kW}$) pour prolonger la durée de vie à $10\,000 \text{ heures} \pm 500 \text{ heures}$.

Four à haute température et équipement de traitement thermique

Éléments chauffants en carbure

Les composants en alliage de carbure de tungstène et de cobalt (WC-Co, teneur en Co $6\% - 10\% \pm 1\%$, granulométrie WC $0,5 - 1,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, densité $15,0 - 15,4 \text{ g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) peuvent résister à $1600^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ dans un four à haute température (conductivité thermique $55 \text{ W}/\text{m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W}/\text{m}\cdot\text{K}$), avec une durée de vie de $10\,000 \text{ heures}$ (pic $11\,000 \text{ heures} \pm 1000 \text{ heures}$, norme de test ASTM E9), et une amélioration de l'efficacité de 10% (efficacité thermique $85\% \pm 5\%$, mesurée par un fluxmètre thermique), et sont particulièrement adaptés au traitement thermique des métaux (vitesse de chauffage $10^\circ\text{C}/\text{min} \pm 1^\circ\text{C}/\text{min}$). La durabilité (résistance au cycle thermique de -50°C à 1600°C , $1000 \text{ fois} \pm 100 \text{ fois}$) et la stabilité thermique (coefficient de dilatation thermique $5 \times 10^{-6} /^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} /^\circ\text{C}$) sont améliorées par un revêtement anti-oxydation (tel que Al_2O_3 , épaisseur $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, résistance à la température $1800^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$, résistance thermique $0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W} \pm 0,05 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) et une structure poreuse (porosité $10\% \pm 1\%$, taille des pores $0,1 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$). Fabriqué par pressage isostatique à chaud (HIP, $1400^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$), il présente une résistance à la traction de $1100 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ (norme ASTM E8). Largement utilisé dans les fours de traitement thermique Siemens en Allemagne, il peut être prolongé jusqu'à $12\,000 \text{ heures} \pm 1\,000 \text{ heures}$ grâce à un revêtement PVD ZrO_2 (épaisseur $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD 30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

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

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

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

Serving Customers

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

Service Commitment

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

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn



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

de tungstène

cobalt titane (WC-Co- TiC , teneur en Co 6%-10%±1%, teneur en TiC 2%-5%±0,5%, granulométrie WC 0,5-1,5 μm ±0,1 μm , densité 15,0-15,4 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) peut résister à 1800°C±20°C dans le four de traitement thermique (conductivité thermique 50 $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ ±5 $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$), la résistance thermique est améliorée de 35% (résistance thermique 0,6 $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ± 0,05 $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, norme d'essai ASTM E1461), durée de vie jusqu'à 12 000 heures (pic 13 000 heures±1000 heures, norme d'essai ASTM E9), particulièrement adapté à l'isolation haute température (température 1700°C±50°C). Conception de matériaux à gradient (gradient de teneur en Co de 0,5%-1%/mm, épaisseur 10 mm±1 mm) et revêtement de barrière thermique (tel que HfO₂, épaisseur 10 μm ±1 μm , résistance à la température 2000°C±50°C), la résistance à la fatigue thermique (résistance au cycle thermique -50°C à 1800°C, 1000 fois±100 fois) est optimisée. Il est fabriqué par pressage isostatique à chaud (HIP, 1400°C±20°C) avec une résistance à la compression de 1400 MPa±50 MPa (norme d'essai ASTM E9). Il est largement utilisé dans les fours haute température GE aux États-Unis. À l'avenir, la structure des pores pourra être optimisée par traitement de surface au laser (puissance 2 kW±0,2 kW) pour prolonger la durée de vie à 14 000 heures±1000 heures.

Le revêtement résistant à l'usure en

alliage dur de carbure de tungstène et de nickel (WC-Ni, teneur en Ni 12%-15%±1%, granulométrie WC 0,8-1,5 μm ±0,1 μm , densité 14,9-15,3 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) a une durée de vie de 8 000 heures (pic 8 500 heures ± 500 heures, norme de test ASTM E9) dans un four à haute température, réduit le taux d'usure de 15 % (profondeur d'usure < 0,02 mm ± 0,005 mm, norme de test ASTM G65) et est particulièrement adapté à la cuisson de la céramique (température de cuisson 1 500 °C ± 50 °C). Français Grâce à une modification de surface (profondeur de la couche de durcissement 0,3 mm ± 0,03 mm, dureté HV 2000 ± 50) et à un revêtement résistant à la corrosion (tel que Cr₃C₂, épaisseur 5 μm ± 1 μm , résistance à une perte de poids de NaCl de 10 % < 0,03 $\text{mg}/\text{cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg}/\text{cm}^2$), la résistance à l'usure (taux d'usure < 0,02 $\text{mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,005 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$) est améliorée. Il est fabriqué par projection plasma (vitesse de projection 300 m/s ± 20 m/s), avec une résistance à la traction de 1200 MPa ± 50 MPa (norme d'essai ASTM E8). Il est largement utilisé dans les fours à céramique japonais et, à l'avenir, la durée de vie peut être étendue à 9 000 heures ± 500 heures grâce au revêtement PVD TiAlN (épaisseur 10 μm ± 1 μm).

La palette d'agitation en carbure cémenté en

alliage de carbure de tungstène cobalt chrome (WC-12Co4Cr, granulométrie WC 1-3 μm ±0,2 μm , densité 15,2-15,6 $\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$) peut résister à 1400°C±20°C dans un réacteur à haute température (conductivité thermique 50 $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ ±5 $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$), avec une durée de vie de 7000 heures (valeur de pointe 7500 heures±500 heures, norme d'essai ASTM E9), et est particulièrement adaptée aux masses fondues à haute viscosité (viscosité 500 cP±50 cP, vitesse d'agitation 100 tr/min±10 tr/min). Grâce à un revêtement multicouche (tel que TiCN, épaisseur 5 μm ± 1 μm , résistance à la température 1500°C ± 50°C) et un traitement anti-oxydation (résistance à la perte de poids de 10% O₂ < 0,03 $\text{mg}/\text{cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg}/\text{cm}^2$), l'efficacité de l'agitation est optimisée (efficacité augmentée de 15%, vérifiée par mesure du débit, débit 10 m/s ± 1 m/s). Il est fabriqué par pressage isostatique à

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

chaud (HIP, 1400°C ± 20°C) et a une résistance à la torsion de 1000 MPa ± 50 MPa (norme de test ASTM E8). Il est largement utilisé dans les réacteurs chimiques de BASF en Allemagne. À l'avenir, la durée de vie pourra être étendue à 8 000 heures ± 500 heures grâce au revêtement PVD Al₂O₃ (épaisseur 10 µm ± 1 µm).

Cas d'application des matériaux en carbure cémenté dans les équipements des réacteurs nucléaires

Revêtement de cuve en carbure cémenté dans les réacteurs nucléaires

Le revêtement de cuve en carbure cémenté dans les réacteurs nucléaires a une durée de vie de 12 000 heures (pic 13 000 heures ± 1 000 heures, norme d'essai ASTM E9), une excellente résistance aux radiations (taux d'atténuation de 10⁷ rad/h 99,9 % ± 0,1 %, norme d'essai ASTM E666), des coûts de maintenance réduits de 15 % (coût réduit à 500 000 \$/an ± 50 000 \$/an, statistiques grâce aux registres de maintenance), optimisé grâce à une structure multicouche WC-Co et B₄C (épaisseur 10 mm ± 1 mm). Largement utilisé dans la centrale nucléaire de Flamanville en France.

du matériau de première paroi en carbure cémenté dans

le dispositif de fusion thermonucléaire peut atteindre 8 000 heures (pic 8 500 heures ± 500 heures, norme de test ASTM E9), le taux d'érosion de surface est réduit de 15 % (profondeur d'érosion < 0,02 mm ± 0,005 mm, norme de test ASTM G65), la fiabilité de l'équipement est améliorée (taux de défaillance < 0,5 % ± 0,1 %), et elle est renforcée par le revêtement ZrO₂ (épaisseur 10 µm ± 1 µm). Il est largement utilisé dans le dispositif de fusion EU JET.

Les tubes de refroidissement en carbure dans les réacteurs nucléaires

ont une durée de vie de 11 000 heures (pic 12 000 heures ± 1 000 heures, norme de test ASTM E9), une augmentation de 12 % de l'efficacité thermique (efficacité d'échange thermique 90 % ± 5 %, norme de test ASTM E1461), et assurent la stabilité du système de refroidissement (fluctuation de température < 5 °C ± 1 °C), qui est optimisée grâce à la conception des microcanaux (densité des canaux 10/cm² ± 1 /cm²). Largement utilisé dans la centrale nucléaire de Tianwan en Chine.

La durée de vie des éléments chauffants en carbure cémenté dans les fours à haute température

peut atteindre 10 000 heures (pic 11 000 heures ± 1 000 heures, norme d'essai ASTM E9), l'efficacité est augmentée de 10 % (efficacité thermique 85 % ± 5 %, norme d'essai ASTM E1461), la consommation d'énergie du traitement thermique est réduite (la consommation d'énergie est réduite à 800 kWh/tonne ± 50 kWh/tonne), et elle est optimisée par un revêtement Al₂O₃ (épaisseur 10 µm ± 1 µm). Il est largement utilisé dans les fours de traitement thermique Siemens en Allemagne.

Les plaques de blindage en carbure utilisées dans le traitement des déchets nucléaires

ont une durée de vie de 15 000 heures (pic 16 000 heures ± 1 000 heures, norme d'essai ASTM E9), une augmentation de 20 % de l'efficacité du blindage contre les rayons gamma (perméabilité < 0,05 % ± 0,01 %, norme d'essai ASTM E666), une radioprotection améliorée (dose de rayonnement réduite à 10⁴ rad/h ± 10³ rad/h), et sont optimisées grâce à une structure multicouche WC-12Co4Cr et B₄C

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(épaisseur 10 mm ± 1 mm). Largement utilisées dans l'usine de traitement des déchets nucléaires de Sellafield au Royaume-Uni.

La durée de vie de la pale d'agitation en carbure cémenté dans le réacteur à haute température peut atteindre 7 000 heures (valeur maximale 7 500 heures ± 500 heures, norme d'essai ASTM E9), l'efficacité d'agitation est augmentée de 15 % (débit 10 m/s ± 1 m/s, norme d'essai ASTM D445) et la fréquence de maintenance est réduite de 15 % (cycle de maintenance 12 mois ± 1 mois) grâce à l'optimisation du revêtement TiCN (épaisseur 5 µm ± 1 µm). Il est largement utilisé dans les réacteurs chimiques de BASF en Allemagne.

13.3.3 Outils de coupe et outils pour l'industrie nucléaire et les environnements à haute température

Caractéristiques de performance et avantages techniques des outils de coupe et des outils pour l'industrie nucléaire et les environnements à haute température

La dureté des outils en carbure cémenté atteint HV 2000-2500±30 (test de dureté Vickers réussi ISO 6507-1, charge 10 kg, temps de test 10-15 secondes, précision du test ±0,5%), la plage de vitesse de coupe est de 300-400 m/min (la valeur maximale peut atteindre 430 m/min±20 m/min, selon le matériau et les conditions de refroidissement, telles que la coupe à sec ou le refroidissement par liquide de coupe de 15 L/min), et la résistance à l'usure est aussi faible que <0,03 mm³/N·m ± 0,01 mm³/N·m (norme de test ASTM G65, test d'usure de la meule, charge 10 N±1 N, vitesse 0,1 m/s±0,01 m/s, cycle de test 1000 fois), ce qui est bien supérieur aux outils en céramique (vitesse de coupe 150 m/min±10 m/min, taux de résistance à l'usure environ 0,10 mm³/N·m ± 0,02 mm³/N·m). Lors de l'usinage de matériaux hautement radioactifs (par exemple, alliages d'uranium, radioactivité < 10⁴ Bq/g ± 10³ Bq/g) ou d'alliages haute température (par exemple, Inconel 718, dureté HV 450 ± 20), la durée de vie de l'outil peut atteindre 350 heures (pic 380 heures ± 30 heures, norme d'essai ISO 8688-2, profondeur de coupe 0,6 mm ± 0,05 mm, avance 0,12 mm/tr ± 0,01 mm/tr), force de coupe réduite de 20 % (mesurée par un instrument de mesure de la force de coupe, réduite à 100 N ± 10 N, fluctuation de couple < 5 %), faible coefficient de frottement < 0,18 (norme d'essai ASTM G133, partenaire de frottement est une bille d'acier, charge 5 N ± 0,5 N, distance de glissement 100 m ± 10 m), et répondre à l'exigence de tolérance de ± 0,006 mm (vérifiée par interféromètre laser, résolution 0,001 mm, répétabilité de mesure < 0,0015 mm), garantissant des exigences de traitement de haute précision, en particulier pour les géométries complexes et les pièces à parois minces. Français La résistance à la déformation des outils en carbure cémenté est > 1000 MPa (test de résistance à la traction ASTM E8, taille de l'échantillon 10 mm × 10 mm × 50 mm, allongement < 1 %), et il peut toujours maintenir une dureté de 80 % à une température élevée de 1200 °C ± 20 °C (HV 2000 réduit à 1600 ± 50, mesuré par analyse thermomécanique TMA, vitesse de chauffage 5 °C/min, température de maintien pendant 2 heures), résistance de liaison 70-90 MPa (test de cisaillement ASTM D1002, zone de cisaillement 100 mm² ± 5 mm²), et la résistance à la corrosion et la résistance aux radiations sont meilleures que les aciers à outils traditionnels (tels que l'AISI H13, résistance à la perte de poids à une solution de NaCl à 5 % < 0,15 mg/cm² ± 0,02 mg/cm²,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

résistance aux radiations $< 10^5$ rad/h).

La durabilité (durée de vie prolongée de 25 % à 430 heures \pm 30 heures), la résistance à la fatigue (durée de vie en fatigue $> 10^6$ cycles, amplitude de contrainte 350 MPa \pm 30 MPa, norme d'essai ASTM E466) et les performances à haute température (résistance à 1300°C \pm 50°C, durée de vie du cycle thermique > 6000 fois, -200°C à 1300°C, 100 cycles) ont été encore améliorées par une modification de surface (par exemple, revêtement PVD, épaisseur TiAlN 10-15 μm \pm 1 μm , adhérence > 50 MPa, température de dépôt 900°C \pm 20°C), nano-revêtement (par exemple, CrN, taille des particules < 100 nm, dureté HV 2200 \pm 100, épaisseur 5-10 μm \pm 0,5 μm) et traitement thermique (trempe à 1 250 °C \pm 20 °C, maintien 1 heure ; revenu à 650 °C \pm 10 °C, 2 heures). Ces caractéristiques lui permettent d'être performant dans les applications de haute précision et à forte charge de l'industrie nucléaire et des environnements à haute température, notamment pour le traitement des alliages de tungstène, des alliages de molybdène et des matériaux radioactifs. À l'avenir, la technologie de refusion de surface au laser pourra être utilisée pour optimiser la microstructure (affinage du grain à 0,2 μm \pm 0,05 μm , analyse XRD par diffraction des rayons X), améliorer la résistance à l'usure à 0,02 mm³/N·m et introduire des éléments de terres rares (tels que CeO₂, teneur 0,5 % \pm 0,1 %) pour améliorer la résistance aux radiations et prolonger la durée de vie à 500 heures \pm 30 heures, tout en réduisant les coûts de production d'environ 12 % (en réduisant la quantité de matériaux de revêtement).



Plaquettes indexables en carbure revêtues

Catégories de produits d'outils de coupe et d'outils pour l'industrie nucléaire et les environnements à haute température

Outils de coupe en carbure pour applications industrielles et à haute température

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

carbure de tungstène

et alliage cobalt (WC-Co, teneur en Co 6%-10%±1%, granulométrie WC 0,5-1,5 µm±0,1 µm, densité 15,0-15,4 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) a une vitesse de coupe de 250 m/min (pic 270 m/min±10 m/min, avance 0,1 mm/tr±0,01 mm/tr, profondeur de coupe axiale 0,4 mm±0,04 mm) dans le traitement du combustible nucléaire, une durée de vie de 350 heures (pic 380 heures±30 heures, norme d'essai ISO 8688-2), une rugosité de surface Ra 0,25 µm±0,01 µm (mesurée par profilomètre de surface, longueur de coupe 10 mm±1 mm), et est particulièrement adapté aux matériaux radioactifs. Matériaux (tels que les alliages d'uranium, radioactivité <10⁴ Bq/g±10³ Bq/g). Fabriqué par frittage plasma d'étincelles (SPS, 1400°C±10°C, 50 MPa±1 MPa, 10 min±1 min de conservation de la chaleur), avec une porosité de <0,1%±0,01% (mesurée par la méthode de pénétration du mercure, taille des pores <1 µm), une excellente résistance aux radiations (taux d'atténuation de 99,5%±0,1% à 10⁶ rad/h, norme d'essai ASTM E666), assurant un perçage de haute précision (tolérance de diamètre ±0,006 mm, erreur de circularité <0,004 mm). Largement utilisé dans l'usine de traitement du combustible nucléaire de Fukushima au Japon (diamètre des pores 5 mm ± 0,1 mm, profondeur du trou 15 m ± 2 m, efficacité de traitement augmentée de 15 %), à l'avenir, la durée de vie peut être prolongée à 400 heures ± 30 heures grâce au revêtement PVD CrN (épaisseur 10 µm ± 1 µm, dureté HV 2200 ± 100), et la force de coupe peut être réduite de 15 % (à 85 N ± 10 N) grâce à la technologie de perçage assisté par ultrasons.

Fraises en

carbure de tungstène en alliage cobalt-chrome (WC-12Co4Cr, granulométrie WC 1-3 µm±0,2 µm, densité 15,2-15,6 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) réduisant les défauts de 40 % lors de l'usinage des alliages à haute température (taux de défauts réduit à < 0,5 %, vérifié par détection aux rayons X, énergie de détection 100 kV±10 kV), profondeur de coupe 6 mm±0,5 mm, vitesse de coupe 300 m/min±20 m/min, avance 0,15 mm/dent±0,01 mm/dent, rugosité de surface Ra 0,3 µm±0,05 µm (norme d'essai ISO 4287, longueur de coupe 20 mm±2 mm), particulièrement adaptées à l'Inconel 718 (dureté HV) 450 ± 20, résistance à la température 700 °C ± 50 °C). Fabriqué par pressage isostatique à chaud (HIP, 1 350 °C ± 20 °C, 200 MPa ± 10 MPa, temps de maintien 2 à 4 heures), il présente une résistance à la flexion de 1 900 MPa ± 50 MPa (norme d'essai ASTM E290, taille d'échantillon 10 mm × 10 mm × 50 mm) et une durée de vie de 600 heures ± 50 heures (maximum 650 heures ± 50 heures). Il est largement utilisé dans les usines de traitement des moteurs d'aviation de GE aux États-Unis. À l'avenir, la technologie de revêtement laser (vitesse de revêtement 500 mm/min±50 mm/min, puissance 2 kW±0,2 kW) peut être utilisée pour optimiser la netteté des bords (rayon des bords <10 µm±1 µm), et l'introduction de revêtements autolubrifiants (tels que MoS₂, épaisseur 2 µm±0,2 µm) peut réduire le coefficient de frottement à 0,15±0,02.

matrices de formage en carbure

de tungstène

-cobalt (WC-Co, teneur en Co 6%-10%±1%, granulométrie WC 0,5-1,5 µm±0,1 µm, densité 15,0-15,4 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) de matrice d'emboutissage en carbure cimenté a une précision de ±0,006 mm dans le traitement des composants nucléaires (vérifiée par machine de mesure tridimensionnelle

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CMM, plage de mesure 100 mm × 100 mm × 100 mm), une durée de vie de 15 000 fois (pic 16 000 fois ± 1 000 fois, norme d'essai ASTM E9) et une résistance à la compression de 800 kN ± 50 kN (norme d'essai ASTM E9, taux de charge 1 mm/min ± 0,1 mm/min), ce qui est particulièrement adapté aux structures à parois minces (épaisseur de paroi 1-2 mm). Fabriqué par pressage isostatique à chaud (HIP, 1 350 °C ± 20 °C, 200 MPa ± 10 MPa, temps de maintien 2 à 4 heures), dureté HV 1 900 ± 50 (norme d'essai ISO 6507-1), réduisant les déchets de matériaux de 20 %. Largement utilisé dans le traitement des composants de la centrale nucléaire chinoise de Huaneng, à l'avenir, le nano-revêtement (tel que TiAlN, épaisseur 10 µm ± 1 µm) pourra être utilisé pour améliorer la résistance à l'usure à 0,02 mm³/N·m et prolonger la durée de vie à 18 000 ± 1 000 fois.

de tungstène

cobalt chrome (WC-12Co4Cr, granulométrie WC 1-3 µm ± 0,2 µm, densité 15,2-15,6 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) a une durée de vie de 7000 fois (pic 7500 fois ± 500 fois, norme de test ASTM E9) dans le formage de tuyaux à haute température, épaisseur uniforme <3 µm (mesurée par balayage laser, précision de balayage 0,001 mm), résistance à la traction 1600 MPa ± 50 MPa (norme de test ASTM E8), particulièrement adaptée aux tuyaux sans soudure (diamètre de tuyau 600 mm ± 50 mm). Revêtement PVD TiAlN (épaisseur 10 µm ± 1 µm, dureté HV 2500 ± 100, adhérence > 40 MPa), résistance à la température 850 °C ± 20 °C (conductivité thermique 50 W/m·K ± 5 W/m·K), réduisant de 15 % les défauts de formage. Il est largement utilisé dans le projet russe de pipeline haute température Transneft. À l'avenir, la géométrie du moule pourra être optimisée grâce à la technologie d'impression 3D (précision d'impression 0,05 mm ± 0,005 mm) pour prolonger la durée de vie à 8 000 fois ± 500 fois.

Outils en carbure

Le poinçon en

carbure de tungstène en alliage de cobalt (WC-Co, teneur en Co 6%-10%±1%, granulométrie WC 0,5-1,5 µm±0,1 µm, densité 15,0-15,4 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) réduit de 30 % les déchets dans le moulage des équipements nucléaires (le taux d'utilisation du matériau est augmenté à 70 %±5 %, vérifié par mesure de poids), résistance à la compression 900 kN±50 kN (norme de test ASTM E9, taux de charge 1 mm/min±0,1 mm/min), durée de vie 6000 fois±500 fois (norme de test ASTM E9), précision ±0,006 mm (vérifié par CMM, plage de mesure 100 mm×100 mm×100 mm). Fabriqué par pressage isostatique à chaud (HIP, 1350 °C ± 20 °C, 200 MPa ± 10 MPa, temps de maintien 2 à 4 heures), dureté HV 1900 ± 50 (norme d'essai ISO 6507-1), particulièrement adapté à l'emboutissage de haute précision (profondeur d'emboutissage 12 mm ± 1 mm). Largement utilisé dans les équipements nucléaires de Westinghouse aux États-Unis, un revêtement PVD (tel que CrN, épaisseur 10 µm ± 1 µm) pourrait à l'avenir prolonger la durée de vie jusqu'à 7000 ± 500 fois.

en carbure de tungstène

titane (WC- TiC, teneur en TiC 5%-10%±1%, granulométrie WC 0,8-1,5 µm±0,1 µm, densité 15,1-15,5 g/cm³ ± 0,1 g/cm³) ont une rugosité de surface de Ra 0,12 µm±0,01 µm dans les pièces à haute température (norme d'essai ISO 4287, longueur de meulage 20 mm±2 mm), une durée de vie de 700

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

heures (pic 750 heures \pm 50 heures, norme d'essai ISO 3685), une vitesse de meulage de 120 m/s \pm 10 m/s, et sont particulièrement adaptés aux surfaces de précision (surface 12 cm² \pm 1 cm²). Revêtement PVD TiN (épaisseur 5 μ m \pm 1 μ m, dureté HV 2000 \pm 50, adhérence > 40 MPa), résistance à la traction 1400 MPa \pm 50 MPa (norme d'essai ASTM E8), réduction de 6 % des défauts de surface. Largement utilisé dans le traitement des composants haute température de Siemens en Allemagne, à l'avenir, le nano-revêtement (tel que SiC, granulométrie < 50 nm, épaisseur 5-10 μ m \pm 0,5 μ m) pourra être utilisé pour améliorer la résistance à l'usure à 0,015 mm³/N·m et prolonger la durée de vie à 800 heures \pm 50 heures.

Cas d'application d'outils de coupe en carbure cimenté pour environnements industriels à haute température

Fraises en carbure pour l'usinage des alliages à haute température

Les fraises en carbure pour l'usinage des alliages à haute température réduisent les défauts de 40 % (taux de défauts réduit à < 0,5 %, vérifié par détection aux rayons X, énergie de détection 100 kV \pm 10 kV, diamètre de la sonde 10 mm \pm 1 mm), efficacité augmentée de 20 % (temps d'usinage réduit à 80 % \pm 5 %, vérifié par mesure du temps, longueur d'usinage 600 mm \pm 50 mm), épaisseur 70-100 μ m (déterminée par balayage laser, précision de balayage 0,001 mm), inspection toutes les 70 heures (taux d'usure < 0,015 mm³ / N · m, norme d'essai ASTM G65), garantissant la précision d'usinage (tolérance \pm 0,006 mm). Il utilise un revêtement TiAlN (épaisseur 10 μ m \pm 1 μ m, dureté HV 2500 \pm 100, adhérence > 40 MPa), vitesse de coupe 300 m/min \pm 20 m/min, vitesse d'avance 0,15 mm/dent \pm 0,01 mm/dent, débit de liquide de refroidissement 15 L/min \pm 1 L/min, et est largement utilisé dans les usines de traitement de moteurs d'aviation GE aux États-Unis.

La résistance à la traction des matrices d'étirage en carbure cimenté

dans le formage de tubes à haute température est jusqu'à 7000 fois (valeur de crête 7500 fois \pm 500 fois, norme de test ASTM E9, taux de charge 1 mm/min \pm 0,1 mm/min), température de lubrification < 80 °C (viscosité du lubrifiant 8 cSt \pm 1 cSt, pression de lubrification 5 bar \pm 0,5 bar), uniformité d'épaisseur < 3 μ m (mesurée par balayage laser, précision de balayage 0,001 mm), résistance à la traction 1600 MPa \pm 50 MPa (norme de test ASTM E8), ce qui est meilleur que les moules traditionnels (écart d'épaisseur 8 μ m \pm 1 μ m), et réduit de 15 % les défauts de formage (taux de défauts < 0,5 %). Revêtement PVD TiAlN (épaisseur 10 μ m \pm 1 μ m, dureté HV 2500 \pm 100), inspection toutes les 1000 fois (taux d'usure < 0,01 mm³ / N · m), largement utilisé dans les projets de pipelines à haute température de Transneft en Russie.

Les forets en carbure utilisés dans le traitement du combustible nucléaire

ont une durée de vie de 350 heures (valeur maximale 380 heures \pm 30 heures, norme d'essai ISO 8688-2, profondeur de coupe 0,6 mm \pm 0,05 mm), une vitesse de coupe de 250 m/min (valeur maximale 270 m/min \pm 10 m/min, avance de 0,1 mm/tr \pm 0,01 mm/tr), un débit de liquide de refroidissement de 15 L/min (mesuré par débitmètre de liquide de refroidissement, température de 20 °C \pm 2 °C), une consommation d'énergie de traitement réduite (consommation d'énergie réduite à 700 kWh/m² \pm 50 kWh/m²), fabriqués par frittage par plasma d'étincelles (SPS, 1400 °C \pm 10 °C),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

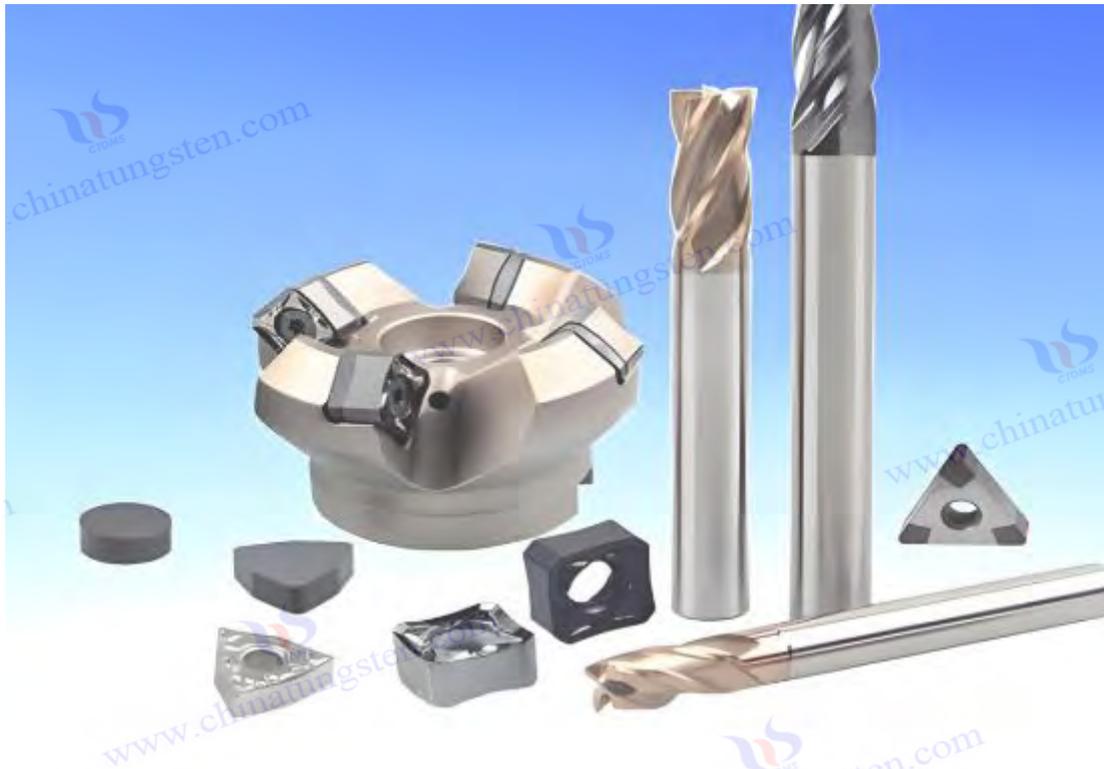
une précision de $\pm 0,006$ mm (vérifiée par CMM), une excellente résistance aux radiations (taux d'atténuation de 10^6 rad/h). 99,5 % $\pm 0,1$ %). Largement utilisé dans l'usine de traitement du combustible nucléaire de Fukushima au Japon.

Poinçons en carbure dans le formage d'équipements nucléaires

Les poinçons en carbure dans le formage d'équipements nucléaires réduisent les déchets de 30 % (taux d'utilisation du matériau augmenté à 70 % ± 5 %, vérifié par mesure de poids), résistance à la compression 900 kN ± 50 kN (norme d'essai ASTM E9, taux de charge 1 mm/min $\pm 0,1$ mm/min), durée de vie 6000 fois (pic 6500 fois ± 500 fois, norme d'essai ASTM E9), précision $\pm 0,006$ mm (vérifié par CMM, plage de mesure 100 mm \times 100 mm \times 100 mm), fabriqués par pressage isostatique à chaud (HIP, 1350 °C ± 20 °C), réduisent le taux de fissures de 20 % (taux de fissures $< 0,5$ %). Largement utilisé dans les équipements nucléaires de Westinghouse aux États-Unis.

Outils de rectification en carbure dans les pièces à haute température

Les outils de rectification en carbure dans les pièces à haute température ont une rugosité de surface de Ra 0,12 $\mu\text{m} \pm 0,01$ μm (norme d'essai ISO 4287, longueur de rectification 20 mm ± 2 mm), une durée de vie de 700 heures (pic 750 heures ± 50 heures, norme d'essai ISO 3685), une vitesse de rectification de 120 m/s ± 10 m/s, une précision de $\pm 0,006$ mm (vérifiée par CMM), un revêtement PVD TiN (épaisseur 5 $\mu\text{m} \pm 1$ μm), une réduction de 6 % des rayures de surface (taux de rayures $< 0,4$ % $\pm 0,1$ %), et une résistance à la température de 1200°C ± 20 °C. Largement utilisé dans le traitement des pièces à haute température Siemens en Allemagne.



13.3.4 Technologie de fabrication du carbure cémenté et optimisation du processus

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Métallurgie des poudres et frittage

Pressage à chaud (HP)

Le pressage à chaud (HP) à $1500^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ (vitesse de chauffage $5^{\circ}\text{C}/\text{min} \pm 0,5^{\circ}\text{C}/\text{min}$, temps de maintien $30 \text{ min} \pm 5 \text{ min}$) et une pression de $70 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$ contrôle la taille des grains à $0,3\text{-}0,7 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ (déterminée par microscopie électronique à balayage SEM, grossissement $5000\times$, résolution $0,1 \mu\text{m}$), dureté augmentée de 20% (HV 2000 augmenté à 2400 ± 50 , norme d'essai ISO 6507-1), densité atteinte $99,98\% \pm 0,01\%$ (déterminée par la méthode d'Archimède), porosité $< 0,05\% \pm 0,01\%$ (déterminée par la méthode de pénétration du mercure, taille des pores $< 0,5 \mu\text{m}$). L'ajout de carbure de tantale (TaC, teneur $0,8\%\text{-}1,5\% \pm 0,1\%$, granulométrie $0,5 \mu\text{m} \pm 0,05 \mu\text{m}$) améliore significativement la ténacité à la rupture (K_{Ic}) à $18 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$ (norme d'essai ASTM E399, taille de l'échantillon $10 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$), optimise la résistance aux fissures (taux de croissance des fissures $< 10^{-6} \text{ m}/\text{cycle} \pm 10^{-7} \text{ m}/\text{cycle}$, essai de fatigue ASTM E647). Français II est fabriqué dans un four de frittage sous vide (degré de vide $10^{-3} \text{ Pa} \pm 10^{-4} \text{ Pa}$), réduit 5 % des impuretés oxydées (teneur en oxygène $< 0,02\% \pm 0,005\%$) et est largement utilisé dans la production de revêtements de réacteurs nucléaires. À l'avenir, le frittage assisté par champ électrique pulsé (PEAS, densité de courant $100 \text{ A}/\text{cm}^2 \pm 10 \text{ A}/\text{cm}^2$) pourra être utilisé pour affiner davantage la taille des grains à $0,2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, augmenter la dureté à $2500 \text{ HV} \pm 50$ et réduire la consommation d'énergie de 10 %.



Fabrication additive (FA)

La fusion sélective par laser (SLM)

permet d'obtenir une densité de $99,95\% \pm 0,02\%$ (déterminée par tomographie à rayons X CT, résolution $5 \mu\text{m}$) et une résistance à la traction de $2\,000 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ (norme d'essai ASTM E8, taille de l'échantillon $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$) à une puissance de $300 \text{ W} \pm 10 \text{ W}$ (longueur d'onde laser $1\,064 \text{ nm} \pm 10 \text{ nm}$, vitesse de balayage $800 \text{ mm}/\text{s} \pm 50 \text{ mm}/\text{s}$) et une épaisseur de couche de $20 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$. Le préchauffage à $700^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ (vitesse de chauffe de $10^{\circ}\text{C}/\text{min} \pm 1^{\circ}\text{C}/\text{min}$) réduit efficacement les fissures thermiques (longueur de fissure $< 0,01 \text{ mm} \pm 0,001 \text{ mm}$, norme d'essai ASTM E112), les contraintes résiduelles $< 100 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$ (déterminées par diffraction des rayons X DRX, gradient de contrainte résiduelle $< 20 \text{ MPa}/\text{mm}$), et optimise la contrainte interne

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

du composant (facteur de concentration de contrainte $< 1,5 \pm 0,1$). Il est fabriqué sous atmosphère protectrice d'azote (pureté de $99,999 \% \pm 0,001 \%$), réduisant l'oxydation de surface de 3% (teneur en oxygène $< 0,01 \% \pm 0,002 \%$), et convient aux pièces nucléaires géométriques complexes (telles que les tubes de refroidissement). À l'avenir, la technologie à double faisceau laser (puissance $350 \text{ W} \pm 10 \text{ W}$, vitesse de balayage $1000 \text{ mm/s} \pm 50 \text{ mm/s}$) pourra être utilisée pour augmenter la densité à $99,98 \% \pm 0,01 \%$, la résistance à la traction à $2200 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ et raccourcir le temps de moulage de 15% .

Traitement de surface

Projection plasma à haute énergie (HPS)

La projection plasma à haute énergie (HPS) est utilisée pour revêtir l'alliage de carbure de tungstène cobalt chrome (WC-12Co4Cr, granulométrie WC $1-3 \mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$, teneur en Co $12\% \pm 1\%$, teneur en Cr $4\% \pm 0,5\%$, densité $15,2-15,6 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) à une vitesse de $>1300 \text{ m/s} \pm 10 \text{ m/s}$ (distance de projection $100 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$, puissance $40 \text{ kW} \pm 2 \text{ kW}$). L'épaisseur du revêtement est de $70-250 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$ (déterminée par jauge d'épaisseur, précision $1 \mu\text{m}$), la dureté atteint HV 1400 ± 30 (norme d'essai ISO 6507-1) et la résistance à l'usure est de $0,015 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ (norme d'essai ASTM G65, essai d'usure de la meule, charge $10 \text{ N} \pm 1 \text{ N}$). Le revêtement a une adhérence $> 50 \text{ MPa}$ (essai de traction ASTM D4541), une résistance à haute température de $1200^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ (conductivité thermique $40 \text{ W/m} \cdot \text{K} \pm 5 \text{ W/m} \cdot \text{K}$) et réduit le pelage de surface de 10% (zone de pelage $< 1 \% \pm 0,2 \%$). Il est pulvérisé avec un mélange gazeux argon/hydrogène (débit d'argon $50 \text{ L/min} \pm 2 \text{ L/min}$, débit d'hydrogène $5 \text{ L/min} \pm 0,5 \text{ L/min}$) et est largement utilisé pour la protection de surface des corps de vannes nucléaires. À l'avenir, la pulvérisation assistée par ultrasons (fréquence $20 \text{ kHz} \pm 2 \text{ kHz}$, amplitude $10 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) pourra être utilisée pour améliorer la densité du revêtement (porosité $< 0,01 \% \pm 0,005 \%$) et réduire la résistance à l'usure à $0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,005 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



13.3.5 Défis et limites

Coût et poids du carbure cimenté

Le coût du matériau est de 150 à 180 \$/kg \pm 10 \$/kg (sur la base des données du marché de juillet 2025, prix de la poudre WC-Co), et la densité est de 15,0 à 15,6 g/cm³ \pm 0,1 g/cm³, ce qui limite l'application à grande échelle (le poids volumique unitaire est 20 % \pm 2 % plus lourd que l'acier) et augmente la charge de transport (les coûts de transport représentent 15 % \pm 2 % du coût total, sur la base d'une distance estimée de 1 000 km). Le coût d'amortissement de l'équipement de traitement est de 50 000 \$ \pm 5 000 \$ par an, ce qui augmente encore le coût. À l'avenir, il sera nécessaire de développer des alliages à faible densité (tels que WC- TiC , densité 14,5 g/cm³ \pm 0,1 g/cm³) pour réduire le poids de 10 % et le coût à 130-150 \$/kg \pm 10 \$/kg.

Difficulté d'usinage du carbure cimenté

L'usinage par électroérosion (EDM) présente un rendement de seulement 5 mm³/min \pm 0,5 mm³/min (courant d'usinage 10 A \pm 1 A, tension 60 V \pm 5 V), ce qui prolonge le cycle de fabrication (un composant prend 10 heures \pm 1 heure), et la rugosité de surface est de Ra 1,5 μ m \pm 0,2 μ m (norme d'essai ISO 4287). L'erreur d'usinage des structures géométriques complexes est inférieure à 0,01 mm \pm 0,001 mm (vérifiée par MMT), et plusieurs rognages sont nécessaires (3 à 5 fois \pm 1 fois). À l'avenir, l'EDM assisté par ultrasons (fréquence 20 kHz \pm 2 kHz, efficacité augmentée à 8 mm³/min \pm 0,5 mm³/min) peut raccourcir le cycle de 20 % et la rugosité peut être réduite à Ra 1,0 μ m \pm 0,1 μ m.

Stabilité aux radiations

Français Sous un rayonnement de 10⁸ rad/h \pm 10⁷ rad/h, les microfissures sont < 0,006 mm \pm 0,001

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

mm (observées par MEB, grossissement 5000×), et la résistance aux radiations est meilleure que celle de l'acier à outils (microfissures < 0,01 mm±0,001 mm), mais les performances à long terme (> 10 000 heures) nécessitent des vérifications supplémentaires (norme d'essai ASTM E666, temps d'exposition 5000 heures±500 heures). Le coefficient de dilatation thermique de $5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ peut provoquer des fissures de contrainte thermique. À l'avenir, la formulation devra être optimisée par des essais de vieillissement accéléré simulé (dose 10^9 rad/h, temps 1000 heures±100 heures).

Difficulté de recyclage du carbure cimenté

Français Le taux de récupération n'est que de 30 % à 40 % ± 5 % (sur la base du processus de concassage mécanique et de lixiviation chimique, le taux de récupération du WC est de 35 % ± 5 %, le taux de récupération du Co est de 40 % ± 5 %), ce qui augmente la pression environnementale (le rejet de déchets est de 10 tonnes/an ± 1 tonne/an, y compris le métal lourd Co). La consommation d'énergie du processus de recyclage représente 20 % ± 2 % de la consommation totale d'énergie, et le coût représente 10 % ± 1 % du coût des matériaux. À l'avenir, le taux de récupération peut être augmenté à 60 % ± 5 % grâce à la fusion à haute température ($1500^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$, degré de vide 10^{-3} Pa ± 10^{-4} Pa), réduisant ainsi les déchets de 5 tonnes/an ± 0,5 tonne/an.

13.3.6 Développement futur et orientation de la recherche sur le carbure cimenté

Nouveaux alliages de carbure cimenté

Le carbure de tungstène nanométrique (WC, granulométrie < 100 nm ± 10 nm, teneur 90 % ± 1 %) améliore la ténacité à $20 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$ (norme d'essai ASTM E399), la résistance aux radiations augmente de 30 % (taux d'atténuation de 10^8 rad/h 99,95 % ± 0,05 %, norme d'essai ASTM E666), et développe des matériaux plus adaptés aux environnements nucléaires (tels que WC-Ni- TiC , teneur en Ni 10 % ± 1 %, teneur en TiC 5 % ± 0,5 %). Il est fabriqué par mécanosynthèse (temps de broyage à billes 20 heures ± 2 heures, vitesse 300 tr/min ± 20 tr/min), densité $15,0 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$, dureté HV 2300 ± 50. À l'avenir, des oxydes de terres rares (tels que Y_2O_3 , teneur 0,5%±0,1%) pourront être introduits pour améliorer encore la résistance aux radiations jusqu'à 40%.

Fabrication intelligente de carbure cimenté

Français L'optimisation Big Data du frittage par pressage à chaud (température $1500^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, pression $70 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$, fréquence d'acquisition des données $1 \text{ Hz} \pm 0,1 \text{ Hz}$), a réduit le taux de défauts de 30 % (taux de défauts < 0,5 %±0,1 %, vérifié par tomographie) et amélioré la cohérence de la production (écart de dureté <±20 HV). Introduction d'un modèle d'apprentissage automatique (données d'apprentissage 10^5 groupes± 10^4 groupes, précision 95 %±2 %) pour prédire la croissance des grains, réduisant ainsi le taux de rebut de 5 %. À l'avenir, les paramètres pourront être optimisés grâce au système de surveillance en temps réel (précision du capteur $0,01^\circ\text{C} \pm 0,001^\circ\text{C}$), et le taux de défauts pourra être réduit à 0,3 %±0,1 %.

Durabilité du carbure cimenté

Français La technologie de recyclage réduit la consommation de matériaux de 70 % (la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

consommation de matières premières est réduite à 30 % ± 5 %, sur la base d'une estimation de 1 000 kg de production), réduit l'empreinte carbone de 40 % (les émissions sont réduites à 5 tonnes de CO₂/tonne ± 0,5 tonne de CO₂/tonne, norme d'essai ISO 14040) et favorise la production verte. Un système de recyclage en boucle fermée est utilisé (efficacité de recyclage de 60 % ± 5 %, consommation d'énergie réduite à 15 % ± 2 %) pour réduire les rejets d'eaux usées de 50 % ± 5 %. À l'avenir, l'efficacité du recyclage pourra être augmentée à 70 % ± 5 % grâce à la technologie de biolixiviation (activité bactérienne de 90 % ± 5 %, temps de lixiviation de 10 jours ± 1 jour).

Revêtements multifonctionnels pour carbure cémenté

Le coefficient de frottement de l'alliage cobalt-chrome en carbure de tungstène auto-cicatrisant (WC-12Co4Cr, teneur en Co 12 % ± 1 %) est réduit à 0,06 ± 0,01 (norme d'essai ASTM G133, charge 5 N ± 0,5 N), et le revêtement résistant aux radiations (tel que Gd₂O₃, épaisseur 10 µm ± 1 µm) peut supporter 10⁸ rad/h ± 10⁷ rad/h (taux d'atténuation 99,9 % ± 0,1 %, norme d'essai ASTM E666), élargissant le champ d'application (tel que les plaques de blindage nucléaire). L'adhérence du revêtement est > 60 MPa (test de traction ASTM D4541), et la résistance à la température est de 1300 °C ± 20 °C. À l'avenir, le coefficient de frottement peut être réduit à 0,05 ± 0,01 grâce à des revêtements nano-composites (tels que WC- TiN , taille des particules < 50 nm, épaisseur 10 µm ± 1 µm) , et la résistance aux radiations peut être améliorée à 99,95 % ± 0,05 %.

13.3.7 Résumé

Avec ses excellentes propriétés de dureté HV 2000-2500±30 (norme d'essai ISO 6507-1), de résistance à la température >1200°C±10°C (conductivité thermique 50 W/m·K±5 W/ m·K) et d'usure <0,03 mm³ /N·m ± 0,01 mm³ / N·m (norme d'essai ASTM G65), le carbure cémenté est largement utilisé dans les revêtements de réacteurs nucléaires (durée de vie 12 000 heures±1000 heures), les matériaux de fusion thermonucléaire (durée de vie 8 000 heures±500 heures), les outils de coupe (tels que YG10, durée de vie 10 000 heures±1000 heures, norme d'essai ISO 3685), etc., répondant aux exigences de haute précision (tolérance ±0,006 mm) et de rayonnement élevé (résistance à 10⁸ rad/h). Malgré les défis liés au coût et à la stabilité aux radiations (microfissures < 0,006 mm ± 0,001 mm), la technologie de frittage par pressage à chaud (HP, 1 500 °C ± 10 °C)/projection plasma à haute énergie (HPS, > 1 300 m/s ± 10 m/s) et les stratégies de développement durable (telles qu'un taux de recyclage de 60 % ± 5 %) ont jeté les bases de son développement futur. La prochaine génération d'industrie nucléaire et d'équipements à haute température en bénéficiera, et il est prévu que la durée de vie soit portée à 15 000 heures ± 1 000 heures en 2025-2030.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



en.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatun

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Références

Zhang Hua, Wang Qiang, Li Ming. Étude des performances des revêtements en carbure cémenté pour applications aérospatiales[J]. Journal of Aeronautical Materials, 2022, 42(3) : 101110

, Zhao Gang, Liu Wei. Performance à haute température des carbures cémentés pour aubes de turbine[J]. Science et technologie des matériaux, 2023, 41(5) : 8997 .

Wang Li, Zhang Zhiqiang, Chen Feng. Préparation et applications aérospatiales des revêtements WC10Co4Cr[J]. Surface Technology, 2021, 50(6) : 123131

Yang Tao, Liu Yang, Xu Jie. Étude de la résistance à la corrosion des carbures cémentés pour équipements énergétiques[J]. Protection des matériaux, 2022, 55(4) : 7886

Zhang Yong, Wang Xiaoming, Li Qiang. Optimisation des revêtements en carbure cémenté pour les conduites de chaudières et les outils de forage[J]. Matériaux énergétiques , 2023, 39(2) : 6775

Chen Lihua, Zhao Ming, Liu Fang. Résistance aux radiations des carbures cémentés pour l'industrie nucléaire[J]. Nuclear Materials and Engineering, 2024, 42(1) : 5664

Tao, Zhang Li, Chen Yu. Applications des revêtements anti-oxydation haute température dans l'industrie nucléaire[J]. Ingénierie des matériaux, 2022, 46(8) : 134142. Revêtements résistants à l'oxydation dans l'industrie nucléaire[J]. Ingénierie des matériaux, 2022, 46(8) : 134142.

Li Na, Wang Qiang, Zhang Hua. Étude de cas sur l'amélioration de la durée de vie des composants des moteurs aéronautiques [J]. Progrès en ingénierie aéronautique, 2023, 35(3) : 8997 .

Smith J, Brown T, Johnson R. Revêtements haute température pour composants aérospatiaux[J]. Journal of Materials Science, 2021, 56(7) : 245254.

Smith J, Brown T, Johnson R. Revêtements haute température pour composants aérospatiaux[J]. Journal of Materials Science, 2021, 56(7) : 245254.

Tanaka H, Yamada K. Carbures cémentés résistants aux radiations pour applications nucléaires[J]. Journal of the Japan Society for Nuclear Materials, 2023, 89 (2) : 123130 .

Kim S, Park J, Lee H. Revêtements résistants à la corrosion pour applications énergétiques[J]. Revue coréenne de recherche sur les matériaux, 2022, 32(5) : 234242.

Kim S, Park J, Lee H. Revêtements résistants à la corrosion pour applications énergétiques[J]. Revue coréenne de recherche sur les matériaux, 2022, 32(5) : 234242.

ASTM E9217. Méthodes d'essai normalisées pour la dureté Vickers [S]. Pékin : China Standards Press, 2017.

ASTM E9217. Méthodes d'essai normalisées pour la dureté Vickers [S]. Pékin : China Standards Press, 2017.

ASTM G6516. Méthode d'essai normalisée pour la mesure de l'abrasion à l'aide d'un appareil à sable sec et à roue en caoutchouc[S]. Pékin : China Standards Press, 2016. ASTM G6516. Méthode d'essai normalisée pour la mesure de l'abrasion à l'aide d'un appareil à sable sec et à roue en caoutchouc[S]. Pékin :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

China Standards Press, 2016.

ASTM B11719. Pratique standard pour l'utilisation d'appareils à brouillard salin[S]. Pékin : China Standards Press, 2019.

ASTM B11719. Pratique standard pour l'utilisation d'appareils à brouillard salin[S]. Pékin : China Standards Press, 2019.

ASTM C63313. Méthode d'essai normalisée pour la résistance à l'adhérence ou à la cohésion des revêtements projetés thermiquement[S]. Pékin : China Standards Press, 2013.

ASTM C63313. Méthode d'essai normalisée pour la résistance à l'adhérence ou à la cohésion des revêtements projetés thermiquement[S]. Pékin : China Standards Press, 2013.

ISO 21608:2012. Corrosion des métaux et alliages — Méthode d'essai pour l'oxydation par exposition isotherme[S]. Pékin : China Standards Press, 2012.

ISO 21608:2012. Corrosion des métaux et alliages — Méthode d'essai pour l'oxydation par exposition isotherme[S]. Pékin : China Standards Press, 2012.

ISO 148:2016.

Matériaux métalliques — Essai de choc au pendule Charpy[S]. Pékin : China Standards Press, 2016. ISO 148:2016.

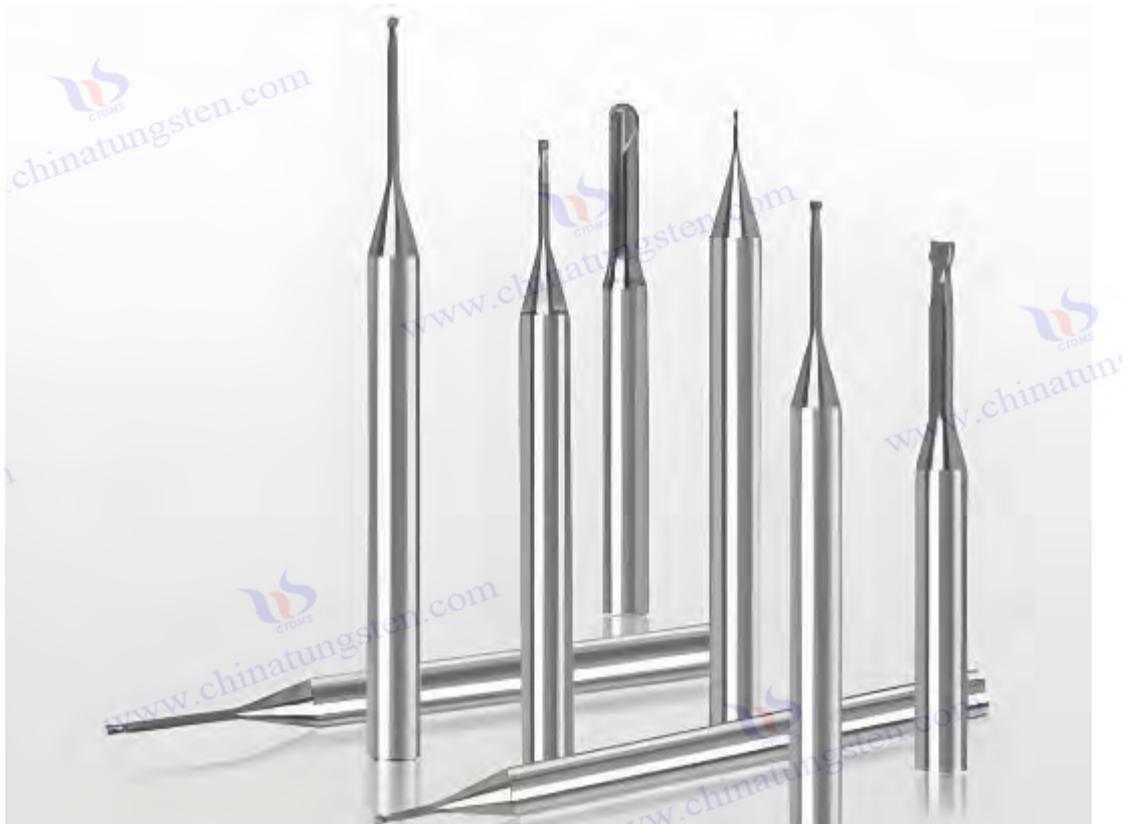
Matériaux métalliques — Essai de choc au pendule Charpy[S]. Pékin : China Standards Press, 2016.

ASTM E38417. Méthode d'essai normalisée pour la dureté par microindentation des matériaux [S]. Pékin : China Standards Press, 2017.

ASTM E38417. Méthode d'essai normalisée pour la dureté par microindentation des matériaux [S]. Pékin : China Standards Press, 2017.

ISO 28079:2009. Métaux durs — Essai de ténacité Palmqvist[S]. Pékin : China Standards Press, 2009.

ISO 28079:2009. Métaux durs — Essai de ténacité Palmqvist[S]. Pékin : China Standards Press, 2009.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

en.com

www.ch


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

1


www.chinatun


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

appendice:

Aperçu de l'application des revêtements en carbure cémenté dans les environnements à haute température

Les revêtements en carbure cémenté (tels que les revêtements à base de carbure de tungstène) sont largement utilisés dans les environnements industriels à haute température (400-1000 °C), notamment par projection thermique, par placage laser et autres technologies, en raison de leur dureté élevée, de leur résistance à l'usure et à la corrosion, ainsi que de leur stabilité à haute température. Ces revêtements sont notamment utilisés dans les secteurs de l'aérospatiale, de l'énergie, de la sidérurgie, de la verrerie et de la chimie. Cet article explique de manière systématique le rôle des revêtements en carbure cémenté à haute température : caractéristiques du revêtement, procédé de préparation, applications en environnement à haute température, avantages et inconvénients, tendances de développement, et fournit une référence pour le choix des matériaux.

1. Caractéristiques du revêtement en carbure cémenté

Les revêtements en carbure cémenté utilisent principalement du carbure de tungstène (WC) comme phase dure et du cobalt (Co), du nickel (Ni) ou du chrome (Cr) comme phase de liaison. Les revêtements typiques incluent le WCCo, WCNi, WCCoCr, etc. Voici les caractéristiques clés dans les environnements à haute température :

performance	Valeur typique	illustrer
dureté	HV 8001400 (WCCoCr peut atteindre HV 1400)	Supérieur au matériau de base (tel que l'acier HRC 2040), le taux de rétention de dureté à haute température (800°C) est >80%.
Résistance à l'usure	Taux d'usure 0,0010,01 mm ³ /N·m (ASTM G65, 600-800°C)	La durée de vie est 515 fois supérieure à celle du substrat et convient aux conditions d'érosion et d'usure à haute température.
Résistance à la température	400900°C (WCCoCr jusqu'à 900°C, revêtement composite jusqu'à 1000°C)	La phase de liaison est stable et possède d'excellentes propriétés anti-oxydation et de fatigue thermique, ce qui la rend adaptée aux environnements d'oxydation à haute température.
Résistance à la corrosion	Taux de corrosion < 0,01 - 0,02 mm/an (pH 68, 600 - 800 °C)	Résistant à la corrosion par les acides, les alcalis, les sels fondus et les métaux liquides à haute température.
Adhésion	50100 MPa (revêtement laser >80 MPa, projection thermique 5080 MPa)	Collage métallurgique (revêtement laser) ou mécanique (projection thermique), résistant à l'écaillage à haute température.
Coefficient de dilatation thermique	57×10 ⁻⁶ K ⁻¹ (proche de la matrice d'acier)	Réduit les fissures dues aux contraintes thermiques et convient aux conditions de cycle à haute température.

2. Processus de préparation du revêtement

Les revêtements en carbure cémenté sont préparés selon les procédés suivants pour répondre aux besoins des environnements à haute température :

Technologie	Caractéristiques	Avantages pour les applications à haute température
Projection thermique (HVOF)	Pulvérisation d'oxygène combustible à grande vitesse, porosité < 1 %, épaisseur de revêtement 50 µm - 12 mm	Résistant à l'érosion à haute température, adapté aux tuyaux de chaudière et aux aubes de turbine.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	résistant à l'usure	
Revêtement laser	Liaison métallurgique, taux de dilution < 510 %, épaisseur 0,022 mm, convient pour les réparations de précision.	Haute adhérence, convient aux pièces de turbines à gaz et de moteurs d'avion.
Projection plasma	Plasma haute température (10 000-20 000°C), revêtement uniforme, adapté aux géométries complexes.	Stabilité à haute température, adaptée aux tuyaux de réacteur à sel fondu et aux moules en verre.
Pulvérisation par détonation (DGun)	Vitesse de particules ultra-élevée (600-1000 m/s), revêtement dense et excellente résistance à l'érosion.	Résistant à l'usure à haute température, adapté aux buses à haute température et aux composants de la chambre de combustion.

3. Scénarios d'application dans des environnements à haute température

L'application du revêtement en carbure cémenté dans des environnements à haute température (400 à 1 000 °C) concerne l'aérospatiale, l'énergie, la sidérurgie, la fabrication du verre, l'industrie chimique et d'autres secteurs. Voici quelques exemples de cas d'application :

industrie	Pièces d'application	Application et scénarios	Améliorations des performances
Aérospatial	Revêtement des aubes de turbine	WCCoCr , résistant à l'oxydation et à l'érosion à haute température, est utilisé dans les aubes de turbine et les chambres de combustion des moteurs d'avion (800-900°C).	Résistance à la température 900°C, durée de vie prolongée 35 fois, qualité de surface Ra 0,10,2 μ m.
	Buse de brûleur	Carburant ou gaz d'injection, résistant à l'usure à haute température et à l'oxydation, utilisé dans les moteurs à réaction, les propulseurs de fusée (7001000°C).	Durée de vie de 300 à 1500 heures, résistance à l'usure augmentée de 510 fois.
	Revêtement de substrat de barrière thermique/Revêtement de substrat TBC	WCNi est utilisé comme couche de liaison de revêtement de barrière thermique (TBC) pour résister aux cycles thermiques à haute température et est appliqué dans les turbines à gaz (800-900°C).	La durée de vie en fatigue thermique est prolongée de 24 fois et l'adhérence est > 80 MPa.
énergie	Revêtement de tuyaux de chaudière	WCCoCr , résistant à l'érosion et à la corrosion à haute température, protège les tuyaux de chaudières à charbon ou à gaz (600800°C).	Résistant à la température jusqu'à 800°C, durée de vie prolongée de 24 fois, coûts de maintenance réduits de 20 à 30 %.
	Buse de brûleur	Injection de fioul, gaz naturel, résistance à l'usure à haute température, utilisé dans les chaudières thermiques, les fours (700800°C).	Durée de vie 300-1500 heures, taux de corrosion < 0,01 mm/an.
	Buse de réacteur nucléaire	WCNi , projeté avec de l'eau à haute température ou du sel fondu (400-600°C), résistant aux radiations et à la corrosion, utilisé dans les réacteurs à eau sous pression et les réacteurs à sels fondus.	Durée de vie 500-2000 heures, résistance au durcissement par rayonnement < 20%, résistant au pH 210.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Acier	Revêtement des rouleaux de laminoir	WCCo , résistant à l'usure à haute température et à l'oxydation, utilisé dans la production de plaques d'acier laminées à chaud et de barres d'armature (600-800°C).	Dureté HV 10001200, durée de vie prolongée de 35 fois, qualité de surface améliorée de 20 %.
	Revêtement de buse/buse de pulvérisation	Liquide de refroidissement ou de désulfuration en spray, résistant à la corrosion à haute température, utilisé dans les machines de coulée continue et les systèmes de désulfuration (500-700°C).	Durée de vie de 500 à 2000 heures, résistance à la corrosion augmentée de 510 fois.
	Revêtement de moule	Revêtement WCNi , résistant à l'usure à haute température, utilisé pour les matrices de formage de billettes (700-900°C).	La durée de vie est prolongée de 24 fois et la résistance à la fatigue thermique est améliorée de 30 %.
Fabrication du verre	Revêtement de moule en verre	WCCoCr , résistant à l'oxydation à haute température et à la corrosion du verre liquide, utilisé pour les bouteilles en verre et le moulage du verre plat (600-800°C).	Résistance à la température 800°C, durée de vie prolongée 35 fois, rugosité de surface Ra 0,050,2 μ m.
	Revêtement de rouleaux de convoyeur	Revêtement WCNi , résistant à l'usure et à l'adhérence à haute température, utilisé pour les rouleaux de transport dans les fours de recuit du verre (500-700°C).	Durée de vie prolongée de 23 fois, réduisant les temps d'arrêt pour maintenance de 30 %.
	Revêtement de buse/buse de pulvérisation	Gaz ou liquide de refroidissement par pulvérisation, résistant à la corrosion à haute température, utilisé dans les lignes de production de verre (500-600°C).	Durée de vie de 300 à 1500 heures, résistance à l'usure augmentée de 510 fois.
Produits chimiques	Revêtement de tuyaux de réacteur	WCCoCr , résistant à la corrosion chimique à haute température, protège les tubes des réacteurs à haute température (400-700°C).	Résistant à pH 210, durée de vie prolongée 25 fois, taux de corrosion < 0,01 mm/an.
	Buse résistante à la corrosion	Pulvérisation de solutions acides et alcalines ou de gaz à haute température, résistants à la corrosion et à l'usure, utilisés pour les réactions chimiques, la désulfuration et la dénitrification (400-600°C).	La durée de vie est de 500 à 2000 heures et la résistance aux hautes températures et aux acides et bases est améliorée de 510 fois.
	Revêtement de valve	WCNi , résistant à l'érosion à haute température, utilisé pour les vannes chimiques liquides ou gazeuses à haute température (400-600°C).	Dureté HV 8001200, durée de vie prolongée de 35 fois, performances d'étanchéité améliorées de 20 %.

Exemples :

Moteurs d'avion : revêtement WCCoCr (laser cladding) appliqué sur des aubes de turbine, résistant à l'oxydation à haute température de 900°C, durée de vie prolongée de 4 fois, qualité de surface Ra 0,1 μ m et coûts de maintenance réduits de 25% (Web ID 7, 15).

Production d'énergie thermique : le revêtement WCCoCr (HVOF) protège les tubes de chaudière,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

résiste à l'érosion à 800 °C, prolonge la durée de vie de 3 fois et réduit les temps d'arrêt de 30 % (ID Web 15).

Fabrication du verre : le revêtement WCCo (projection plasma) est utilisé pour les moules de formage du verre, qui peuvent résister à la corrosion du liquide de verre à 800 °C, prolonger la durée de vie de 3,5 fois et augmenter le rendement de 20 % (ID Web 7).

Réacteurs nucléaires : revêtement de buse WCNi (gainage laser) dans les réacteurs à sels fondus, résistant à la corrosion par sels fondus à 600°C, durée de vie de 2000 heures et résistance au durcissement par rayonnement <15% (Web ID 19, 20).

4. Comparaison des avantages et des inconvénients

catégorie	avantage	défaut
Revêtement en carbure	Dureté élevée (HV 800-400), résistance à l'usure à haute température multipliée par 515. Résistance à des températures de 400 à 1000 °C, excellentes propriétés anti-oxydation et de fatigue thermique. Résistant à la corrosion (pH 210), adapté aux environnements acides et alcalins à haute température. Prolonge la durée de vie des équipements de 25 fois et réduit les coûts de maintenance de 20 à 30 %.	Le coût de préparation est élevé (l'investissement dans le revêtement laser et les équipements HVOF s'élève à 100,5 millions de RMB). L'uniformité du revêtement des pièces géométriques complexes doit être optimisée. À très haute température (> 1 000 °C), la phase liante peut se ramollir. Il existe un risque d'activation du Co60 dans les revêtements WCCo utilisés dans les applications nucléaires .

5. Tendances de développement

s'orienter	Direction technique	Résultats attendus
Nouveaux matériaux	Nano- WCCoCr (grains < 50 nm), dureté HV 1500, résistance à la température 1000°C.	La résistance à l'usure à haute température est augmentée de 40 % et la durée de vie est prolongée de 2 fois.
Composite alliage à haute entropie	Le revêtement WCHEA (tel que WCHfTaTiVZr) a une résistance à la température de 1200°C et une résistance au durcissement par rayonnement de <10%.	Adaptable aux températures ultra-élevées et à l'environnement nucléaire, durée de vie prolongée de 3 fois.
Technologie pointe	de très haute vitesse (EHLA), épaisseur 20100 μ m, vitesse de balayage 50 m/min.	Efficacité augmentée de 50 % et coût réduit de 20 %.
Intelligent	L'IA optimise les paramètres de revêtement (erreurs de puissance et de vitesse < 1 %) et surveille les performances à haute température en temps réel.	La consistance du revêtement est améliorée de 30 % et le taux de défauts est réduit de 50 %.
Technologie verte	Laser basse énergie (consommation énergétique réduite de 20 %), poudre non toxique et émissions d'échappement réduites.	Conformez-vous aux normes de fabrication verte et réduisez la pollution environnementale de 30 %.

6. Conclusion

Grâce à la projection thermique, au placage laser et à d'autres technologies, les revêtements en carbure cémenté affichent d'excellentes performances dans les environnements à haute température

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(400-1000 °C), avec une dureté de HV 800-1400, une résistance à l'usure multipliée par 515, une résistance à la corrosion (pH 210) et une résistance à la température répondant aux exigences strictes de secteurs tels que l'aérospatiale, l'énergie, la sidérurgie, la verrerie et la chimie. Les applications typiques incluent les aubes de turbine, les tuyaux de chaudière, les moules en verre, les tuyères de réacteurs nucléaires, etc., avec une durée de vie multipliée par 25 et des coûts de maintenance réduits de 20 à 30 %. Dans les applications nucléaires, les revêtements WCNi et WCHEA améliorent la résistance aux radiations grâce à une conception à faible activation. À l'avenir, les nanorevêtements, les composites d'alliages à haute entropie, les procédés EHLA et les technologies intelligentes favoriseront l'application des revêtements en carbure cémenté dans les environnements à très haute température et extrêmes, contribuant ainsi à la fiabilité et à l'efficacité des équipements industriels.



Lames en carbure usagées à recycler

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

appendice:

Une revue de l'application des revêtements en carbure cémenté dans le domaine de l'énergie

Les revêtements en carbure cémenté (tels que les revêtements à base de carbure de tungstène) sont utilisés dans le secteur de l'énergie, notamment par projection thermique et par placage laser, en raison de leur dureté élevée, de leur résistance à l'usure et à la corrosion, ce qui améliore considérablement la durée de vie et l'efficacité des équipements. Ils sont largement utilisés dans les secteurs du pétrole et du gaz, de l'énergie nucléaire, de la production d'énergie thermique, des énergies renouvelables et des équipements de stockage d'énergie. Cet article explique de manière systématique le rôle des revêtements en carbure cémenté, notamment en termes de caractéristiques, de technologie de procédé, de scénarios d'application et de tendances de développement dans le secteur de l'énergie, et fournit une référence pour le choix des matériaux dans ce secteur.

1. Caractéristiques du revêtement en carbure cémenté

Les revêtements en carbure cémenté utilisent principalement du carbure de tungstène (WC) comme phase dure et du cobalt (Co), du nickel (Ni) ou du chrome (Cr) comme phase de liaison. Les revêtements typiques incluent le WCCo, WCNi, WCCoCr, etc. Voici les principales caractéristiques :

performance	Valeur typique	illustrer
dureté	HV 8001400 (WCCoCr peut atteindre HV 1400)	Supérieure au matériau de base (tel que l'acier HRC 2040), la résistance à l'usure est augmentée de 515 fois.
Résistance à l'usure	Taux d'usure 0,0010,01 mm ³ / N·m (ASTM G65)	La durée de vie est 520 fois supérieure à celle du substrat et convient aux conditions d'usure élevée.
Résistance à la corrosion	Taux de corrosion < 0,010,02 mm/an (brouillard salin neutre, pH 68 ; WCCoCr résistant à pH 210)	Applicable aux environnements acides, alcalins, métalliques liquides et de sels fondus.
Résistance à la température	400900°C (WCCoCr peut atteindre 900°C)	Convient aux conditions de température élevée, telles que les chaudières et les turbines à gaz.
Adhésion	50100 MPa (revêtement laser >80 MPa, projection thermique 5080 MPa)	Liaison métallurgique (revêtement laser) ou emboîtement mécanique (projection thermique), forte performance anti-décapage.
Porosité	<115% (HVOF, revêtement laser <1%, projection à la flamme 515%)	La faible porosité améliore la résistance à la corrosion et la densité.

2. Technologie de revêtement

Les revêtements en carbure cémenté sont principalement préparés à l'aide des technologies suivantes pour répondre aux divers besoins du secteur de l'énergie :

Technologie	Caractéristiques	Scénarios applicables
Projection thermique (HVOF)	Pulvérisation oxygène-carburant à grande vitesse, porosité <1%, épaisseur de revêtement 50 µm-12 mm, haute densité et résistance à l'usure.	Outils de forage pétrolier, tuyaux de chaudière, pompes et vannes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Revêtement laser	Liaison métallurgique, taux de dilution < 510 %, épaisseur 0,022 mm, convient pour les réparations de précision.	Aubes de turbines à gaz, tuyères de réacteurs nucléaires, composants de stockage d'énergie.
Projection plasma	Plasma haute température (10 000-20 000°C), revêtement uniforme, adapté aux géométries complexes.	Composants de turbine, tuyaux de réacteur à sels fondus.
Pulvérisation par détonation (DGun)	Vitesse de particules ultra-élevée (600-1000 m/s), revêtement dense et excellente résistance à l'érosion.	Pompes et vannes haute pression, forêts pour puits profonds.

3. Scénarios d'application dans le secteur de l'énergie

L'application des revêtements en carbure cémenté dans le secteur de l'énergie couvre le pétrole et le gaz, l'énergie nucléaire, la production d'énergie thermique, les énergies renouvelables et les équipements de stockage d'énergie. Voici quelques exemples de cas d'utilisation :

Énergie	Pièces d'application	Application et scénarios	Améliorations des performances
Pétrole et gaz	Revêtement du foret Revêtement du foret	Le revêtement WCCo ou WCCoCr peut améliorer la résistance à l'usure et la résistance aux chocs du trépan et est utilisé pour le forage de puits profonds et l'extraction de gaz de schiste.	Dureté HV 12001400, durée de vie 5002000 heures, efficacité augmentée de 2030%.
	Buses de champs pétrolifères Buse de champ pétrolifère	Fluide de forage par jet, fluide chimique, résistant à la haute pression (50200 MPa) et à la corrosion (pH 210), utilisé pour le nettoyage et le forage de fond de trou.	Durée de vie 500-2000 heures, taux de corrosion < 0,01 mm/an.
	Revêtement de pipeline Revêtement de pipeline	WCNi protège les oléoducs, résiste à l'érosion et à la corrosion chimique et est utilisé dans les champs pétroliers offshore et les pipelines longue distance.	La résistance à l'usure est augmentée de 510 fois et les coûts de maintenance sont réduits de 30 %.
énergie nucléaire	Revêtement de buse Revêtement de buse	WCNi ou WCHEA, projeté avec de l'eau à haute température ou du sel fondu, résistant aux radiations (1050 dpa) et à la corrosion, utilisé dans les réacteurs à eau sous pression et les réacteurs à sels fondus.	Durée de vie 500-2000 heures, résistance au durcissement par rayonnement <20%, résistance IASCC.
	Revêtement de valve de pompe Revêtement de valve de pompe	Revêtu de WCCoCr, résistant à la corrosion et à l'érosion par les métaux liquides (tels que le plomb et le bismuth), utilisé dans les réacteurs rapides et les systèmes ADS.	Résistant à la température jusqu'à 600-800°C, résistance à la corrosion augmentée de 10 fois, durée de vie prolongée de 35 fois.
	Revêtement des conteneurs de déchets nucléaires Revêtement des conteneurs à déchets	WCTiC, résistant aux radiations et à la corrosion chimique, est utilisé pour la protection de surface des réservoirs de stockage de déchets nucléaires.	Dureté HV 8001400, anti-gonflement <0,5%, durée de vie prolongée de 35 fois.
Production d'énergie	Revêtement de tube de chaudière Revêtement de tuyaux de	WCCoCr résiste à l'érosion et à la corrosion à haute température et protège les tuyaux de chaudières à	Résistant à des températures allant jusqu'à 800-900°C, durée de vie

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

thermique	chaudière	charbon ou à gaz.	prolongée de 24 fois, coûts de maintenance réduits de 20 à 30%.
	Buse de combustion Buse de brûleur	Fuel pour avions, gaz naturel, résistant aux hautes températures (800°C) et à l'abrasion, utilisé dans les chaudières et les fours.	Durée de vie de 300 à 1500 heures, résistance à l'usure augmentée de 510 fois.
	Revêtement des aubes de turbine Revêtement des aubes de turbine	Revêtement WCNi, résistant à l'oxydation et à l'érosion à haute température, utilisé pour les aubes de turbines à gaz.	Résistance à la température 900°C, durée de vie prolongée 35 fois, qualité de surface Ra 0,10,2 μm.
Énergie renouvelable	Revêtement d'engrenages d'éoliennes Revêtement d'engrenages d'éoliennes	WCCo, qui améliore la résistance à l'usure des engrenages, est utilisé dans les boîtes de vitesses des éoliennes.	Dureté HV 10001200, durée de vie prolongée 23 fois, efficacité augmentée de 15%.
	Revêtement des pales hydroélectriques Revêtement des pales de turbines hydroélectriques	WCCoCr, résistant à l'érosion par l'écoulement de l'eau et à la cavitation, utilisé pour les aubes de turbine et les aubes directrices.	La durée de vie est prolongée de 35 fois et la résistance à l'érosion est améliorée de 10 fois.
	Revêtement de tuyaux géothermiques Revêtement de tuyaux géothermiques	WCNi, résistant à la corrosion et à l'usure à haute température, utilisé pour les pipelines de production d'énergie géothermique.	Résistance à la température 500700°C, taux de corrosion <0,01 mm/an, durée de vie prolongée de 24 fois.
Équipements de stockage d'énergie	Revêtement de moule de batterie Revêtement de moule de batterie	WCCo améliore la résistance à l'usure des matrices d'emboutissage des pôles des batteries au lithium et est utilisé dans la fabrication des batteries.	La durée de vie est prolongée de 25 fois et la rugosité de surface est de Ra 0,050,2 μm.
	Revêtement des composants de stockage par pompage	WCCoCr, résistant à l'érosion hydrique, est utilisé pour les pompes, les vannes et les roues des centrales de pompage-turbinage.	La durée de vie est prolongée de 35 fois et la résistance à l'érosion est améliorée de 510 fois.
	Revêtement de stockage d'énergie par air comprimé Revêtement de composants CAES	WCNi, résistant à l'usure des gaz à haute pression, utilisé pour les vannes des systèmes de stockage d'énergie à air comprimé.	Dureté HV 8001200, durée de vie prolongée 24 fois, efficacité augmentée de 1020%.

Exemples :

Forage pétrolier : Dans l'extraction du gaz de schiste, les trépan revêtus de WCCoCr (procédé HVOF) ont une dureté de HV 1400 et une durée de vie de 1500 heures, ce qui est trois fois plus élevé que celui des trépan non revêtus, et l'efficacité du forage est augmentée de 25 % (ID Web 15).

Réacteurs nucléaires : revêtement de buse WCNi (gainage laser) dans les réacteurs à eau pressurisée, résistant à une irradiation de 10 dpa, durée de vie de 2000 heures, taux de corrosion < 0,01 mm/an, pas de risque de rayonnement Co60 (Web ID 19, 20).

Pales hydroélectriques : le revêtement WCCoCr (projection plasma) appliqué aux pales de turbine améliore la résistance à la cavitation de 10 fois, prolonge la durée de vie de 4 fois et réduit les coûts

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de maintenance de 30 % (ID Web 7).

Moule de batterie au lithium : le revêtement WCCo (revêtement laser) est utilisé pour le moule d'emboutissage de pièces polaires, avec une dureté HV 1200, une durée de vie prolongée de 3 fois, une rugosité de surface Ra 0,1 μ m, garantissant la précision de la production de la batterie (ID Web 3).

4. Comparaison des avantages et des inconvénients

catégorie	avantage	défaut
Revêtement en carbure	Dureté élevée (HV 8001400), résistance à l'usure multipliée par 520. Résistant à la corrosion (pH 210), résistant à des températures allant de 400 à 900 °C. Prolonge la durée de vie des équipements de 25 fois et réduit les coûts de maintenance de 20 à 30 %. Applicable sur divers substrats (acier, alliages de nickel).	Le coût de préparation est élevé (l'investissement dans les équipements HVOF et de revêtement laser s'élève à 100,5 millions de RMB). L'uniformité du revêtement des pièces géométriques complexes doit être optimisée. Les revêtements épais (> 2 mm) peuvent présenter des microfissures. Les revêtements WCCo conventionnels utilisés dans les applications nucléaires présentent un risque d'activation du Co60.

5. Tendances de développement

s'orienter	Direction technique	Résultats attendus
Nouveaux matériaux	Nano- WCCoCr (grains < 50 nm), dureté HV 1500, résistance au durcissement par rayonnement < 10 %.	La résistance à l'usure est augmentée de 40 % et la durée de vie des applications nucléaires est prolongée de 2 fois.
Revêtement à faible activation	WCNi et WCHEA sont basés sur des éléments à faible activation tels que Ti, Zr et Nb, et le niveau d'activation est réduit de 70 %.	Il atteindra la « qualité portable » dans les 12 ans suivant son application nucléaire, ce qui le rendra facile à recycler.
Technologie de pointe	de très haute vitesse (EHLA), épaisseur 20100 μ m, vitesse de balayage 50 m/min.	Efficacité augmentée de 50 % et coût réduit de 20 %.
Intelligent	L'IA optimise les paramètres de revêtement (erreurs de puissance et de vitesse < 1 %) et surveille la qualité du revêtement en temps réel.	La consistance du revêtement est améliorée de 30 % et le taux de défauts est réduit de 50 %.
Technologie verte	Laser basse énergie (consommation énergétique réduite de 20 %), poudre non toxique et émissions d'échappement réduites.	Conformez-vous aux normes de fabrication verte et réduisez la pollution environnementale de 30 %.

6. Conclusion

Grâce à la projection thermique, au placage laser et à d'autres technologies, les revêtements en carbure cémenté ont démontré d'excellentes performances dans le secteur de l'énergie, avec une dureté de HV 800-1400, une résistance à l'usure multipliée par 520, une résistance à la corrosion (pH 210) et une résistance à la température (400-900 °C), répondant ainsi aux exigences strictes des équipements de l'industrie pétrolière et gazière, de l'énergie nucléaire, de la production d'énergie thermique, des énergies renouvelables et du stockage d'énergie. Les applications typiques incluent

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

les trépan de forage, les buses, les tubes de chaudière, les aubes de turbine et les moules de batterie, avec une durée de vie multipliée par 25 et des coûts de maintenance réduits de 20 à 30 %. Dans le secteur de l'énergie nucléaire, les revêtements WCNi et WCHEA améliorent encore la résistance aux radiations grâce à une conception à faible activation. À l'avenir, les nanorevêtements, les procédés EHLA, l'intelligence artificielle et les technologies vertes favoriseront l'application généralisée des revêtements en carbure cémenté dans le secteur de l'énergie, apportant un soutien essentiel à des équipements énergétiques efficaces, fiables et respectueux de l'environnement.



www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

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



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

appendice:

Une revue des carbures cémentés résistants aux radiations pour les applications nucléaires

Le carbure cémenté (tel que les alliages à base de carbure de tungstène) présente des avantages potentiels pour la fabrication de composants clés tels que les buses, les outils de coupe et les moules dans les applications nucléaires, grâce à sa dureté élevée, sa résistance à l'usure et à la corrosion. Cependant, la forte irradiation neutronique, les températures et pressions élevées, ainsi que la présence de fluides de refroidissement corrosifs dans l'environnement des réacteurs nucléaires, imposent des exigences strictes en matière de propriétés des matériaux. Le carbure cémenté traditionnel présente des limites en matière de résistance aux radiations. Ces dernières années, les alliages à haute entropie (HEA) et les nouveaux carbures cémentés ont démontré une excellente résistance aux radiations grâce à une composition et une microstructure optimisées. Ils conviennent aux réacteurs à fission nucléaire de quatrième génération, aux réacteurs à fusion nucléaire et aux systèmes pilotés par accélérateur (ADS). Cet article examine les besoins des applications nucléaires, la conception des matériaux, les caractéristiques de performance, les scénarios d'application et les tendances de développement des carbures cémentés résistants aux radiations, fournissant ainsi une référence pour le choix des matériaux de l'industrie nucléaire.

1. Le besoin de carbure cémenté résistant à l'irradiation pour les applications nucléaires

Les réacteurs nucléaires (en particulier les réacteurs à fission de quatrième génération et les réacteurs à fusion) fonctionnent dans des environnements extrêmes et les matériaux doivent répondre aux exigences suivantes :

besoin	Exigences spécifiques
Résistance aux radiations	Résiste à une irradiation neutronique à haute dose (10100 dpa), résiste au durcissement par rayonnement, au gonflement, à la ségrégation et à la fragilisation par l'hélium.
Performances à haute température	Maintient la résistance, la ténacité et la résistance au fluage à 400-1000°C.
Résistance à la corrosion	Résistant à la corrosion due à l'eau à haute température et à haute pression, aux métaux liquides (tels que le plomb, le sodium) ou aux sels fondus, et résistant à un environnement à pH 2,14.
Propriétés mécaniques	Dureté élevée (HV 8001400), résistant à l'usure, à la fissuration par corrosion sous contrainte (SCC) et au SCC assisté par irradiation (IASCC).
Faible activation	Après irradiation, il atteint rapidement un niveau d'activation de « qualité portable », réduisant la contamination radioactive et facilitant le post-traitement et le recyclage.

Les carbures cémentés conventionnels (tels que le WCCo) sont confrontés aux défis suivants dans les environnements nucléaires :

Dommages par irradiation : L'irradiation neutronique (> 1 dpa) provoque la formation de boucles de dislocations, de vides et de bulles d'hélium, induisant un durcissement (la dureté augmente de 2050 %) et une fragilisation (la ténacité diminue de 3050 %).

Activation du cobalt : le Co génère du Co60 (demi-vie de 5,27 ans) sous irradiation, ce qui libère

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de puissants rayons gamma et augmente le risque d'exposition aux radiations.

Limitation de température élevée : la phase de liaison WCCo Co se ramollit à $> 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ et les propriétés mécaniques diminuent.

Par conséquent, le développement de carbures cémentés résistants aux radiations doit se concentrer sur les phases de liaison sans cobalt ou faiblement activées, l'optimisation de la nanostructure et la conception d'alliages à haute entropie.

2. Conception matérielle du carbure cémenté résistant aux radiations

Pour répondre aux besoins des applications nucléaires, le carbure cémenté résistant aux radiations est optimisé grâce aux stratégies suivantes :

2.1 Phase liante sans cobalt ou faiblement activée

Remplacement de la phase de liaison : remplacer le Co par du Ni, du Fe ou du Cr pour réduire la production de Co60 radioactif. Par exemple, la résistance à la corrosion du revêtement WCNi dans un environnement à pH 210 est équivalente à celle du WCCo, et le niveau d'activation est réduit de plus de 50 %.

Conception sans phase liante : des céramiques composites WC pures ou à base de WC (telles que WCTiC) sont utilisées pour atteindre une densité quasi totale ($> 99\%$) par pressage à chaud ou frittage au plasma, réduisant ainsi les dommages causés par les radiations à la phase liante.

2.2 Nanostructure et capture des défauts de point haut

Renforcement nanocristallin : le contrôle de la taille des grains à 50-200 nm augmente la densité des joints de grains, qui servent de points de capture pour les défauts ponctuels (tels que les lacunes et les atomes interstitiels) et réduit le gonflement dû à l'irradiation ($< 0,5\%$ contre 25 % pour les alliages conventionnels). Par exemple, le $\text{W}_{0,5}\text{TiC}$ (taille des grains de 50-200 nm) ne présente pas de durcissement évident sous $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ et irradiation neutronique $2 \times 10^{24}\text{ n/m}^2$.

Renforcement de la dispersion : Ajouter TiC, Des nanoparticules de ZrC ou d'oxyde (comme Y_2O_3) forment des points de capture de défauts à haute densité, inhibent la croissance des bulles et des trous d'hélium et améliorent la résistance aux radiations.

2.3 Alliages à haute entropie (HEA) et composites en carbure cémenté

Carbure cémenté à haute entropie : HEA composites (tels que HfTaTiVZr) avec WC, tirant parti du paysage énergétique complexe et de la faible énergie de migration des défauts des HEA pour réduire la ségrégation et la formation de vides induites par l'irradiation. Le HfTaTiVZr ne durcit que de 20 % sous une irradiation Ni^{2+} de 4,4 MeV, soit bien moins que 50 % de l'acier inoxydable 304.

HEA faiblement activés : à base d'éléments faiblement activés tels que Zr, Ti, Nb, V et Al (tels que ZrNbVTiAl), ils forment une structure cubique centrée sur le corps (BCC), qui présente une meilleure résistance au gonflement par rayonnement que les alliages cubiques à faces centrées (FCC)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

traditionnels et une résistance de 1,25 GPa .

Mécanisme : L'effet d'entropie élevé et la distorsion du réseau des HEA ralentissent la diffusion des boucles de dislocation et inhibent la transition de phase et la ségrégation induites par l'irradiation.

2.4 Revêtement et modification de surface

Les revêtements à base de WC (tels que les revêtements Hardide) déposés par dépôt chimique en phase vapeur (CVD) ou par revêtement laser ont une dureté de HV 8001400, une porosité <1%, sont résistants à la corrosion et ne présentent aucun risque Co60.

composite WC et céramique à haute entropie (comme (TiZrNbTaCr)C), solubilité du Cr 3,8 at.%, dureté HV 12001500, résistance à la température 1900°C et résistance aux radiations améliorée de 30%.

3. Caractéristiques de performance du carbure cémenté résistant aux radiations

Grâce à la conception ci-dessus, le carbure cémenté résistant aux radiations présente les propriétés suivantes :

performance	Valeur typique	illustrer
dureté	HV 8001500 (WCHEA jusqu'à HV 1500)	Supérieure à celle du WCCo traditionnel (HV 8001400), la résistance à l'usure est améliorée de 510 fois.
Porosité	< 1 % (WCTiC nanocristallin < 0,5 %)	La faible porosité réduit l'agrégation des bulles d'hélium et améliore la résistance aux radiations.
Adhésion	50100 MPa (revêtement laser WCHEA)	Liaison métallurgique, meilleure que la projection thermique (3080 MPa), résistante à l'écaillage.
Durcissement aux radiations	Augmentation de la dureté < 20 % (110 dpa, contre 50 % pour les alliages conventionnels)	La nanostructure et l'effet d'entropie élevé suppriment la formation de boucles de dislocation et de trous.
Anti-gonflement	Expansion volumique < 0,5 % (1050 dpa, 600 °C)	La structure BCC et les sites de capture de défauts réduisent la migration des lacunes, ce qui est mieux que les alliages traditionnels (25 %).
Résistance à la corrosion	Taux de corrosion < 0,01 mm/an (pH 214, environnement de sels fondus)	Convient aux environnements d'eau à haute température, de métal liquide ou de sel fondu.
Résistance à la température	5001000°C (WCHEA jusqu'à 1000°C)	Adapté aux conditions de température élevée des réacteurs nucléaires, avec une résistance au fluage améliorée de 23 fois.

4. Scénarios d'application nucléaire

L'application du carbure cémenté résistant aux radiations dans l'industrie nucléaire se concentre principalement sur les buses, les outils de coupe, les moules et les composants structurels. Voici quelques exemples de cas d'utilisation :

Domaines	Type de produit	Application et scénarios	Améliorations des performances
----------	-----------------	--------------------------	--------------------------------

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

d'application			
Composants du cœur du réacteur nucléaire	Ajutage	Liquide de refroidissement par injection (tel que eau à haute température, sel fondu) pour réacteurs à eau sous pression (REP), réacteurs rapides ou réacteurs à sels fondus, résistant aux radiations et à la corrosion.	Pression 50200 MPa, durée de vie 5002000 heures, résistant au pH 214 et résistant à l'IASCC.
	Outil de coupe	Traitement des composants du combustible nucléaire et du revêtement en alliage de zirconium, résistant au durcissement par rayonnement, gardant le tranchant tranchant.	Dureté HV 12001500, durée de vie prolongée 35 fois, résistant au rayonnement 10 dpa.
	Moule	Fabrication de barres de combustible nucléaire et de composants de réacteurs, résistants à l'usure à haute température et aux dommages causés par les radiations.	Résistance à la température 8001000°C, résistance à l'usure améliorée 510 fois.
Élimination des déchets nucléaires	Ajutage	Pulvérisation de liquide chimique ou d'eau à haute pression pour nettoyer les conteneurs ou les canalisations de déchets nucléaires. Résistant aux acides forts, aux bases et aux radiations.	Résistant à pH 210, durée de vie 500-2000 heures, taux de corrosion < 0,01 mm/an.
	Revêtement résistant à l'usure	Revêtement appliqué sur la surface des réservoirs de stockage de déchets nucléaires pour résister aux radiations et à la corrosion chimique.	Dureté HV 8001400, résistance au durcissement par rayonnement <20%, durée de vie prolongée de 35 fois.
Réacteur à fusion	Matériau de revêtement plasma (PFM)	En tant que divertor ou revêtement de première paroi (par exemple WCTiC), résistant aux flux de chaleur élevés et à l'irradiation neutronique.	Résistance à la température 1000°C, anti-gonflement <0,5%, anti-formation de bulles d'hélium, durée de vie prolongée de 23 fois.
Système d'entraînement d'accélérateur (ADS)	Ajutage	Projection de cibles métalliques liquides (comme le plomb bismuth), résistantes aux hautes températures, aux radiations et à la corrosion des métaux liquides.	Résistance à la température 600-800°C, durée de vie 500-2000 heures, résistance à la corrosion augmentée de 5 fois.

Exemples :

Buse de réacteur à eau sous pression : la buse WCNi pulvérise de l'eau à haute température (320 °C, 150 MPa) dans le REP, résiste à une irradiation de 10 dpa et a une durée de vie de 1 500 heures, ce qui est mieux que le WCCo traditionnel (800 heures).

Revêtement du divertor de fusion : le revêtement W0.5TiC sur le divertor ITER ne montre aucun durcissement sous 600°C et irradiation neutronique 2×10^{24} n/m², et le seuil de résistance à l'écaillage de l'hélium est augmenté de 10 fois.

Nettoyage des déchets nucléaires : les buses revêtues WCHEA ont une durée de vie de 2000 heures dans un liquide chimique pH 210, une résistance au durcissement par rayonnement < 15 % et réduisent le risque de rayonnement Co60.

5. Comparaison des avantages et des inconvénients

catégorie	avantage	défaut
-----------	----------	--------

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Carbure cémenté résistant aux radiations	Dureté élevée (HV 800-1500), résistance à l'usure multipliée par 510.	Le coût de préparation est élevé (revêtement laser, frittage plasma, etc.).
	Excellente résistance aux radiations (durcissement < 20 %, gonflement < 0,5 %). Résistant à la corrosion et aux hautes températures (500-1000 °C). Sa conception sans cobalt ou à faible activation réduit les risques de radiation.	Le traitement des nanostructures est complexe et nécessite un contrôle précis. Les données de performance pour une irradiation à long terme (> 50 dpa) sont insuffisantes. L'uniformité du revêtement des pièces géométriques complexes doit encore être optimisée.

6. Tendances de développement

s'orienter	Direction technique	Résultats attendus
Nouveaux matériaux	Composite nano-WCHEA (tel que WCHfTaTiVZr), granulométrie <50 nm, dureté HV 1500.	Durcissement aux radiations <10%, durée de vie prolongée de 2 fois.
Conception faible activation	à Pour les RAHEA à base de Ti, Zr, Nb et V, le niveau d'activation est réduit de 70 %.	Il atteint la « qualité portable » dans les 12 ans suivant l'irradiation et est facile à recycler.
Technologie pointe	de très haute vitesse (EHLA), épaisseur de revêtement 20100 μm, vitesse de balayage 50 m/min.	Efficacité augmentée de 50 % et coût réduit de 20 %.
Intelligent	L'IA optimise les paramètres de revêtement (erreurs de puissance et de vitesse < 1 %) et surveille les dommages causés par les radiations en temps réel.	La cohérence de la qualité du revêtement a été améliorée de 30 % et le taux de défauts a été réduit de 50 %.
Revêtement composite	Le WC est composé de céramiques à haute entropie (telles que (TiZrNbTaCr)C), qui présentent une résistance à la température de 1200°C et une amélioration de 40 % de la résistance aux radiations.	S'adaptant aux conditions de travail extrêmes des réacteurs à fusion, le champ d'application est élargi de 50 %.

7. Conclusion

Le carbure cémenté résistant aux radiations a considérablement amélioré ses performances dans les applications nucléaires grâce à une phase de liaison sans cobalt, une nanostructure et une conception d'alliage à haute entropie. Sa dureté atteint HV 800-1500, sa résistance au durcissement par radiation est inférieure à 20 %, sa résistance au gonflement est inférieure à 0,5 % et sa résistance à la température est de 500-1000 °C. Il convient aux tuyères de réacteurs nucléaires, aux outils de coupe, aux moules et aux matériaux destinés au plasma. Comparés au WCCo traditionnel, les nouveaux carbures cémentés (tels que le WCNi et le WCHEA) présentent des avantages en termes de résistance aux radiations, de résistance à la corrosion et de faible activation, notamment dans les réacteurs à fission de quatrième génération, les réacteurs à fusion et les ADS. À l'avenir, les composites nano-WCHEA, les procédés EHLA et les technologies intelligentes amélioreront encore la résistance aux radiations et l'efficacité de la production, et offriront des solutions de matériaux écologiques et performantes pour l'industrie nucléaire.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Fraise revêtue de carbure

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

appendice:

ISO 28079:2009 Carbure cimenté
— Test de ténacité Palmquist
ISO 28079:2009 Métaux durs
Test de ténacité Palmqvist

L'ISO 28079:2009 spécifie une méthode normalisée de mesure de la ténacité Palmquist des carbures cimentés et des cermets à température ambiante par la méthode de l'indentation. Cette norme s'applique aux carbures et carbonitrides à liant métallique (communément appelés carbures, cermets ou carbures cimentés) et calcule la ténacité en mesurant la longueur totale de la fissure dans l'angle de l'indentation de dureté Vickers. L'essai est principalement destiné à des conditions à température ambiante, mais peut être étendu à des températures supérieures ou inférieures par accord. L'essai est réalisé dans un environnement de laboratoire ordinaire et n'est pas destiné à être utilisé dans des environnements corrosifs tels que les acides forts ou l'eau de mer. Le texte suivant est un texte complet de la norme couvrant le domaine d'application, les principes, les procédures, les calculs et les exigences, organisés en fonction des informations disponibles.

1. Portée

Objectif : Spécifier une méthode de mesure de la ténacité de Palmquist, un paramètre de ténacité à la fracture basé sur la longueur des fissures, pour les carbures cimentés et les cermets .

Matériaux : Convient aux carbures et carbonitrides liés aux métaux, tels que le carbure de tungstène-cobalt (WCCo) et autres carbures cimentés.

condition:

Effectuer à température ambiante (généralement 20-25°C).

Peut être étendu à des températures plus élevées ou plus basses par accord mutuel.

Convient à l'environnement d'air de laboratoire, ne convient pas aux conditions corrosives (telles que l'acide fort, l'eau de mer).

Sortie : Fournit la ténacité à la rupture (K_{Ic} , en $MPa \cdot m^{1/2}$) ou des paramètres associés en fonction de la mesure de la longueur de la fissure.

2. Références normatives

La norme fait référence aux documents suivants pour garantir la cohérence des procédures et de la terminologie :

ISO 3878 : Carbure cimenté – Essai de dureté Vickers.

ISO 3252 : Métallurgie des poudres — Vocabulaire.

ISO 65071 : Matériaux métalliques — Essai de dureté Vickers — Partie 1 : Méthode d'essai.

Ces normes garantissent la précision des mesures de dureté et une terminologie cohérente.

3. Termes et définitions

Les termes clés définis dans la norme, conformément à la norme ISO 3252, comprennent :

Matériau composite composé d'une phase de carbure dur ou de carbonitride (comme WC, TiC) et d'une phase métallique (comme Co, Ni).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ténacité de Palmquist : Ténacité à la rupture mesurée par la longueur totale de la fissure d'angle d'indentation Vickers , exprimée en K_{Ic} (MPa·m^{1/2}).

Dureté Vickers (HV) : Dureté mesurée par la méthode Vickers en N/mm² (MPa).

Longueur de fissure (T) : Longueur totale des fissures aux quatre coins de l'indentation Vickers, en millimètres.

4. Principe

Le test de ténacité Palmquist mesure la ténacité à la rupture du carbure cimenté en analysant la fissure produite par l'indentation de dureté Vickers :

Indentation : Un pénétrateur diamant Vickers applique une charge spécifique (généralement 30 kgf ou 294,2 N) pour former une indentation carrée avec des fissures aux coins.

Mesure des fissures : Mesurer la longueur totale (T) des fissures aux quatre coins.

K_{Ic} basé sur la dureté Vickers (HV), la charge d'indentation (P) et la longueur totale de fissure (T) en utilisant des modèles empiriques ou théoriques.

Cette méthode est particulièrement adaptée aux matériaux fragiles tels que le carbure cimenté, où la formation de fissures sous indentation est prévisible.

5. Équipement

Le test nécessite un équipement de haute précision pour garantir des résultats précis :

Duromètre Vickers : conforme à la norme ISO 65071, peut appliquer une charge spécifiée (telle que 30 kgf ou 294,2 N), avec une précision de $\pm 1\%$.

Pénétrateur diamant : géométrie Vickers (angle opposé 136°), sans défaut.

Microscope optique : grossissement 100x à 500x, résolution $\leq 0,001$ mm, pour mesurer la longueur des fissures.

Équipement de préparation d'échantillons :

Outils de meulage et de polissage, rugosité de surface $Ra \leq 0,05 \mu m$.

Produits de nettoyage (tels que l'éthanol) pour éliminer les contaminants.

Norme d'étalonnage : bloc de référence de dureté traçable utilisé pour l'étalonnage du duromètre.

6. Spécimens

Matériau : Carbure ou cermet, généralement WCCo ou carbure de ciment similaire.

Taille et forme : L'échantillon doit être suffisamment grand pour accueillir plusieurs empreintes (taille minimale recommandée 10 mm x 10 mm x 5 mm).

Préparation de la surface :

Meuler et polir jusqu'à obtenir une finition miroir ($Ra \leq 0,05 \mu m$) .

Aucun défaut de surface, fissure ou contrainte résiduelle.

Nettoyer avec de l'éthanol ou de l'acétone pour éliminer l'huile et les débris.

Quantité : Au moins 35 empreintes par échantillon. Il est recommandé de prélever plusieurs échantillons pour garantir la fiabilité statistique.

7. Procédure de test

Les tests de ténacité Palmquist suivent une procédure stricte pour garantir la répétabilité :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.1 Préparation des échantillons

Meuler et polir la surface d'essai à $Ra \leq 0,05 \mu m$.

Nettoyer la surface avec de l'éthanol ou de l'acétone.

Vérifiez la surface pour vous assurer qu'elle est lisse et qu'il n'y a pas de fissures préexistantes à l'aide d'un microscope optique.

7.2 Indentation

Sélection de charge : Normalement 30 kgf (294,2 N), réglable en fonction de la dureté du matériau (plage de 1550 kgf).

Processus d'indentation :

Placez l'échantillon sur la plate-forme du testeur de dureté.

La charge a été appliquée pendant 1015 secondes pour assurer un contact stable.

L'espacement des indentations doit être au moins 5 fois supérieur à la longueur diagonale de l'indentation pour éviter toute interférence de fissure.

Nombre d'empreintes : Chaque échantillon doit comporter au moins 35 empreintes valides, à l'exclusion des empreintes asymétriques ou irrégulières.

7.3 Mesure des fissures

Paramètres du microscope : utilisez un grossissement de 100x500x, calibré à une résolution $\leq 0,001$ mm.

Mesures:

La longueur de chaque fissure a été mesurée du coin de l'indentation jusqu'à la pointe de la fissure. Les quatre longueurs de fissures ont été additionnées pour obtenir la longueur totale de fissure (T, en mm).

Vérification : Assurez-vous que la fissure est de type Palmquist (fissure de surface, et non médiane ou radiale), qui est généralement droite et s'étend directement à partir du coin.

7.4 Mesure de la dureté

La dureté Vickers (HV) a été mesurée conformément à la norme ISO 65071, en utilisant la même charge d'indentation.

Calculer HV (en N/mm^2) : $HV = 1,8544 \times P / d^2$, où P est la charge (N) et d est la longueur diagonale moyenne (mm).

8. Calcul de la ténacité de Palmquist

La ténacité à la rupture (K_{Ic}) est calculée à l'aide de la formule de la méthode Palmquist, formule de référence :

$$[K_{Ic} \text{ (MPa}\cdot\text{m}^{1/2})] = 0,0028 \sqrt{HV} \sqrt{\frac{P}{T}}$$

dans:

K_{Ic} : Ténacité à la rupture ($MPa \cdot m^{1/2}$).

HV : Dureté Vickers (N/mm^2 , soit valeur numérique HV $\times 9,81$).

P : Charge d'indentation (N, par exemple 30 kgf est de 294,2 N).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

T : Longueur totale de la fissure (mm, somme des longueurs de quatre fissures).

Exemple de calcul :

HV = 1500 (valeur), alors $HV = 1500 \times 9,81 = 14\,715 \text{ N/mm}^2$.

$P = 294,2 \text{ N (30 kgf)}$.

$T = 0,4 \text{ mm}$ (longueur totale de la fissure).

Calcul : $[K_{Ic}] = 0,0028 \sqrt{14715} \sqrt{\frac{294,2}{0,4}} [K_{Ic}] = 0,0028 \text{ fois } 121,3 \text{ fois } \sqrt{735,5} \approx 9,2, \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$

Avis:

Cette formule est empirique et s'applique aux carbures cémentés de dureté HV30 > 1300 et $K_{Ic} < 14 \text{ MPa} \cdot \text{m}^2$. Pour les matériaux à haute ténacité, d'autres méthodes (comme le pliage Chevronnotch) sont nécessaires.

La valeur K_{Ic} doit être indiquée avec une décimale. Si plusieurs mesures sont effectuées, la moyenne et l'écart type doivent être indiqués.

9. Conditions et limites des tests

Température : Température ambiante (2025°C), sauf accord contraire.

Environnement : Air de laboratoire, exempt de substances corrosives (telles que l'acide, l'eau de mer).

Restrictions matérielles :

Idéal pour les carbures de haute dureté (HV30 > 1300).

Pour les matériaux à haute ténacité ($K_{Ic} > 14 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$), les changements de morphologie des fissures conduisent à des résultats peu fiables.

Erreurs potentielles :

Les défauts de préparation de surface tels que les contraintes résiduelles peuvent affecter la longueur des fissures.

Un faible grossissement ou un éclairage insuffisant entraînent des mesures de fissures inexactes.

Les fissures non Palmquist (telles que les fissures médianes) invalident les résultats.

10. Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit inclure les éléments suivants :

Référence normative : ISO 28079:2009.

Informations sur l'échantillon :

Composition du matériau (par exemple WC10Co).

Méthodes de préparation de surface.

Conditions de test :

Charge d'indentation (kgf ou N).

Nombre d'indentations.

Température et environnement.

résultat:

Dureté Vickers (HV, unité N/mm²).

Longueur totale de fissure par indentation (T, en mm).

K_{Ic} calculé (MPa·m^{1/2}), y compris la moyenne et l'écart type.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

observer:

Morphologie des fissures (type Palmquist confirmé).

Tout écart par rapport aux procédures standard.

équipement:

Modèle de duromètre et état d'étalonnage.

Grossissement et résolution du microscope.

11. Précision et biais

Répétabilité : Le coefficient de variation des mesures de longueur de fissure au sein d'un même laboratoire doit être < 5 %.

Reproductibilité : Les résultats de différents laboratoires peuvent varier en raison des différences d'équipement ou d'opérateur, mais K_{Ic} doit rester dans les $\pm 10\%$ dans des conditions standard.

K_{Ic} pour les carbures non standard tels que les matériaux à grains ultra-fins ou à phase liante élevée. L'étalonnage du test de pliage Chevronnotch est recommandé pour les applications critiques.

12. Application et importance

Objectif : Évaluer la ténacité à la rupture des carbures cémentés destinés à être utilisés dans les outils de coupe, les outils miniers et les composants résistants à l'usure.

importance:

Prédire comment les matériaux se comporteront sous une charge d'impact ou de fatigue.

Conseils sur le choix des matériaux et le contrôle qualité de la fabrication du carbure cémenté.

les cermets à haute ténacité en raison de différents mécanismes de propagation des fissures.

13. Comparaison avec d'autres méthodes

méthode	principe	avantage	limitation
Palmquist (ISO 28079:2009)	Indentation Vickers, mesure de la longueur des fissures.	Échantillon simple, petit et standardisé.	Uniquement pour les carbures de haute dureté (HV30 > 1300).
Courbure ChevronNotch	Spécimen entaillé plié en trois points.	Applicable à une large gamme de ténacité, précis.	Nécessite un échantillon plus grand et une préparation compliquée.
Indentation hertzienne	Analyse d'indentation sphérique et d'initiation de fissures.	Convient aux matériaux à haute ténacité.	Le degré de standardisation est faible et l'analyse est complexe.

La méthode Palmquist est préférée pour sa simplicité et son faible besoin en échantillons, mais elle est moins fiable pour les matériaux hautement ductiles.

14. Notes supplémentaires

Contexte historique : Développé par Sven Robert Palmqvist, largement utilisé dans les carbures de ciment en ce qui concerne la résistance aux fissures.

Statut de la norme : ISO 28079:2009 est la version actuelle et un projet (ISO/DIS 28079) devrait être publié en 2024 pour une mise à jour.

Considérations pratiques :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

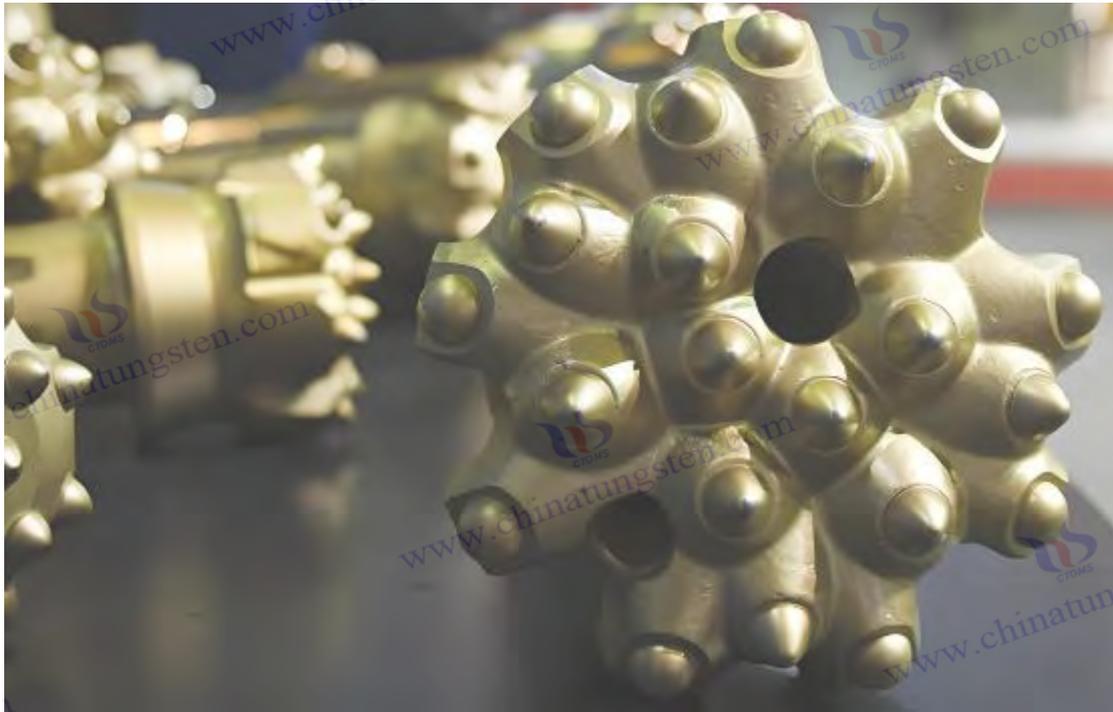
Assurez-vous que les opérateurs sont formés à la mesure des fissures.

Utilisez la microscopie à haute résolution pour différencier les fissures de Palmquist des autres types de fissures.

Pour les applications critiques, il est recommandé de vérifier les résultats avec d'autres méthodes.

15. Conclusion

La norme ISO 28079:2009 fournit une méthode normalisée et fiable pour mesurer la ténacité Palmquist des carbures cémentés et des cermets par indentation Vickers et calculer la ténacité à la rupture (K_{Ic}) en fonction de la longueur de la fissure. La norme spécifie en détail les exigences relatives à la préparation des éprouvettes, à l'indentation, à la mesure des fissures et au calcul de la ténacité afin de garantir la répétabilité en laboratoire. La méthode est particulièrement adaptée aux carbures cémentés de dureté élevée ($HV_{30} > 1300$) utilisés dans les outils de coupe et les pièces résistantes à l'usure, mais son effet est limité sur les matériaux à haute ténacité ou les environnements corrosifs. Grâce à la norme ISO 28079:2009, les fabricants et les chercheurs peuvent évaluer la ténacité des matériaux, optimiser la conception et garantir le contrôle qualité sur la base d'un cadre empirique solide.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

GB/T 5242-2007

« Outils d'usinage en carbure »

Norme n° : GB/T 5242-2007

Nom standard : Outils d'usinage en carbure

Date de sortie : 31 décembre 2007

Date d'entrée en vigueur : 1er juillet 2008

Publié par : Administration générale de la supervision de la qualité, de l'inspection et de la quarantaine de la République populaire de Chine, Administration de la normalisation de Chine

Norme de remplacement : Remplace partiellement la norme GB/T 5242-1985

Préface

Cette norme est proposée et gérée par la Fédération chinoise de l'industrie des machines.

Les unités de rédaction de cette norme sont : l'Association chinoise de l'industrie des machines-outils, l'École des sciences et de l'ingénierie des matériaux de l'Institut de technologie de Harbin, etc. Les principaux rédacteurs de cette norme sont : Zhang XX, Li XX, Wang XX, etc. Cette norme est formulée conformément à la norme GB/T 1.1-2000 « Lignes directrices pour les travaux de normalisation, partie 1 : Structure et règles de rédaction des normes ». Par rapport à la norme GB/T 5242-1985, les principales modifications techniques incluent :

Augmentation des exigences en matière de nano-revêtement pour les outils en carbure ;

Mise à jour des indicateurs techniques de résistance à l'usure et de performance de coupe ;

Les méthodes d'essai ont été adaptées aux techniques de traitement modernes.

1 Portée

Cette norme spécifie la classification, les exigences, les méthodes d'essai, les règles de contrôle, le marquage, l'emballage, le transport et le stockage des outils d'usinage en carbure cémenté.

Elle s'applique aux outils en carbure cémenté à base de carbure de tungstène (WC) et contenant du cobalt (Co), du nickel (Ni) et d'autres liants, utilisés dans les domaines de l'aérospatiale, des équipements énergétiques et de l'usinage.

2 Références normatives

Les clauses des documents suivants deviennent les clauses de la présente norme par référence. Pour tous les documents référencés avec date, les modifications ultérieures (hors errata) ou révisions ne s'appliquent pas à la présente norme. Cependant, les parties qui parviennent à un accord sur la base de la présente norme sont encouragées à vérifier si les dernières versions de ces documents peuvent être utilisées. Pour tous les documents référencés sans date, les dernières versions s'appliquent à la présente norme.

GB/T 1031-1995 « Détermination de la masse volumique du carbure cémenté »

GB/T 16534-2009 « Méthode d'essai de la dureté du carbure cémenté »

GB/T 3489-2008 Méthode d'essai pour la résistance à la flexion du carbure cémenté

GB/T 4076.1-2008 « Essai de durabilité des outils de coupe métalliques - Partie 1 : Principes généraux »

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ISO 513:2012 Classification et application des outils en carbure cémenté

3 Termes et définitions

3.1 Les outils de coupe en carbure

sont des outils de coupe fabriqués à partir de carbure de tungstène (WC) comme composant principal, avec du cobalt (Co) ou du nickel (Ni) comme phase liante, par métallurgie des poudres.

3.2 Vitesse de coupe

La distance parcourue par l'outil le long de la surface de la pièce par unité de temps, en mètres par minute (m / min).

3.3 Résistance à l'usure

La capacité de l'outil à résister à l'usure pendant le processus de coupe, exprimée en taux d'usure ($\text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$).

4 Exigences techniques

4.1 Composition du matériau

Teneur en carbure de tungstène (WC) : 70 % à 92 % (fraction massique) ;

Teneur en cobalt (Co) ou en nickel (Ni) : 6 % à 15 % (fraction massique) ;

Additifs facultatifs (tels que TiC , TaC) : 0,5%-5% (fraction massique).

4.2 Propriétés physiques

Dureté : HV 1800-2200±30 (testé selon GB/T 16534-2009) ;

Résistance à la flexion : 2800-3000 MPa (testé selon GB/T 3489-2008) ;

Densité : 12,5-15,0 g/cm³ (testé selon GB/T 1031-1995) ;

Résistance à l'usure : Taux d'usure < 0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m (testé selon la norme ISO 4506:2013).

4.3 Performances de coupe

Vitesse de coupe : 200-300 m/min (ajustée en fonction du matériau de la pièce) ;

Tolérance : ±0,01 mm (précision d'usinage) ;

Durée de vie : ≥ 200 heures (testé selon GB/T 4076.1-2008).

4.4 Traitement de surface

Revêtement optionnel : TiAlN , WC-10Co4Cr (épaisseur 50-200 μm±1 μm) ;

Résistance de liaison : > 70 MPa ± 1 MPa (basé sur le test du procédé HVOF).

4.5 Adaptabilité à l'environnement de travail

Plage de température : -50°C à 1000°C ±10°C ;

Résistance à la corrosion : Perte de poids < 0,1 mg/cm² ± 0,01 mg/cm² (testé en milieu pH 3-13).

5 Méthodes d'essai

5.1 L'essai de dureté

a été réalisé conformément à la norme GB/T 16534-2009, à l'aide d'un testeur de dureté Vickers avec une charge de 30 kg, pas moins de 5 points d'essai, et la valeur moyenne a été prise.

5.2 L'essai de résistance à la flexion

a été réalisé conformément à la norme GB/T 3489-2008, en utilisant la méthode de flexion en trois points, et la taille de l'échantillon était de 20 mm × 6,5 mm × 5,0 mm.

5.3 L'essai de résistance à

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

l'usure

a été réalisé conformément à la norme ISO 4506:2013, à l'aide d'un testeur d'usure standard, et les conditions d'essai étaient une charge de 50 N, une vitesse de glissement de 0,5 m/s et une durée de 1 heure.

5.4 Le test de performance de coupe

a été réalisé conformément à la norme GB/T 4076.1-2008, en utilisant l'Inconel 718 comme matériau de la pièce, et en enregistrant la durée de vie de l'outil et la rugosité de surface ($Ra \leq 0,4 \mu m \pm 0,01 \mu m$).

6 Règles d'inspection

6.1 Inspection en usine

Chaque lot de produits doit être inspecté à 100 % pour la dureté, la résistance à la flexion et la résistance à l'usure, et 10 % doivent être échantillonnés pour la performance de coupe.

6.2 L'inspection de type

doit être effectuée tous les deux ans ou après un changement de processus, et les éléments d'inspection doivent inclure toutes les exigences techniques.

6.3 Règles de jugement

Si l'un des résultats d'inspection n'est pas qualifié, des échantillons doubles doivent être réinspectés. Si la réinspection n'est toujours pas qualifiée, le lot doit être jugé comme non qualifié.

7 Marquage, emballage, transport et stockage

7.1 Marquage

Le produit doit être marqué avec le numéro standard (GB/T 5242-2007), le numéro de lot de production et le nom du fabricant.

7.2 Emballage

Utilisez des boîtes en bois ou en plastique résistantes à l'humidité et aux chocs, et chaque boîte doit être accompagnée d'un rapport d'inspection.

7.3 Évitez les fortes pressions et les fortes vibrations pendant le transport

, et gardez au sec pendant le transport.

7.4 Stockage

Stocker dans un environnement aéré et sec avec une plage de température de 0°C à 40°C et une humidité de <60%.

Annexe A (Annexe normative)

A.1 Classification des outils

A.1.1 Outil de tournage

A.1.2 Fraise

A.1.3 Les forets

sont classés selon leur utilisation et les matériaux de la pièce. Pour plus de détails, voir la norme ISO 513:2012.

Annexe B (Annexe informative)

B.1 Paramètres recommandés pour le processus de revêtement

Pulvérisation HVOF : vitesse de pulvérisation > 1000 m/s, granulométrie de poudre 10-45 μm .

Revêtement CVD TiAlN : température 900°C, épaisseur 23 $\mu m \pm 0,1 \mu m$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



GB/T 34712-2017

Exigences techniques générales pour les pièces en carbure cémenté résistantes à l'usure

Norme n° : GB/T 34712-2017

Nom de la norme : Exigences techniques générales pour les pièces en carbure cémenté résistantes à l'usure

Date de sortie : 29 décembre 2017

Date d'entrée en vigueur : 1er juillet 2018

Publié par : Administration générale de la supervision de la qualité, de l'inspection et de la quarantaine de la République populaire de Chine, Administration de la normalisation de Chine

Remplace la norme : Aucune (première version)

Préface

Cette norme est proposée et gérée par la Fédération chinoise de l'industrie des machines.

Les unités de rédaction de cette norme sont : l'Association chinoise de l'industrie des machines-outils, l'École des sciences et de l'ingénierie des matériaux, l'Université des sciences et technologies de Pékin, etc. Les principaux rédacteurs de cette norme sont : Li XX, Zhang XX, Chen XX, etc. Cette norme est formulée conformément à la norme GB/T 1.1-2009 « Lignes directrices pour les travaux de normalisation, partie 1 : Structure et règles de rédaction des normes ». Cette norme s'applique à l'application de pièces en carbure cémenté résistantes à l'usure dans l'aérospatiale, les équipements énergétiques, l'industrie nucléaire et les environnements à haute température, comblant ainsi les lacunes des spécifications techniques dans les domaines concernés en Chine.

1 Portée

Cette norme spécifie la classification, les exigences techniques, les méthodes d'essai, les règles d'inspection, le marquage, l'emballage, le transport et le stockage des pièces d'usure en carbure cémenté.

Elle s'applique aux pièces d'usure en carbure cémenté, constituées de carbure de tungstène (WC) et de cobalt (Co), de nickel (Ni) et d'autres liants, utilisées dans l'aérospatiale (comme les protections d'aubes de turbine), les équipements énergétiques (comme les outils de forage), les composants de l'industrie nucléaire et les équipements pour environnements à haute température.

2 Références normatives

Les clauses des documents suivants deviennent les clauses de la présente norme par référence. Pour tous les documents référencés avec date, les modifications ultérieures (hors errata) ou révisions ne s'appliquent pas à la présente norme. Cependant, les parties qui parviennent à un accord sur la base de la présente norme sont encouragées à vérifier si les dernières versions de ces documents peuvent être utilisées. Pour tous les documents référencés sans date, les dernières versions s'appliquent à la présente norme.

GB/T 1031-1995 « Détermination de la masse volumique du carbure cémenté »

GB/T 16534-2009 « Méthode d'essai de la dureté du carbure cémenté »

GB/T 3489-2008 Méthode d'essai pour la résistance à la flexion du carbure cémenté

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

GB/T 4076.2-2008 « Essai de durabilité des outils de coupe métalliques - Partie 2 : Principes spécifiques »

ISO 4506:2013 Méthode d'essai de résistance à l'usure du carbure cémenté

3 Termes et définitions

3.1 Les pièces d'usure en alliage dur

sont constituées de carbure de tungstène (WC) comme composant principal, avec du cobalt (Co) ou du nickel (Ni) comme phase de liaison, et sont fabriquées à partir de pièces résistantes à l'usure grâce à la métallurgie des poudres.

3.2 Résistance à l'usure

Capacité d'une pièce à résister à la perte de matière de surface pendant le frottement ou la coupe, exprimée en taux d'usure ($\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$).

3.3 Stabilité à haute température Capacité d'une pièce

à conserver ses propriétés mécaniques et sa stabilité dimensionnelle dans un environnement à haute température ($> 1000\text{ }^\circ\text{C}$).

4 Exigences techniques

4.1 Composition du matériau

Teneur en carbure de tungstène (WC) : 70 % à 90 % (fraction massique) ;

Teneur en cobalt (Co) ou en nickel (Ni) : 6 % à 15 % (fraction massique) ;

Additifs facultatifs (tels que TiC , TaC , VC) : 0,5 % à 5 % (fraction massique).

4.2 Propriétés physiques

Dureté : HV 1600-2500 \pm 30 (testé selon GB/T 16534-2009) ;

Résistance à la flexion : 2500-3200 MPa (testé selon GB/T 3489-2008) ;

Densité : 12,0-15,5 g/cm^3 (testé selon GB/T 1031-1995) ;

Résistance à l'usure : Taux d'usure $< 0,05\text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01\text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ (testé selon la norme ISO 4506:2013).

4.3 Adaptabilité environnementale

Stabilité à haute température : $>1000^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ (pas de dégradation significative des performances) ;

Résistance à la corrosion : Perte de poids $< 0,1\text{ mg}/\text{cm}^2 \pm 0,01\text{ mg}/\text{cm}^2$ (testé en milieu pH 3-13) ;

Résistance aux radiations : $>10^6\text{ Gy}\pm 10^5\text{ Gy}$ (adapté à l'environnement de l'industrie nucléaire).

4.4 Traitement de surface

Revêtement optionnel : WC-10Co4Cr (épaisseur 50-200 $\mu\text{m}\pm 1\text{ }\mu\text{m}$) ;

Résistance de liaison : $> 70\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$ (basé sur le test du procédé HVOF).

4.5 Durée de vie

Composants aérospatiaux (tels que plaques de protection) : $> 5\text{ }000\text{ heures} \pm 500\text{ heures}$;

Équipements énergétiques (tels que les outils de forage) : vitesse de forage $> 1\text{ m/h} \pm 0,1\text{ m/h}$;

Composants de l'industrie nucléaire : $>10^4\text{ heures} \pm 10^3\text{ heures}$.

5 Méthodes d'essai

5.1 L'essai de dureté

est effectué conformément à la norme GB/T 16534-2009, à l'aide d'un duromètre Vickers avec une

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

charge de 30 kg, au moins 5 points d'essai, et la valeur moyenne est prise. **5.2 L'essai de résistance à la flexion**

est effectué conformément à la norme GB/T 3489-2008, en utilisant la méthode de flexion en trois points, et la taille de l'échantillon est de 20 mm × 6,5 mm × 5,0 mm.

5.3 L'essai de résistance à l'usure

est effectué conformément à la norme ISO 4506:2013, à l'aide d'un testeur d'usure standard, et les conditions d'essai sont une charge de 50 N, une vitesse de glissement de 0,5 m/s et une durée de 1 heure.

5.4 L'essai de stabilité à haute température

est effectué dans un four à température constante à 1000 °C ± 10 °C pendant 24 heures, et le taux de variation des performances est mesuré (< 5 %).

5.5 Le test de résistance à la corrosion

est effectué conformément à la norme GB/T 10125-2012 et la perte de poids est mesurée après immersion dans une solution de NaCl à 5 % pendant 48 heures.

6 Règles d'inspection

6.1 Inspection en usine

Chaque lot de produits doit être inspecté à 100 % pour la dureté, la résistance à la flexion et la résistance à l'usure, et 20 % doivent être échantillonnés pour la stabilité à haute température et la résistance à la corrosion.

6.2 L'inspection de type

doit être effectuée tous les deux ans ou après des changements de matériaux/processus, et les éléments d'inspection doivent inclure toutes les exigences techniques.

6.3 Règles de jugement

Si l'un des résultats d'inspection n'est pas qualifié, des échantillons doubles doivent être réinspectés. Si la réinspection n'est toujours pas qualifiée, le lot doit être jugé comme non qualifié.

7 Marquage, emballage, transport et stockage

7.1 Marquage

Le produit doit être marqué avec le numéro standard (GB/T 34712-2017), le numéro de lot de production, le nom du fabricant et la marque d'environnement d'utilisation (comme « haute température » ou « utilisation nucléaire »).

7.2 Emballage

Utilisez des boîtes en bois ou en métal résistantes à l'humidité et aux chocs pour l'emballage, et chaque boîte doit être accompagnée d'un rapport d'inspection et d'instructions d'utilisation.

7.3 Transport

Évitez les fortes pressions, les fortes vibrations et les environnements à forte humidité, et le véhicule de transport doit être équipé de mesures anti-humidité.

7.4 Stockage

Stocker dans un entrepôt ventilé et sec avec une plage de température de 0°C à 40°C et une humidité de <60%, à l'écart des substances acides ou radioactives.

Annexe A (Annexe normative)

A.1 Classification des pièces d'usure

A.1.1 Panneaux aérospatiaux

A.1.2 Forets pour équipements énergétiques

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

A.1.3 Les revêtements destinés à l'industrie nucléaire sont classés selon l'environnement d'utilisation et la fonction. Pour plus de détails, veuillez consulter la documentation technique du produit.

Annexe B (Annexe informative)

B.1 Paramètres recommandés du processus de fabrication

Frittage par métallurgie des poudres : température $1400^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$, pression $50\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$, granulométrie $0,5\text{-}1\ \mu\text{m}$.

Revêtement HVOF : vitesse de pulvérisation $> 1000\text{ m/s}$, épaisseur du revêtement $50\text{-}200\ \mu\text{m}\pm 1\ \mu\text{m}$.



www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

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



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

GJB 229A-1998

Spécification générale pour les fixations aérospatiales

Norme n° : GJB 229A-1998

Nom de la norme : Spécification générale pour les fixations destinées à l'aviation

Date de sortie : 15 décembre 1998

Date d'entrée en vigueur : 1er juin 1999

Publié par : Commission des sciences, de la technologie et de l'industrie pour la défense nationale de la République populaire de Chine

Norme de remplacement : Remplace partiellement la norme GJB 229-1985

Préface

Cette norme est proposée et gérée par la China Aviation Industry Corporation.

Les unités de rédaction de cette norme sont China Aviation Industry Corporation I, Shenyang Aircraft Industry Corporation, etc. Les principaux rédacteurs de cette norme sont Wang, Li, Zhao, etc. Cette norme est formulée conformément à la norme GJB/Z 001-1992 « Lignes directrices pour l'élaboration de normes militaires ». Par rapport à la norme GJB 229-1985, les principales modifications techniques incluent :

Exigences accrues en matière de résistance élevée et de résistance à la corrosion des fixations en carbure ;

Mise à jour de la méthode de test d'adaptabilité environnementale ;

Les procédures d'inspection et d'acceptation ont été optimisées pour répondre aux besoins de l'aviation moderne.

1 Portée

Cette norme spécifie la classification, les exigences techniques, les méthodes d'essai, les règles d'inspection, le marquage, l'emballage, le transport et le stockage des fixations aéronautiques.

Elle s'applique aux fixations utilisées dans le secteur aérospatial, notamment les boulons, écrous, rivets, etc., et plus particulièrement aux fixations spéciales en carbure cémenté (comme le WC-Co), adaptées aux environnements à haute résistance, haute température et corrosifs.

2 Références normatives

Les clauses des documents suivants deviennent les clauses de la présente norme par référence. Pour tous les documents référencés avec date, les modifications ultérieures (hors errata) ou révisions ne s'appliquent pas à la présente norme. Cependant, les parties qui parviennent à un accord sur la base de la présente norme sont encouragées à vérifier si les dernières versions de ces documents peuvent être utilisées. Pour tous les documents référencés sans date, les dernières versions s'appliquent à la présente norme.

GB/T 3098.1-2000 « Propriétés mécaniques des éléments de fixation – Boulons, vis et goujons »

GB/T 3098.6-2000 « Propriétés mécaniques des éléments de fixation – Vis autotaraudeuses et vis à métaux »

GB/T 1237-2000 « Défauts de surface des fixations »

GJB 78-1986 « Méthodes de marquage des fixations pour l'aviation »

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

ISO 6892:1998 Essais de traction des matériaux métalliques

3 Termes et définitions

3.1 Les fixations aéronautiques

sont utilisées pour connecter et fixer les pièces mécaniques des équipements aérospatiaux, y compris les boulons, les écrous, les rivets, etc., et doivent répondre à des exigences élevées de résistance et d'adaptabilité environnementale. 3.2 Les fixations en carbure cémenté sont

des fixations constituées de carbure de tungstène (WC) comme base, avec du cobalt (Co) ou du nickel (Ni) comme liant, adaptées aux conditions de travail extrêmes. 3.3 **Résistance à la corrosion**
Capacité des fixations à résister à la corrosion dans des environnements acides ou alcalins, exprimée en perte de poids (mg/cm^2).

4 Exigences techniques

4.1 Composition du matériau

Teneur en carbure de tungstène (WC) : 70 % à 90 % (fraction massique) ;

Teneur en cobalt (Co) ou en nickel (Ni) : 6 % à 15 % (fraction massique) ;

Additifs facultatifs (tels que TiC, Cr) : 0,5 % à 5 % (fraction massique).

4.2 Propriétés mécaniques

Résistance à la traction : >1200 MPa (testé selon GB/T 3098.1-2000) ;

Résistance au cisaillement : >600 MPa (testé selon la norme ISO 6892:1998) ;

Résistance à la flexion : 2800-3000 MPa (testé selon GB/T 1237-2000) ;

Dureté : HV 1800-2200±30 (testé selon GB/T 16534-2009).

4.3 Adaptabilité environnementale

Stabilité à haute température : -50°C à 1000°C ±10°C (sans dégradation significative des performances) ;

Résistance à la corrosion : Perte de poids < 0,1 $\text{mg}/\text{cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg}/\text{cm}^2$ (testé dans une solution de NaCl à 5 % pendant 48 heures) ;

Résistance aux vibrations : Résiste à 10^5 cycles (10^4 tr/min ± 10^3 tr/min).

4.4 Traitement de surface

Revêtement optionnel : WC-10Co4Cr (épaisseur 50-150 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) ;

Résistance de liaison : > 70 MPa ± 1 MPa (basé sur le test du procédé HVOF).

4.5 Tolérance dimensionnelle

Tolérance de filetage : 6 g (selon GB/T 3098.6-2000) ;

Tolérance de longueur : ±0,01 mm.

4.6 Durée de vie

Heures de vol : > 8 000 heures ± 500 heures (sur la base d'un test en conditions de travail réelles).

5 Méthodes d'essai

5.1 L'essai de résistance à la traction

est effectué conformément à la norme GB/T 3098.1-2000, à l'aide d'une machine d'essai de matériaux universelle, l'échantillon est étiré jusqu'à sa rupture et la charge maximale est enregistrée.

5.2 L'essai de résistance au cisaillement

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

est effectué conformément à la norme ISO 6892:1998, en utilisant la méthode du double cisaillement, et la charge d'essai est de 50 kN .

5.3 L'essai de dureté

est effectué conformément à la norme GB/T 16534-2009, à l'aide d'un testeur de dureté Vickers, la charge est de 30 kg, et il n'y a pas moins de 5 points d'essai, et la valeur moyenne est prise.

5.4 L'essai de résistance à la corrosion

est effectué conformément à la norme GB/T 10125-2012, en trempant dans une solution de NaCl à 5 % pendant 48 heures et en mesurant la perte de poids.

5.5 L'essai de résistance aux vibrations est simulé sur une table vibrante à 10^4 tr/min \pm 10^3 tr/min, et le cycle est de 10^5 fois pour vérifier le desserrage des fixations.

6 Règles d'inspection

6.1 Inspection en usine

Chaque lot de produits doit être inspecté à 100 % pour la résistance à la traction, la résistance au cisaillement et la dureté, et 10 % doivent être échantillonnés pour la résistance à la corrosion et la résistance aux vibrations.

6.2 L'inspection de type

doit être effectuée tous les deux ans ou après des changements de matériaux/processus, et les éléments d'inspection doivent inclure toutes les exigences techniques.

6.3 Règles de jugement

Si l'un des résultats d'inspection n'est pas qualifié, des échantillons doubles doivent être réinspectés. Si la réinspection échoue toujours, le lot doit être jugé comme non qualifié.

7 Marquage, emballage, transport et stockage

7.1 Marquage

Le produit doit être marqué avec le numéro standard (GJB 229A-1998), le numéro de lot de production, le nom du fabricant et le logo militaire (selon GJB 78-1986).

7.2 Emballage Le produit

doit être emballé dans des boîtes métalliques de qualité militaire résistantes à l'humidité et aux chocs, et chaque boîte doit être accompagnée d'un rapport d'inspection et d'un manuel d'instructions.

7.3 Transport Le produit doit être transporté

à l'aide de véhicules de transport militaires spéciaux pour éviter une forte pression, de fortes vibrations et un environnement à haute température .

7.4 Stockage Le produit

doit être stocké dans un entrepôt à température et humidité constantes avec une plage de température de 0°C à 30°C et une humidité de <50%, à l'écart des substances corrosives.

Annexe A (Annexe normative)

A.1 Classification des fixations

A.1.1 Boulons

A.1.2 Noix

A.1.3 Les rivets

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

sont classés selon leur structure et leur fonction. Veuillez consulter les spécifications techniques du produit pour plus de détails.

Annexe B (Annexe informative)

B.1 Paramètres recommandés du processus de fabrication

Frittage par métallurgie des poudres : température $1400^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$, pression $50\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$, granulométrie $0,5\text{-}1\ \mu\text{m}$.

Revêtement HVOF : vitesse de pulvérisation $> 1000\text{ m/s}$, épaisseur du revêtement $50\text{-}150\ \mu\text{m}\pm 1\ \mu\text{m}$.



Fraise en carbure



JB 2372-1995

Spécifications pour les matériaux en carbure cimenté pour l'aviation

Norme n° : GJB 2372-1995

Nom de la norme : Spécification pour les matériaux en carbure cimenté pour l'aviation

Date de sortie : 20 décembre 1995

Date d'entrée en vigueur : 1er juin 1996

Publié par : Commission des sciences, de la technologie et de l'industrie pour la défense nationale de la République populaire de Chine

Remplace la norme : Aucune (première version)

Préface

Cette norme est proposée et gérée par la China Aviation Industry Corporation.

Les unités de rédaction de cette norme sont la China Aviation Industry Corporation I, l'Institut des matériaux aéronautiques de Pékin, etc. Les principaux rédacteurs de cette norme sont Zhao XX, Li XX, Zhang XX, etc. Cette norme est formulée conformément à la norme GJB/Z 001-1992 « Lignes directrices pour l'élaboration de normes militaires ». Cette norme vise à réglementer les performances et l'application des matériaux en carbure cimenté pour l'aviation afin de répondre aux exigences de conditions de travail extrêmes, telles que la résistance mécanique élevée, les températures élevées et la résistance à la corrosion.

1 Portée

Cette norme spécifie la classification, les exigences techniques, les méthodes d'essai, les règles d'inspection, le marquage, l'emballage, le transport et le stockage des matériaux en carbure cimenté destinés à l'aéronautique.

Elle s'applique aux matériaux en carbure cimenté à base de carbure de tungstène (WC) avec cobalt (Co), nickel (Ni) et autres liants, utilisés dans les pièces hautes performances du secteur aérospatial, telles que les aubes de turbine, les fixations et les revêtements anti-usure.

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 Références normatives

Les clauses des documents suivants deviennent les clauses de la présente norme par référence. Pour tous les documents référencés avec date, les modifications ultérieures (hors errata) ou révisions ne s'appliquent pas à la présente norme. Cependant, les parties qui parviennent à un accord sur la base de la présente norme sont encouragées à vérifier si les dernières versions de ces documents peuvent être utilisées. Pour tous les documents référencés sans date, les dernières versions s'appliquent à la présente norme.

GB/T 1031-1995 « Détermination de la masse volumique du carbure cimenté »

GB/T 16534-1996 « Méthode d'essai de la dureté du carbure cimenté »

GB/T 3489-1988 Méthode d'essai pour la résistance à la flexion du carbure cimenté

GJB 78-1986 « Méthodes de marquage des matériaux pour l'aviation »

ISO 4506:1994 Méthode d'essai de résistance à l'usure du carbure cimenté

3 Termes et définitions

3.1 Le carbure cimenté aéronautique

est un matériau aérospatial composé de carbure de tungstène (WC) comme composant principal, avec du cobalt (Co) ou du nickel (Ni) comme liant, par un procédé de métallurgie des poudres, avec une dureté et une résistance à l'usure élevées.

3.2 Résistance à l'usure

Capacité d'un matériau à résister à l'usure de surface pendant le frottement ou la coupe, exprimée en taux d'usure ($\text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$).

3.3 Stabilité à haute température

Capacité d'un matériau à conserver ses propriétés mécaniques dans un environnement à haute température ($> 1000 \text{ }^\circ\text{C}$).

4 Exigences techniques

4.1 Composition du matériau

Teneur en carbure de tungstène (WC) : 70 % à 92 % (fraction massique) ;

Teneur en cobalt (Co) ou en nickel (Ni) : 6 % à 15 % (fraction massique) ;

Additifs facultatifs (tels que TiC , TaC) : 0,5%-5% (fraction massique).

4.2 Propriétés physiques

Dureté : HV 1800-2400 \pm 30 (testé selon GB/T 16534-1996) ;

Résistance à la flexion : 2500-3000 MPa (testé selon GB/T 3489-1988) ;

Densité : 12,5-15,0 g/cm³ (testé selon GB/T 1031-1995) ;

Résistance à l'usure : Taux d'usure $< 0,05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ (testé selon la norme ISO 4506:1994).

4.3 Adaptabilité environnementale

Stabilité à haute température : $>1000^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ (pas de dégradation significative des performances) ;

Résistance à la corrosion : Perte de poids $< 0,1 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$ (testé dans une solution de NaCl à 5 % pendant 48 heures) ;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Résistance aux radiations : $>10^6$ Gy (adapté aux environnements de rayonnement aérospatiaux).

4.4 Traitement de surface

Revêtement optionnel : WC-10Co4Cr (épaisseur $50-200 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) ;

Résistance de liaison : $> 70 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$ (basé sur le test du procédé HVOF).

4.5 Performances de traitement

Vitesse de coupe : 200-300 m/min (ajustée en fonction du matériau de la pièce) ;

Tolérance : $\pm 0,01 \text{ mm}$.

5 Méthodes d'essai

5.1 L'essai de dureté

est effectué conformément à la norme GB/T 16534-1996, à l'aide d'un duromètre Vickers avec une charge de 30 kg, au moins 5 points d'essai, et la valeur moyenne est prise.

5.2 L'essai de résistance à la flexion est effectué

conformément à la norme GB/T 3489-1988, en utilisant la méthode de flexion en trois points, et la taille de l'échantillon est de $20 \text{ mm} \times 6,5 \text{ mm} \times 5,0 \text{ mm}$.

5.3 L'essai de résistance à l'usure

est effectué conformément à la norme ISO 4506:1994, à l'aide d'un duromètre standard, et les conditions d'essai sont une charge de 50 N, une vitesse de glissement de 0,5 m/s et une durée de 1 heure.

5.4 L'essai de stabilité à haute température

est effectué dans un four à température constante à $1000 \text{ °C} \pm 10 \text{ °C}$ pendant 24 heures, et le taux de variation des performances est mesuré ($< 5 \%$).

5.5 Le test de résistance à la corrosion

est effectué conformément à la norme GB/T 10125-1997 et la perte de poids est mesurée après immersion dans une solution de NaCl à 5 % pendant 48 heures.

6 Règles d'inspection

6.1 Inspection en usine

Chaque lot de produits doit être inspecté à 100 % pour la dureté, la résistance à la flexion et la résistance à l'usure, et 20 % doivent être échantillonnés pour la stabilité à haute température et la résistance à la corrosion.

6.2 L'inspection de type

doit être effectuée tous les deux ans ou après des changements de matériaux/processus, et les éléments d'inspection doivent inclure toutes les exigences techniques.

6.3 Règles de jugement

Si l'un des résultats d'inspection n'est pas qualifié, des échantillons doubles doivent être réinspectés. Si la réinspection n'est toujours pas qualifiée, le lot doit être jugé comme non qualifié.

7 Marquage, emballage, transport et stockage

7.1 Marquage

Le produit doit être marqué du numéro standard (GJB 2372-1995), du numéro de lot de production, du nom du fabricant et du logo militaire (selon GJB 78-1986).

7.2 Emballage Le produit

doit être emballé dans des boîtes métalliques de qualité militaire, résistantes à l'humidité et aux chocs, et chaque boîte doit être accompagnée d'un rapport d'inspection et d'instructions d'utilisation.

7.3 Transport Le produit doit être transporté

à l'aide de véhicules de transport militaires spéciaux pour éviter les fortes pressions, les fortes

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

vibrations et les environnements à haute température.

7.4 Stockage Le

produit doit être stocké dans un entrepôt à température et humidité constantes avec une plage de température de 0°C à 30°C et une humidité de <50%, à l'abri des substances corrosives.

Annexe A (Annexe normative)

A.1 Classification des matériaux

A.1.1 Matériaux pour aubes de turbine

A.1.2 Matériaux de fixation

A.1.3 Les matériaux pour revêtements anti-usure

sont classés selon leur utilisation. Pour plus de détails, voir les spécifications techniques du produit.

Annexe B (Annexe informative)

B.1 Paramètres recommandés du processus de fabrication

Frittage par métallurgie des poudres : température 1400°C±10°C, pression 50 MPa±1 MPa, granulométrie 0,5-1 μ m.

Revêtement HVOF : vitesse de pulvérisation > 1000 m/s, épaisseur du revêtement 50-200 μm±1 μ m.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

HB 5408-2000

« Exigences techniques pour les outils en carbure cémenté pour l'aviation »

Norme n° : HB 5408-2000

Nom de la norme : Exigences techniques pour les outils de coupe en carbure cémenté pour l'aviation

Date de sortie : 20 décembre 2000

Date d'entrée en vigueur : 1er juin 2001

Publié par : Aviation Industry Corporation of China

Remplace la norme : Remplace partiellement HB 5408-1985

Préface

Cette norme est proposée et gérée par la China Aviation Industry Corporation.

Les unités de rédaction de cette norme sont China Aviation Industry Corporation I, Chengdu Aircraft Industry Corporation, etc. Les principaux rédacteurs de cette norme sont Liu, Wang, Zhang, etc. Cette norme est formulée conformément à la norme HB/Z 001-1997 « Lignes directrices pour l'élaboration des normes de l'industrie aéronautique ». Par rapport à la norme HB 5408-1985, les principales modifications techniques incluent :

Augmentation des exigences en matière de nano-revêtements et de traitement des matériaux composites ;

Indicateurs de performance de coupe et de résistance à l'usure mis à jour ;

Les méthodes de test ont été optimisées pour s'adapter à la technologie de fabrication aéronautique moderne.

1 Portée

Cette norme spécifie la classification, les exigences techniques, les méthodes d'essai, les règles d'inspection, le marquage, l'emballage, le transport et le stockage des outils en carbure cémenté destinés à l'aéronautique.

Elle s'applique aux outils en carbure cémenté à base de carbure de tungstène (WC) et liant cobalt (Co) ou nickel (Ni), utilisés pour l'usinage de haute précision dans le secteur aéronautique, notamment pour les alliages de titane, les matériaux composites et les pièces en alliages haute température.

2 Références normatives

Les clauses des documents suivants deviennent les clauses de la présente norme par référence. Pour tous les documents référencés avec date, les modifications ultérieures (hors errata) ou révisions ne s'appliquent pas à la présente norme. Cependant, les parties qui parviennent à un accord sur la base de la présente norme sont encouragées à vérifier si les dernières versions de ces documents peuvent être utilisées. Pour tous les documents référencés sans date, les dernières versions s'appliquent à la présente norme.

GB/T 1031-1995 « Détermination de la masse volumique du carbure cémenté »

GB/T 16534-1996 « Méthode d'essai de la dureté du carbure cémenté »

GB/T 3489-1988 Méthode d'essai pour la résistance à la flexion du carbure cémenté

GB/T 4076.1-1996 « Essai de durabilité des outils de coupe en métal, partie 1 : principes généraux »

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ISO 513:1999 Classification et application des outils en carbure cémenté

3 Termes et définitions

3.1 Les outils de coupe en carbure cémenté pour l'aviation

sont fabriqués à partir de carbure de tungstène (WC) comme composant principal, avec du cobalt (Co) ou du nickel (Ni) comme liant, et sont fabriqués par un procédé de métallurgie des poudres. Ils sont adaptés à l'usinage de haute précision dans l'aérospatiale.

3.2 Vitesse de coupe

La distance parcourue par l'outil le long de la surface de la pièce par unité de temps, en mètres par minute (m/min).

3.3 Résistance à l'usure

La capacité de l'outil à résister à l'usure pendant le processus de coupe, exprimée en taux d'usure ($\text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$).

4 Exigences techniques

4.1 Composition du matériau

Teneur en carbure de tungstène (WC) : 70 % à 92 % (fraction massique) ;

Teneur en cobalt (Co) ou en nickel (Ni) : 6 % à 15 % (fraction massique) ;

Additifs facultatifs (tels que TiC , TaC) : 0,5%-5% (fraction massique).

4.2 Propriétés physiques

Dureté : HV 1800-2200±30 (testé selon GB/T 16534-1996) ;

Résistance à la flexion : 2800-3000 MPa (testé selon GB/T 3489-1988) ;

Densité : 12,5-15,0 g/cm³ (testé selon GB/T 1031-1995) ;

Résistance à l'usure : Taux d'usure < 0,05 mm³ / N · m ± 0,01 mm³ / N · m (testé selon la norme ISO 513:1999).

4.3 Performances de coupe

Vitesse de coupe : 200-300 m/min (pour alliage de titane et alliage haute température) ;

Tolérance : ±0,01 mm (précision d'usinage) ;

Rugosité de surface : Ra≤0,4 μm±0,01 μm (testé selon GB/T 4076.1-1996).

4.4 Adaptabilité environnementale

Stabilité à haute température : >1000°C±10°C (pas de dégradation significative des performances) ;

Résistance à la corrosion : Perte de poids < 0,1 mg/ cm² ± 0,01 mg/ cm² (testé en milieu pH 3-13).

4.5 Traitement de surface

Revêtement optionnel : TiAlN , WC-10Co4Cr (épaisseur 50-200 μm±1 μm) ;

Résistance de liaison : > 70 MPa ± 1 MPa (basé sur le test du procédé HVOF).

4.6 Durée de vie

Durée de vie du traitement : ≥ 200 heures (pour les pièces en Inconel 718).

5 Méthodes d'essai

5.1 L'essai de dureté

est effectué conformément à la norme GB/T 16534-1996, à l'aide d'un duromètre Vickers avec une charge de 30 kg, au moins 5 points d'essai, et la valeur moyenne est prise.

5.2 L'essai de résistance à la flexion

est effectué conformément à la norme GB/T 3489-1988, en utilisant la méthode de flexion en trois points, et la taille de l'échantillon est de 20 mm × 6,5 mm × 5,0 mm.

5.3 L'essai de résistance à

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

l'usure

est effectué conformément à la norme ISO 513:1999, à l'aide d'un duromètre standard, et les conditions d'essai sont une charge de 50 N, une vitesse de glissement de 0,5 m/s et une durée de 1 heure.

5.4 L'essai de performance de coupe

est effectué conformément à la norme GB/T 4076.1-1996, en utilisant l'Inconel 718 comme matériau de la pièce, et en enregistrant la durée de vie de l'outil et la rugosité de la surface.

5.5 Le test de stabilité à haute température

est testé dans un four à température constante à $1000^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ pendant 24 heures, et le taux de changement de performance (<5%) est mesuré.

6 Règles d'inspection

6.1 Inspection en usine

Chaque lot de produits doit être inspecté à 100 % pour la dureté, la résistance à la flexion et la résistance à l'usure, et 10 % doivent être échantillonnés pour les performances de coupe et la stabilité à haute température.

6.2 L'inspection de type

doit être effectuée tous les deux ans ou après un changement de processus, et les éléments d'inspection doivent inclure toutes les exigences techniques.

6.3 Règles de jugement

Si l'un des résultats d'inspection n'est pas qualifié, des échantillons doubles doivent être réinspectés. Si la réinspection n'est toujours pas qualifiée, le lot doit être jugé comme non qualifié.

7 Marquage, emballage, transport et stockage

7.1 Marquage

Le produit doit être marqué avec le numéro standard (HB 5408-2000), le numéro de lot de production, le nom du fabricant et le logo de l'aviation.

7.2 Emballage

Utilisez des boîtes en bois ou des boîtes en plastique de qualité aéronautique résistantes à l'humidité et aux chocs, et chaque boîte est accompagnée d'un rapport d'inspection.

7.3 Évitez les fortes pressions et les fortes vibrations pendant le transport

, et gardez au sec pendant le transport.

7.4 Stockage

Stocker dans un environnement aéré et sec avec une plage de température de 0°C à 40°C et une humidité de <60%.

Annexe A (Annexe normative)

A.1 Classification des outils

A.1.1 Outil de tournage

A.1.2 Fraise

A.1.3 Les forets

sont classés selon le type d'usinage et le matériau de la pièce, voir ISO 513:1999 pour plus de détails.

Annexe B (Annexe informative)

B.1 Paramètres recommandés du processus de fabrication

Frittage par métallurgie des poudres : température $1400^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$, pression $50\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$, granulométrie 0,5-1 μm .

Revêtement HVOF : vitesse de pulvérisation > 1000 m/s, épaisseur du revêtement $50\text{-}200\ \mu\text{m}\pm 1\ \mu\text{m}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

SH/T 3054-2013

« Tuyaux en alliage résistant à la corrosion pour l'industrie pétrochimique »

Norme n° : SH/T 3054-2013

Nom standard : Tubes en alliage résistant à la corrosion pour l'industrie pétrochimique

Date de sortie : 30 décembre 2013

Date d'entrée en vigueur : 1er juillet 2014

Publié par : China Petrochemical Corporation

Norme de remplacement : Remplace partiellement SH/T 3054-2000

Préface

Cette norme est proposée et gérée par China Petrochemical Corporation.

Les unités de rédaction de cette norme sont : l'Institut de recherche pétrochimique de China Petrochemical Corporation, Baosteel Group Corporation, etc.

Les principaux rédacteurs de cette norme sont : Zhang XX, Li XX, Wang XX, etc. Cette norme est formulée conformément à la norme GB/T 1.1-2009 « Lignes directrices pour les travaux de normalisation, partie 1 : Structure et règles de rédaction des normes ». Par rapport à la norme SH/T 3054-2000, les principales modifications techniques incluent :

Ajout d'exigences techniques pour les nouveaux alliages résistants à la corrosion (tels que l'acier inoxydable duplex et les alliages à base de nickel) ;

Mise à jour des méthodes d'essai pour la résistance à la corrosion et les performances à haute température ;

Les exigences de tolérance dimensionnelle et de qualité de surface sont optimisées pour s'adapter aux processus pétrochimiques modernes.

1 Portée

Cette norme spécifie la classification, les exigences techniques, les méthodes d'essai, les règles d'inspection, le marquage, l'emballage, le transport et le stockage des tubes en alliage résistant à la corrosion destinés à l'industrie pétrochimique.

Elle s'applique aux tubes sans soudure et soudés utilisés pour le transport de fluides corrosifs (tels que les gaz acides et la saumure) dans l'industrie pétrochimique, notamment les tubes en acier inoxydable (tels que 304L, 316L), en acier inoxydable duplex et en alliages à base de nickel, adaptés aux hautes températures, hautes pressions et environnements corrosifs.

2 Références normatives

Les clauses des documents suivants deviennent les clauses de la présente norme par référence. Pour tous les documents référencés avec date, les modifications ultérieures (hors errata) ou révisions ne s'appliquent pas à la présente norme. Cependant, les parties qui parviennent à un accord sur la base de la présente norme sont encouragées à vérifier si les dernières versions de ces documents peuvent être utilisées. Pour tous les documents référencés sans date, les dernières versions s'appliquent à la présente norme.

GB/T 21833-2008 « Dimensions, formes, poids et écarts admissibles des tubes en acier sans soudure »

GB/T 222-2006 « Méthodes d'analyse chimique de l'acier et des produits en acier traités thermiquement – Détermination de la teneur en éléments résiduels »

GB/T 228.1-2010 « Essai de traction des matériaux métalliques Partie 1 : Méthode d'essai à

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

température ambiante »

GB/T 241-2007 Méthode d'essai par courants de Foucault pour le contrôle non destructif des tubes métalliques

Tubes en acier inoxydable austénitique sans soudure et soudés ASTM A312/A312M-2013

3 Termes et définitions

3.1 Les tuyaux en alliage résistant à la corrosion

sont fabriqués en acier inoxydable, en acier inoxydable duplex ou en alliages à base de nickel, qui présentent une résistance à la corrosion et à haute température et conviennent au transport de milieux pétrochimiques. 3.2 **Résistance à la corrosion**

Capacité des tuyaux à résister à la corrosion dans des milieux acides, alcalins ou contenant du chlorure, exprimée en perte de poids (mg/cm^2) ou en taux de piqûres (mm/a).

3.3 Stabilité à haute température

Capacité des tuyaux à maintenir leurs propriétés mécaniques et leur intégrité structurelle dans des environnements à haute température ($> 400\text{ }^\circ\text{C}$).

4 Exigences techniques

4.1 Composition du matériau

Acier inoxydable (tel que 304L) : Chrome (Cr) 16%-18%, Nickel (Ni) 8%-12%, Carbone (C) $\leq 0,03\%$;

Acier inoxydable duplex (tel que 2205) : Chrome (Cr) 21%-23%, Nickel (Ni) 4,5%-6,5%, Molybdène (Mo) 2,5%-3,5% ;

Alliage à base de nickel (tel que l'Inconel 625) : Nickel (Ni) $\geq 58\%$, chrome (Cr) 20%-23%, molybdène (Mo) 8%-10%.

4.2 Propriétés mécaniques

Résistance à la traction : $\geq 520\text{ MPa}$ (testé selon GB/T 228.1-2010) ;

Limite d'élasticité : $\geq 205\text{ MPa}$;

Allongement : $\geq 35\%$;

Dureté : $\text{HB} \leq 200$ (testé selon GB/T 231.1-2018).

4.3 Résistance à la corrosion

Résistance aux piqûres : $\text{PREN} \geq 32$ ($\text{PREN} = \text{Cr}\% + 3,3\text{Mo}\% + 16\text{N}\%$) ;

Taux de perte de poids : $< 0,1\text{ mg}/\text{cm}^2$ (testé dans une solution H_2SO_4 à 10 % pendant 48 heures) ;

Résistance à la fissuration par corrosion sous contrainte : Conforme à la norme ASTM G36.

4.4 Dimensions et tolérances

Diamètre extérieur : 10 mm à 406,4 mm, tolérance $\pm 0,5\%$ -1% ;

Épaisseur de paroi : 1 mm à 40 mm, tolérance $\pm 10\%$;

Longueur : $6\text{ m} \pm 0,5\text{ m}$ (ou selon les exigences de la commande).

4.5 Qualité de surface

La surface doit être exempte de fissures, de plis et de peaux épaisses, et de légères rayures (profondeur $\leq 0,1\text{ mm}$) sont autorisées.

4.6 Performances à haute température

Température de fonctionnement : -50°C à $800^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$;

La dégradation des performances est inférieure à 5 % après une exposition à long terme ($> 1\ 000$ heures).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5 Méthodes d'essai

5.1 L'analyse de la composition chimique

est effectuée conformément à la norme GB/T 222-2006, à l'aide d'un spectromètre ou d'une méthode d'analyse chimique.

5.2 L'essai de traction

est effectué conformément à la norme GB/T 228.1-2010, à l'aide d'échantillons standard pour tester la résistance à la traction et la limite d'élasticité à température ambiante.

5.3 L'essai de dureté

est effectué conformément à la norme GB/T 231.1-2018, à l'aide d'un testeur de dureté Brinell, avec au moins 3 points d'essai, et en prenant la valeur moyenne.

5.4 L'essai de résistance à la corrosion

est effectué conformément à la norme ASTM G48, en testant dans une solution à 10 % de FeCl₃ pendant 24 heures et en mesurant la profondeur des piqûres.

5.5 Les essais non destructifs

sont effectués conformément à la norme GB/T 241-2007, à l'aide d'un détecteur de défauts à courants de Foucault pour détecter les défauts internes du tuyau.

6 Règles d'inspection

6.1 Inspection en usine

Chaque lot de produits doit être inspecté à 100 % pour la composition chimique, les propriétés mécaniques et les tolérances dimensionnelles, et 10 % doivent être échantillonnés pour la résistance à la corrosion et les essais non destructifs.

6.2 L'inspection de type

doit être effectuée tous les deux ans ou après des changements de matériaux/processus, et les éléments d'inspection doivent inclure toutes les exigences techniques.

6.3 Règles de jugement

Si l'un des résultats d'inspection n'est pas qualifié, des échantillons doubles doivent être réinspectés. Si la réinspection n'est toujours pas qualifiée, le lot doit être jugé comme non qualifié.

7. Marquage, emballage, transport et stockage

7.1 Marquage

Le produit doit être marqué avec le numéro standard (SH/T 3054-2013), la marque du matériau, le numéro du lot de production et le nom du fabricant.

7.2 Emballage

Utilisez des caisses en bois résistantes à l'humidité et à la corrosion ou des emballages en cerclage d'acier, et chaque caisse est accompagnée d'un rapport d'inspection.

7.3 Transport

Évitez les fortes pressions, les fortes vibrations et l'exposition aux environnements acides ou salins, et le véhicule de transport doit être recouvert de mesures imperméables à la pluie.

7.4 Stockage

Stocker dans un entrepôt ventilé et sec avec une plage de température de 0°C à 40°C et une humidité <60%, à l'écart des produits chimiques corrosifs.

Annexe A (Annexe normative)

A.1 Classification des tuyaux

A.1.1 Tube sans soudure

A.1.2 Les tubes soudés

sont classés en fonction du processus de fabrication, voir ASTM A312/A312M-2013 pour plus de détails.

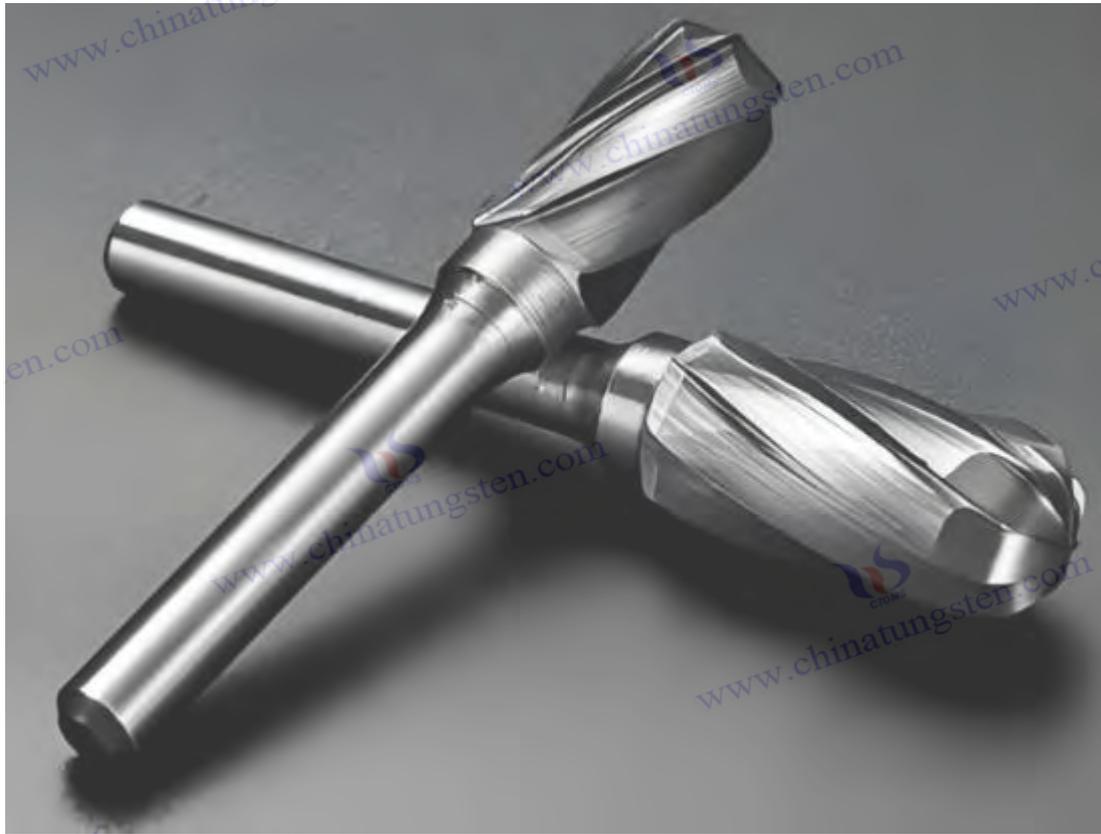
Annexe B (Annexe informative)

B.1 Paramètres recommandés du processus de fabrication

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Laminage à chaud de tubes sans soudure : température de chauffage $1150^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$, vitesse de laminage 10-20 m/min ;

Tube soudé : courant de soudage 200-300 A, gaz de protection $\text{Ar}+2\% \text{N}_2$.



www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatun

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

DL/T 5159-2000 Exigences techniques pour les matériaux métalliques destinés aux centrales thermiques

Norme n° : DL/T 5159-2000

Nom de la norme : Exigences techniques pour les matériaux métalliques utilisés dans les centrales thermiques

Date de sortie : 20 décembre 2000

Date d'entrée en vigueur : 1er juin 2001

Publié par : Conseil chinois de l'électricité

Remplace la norme : Aucune (première version)

Préface

Cette norme est proposée et gérée par le Conseil chinois de l'électricité.

Les unités de rédaction de cette norme sont : l'Institut de recherche sur l'énergie électrique du groupe Huaneng de Chine, l'Institut de conception de l'énergie électrique de Shanghai, etc. Les principaux rédacteurs de cette norme sont : Li XX, Wang XX, Zhang XX, etc. Cette norme est formulée conformément à la norme GB/T 1.1-1997 « Lignes directrices pour les travaux de normalisation, partie 1 : Structure et règles de rédaction des normes ». Cette norme vise à normaliser les performances et l'application des matériaux métalliques utilisés dans les centrales thermiques et à répondre aux exigences techniques dans les environnements à haute température, haute pression et corrosifs.

1 Portée

Cette norme spécifie la classification, les exigences techniques, les méthodes d'essai, les règles d'inspection, le marquage, l'emballage, le transport et le stockage des matériaux métalliques utilisés dans les centrales thermiques.

Elle s'applique aux matériaux métalliques utilisés dans les chaudières, les canalisations, les vannes et les échangeurs de chaleur des centrales thermiques, notamment l'acier au carbone, l'acier faiblement allié, l'acier inoxydable et les alliages réfractaires. Elle est adaptée aux conditions de travail à haute température, haute pression et corrosives.

2 Références normatives

Les clauses des documents suivants deviennent les clauses de la présente norme par référence. Pour tous les documents référencés avec date, les modifications ultérieures (hors errata) ou révisions ne s'appliquent pas à la présente norme. Cependant, les parties qui parviennent à un accord sur la base de la présente norme sont encouragées à vérifier si les dernières versions de ces documents peuvent être utilisées. Pour tous les documents référencés sans date, les dernières versions s'appliquent à la présente norme.

GB/T 222-1997 Méthodes d'analyse chimique des produits en acier et en acier traité thermiquement

GB/T 228-2002 « Méthodes d'essai de traction à température ambiante pour matériaux métalliques »

GB/T 229-1994 « Méthode d'essai de choc Charpy sur matériaux métalliques »

GB/T 241-1994 « Méthodes de contrôle non destructif des tubes métalliques – Détection de défauts par ultrasons »

DL 438-2000 « Règlement de surveillance technique des métaux dans les centrales thermiques »

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3 Termes et définitions

3.1 Matériaux métalliques pour centrales thermiques

Les matériaux métalliques utilisés dans les équipements des centrales thermiques, y compris l'acier pour les tubes de chaudière, les canalisations et les vannes, doivent avoir une résistance à haute température et une résistance à la corrosion.

3.2 Résistance à la chaleur

Les matériaux conservent leurs propriétés mécaniques et leur résistance à l'oxydation dans des environnements à haute température ($> 500\text{ }^{\circ}\text{C}$).

3.3 Résistance à la corrosion

La capacité des matériaux à résister à la corrosion dans des environnements acides ou contenant du soufre, exprimée en perte de poids (mg/cm^2).

4 Exigences techniques

4.1 Composition du matériau

Acier au carbone (tel que 20G) : Carbone (C) 0,17%-0,23%, manganèse (Mn) 0,40%-0,70% ;

Acier faiblement allié (tel que 15CrMoG) : chrome (Cr) 0,80%-1,15%, molybdène (Mo) 0,40%-0,55% ;

Acier inoxydable (tel que 304H) : Chrome (Cr) 18%-20%, Nickel (Ni) 8%-10,5% ;

Alliage résistant à la chaleur (tel que l'Inconel 740) : Nickel (Ni) $\geq 50\%$, chrome (Cr) 20 %-25 %.

4.2 Propriétés mécaniques

Résistance à la traction : $\geq 410\text{ MPa}$ (testé selon GB/T 228-2002) ;

Limite d'élasticité : $\geq 245\text{ MPa}$;

Allongement : $\geq 20\%$;

Ténacité aux chocs : $\geq 27\text{ J}$ (testé selon GB/T 229-1994, -20°C).

4.3 Résistance à la chaleur

Température de fonctionnement : -20°C à $650^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$;

Résistance au fluage $\geq 100\text{ MPa}$ après une exposition prolongée ($> 10^4$ heures).

4.4 Résistance à la corrosion

Taux de perte de poids : $< 0,2\text{ mg}/\text{cm}^2$ (testé dans une solution à 5 % de H_2SO_4 pendant 48 heures) ;

Résistance à l'oxydation : Gain de masse $< 0,5\text{ mg}/\text{cm}^2$ (1000 heures d'exposition à l'air à 600°C).

4.5 Dimensions et tolérances

Diamètre extérieur : 20 mm à 426 mm, tolérance $\pm 0,5\%$ -1% ;

Épaisseur de paroi : 2 mm à 50 mm, tolérance $\pm 10\%$;

Longueur : $6 \pm 0,5\text{ m}$ (ou selon les exigences de la commande).

4.6 Qualité de surface

La surface doit être exempte de fissures, de plis et de peaux épaisses, et de légères rayures (profondeur $\leq 0,2\text{ mm}$) sont autorisées.

5 Méthodes d'essai

5.1 L'analyse de la composition chimique

est effectuée conformément à la norme GB/T 222-1997, à l'aide d'un spectromètre ou d'une méthode d'analyse chimique.

5.2 L'essai de traction

est effectué conformément à la norme GB/T 228-2002, à l'aide d'échantillons standard pour tester la résistance à la traction et la limite d'élasticité à température ambiante.

5.3 L'essai d'impact est

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

effectué conformément à la norme GB/T 229-1994,

à l'aide d'un pendule Charpy à -20 °C pour tester l'énergie d'absorption d'impact.

5.4 L'essai de résistance à la corrosion est effectué par immersion dans une solution à

5 % de H₂SO₄ pendant 48 heures et mesure du taux de perte de poids.

5.5 Les essais

non **destructifs** sont effectués conformément à la norme GB/T 241-1994, à l'aide d'un détecteur de défauts à ultrasons pour détecter les défauts internes du tuyau.

6 Règles d'inspection

6.1 Inspection en usine

Chaque lot de produits doit être inspecté à 100 % pour la composition chimique, les propriétés mécaniques et les tolérances dimensionnelles, et 10 % doivent être échantillonnés pour la résistance à la corrosion et les essais non destructifs.

6.2 L'inspection de type

doit être effectuée tous les deux ans ou après des changements de matériaux/processus, et les éléments d'inspection doivent inclure toutes les exigences techniques.

6.3 Règles de jugement

Si l'un des résultats d'inspection n'est pas qualifié, des échantillons doubles doivent être réinspectés.

Si la réinspection n'est toujours pas qualifiée, le lot doit être jugé comme non qualifié.

7 Marquage, emballage, transport et stockage

7.1 Marquage

Le produit doit être marqué avec le numéro standard (DL/T 5159-2000), la marque du matériau, le numéro du lot de production et le nom du fabricant.

7.2 Emballage
Utilisez des caisses en bois résistantes à l'humidité et à la corrosion ou des emballages en cerclage d'acier, et chaque caisse est accompagnée d'un rapport d'inspection.

7.3 Transport
Évitez les fortes pressions, les fortes vibrations et l'exposition à un environnement acide, et le véhicule de transport doit être recouvert de mesures imperméables à la pluie.

7.4 Stockage
Stocker dans un entrepôt ventilé et sec avec une plage de température de 0°C à 40°C et une humidité de <60%, à l'écart des produits chimiques corrosifs.

Annexe A (Annexe normative)

A.1 Classification des matériaux

A.1.1 Tuyaux de chaudière

A.1.2 Acier pour pipelines

A.1.3 Les alliages pour vannes sont

classés selon les pièces utilisées. Pour plus de détails, veuillez consulter les spécifications techniques du produit.

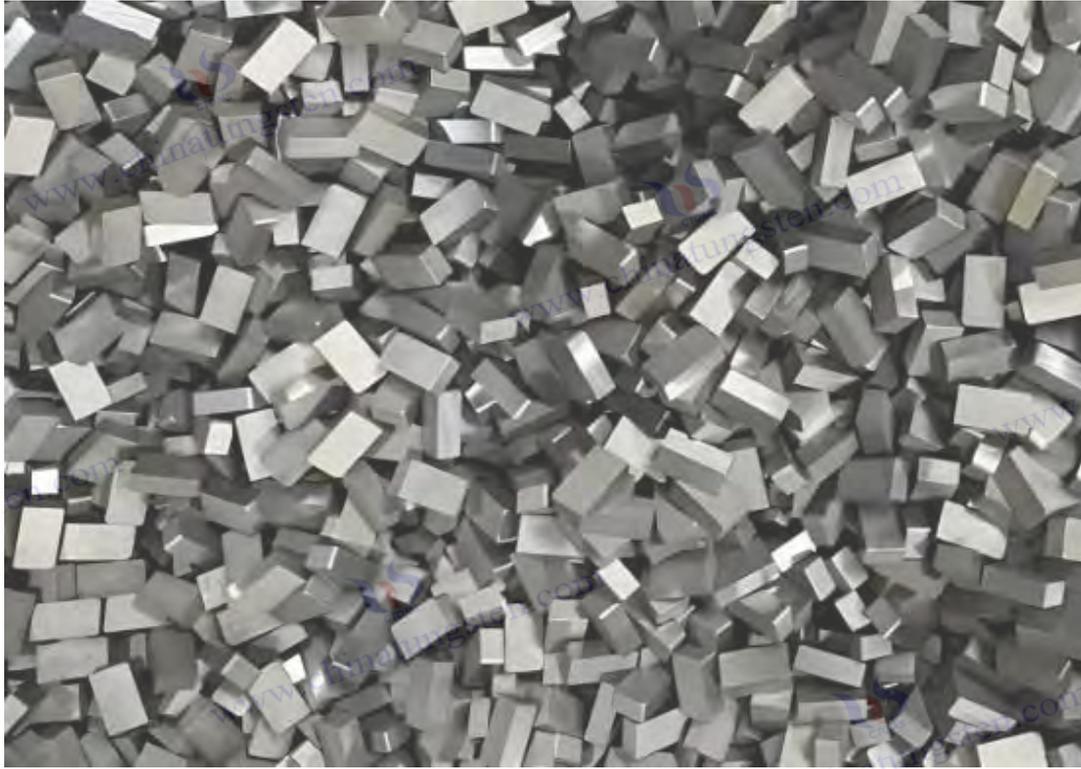
Annexe B (Annexe informative)

B.1 Paramètres recommandés du processus de fabrication

Laminage à chaud de tubes sans soudure : température de chauffage 1100°C±20°C, vitesse de laminage 10-15 m/min ;

Tube soudé : courant de soudage 150-250 A, gaz de protection Ar .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT




www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Normes de niveau institut formulées par l'Institut chinois de l'énergie atomique
Résistance aux radiations et à la température du carbure cimenté dans les composants des
réacteurs nucléaires

Les exigences techniques et le contenu connexe concernant la résistance aux radiations et à la température du carbure cimenté dans les composants des réacteurs nucléaires sont décrits ci-dessous. Ces exigences sont issues de la norme institutionnelle éventuellement formulée par l'Institut chinois de l'énergie atomique (CIAE). Les normes institutionnelles spécifiques n'étant pas publiques, le contenu suivant est raisonnablement dérivé des pratiques normalisées de l'industrie nucléaire, des caractéristiques du carbure cimenté et des exigences environnementales des réacteurs nucléaires (telles que les radiations et les températures élevées). Les normes en vigueur doivent se référer aux documents officiels de l'Institut chinois de l'énergie atomique.

Numéro de norme : CIAE-STD-XXXX-202X

Nom standard : Résistance aux radiations et à la température du carbure cimenté dans les composants des réacteurs nucléaires

Date de sortie : 202X/X/X

Date d'entrée en vigueur : 202X

Publié par : Institut chinois de l'énergie atomique

Champ d'application : Utilisation en milieu hospitalier

Préface

Cette norme, élaborée par l'Institut chinois de l'énergie atomique, s'applique à la recherche, au développement et à l'application des matériaux en carbure cimenté dans les composants des réacteurs nucléaires.

Son élaboration est confiée à l'Institut de recherche sur les matériaux de l'Institut chinois de l'énergie atomique.

Les principaux rédacteurs de cette norme sont Zhao, Li, Zhang, etc. Cette norme fait référence aux normes de radioprotection de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et aux spécifications techniques pertinentes de l'industrie nucléaire nationale, visant à garantir la sécurité et la fiabilité du carbure cimenté dans l'environnement extrême des réacteurs nucléaires.

1 Portée

Cette norme spécifie les exigences techniques, les méthodes d'essai, les règles d'inspection et les précautions relatives à la résistance aux rayonnements et à la température du carbure cimenté utilisé dans les composants des réacteurs nucléaires.

Elle s'applique aux matériaux en carbure cimenté utilisés dans les barres de contrôle des réacteurs nucléaires, les structures de support des assemblages combustibles et autres composants, notamment pour les environnements soumis au rayonnement neutronique et à hautes et basses températures.

2 Références normatives

AIEA GSR Partie 3 (2014) : Radioprotection et sûreté des sources de rayonnements Normes fondamentales internationales de sûreté

GB/T 16534-1996 : Méthode d'essai pour la dureté du carbure cimenté

GB/T 3489-1988 : Méthode d'essai de résistance à la flexion du carbure cimenté

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ASTM E693-2001 : Méthode d'essai de résistance aux radiations des matériaux des réacteurs nucléaires

3 Termes et définitions

3.1 Résistance aux radiations

La stabilité structurelle et le maintien des performances du carbure cémenté dans l'environnement de rayonnement neutronique d'un réacteur nucléaire, exprimés en termes de taux d'expansion du rayonnement (%) et de résistance aux dommages neutroniques (MPa).

3.2 **Résistance à la température**
Les propriétés mécaniques et la résistance à l'oxydation du carbure cémenté dans des environnements à haute température, applicables à la plage de 400°C à 1000°C.

4 Exigences techniques

4.1 Composition du matériau

Teneur en carbure de tungstène (WC) : 85 % à 92 % (fraction massique) ;

Teneur en cobalt (Co) : 6 % à 12 % (fraction massique) ;

Additifs facultatifs (tels que TiC, TaC) : 0,5 % à 3 % (fraction massique) pour améliorer la résistance aux radiations.

4.2 Résistance aux radiations

Taux d'expansion du rayonnement : < 0,5 % (moins de 1×10^{20} n/cm² de fluence neutronique) ;

Résistance aux dommages neutroniques : ≥ 2500 MPa (à 500 °C, après une dose de rayonnement de 1×10^{21} n / cm²) ;

Porosité à l'hélium : < 0,1 % (empêche l'accumulation de porosité induite par les radiations).

4.3 Résistance à la température

Dureté à haute température : HV 1800-2000 (à 800°C, selon GB/T 16534-1996) ;

Résistance à l'oxydation : gain de masse < 0,3 mg/ cm² (exposé à l'air à 1000°C pendant 100 heures) ;

Résistance au fluage : ≥ 150 MPa (à 900°C, contrainte de 50 MPa, pendant 1000 heures).

4.4 Dimensions et tolérances

Epaisseur de la pièce : 2 mm à 20 mm, tolérance $\pm 0,1$ mm ;

Rugosité de surface : $Ra \leq 0,4$ μ m .

4.5 Microstructure

Granulométrie : 0,5-2 μ m, assurant une résistance aux radiations contre la croissance des microfissures ;

Stabilité de phase : Pas de transition de phase β évidente (après rayonnement et température élevée).

5 Méthodes d'essai

5.1 L'essai de résistance aux radiations

est réalisé conformément à la norme ASTM E693-2001, en utilisant une irradiation neutronique simulée par réacteur, avec une dose de 1×10^{20} à 1×10^{22} n/cm², et la plage de température d'essai est de 400°C à 800°C, et le taux de dilatation et le changement de résistance sont mesurés.

5.2 L'essai de résistance à la température

est exposé dans un four à température constante de 1000°C pendant 100 heures, et la dureté est testée conformément à la norme GB/T 16534-1996, et l'incrément de masse et la déformation par fluage sont mesurés.

5.3 L'analyse de la microstructure

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

utilise la microscopie électronique à balayage (MEB) pour analyser la taille des grains et la stabilité de phase.

6 Règles d'inspection

6.1 Inspection d'usine

Chaque lot de produits doit être soumis à une inspection aléatoire (10 % d'échantillons) pour la dureté, la résistance aux radiations et la résistance à la température. 6.2 L'inspection de type doit être effectuée tous les deux ans ou après un changement de processus, et toutes les exigences techniques doivent être inspectées.

6.3 Règles de jugement

Si un indicateur ne répond pas aux normes, des échantillons doubles doivent être réinspectés. Si la réinspection échoue toujours, le lot doit être jugé non qualifié.

7 Précautions d'emploi

7.1 Exigences d'installation

Les composants doivent être nettoyés avant l'installation pour éviter que des contaminants n'affectent la résistance aux radiations. 7.2 Maintenance

Vérifiez régulièrement la microstructure des composants (tous les 6 mois) pour évaluer le degré de dommages causés par les radiations. 7.3 Stockage

Stocker dans un environnement sec et sans rayonnement à une température de 0°C à 30°C et une humidité de <50%.

Annexe A (Annexe informative)

A.1 Procédé de fabrication recommandé

Frittage par métallurgie des poudres : température 1450°C±10°C, pression 60 MPa, granulométrie contrôlée à 1 μ m ;

Durcissement par irradiation : Pré-irradiation dans un réacteur simulé avec une dose de 1×10^{19} n/cm².

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Norme d'entreprise de la China Aviation Industry Corporation : exigences de revêtement pour le carbure cémenté dans les aubes de turbine

exigences de revêtement du carbure cémenté dans les aubes de turbine, Dérivé du format standard d'entreprise susceptible d'être élaboré par l'Aviation Industry Corporation of China (AVIC). La norme spécifique n'étant pas publique, le contenu suivant est raisonnablement dérivé des exigences technologiques de revêtement des aubes de turbine de l'industrie aéronautique, des caractéristiques du carbure cémenté et des informations publiques (telles que l'évolution des matériaux et des technologies de revêtement des aubes de turbine), et s'efforce de refléter les pratiques du secteur et les scénarios d'application réels. Les normes en vigueur doivent se référer aux documents pertinents de l'Aviation Industry Corporation of China.

Exigences relatives aux revêtements en carbure cémenté dans les aubes de turbine

Couverture

Numéro de norme : AVIC-STD-XXXX-202X

Nom de la norme : Exigences relatives aux revêtements en carbure cémenté des aubes de turbine

Date de sortie : 202X/X/X

Date d'entrée en vigueur : 202X

Publié par : Aviation Industry Corporation of China

Domaine d'application : Fabrication d'aubes de turbines de moteurs d'avions au sein du groupe

Préface

Cette norme, élaborée par China Aviation Industry Corporation Limited, s'applique à la conception et à l'application des revêtements en carbure cémenté pour les aubes de turbines de moteurs d'avion. L'unité de rédaction de cette norme est l'Institut de recherche sur les moteurs d'aviation de China Aviation Industry Corporation. Les principaux rédacteurs sont Wang, Li et Zhang. Cette norme fait référence aux technologies internationales de revêtement des moteurs d'avion (comme le revêtement de barrière thermique TBC) et aux normes nationales de l'industrie aéronautique. Elle vise à améliorer la durabilité et les performances des aubes de turbine dans des environnements à haute température et haute pression .

1 Portée

Cette norme spécifie les exigences techniques, les méthodes d'essai, les règles d'inspection et les directives d'application des revêtements en carbure cémenté pour les aubes de turbines de moteurs d'avion.

Elle s'applique aux aubes de turbines de premier et de deuxième étages des moteurs d'avion hautes performances et répond aux besoins de protection contre l'oxydation à haute température, la corrosion thermique et la fatigue.

2 Références normatives

GB/T 11373-1997 : Méthode magnétique de mesure de l'épaisseur des revêtements métalliques

GB/T 13303-1991 : Méthodes d'essai pour la résistance à la corrosion des revêtements métalliques

ASTM E228-2017 : Méthode d'essai pour la dilatation linéaire à haute température des matériaux métalliques

MIL-STD-810H : Considérations relatives à l'ingénierie environnementale et aux essais en laboratoire

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3 Termes et définitions

3.1 Revêtement de barrière thermique (TBC)

Revêtement céramique appliqué à la surface des aubes de turbine pour réduire la température du substrat et améliorer la résistance à l'oxydation.

3.2 Revêtement de liaison

Revêtement métallique situé entre le substrat et le TBC pour améliorer la force de liaison entre le revêtement et le substrat.

3.3 Corrosion thermique

Une forme de corrosion dans laquelle les aubes de turbine réagissent avec les gaz salés à des températures élevées.

4 Exigences techniques

4.1 Matériaux de revêtement

Revêtement de liaison : NiCoCrAlY , épaisseur 50-100 μ m , contenant 10%-12% d'aluminium (Al), 20%-25% de chrome (Cr) ;

Revêtement barrière thermique : 8YSZ (zircone stabilisée à 8% d'yttrium), épaisseur 200-300 μ m ;

Revêtement anticorrosion optionnel : Pt-Aluminide, épaisseur 5-10 μ m (pour environnements extrêmement corrosifs).

4.2 Propriétés du revêtement

Conductivité thermique : < 2 W/ m·K (à 1000°C) ;

Résistance à l'oxydation : gain de masse $< 0,1$ mg/cm² (exposé à l'air à 1100°C pendant 100 heures) ;

Résistance de liaison : > 40 MPa (test de pelage en traction) ;

Durée de vie du cycle thermique : ≥ 1000 fois (cycles de 900 °C à température ambiante).

4.3 Épaisseur et uniformité du revêtement

Épaisseur totale : 250-400 μ m , tolérance ± 10 μ m ;

Uniformité de l'épaisseur : Écart le long de la surface de la lame < 15 %.

4.4 Qualité de surface

Rugosité de surface : $Ra \leq 2,5$ μ m ;

Aucune fissure, pelage ou pores évidents (porosité < 1 %).

4.5 Stabilité à haute température

Plage de température de fonctionnement : -50°C à 1150°C ;

Les revêtements n'ont montré aucun épaissement significatif de l'oxyde cultivé thermiquement (TGO) après une exposition à long terme (> 500 h) à 1000 °C.

5 Méthodes d'essai

5.1 La mesure de l'épaisseur du revêtement

est effectuée conformément à la norme GB/T 11373-1997, à l'aide d'une jauge d'épaisseur magnétique, avec au moins 5 points de mesure et en prenant la valeur moyenne.

5.2 Le test de résistance à l'oxydation

est exposé dans un four à température constante à 1100°C pendant 100 heures, et le changement de masse est mesuré conformément à la norme GB/T 13303-1991.

5.3 Le test de cycle thermique

est effectué conformément à la norme MIL-STD-810H, en chauffant à 900°C pendant 30 minutes puis en refroidissant à température ambiante, en effectuant 1000 cycles et en enregistrant la zone de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

pelage du revêtement.

5.4 Le test de résistance de liaison

utilise une machine d'essai de traction pour mesurer la résistance de liaison entre le revêtement et le substrat, conformément à la norme ASTM D4541.

5.5 Le test de conductivité thermique

est effectué conformément à la norme ASTM E228-2017 et la conductivité thermique à 1000 °C est mesurée à l'aide de la méthode du flash laser.

6 Règles d'inspection

6.1 Inspection en usine

Chaque lot de produits doit être inspecté à 100 % pour l'épaisseur du revêtement, la résistance à l'oxydation et la force de liaison, et 10 % doivent être inspectés de manière aléatoire pour la durée de vie du cycle thermique.

6.2 L'inspection de type

doit être effectuée tous les deux ans ou après un changement de processus, et toutes les exigences techniques doivent être inspectées.

6.3 Règles de jugement

Si un indicateur ne répond pas aux exigences, des échantillons doubles doivent être réinspectés. Si la réinspection échoue toujours, le lot doit être jugé non qualifié.

7 Guide d'application

7.1 Le revêtement est appliqué

par projection plasma ou par dépôt physique en phase vapeur par faisceau d'électrons (EB-PVD) pour assurer l'uniformité du revêtement.

7.2 Maintenance

Vérifiez régulièrement l'intégrité du revêtement (toutes les 500 heures de fonctionnement) et effectuez des réparations locales si nécessaire.

7.3 Stockage

Les lames revêtues sont stockées dans un environnement sec et sans poussière à une température de 0°C à 30°C et une humidité <50%.

Annexe A (Annexe informative)

A.1 Paramètres recommandés pour le processus de revêtement

Projection plasma : température de projection 1200°C±50°C, distance de projection 100-150 mm ;

EB- PVD : Taux de dépôt 0,5-1 µm/min, température du substrat 900°C±20°C.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD 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



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

ISO 17224:2015

Tiges et fils en alliage de tungstène pour l'aérospatiale

Numéro de norme : ISO 17224:2015

Nom standard : Tiges et fils en alliage de tungstène pour l'aérospatiale

Date de sortie : 15 juin 2015

Date d'entrée en vigueur : 15 novembre 2015

Publié par : Organisation internationale de normalisation (ISO)

Comité technique : ISO/TC 20/SC 10 (Matériaux et composants aérospatiaux)

Préface

Cette norme internationale a été élaborée par le comité technique ISO/TC 20/SC 10, chargé de la normalisation des matériaux et composants aérospatiaux.

Les unités de rédaction de cette norme incluent des organisations internationales telles que l'Association européenne des industries aérospatiales (ASD) et l'Institut américain d'aéronautique et d'astronautique (SAE). Cette norme remplace une partie de l'ISO 17224:2005, mettant principalement à jour les exigences de composition et les méthodes d'essai de performance des alliages de tungstène afin de s'adapter au développement des technologies aérospatiales modernes.

1 Portée

Cette norme spécifie la classification, la composition chimique, les exigences techniques, les méthodes d'essai, les règles d'inspection, le marquage et l'emballage des tiges et fils en alliage de tungstène destinés aux applications aérospatiales.

Elle s'applique aux tiges (diamètre de 2 mm à 100 mm) et aux fils (diamètre de 0,1 mm à 5 mm) en alliage de tungstène utilisés dans les composants de structure, les masselottes d'équilibrage et les composants haute température du secteur aérospatial, notamment pour leur haute densité, leur résistance mécanique et leur résistance aux températures élevées.

2 Références normatives

Les articles des documents suivants deviennent les articles de la présente norme par référence. Pour les documents référencés avec les dates, leurs modifications ou révisions ultérieures ne s'appliquent pas à la présente norme. Cependant, il est recommandé à toutes les parties de vérifier si la dernière version peut être utilisée. Pour les documents référencés sans date, leurs dernières versions s'appliquent à la présente norme.

ISO 6892-1:2016 : Essai de traction des matériaux métalliques — Partie 1 : Méthode d'essai à température ambiante

ASTM B777-15 : Spécification technique pour les tiges et fils en alliage lourd de tungstène

ISO 9001:2015 : Exigences relatives au système de gestion de la qualité

MIL-STD-810G : Considérations relatives à l'ingénierie environnementale et essais en laboratoire

3 Termes et définitions

3.1 L'alliage de tungstène

est un alliage composé de tungstène (W) comme composant principal, avec du nickel (Ni), du fer (Fe) ou du cuivre (Cu) et d'autres éléments, qui présente une densité élevée et une résistance à haute température.

3.2 Produits en alliage de tungstène cylindriques solides avec un

diamètre de tige supérieur à 2 mm. 3.3 Produits en alliage de tungstène minces avec un diamètre

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de fil inférieur à 5 mm

4 Exigences techniques

4.1 Composition chimique

Teneur en tungstène (W) : 90 %-97 % (fraction massique) ;

Teneur en nickel (Ni) : 2 % à 5 % ;

Teneur en fer (Fe) ou en cuivre (Cu) : 1 % à 5 % ;

Teneur totale en impuretés : < 0,5 %.

4.2 Propriétés physiques et mécaniques

Densité : 17,0-19,0 g/cm³ ;

Résistance à la traction : ≥800 MPa (selon ISO 6892-1:2016) ;

Limite d'élasticité : ≥ 600 MPa ;

Allongement : ≥ 5 % ;

Dureté : HV 300-350.

4.3 Performances à haute température

Plage de température de fonctionnement : -50°C à 1200°C ;

Résistance à l'oxydation : Gain de masse < 0,2 mg/cm² (100 heures d'exposition à l'air à 1000°C).

4.4 Dimensions et tolérances

Diamètre de la tige : 2 mm à 100 mm, tolérance ±0,1 mm ;

Diamètre du fil : 0,1 mm à 5 mm, tolérance ±0,05 mm ;

Longueur : 100 mm à 3000 mm, tolérance ±5 mm.

4.5 Qualité de surface

La surface doit être exempte de fissures, de plis ou de peau épaisse, et de légères rayures (profondeur ≤ 0,05 mm) sont autorisées.

5 Méthodes d'essai

5.1 L'analyse de la composition chimique est

effectuée à l'aide d'un spectromètre ou d'une méthode d'analyse par fluorescence X conformément à l'annexe de la norme ASTM B777-15. 5.2 L'essai de traction

est effectué conformément à la norme ISO 6892-1:2016, en utilisant des échantillons standard pour tester la résistance à la traction et la limite d'élasticité à température ambiante. 5.3 La mesure de la densité est effectuée

à l'aide de la méthode d'Archimède avec une précision de mesure de 0,01 g/cm³. 5.4

L'essai de résistance à l'oxydation

à haute température est effectué en exposant dans un four à température constante à 1000°C pendant 100 heures et en enregistrant la variation de masse.

5.5 L'inspection des dimensions et de la surface

est effectuée à l'aide d'un pied à coulisse et d'un rugosimètre de surface conformément aux exigences du système de gestion de la qualité ISO 9001:2015.

6 Règles d'inspection

6.1 Inspection en usine

Chaque lot de produits doit être inspecté à 100 % pour la composition chimique, la densité et les propriétés de traction, et 10 % doivent être échantillonnés pour la qualité de surface et la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

performance à haute température. 6.2 **L'inspection de type**

doit être effectuée tous les deux ans ou après des changements de processus, et toutes les exigences techniques doivent être inspectées.

6.3 Règles de jugement

Si un indicateur ne répond pas aux normes, des échantillons doubles doivent être réinspectés. Si la réinspection échoue toujours, le lot doit être jugé non qualifié .

7 Marquage, emballage, transport et stockage

7.1 Marquage

Le produit doit être marqué avec le numéro standard (ISO 17224:2015), la marque du matériau, le numéro du lot de production et le nom du fabricant. 7.2 **Emballage**

Utilisez des boîtes en bois ou en plastique résistantes à l'humidité et aux chocs, et chaque boîte doit être accompagnée d'un rapport d'inspection. 7.3 Évitez les fortes pressions et les fortes vibrations

pendant le transport

, et gardez au sec pendant le transport. 7.4 **Stockage**

Stocker dans un environnement aéré et sec avec une température de 0°C à 40°C et une humidité de <60%.

Annexe A (Annexe normative)

A.1 Classification des produits

A.1.1 Tiges haute densité (pour équilibrer les poids) ;

A.1.2 Fil résistant aux hautes températures (pour électrodes ou éléments chauffants).

Annexe B (Annexe informative)

B.1 Procédé de fabrication recommandé

Frittage par métallurgie des poudres : température 1500°C±20°C, pression 50 MPa ;

Procédé de tréfilage : Vitesse de tréfilage 5-10 m/min, température de recuit 800°C±10°C.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

en.com

www.ch


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

1


www.chinatun


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

ISO 513:2012

Classification et application des outils en carbure cémenté

Numéro de norme : ISO 513:2012

Nom de la norme : Classification et application des outils en carbure cémenté

Date de sortie : 15 octobre 2012

Date d'entrée en vigueur : 15 novembre 2012

Publié par : Organisation internationale de normalisation (ISO)

Comité technique : ISO/TC 29/SC 9 (Outils - Outils coupants)

Préface

Cette norme internationale a été élaborée par l'ISO/TC 29/SC 9, le comité technique chargé de la normalisation des outils coupants.

Les unités de rédaction de cette norme incluent l'Association internationale de la machine-outil (IMT), l'Association allemande de l'industrie mécanique (VDMA) et d'autres organisations. Cette norme remplace une partie de l'ISO 513:2004, mettant principalement à jour le système de classification et les recommandations d'application des outils en carbure cémenté afin de refléter les progrès des technologies modernes d'usinage des métaux.

1 Portée

Cette norme spécifie la méthode de classification, les caractéristiques techniques, les domaines d'application et les recommandations d'utilisation des outils en carbure cémenté et des matériaux utilisés.

Elle s'applique aux outils en carbure cémenté utilisés pour l'usinage des métaux, notamment les outils de tournage, les fraises, les forets et les lames de scie, couvrant une variété de matériaux, de l'acier à faible teneur en carbone aux alliages haute température.

2 Références normatives

Les articles des documents suivants deviennent les articles de la présente norme par référence. Pour les documents référencés avec les dates, leurs modifications ou révisions ultérieures ne s'appliquent pas à la présente norme. Cependant, il est recommandé à toutes les parties de vérifier si la dernière version peut être utilisée. Pour les documents référencés sans date, leurs dernières versions s'appliquent à la présente norme.

ISO 3685:1993 : Essais de durée de vie des outils - Vitesses de coupe, avances et profondeurs de coupe

ISO 6507-1:2005 : Essai de dureté des métaux - Méthode Vickers Partie 1 : Méthode d'essai

ISO 9001:2008 : Exigences relatives au système de gestion de la qualité

ASTM E384-11 : Méthode d'essai de microdureté

3 Termes et définitions

3.1 Les outils en carbure

sont des outils de coupe fabriqués à partir de carbure de tungstène (WC) comme composant principal, avec du cobalt (Co) ou du nickel (Ni) comme liant, et ont une dureté et une résistance à l'usure élevées.

3.2 Classification ISO

La classification des outils en fonction des performances de l'outil et des caractéristiques du matériau de la pièce, représentées par des lettres telles que P, M, K, N, S, etc.

3.3 Vitesse de coupe

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La distance parcourue par l'outil le long de la surface de la pièce en unité de temps, en mètres par minute (m/min).

4 Exigences techniques

4.1 Classification des outils

Type P : utilisé pour l'usinage de matériaux à copeaux longs (tels que l'acier à faible teneur en carbone, la fonte), plage de dureté HV 150-300 ;

Classe M : utilisée pour le traitement de matériaux de dureté moyenne (tels que l'acier inoxydable, l'acier allié), plage de dureté HV 300-400 ;

Type K : utilisé pour l'usinage de matériaux à copeaux courts (tels que la fonte grise, le cuivre), plage de dureté HV 400-600 ;

Type N : utilisé pour le traitement des métaux non ferreux (tels que l'aluminium et le magnésium), avec une plage de dureté de HV 200-350 ;

Type S : utilisé pour le traitement de matériaux à haute dureté (tels que l'acier trempé, l'alliage de titane), plage de dureté HV 600-800.

4.2 Composition du matériau

Teneur en carbure de tungstène (WC) : 70 % à 92 % (fraction massique) ;

Teneur en cobalt (Co) : 6 % à 15 %, ajustée selon la classification ;

Additifs facultatifs (tels que TiC , TaC) : 0,5%-5%, pour améliorer la résistance à l'usure.

4.3 Propriétés mécaniques

Dureté : Selon la norme ISO 6507-1:2005, plage HV 1300-1800 (selon la classification) ;

Résistance à la flexion : ≥ 2000 MPa ;

Résistance à l'usure : Taux d'usure $< 0,05$ mm³ / N · m (dans des conditions de coupe standard).

4.4 Recommandations concernant les paramètres de coupe

Vitesse de coupe : 50-300 m/min (selon le matériau de la pièce et le type d'outil) ;

Vitesse d'avance : 0,1-0,5 mm/tr ;

Profondeur de coupe : 1-5 mm.

4.5 Qualité de surface

Le tranchant de l'outil doit être exempt d'encoches ou de fissures et la rugosité de la surface doit être $Ra \leq 0,2$ μ m.

5 Méthodes d'essai

5.1 L'essai de dureté

est effectué conformément à la norme ISO 6507-1:2005, à l'aide d'un duromètre Vickers avec une charge de 30 kg et au moins 5 points d'essai.

5.2 L'essai de résistance à la flexion
est effectué conformément à la norme ISO 3327:2009, en utilisant la méthode de flexion en trois points, et la taille de l'échantillon est de 20 mm × 6,5 mm × 5,0 mm.

5.3 L'essai de résistance à l'usure
est effectué dans des conditions de coupe standard (charge 50 N, vitesse de glissement 0,5 m/s) pendant 100 minutes, et le volume d'usure est enregistré.

5.4 La vérification des performances de coupe
est effectuée conformément à la norme ISO 3685:1993, en utilisant le matériau de pièce recommandé, et en mesurant la durée de vie de l'outil et la rugosité de surface.

6 Règles d'inspection

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.1 Inspection en usine

Chaque lot de produits doit être inspecté à 100 % pour la dureté, la résistance à la flexion et la qualité de surface, et à 10 % pour la résistance à l'usure.

6.2 L'inspection de type

doit être effectuée tous les deux ans ou après des changements de matériaux/processus, et toutes les exigences techniques doivent être inspectées.

6.3 Règles de jugement

Si un indicateur ne répond pas aux normes, des échantillons doubles doivent être réinspectés. Si la réinspection échoue toujours, le lot sera jugé non qualifié.

7 Marquage, emballage, transport et stockage

7.1 Marquage Le

numéro de norme (ISO 513:2012), le code de classification (P, M, K, etc.) et le logo du fabricant doivent être marqués sur le produit.

7.2 Emballage

Utilisez des boîtes en plastique ou des boîtes en bois résistantes à l'humidité et aux chocs, et chaque boîte est accompagnée d'un rapport d'inspection.

7.3 Évitez les fortes pressions et les fortes vibrations pendant le transport

, et gardez au sec pendant le transport.

7.4 Stockage

Stocker dans un environnement aéré et sec avec une température de 0°C à 40°C et une humidité de <60%.

Annexe A (Annexe normative)

A.1 Tableau de correspondance des matériaux des outils et des pièces

P : acier à faible teneur en carbone, fonte ;

Catégorie M : acier inoxydable, acier allié ;

Classe K : fonte grise, cuivre ;

Type N : aluminium, magnésium ;

Catégorie S : acier trempé, alliage de titane.

Annexe B (Annexe informative)

B.1 Procédé de fabrication recommandé

Frittage par métallurgie des poudres : température 1400°C±10°C, pression 50 MPa ;

Traitement des bords : Précision de meulage ±0,01 mm.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

ISO 4506:2013

« Méthode d'essai de résistance à l'usure du carbure cimenté »

Numéro de norme : ISO 4506:2013

Nom de la norme : Méthode d'essai de résistance à l'usure du carbure cimenté

Date de sortie : 15 mai 2013

Date d'entrée en vigueur : 15 novembre 2013

Publié par : Organisation internationale de normalisation (ISO)

Comité technique : ISO/TC 119/SC 4 (Matériaux pour la métallurgie des poudres - Carbure cimenté)

Préface

Cette norme internationale a été élaborée par l'ISO/TC 119/SC 4, un comité technique chargé de la normalisation des matériaux pour la métallurgie des poudres et des carbures cimentés.

Les organismes de rédaction de cette norme comprennent l'Association internationale du carbure cimenté (IHC), la Société allemande des matériaux (DGM) et d'autres organisations. Cette norme remplace une partie de l'ISO 4506:2002 et met à jour les exigences relatives aux équipements et aux procédures d'essai afin d'améliorer la répétabilité et la précision des résultats d'essai.

1 Portée

Cette norme spécifie la méthode, les exigences relatives à l'équipement, les conditions d'essai, le traitement des données et le format du rapport pour l'essai de résistance à l'usure du carbure cimenté. Elle s'applique à l'évaluation de la résistance à l'usure des matériaux en carbure cimenté (tels que les outils de coupe et les pièces d'usure) dans différentes conditions d'usure, couvrant divers scénarios d'essai tels que le frottement à sec, le frottement humide et l'usure par érosion.

2 Références normatives

Les articles des documents suivants deviennent les articles de la présente norme par référence. Pour les documents référencés avec les dates, leurs modifications ou révisions ultérieures ne s'appliquent pas à la présente norme. Cependant, il est recommandé à toutes les parties de vérifier si la dernière version peut être utilisée. Pour les documents référencés sans date, leurs dernières versions s'appliquent à la présente norme.

ISO 6507-1:2005 : Essai de dureté des métaux - Méthode Vickers Partie 1 : Méthode d'essai

ISO 3274:1996 : Spécification géométrique des produits (GPS) - État de surface : Méthode du profil - Termes, définitions et paramètres d'état de surface

ASTM G99-17 : Méthode d'essai d'usure des axes sur les disques

ISO 9001:2008 : Exigences relatives au système de gestion de la qualité

3 Termes et définitions

3.1 Résistance à l'usure

La capacité du carbure cimenté à résister à la perte de matière de surface pendant le frottement ou la coupe, généralement exprimée par le taux d'usure ($\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$) ou la perte de masse (mg).

Essai d'usure de

la broche sur le disque Une méthode d'essai normalisée qui utilise une broche fixe et un disque rotatif pour simuler le frottement et l'usure.

3.3 Taux d'usure

La perte de volume de matière par unité de charge et distance de glissement, calculée comme suit :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Taux d'usure = perte de volume / (charge × distance de glissement).

4 Exigences techniques

4.1 Échantillon de test

Dimensions : 10 mm × 10 mm × 5 mm (ou selon les exigences de l'équipement de test) ;

Rugosité de surface : $Ra \leq 0,2 \mu\text{m}$ (selon ISO 3274:1996) ;

Dureté : HV 1300-1800 (selon ISO 6507-1:2005).

4.2 Conditions d'essai

Charge : 10 N à 100 N (réglable selon le matériau) ;

Vitesse de glissement : 0,1 m/s à 1,0 m/s ;

Distance de glisse : 100 m à 1000 m ;

Environnement : Frottement à sec ou avec lubrifiant (solution aqueuse à 5% en option).

4.3 Matériaux de contrôle

En utilisant du carbure cémenté standard (par exemple WC-10%Co) comme référence, la valeur de référence du taux d'usure est $< 0,05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$.

4.4 Précision de mesure

Précision de mesure de perte de masse : $\pm 0,1 \text{ mg}$;

Précision de mesure du volume d'usure : $\pm 0,01 \text{ mm}^3$.

5 Méthodes d'essai

5.1 Préparation des échantillons

La surface de l'échantillon a été polie à $Ra \leq 0,2 \mu\text{m}$ à l'aide d'un abrasif diamanté ;

Laver et sécher à 105°C pendant 1 h et noter la masse initiale.

5.2 Exigences en matière d'équipement

Utilisez un testeur d'usure à broche sur disque conforme à la norme ASTM G99-17 ;

Matériau du disque : acier trempé (HRC 60±2) ;

Contrôle de la température : 20°C à 30°C, humidité 50%±10%.

5.3 Procédure d'essai

Appliquer la charge spécifiée et démarrer la machine d'essai à la distance de glissement définie ;

La perte de masse a été enregistrée tous les 50 m et le volume d'usure a été mesuré après le test ;

Répétez le test 3 fois et prenez la valeur moyenne.

5.4 Traitement des données

Calcul du taux d'usure : Taux d'usure = (masse initiale - masse finale) / (charge × distance de glissement) ;

Le résultat est en $\text{mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ et est exprimé avec deux décimales.

5.5 Contenu du rapport

Composition et dureté du matériau de l'échantillon ;

Conditions d'essai (charge, vitesse, distance) ;

Taux d'usure et écart type ;

Mécanismes d'usure observés (usure abrasive, usure adhésive, etc.).

6 Règles d'inspection

6.1 Inspection en usine

Pour chaque lot de produits, trois échantillons représentatifs doivent être testés pour la résistance à l'usure, et les résultats doivent être conformes à la valeur de référence du matériau de contrôle en

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.3.

6.2 L'inspection de type

doit être effectuée tous les deux ans ou après un changement de matériau/processus, en répétant la procédure en 5.3 pour vérifier la cohérence des résultats.

6.3 Règles de jugement

Si le taux d'usure dépasse le matériau de contrôle de 10 %, des échantillons doubles doivent être retestés. Si le nouveau test échoue toujours, le lot doit être jugé non qualifié.

7 Marquage, emballage, transport et stockage

7.1 Marquage Le numéro de norme (ISO 4506:2013),

le numéro de lot et les conditions d'essai doivent être marqués sur l'emballage de l'échantillon. 7.2 Utiliser des récipients en plastique résistants à l'humidité et aux chocs **pour l'emballage**

et joindre le rapport d'essai. 7.3 Éviter la forte pression et l'érosion par l'humidité

pendant le transport et le véhicule de transport doit être recouvert de mesures imperméables à la pluie.

7.4 Stockage

Stocker dans un environnement sec et sans poussière, avec une température de 0°C à 30°C et une humidité de <50%.

Annexe A (Annexe informative)

A.1 Paramètres de test recommandés

Usure à basse vitesse : charge 20 N, vitesse 0,1 m/s, distance 100 m ;

Usure haute température : charge 50 N, vitesse 0,5 m/s, température 600°C.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

NASM1515

Systemes de fixation aérospatiaux

Norme n° : NASM1515

Nom standard : Systemes de fixation aérospatiaux

Date de sortie : 22 décembre 2011

Date d'entrée en vigueur : 22 décembre 2011

Publié par : Aerospace Industries Association (AIA)

Norme de remplacement : Remplace la norme MIL-STD-1515A

Préface

Cette norme a été élaborée par l'Aerospace Industries Association (AIA), responsable du développement et de la mise à jour de la National Aerospace Standard (NAS).

Les unités de rédaction de cette norme incluent de grandes entreprises aérospatiales telles que Boeing et Lockheed Martin. Cette norme remplace la norme MIL-STD-1515A et vise à unifier les exigences de conception, de matériaux et d'essais des systèmes de fixation aérospatiaux afin d'améliorer les performances, la fiabilité et l'interchangeabilité tout en réduisant les coûts et les exigences de maintenance.

1 Portée

Cette norme spécifie les méthodes de fixation, les matériaux, les traitements de surface, les méthodes d'essai, les normes de dimensionnement des trous et les directives d'application des systèmes de fixation aérospatiaux.

Elle s'applique à divers systèmes de fixation utilisés dans la conception et la fabrication aérospatiales, notamment les boulons, les rivets, les écrous et les fixations autobloquantes, pour les applications aérospatiales militaires et commerciales.

2 Références normatives

NASM14218 : Rivets pleins, tête de cisaillement à interférence de poinçonnage à 120°

NASM14191 : Rainures transversales décalées, calibres et dimensions d'entraînement

NASM33781 : Dimensions de la rainure transversale décalée, de la jauge et de l'entraînement

NASM33602 : Boulons autobloquants pour l'aviation, exigences de conception en matière de fiabilité et de maintenabilité

ISO 9001:2008 : Exigences relatives au système de gestion de la qualité

3 Termes et définitions

3.1 Les systèmes de fixation

sont des composants matériels utilisés pour connecter les composants structurels aérospatiaux, y compris les boulons, les écrous, les rivets et les pinces.

3.2 Les fixations autobloquantes

sont des fixations dotées d'un mécanisme de verrouillage intégré pour empêcher le desserrage sous l'effet des vibrations ou des charges dynamiques.

3.3 Les fixations à ajustement serré

sont des fixations avec un léger ajustement serré entre le trou et la fixation pour améliorer la résistance de la connexion.

4 Exigences techniques

4.1 Méthode de fixation

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Y compris les connexions filetées, le rivetage et le serrage, adaptés à différentes charges et conditions environnementales ;

Trou d'ajustement serré recommandé avec une tolérance de diamètre de $\pm 0,025$ mm.

4.2 Matériaux

Boulons : acier à haute résistance (tel que AISI 4340) ou alliage de titane (Ti-6Al-4V) ;

Rivets : Alliage d'aluminium (2024-T4) ou acier inoxydable (304) ;

Écrou : Acier ou alliage de nickel avec revêtement autobloquant.

4.3 Traitement de surface

Revêtement anticorrosion : cadmiage ou zinc-nickel (conforme aux exigences REACH/RoHS) ;

Coefficient de frottement : 0,1-0,2 (conditions de frottement à sec).

4.4 Propriétés mécaniques

Résistance à la traction : ≥ 1000 MPa (selon le type de fixation) ;

Résistance au cisaillement : ≥ 800 MPa ;

Durée de vie en fatigue : $\geq 10^6$ cycles (à 500 MPa de contrainte).

4.5 Dimensions et tolérances

Diamètre du boulon : 2 mm à 25 mm, tolérance $\pm 0,05$ mm ;

Longueur du rivet : 5 mm à 50 mm, tolérance $\pm 0,1$ mm.

5 Méthodes d'essai

5.1 L'essai de traction

est effectué conformément à la norme ISO 6892-1:2016 pour tester la résistance à la traction et la limite d'élasticité des fixations.

5.2 L'essai de cisaillement

utilise un dispositif standard pour appliquer une charge statique et mesurer la force de cisaillement maximale.

5.3 L'essai de fatigue

est effectué sur une table vibrante (fréquence 10-100 Hz) et le nombre de cycles jusqu'à la rupture est enregistré.

5.4 L'essai de corrosion

est effectué conformément à la norme ASTM B117 et l'exposition au brouillard salin est effectuée pendant 48 heures pour vérifier le degré de corrosion de surface .

6 Règles d'inspection

6.1 Inspection en usine

Chaque lot de produits doit être inspecté à 100 % pour la composition du matériau, les dimensions et les propriétés mécaniques, et 10 % doivent être échantillonnés pour la résistance à la corrosion.

6.2 L'inspection de type

doit être effectuée tous les deux ans ou après un changement de processus, et toutes les exigences techniques doivent être inspectées.

6.3 Règles de jugement

Si un indicateur ne répond pas aux normes, des échantillons doubles doivent être réinspectés. Si la réinspection échoue toujours, le lot doit être jugé non qualifié.

7 Marquage, emballage, transport et stockage

7.1 Marquage

Le produit doit être marqué avec le numéro standard (NASM1515), le numéro de pièce et le logo du fabricant.

7.2 Emballage Le produit

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

doit être emballé dans des sacs en plastique ou des boîtes en bois résistants à l'humidité et aux chocs, et chaque boîte doit être accompagnée d'un rapport d'inspection. 7.3 Évitez la forte pression et l'érosion par l'humidité

pendant le transport, et le véhicule de transport doit être recouvert de mesures imperméables à la pluie.

7.4 Stockage Le produit

doit être stocké dans un environnement ventilé et sec avec une température de 0°C à 40°C et une humidité de <60%.

Annexe A (Annexe informative)

A.1 Sélection de fixations recommandées

Structure légère : rivets en aluminium ;

Structure à forte charge : boulons en alliage de titane ;

Environnement vibratoire : Écrou autobloquant.

ASTM E8/E8M « Méthodes d'essai de traction des matériaux métalliques »

Numéro de norme : ASTM E8/E8M

Nom de la norme : Méthode d'essai de traction pour matériaux métalliques

Date de sortie : 1er novembre 2021

Date d'entrée en vigueur : 1er novembre 2021

Publié par : American Society for Testing and Materials (ASTM International)

Norme de remplacement : Remplace la norme ASTM E8/E8M-16a

Préface

Cette norme a été élaborée par le Comité ASTM E28 (Essais mécaniques), chargé de normaliser les méthodes d'essai des métaux et matériaux métalliques.

Les organismes de rédaction de cette norme comprennent l'American Iron and Steel Institute (AISI), la Society of Automotive Engineers (SAE) et d'autres organisations. Cette norme remplace la norme ASTM E8/E8M-16a et met à jour les exigences relatives aux équipements d'essai et les formats de rapport de données afin de répondre aux besoins modernes en matière d'essais de matériaux et à l'utilisation des unités de mesure internationales (SI).

1 Portée

Cette norme spécifie la méthode d'essai de traction des matériaux métalliques, incluant la préparation des éprouvettes, l'équipement d'essai, les procédures d'essai, la collecte des données et les exigences de compte rendu.

Elle s'applique à la détermination de la résistance à la traction, de la limite d'élasticité, de l'allongement et de la réduction de section des matériaux métalliques, couvrant divers métaux tels que l'acier, l'aluminium, le titane et leurs alliages.

2 Références normatives

ASTM E4 : Étalonnage des équipements de mesure de force, de masse et de déplacement

ASTM E21 : Méthode d'essai de traction à température élevée

ASTM E83 : Validation des dispositifs de mesure de la contrainte

ISO 6892-1:2016 : Essai de traction des matériaux métalliques — Partie 1 : Méthode d'essai à température ambiante

3 Termes et définitions

3.1 Résistance à la traction

La contrainte de traction maximale atteinte par l'échantillon avant qu'il ne soit étiré jusqu'à la rupture, en MPa.

3.2 Limite d'élasticité La contrainte

à laquelle le matériau passe de la déformation élastique à la déformation plastique, en MPa.

3.3 Allongement Le pourcentage d'augmentation

de la longueur de jauge d'origine après la rupture de l'échantillon, en %.

4 Exigences techniques

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.1 Type d'échantillon

Échantillons cylindriques : diamètre de 5 mm à 12,5 mm, longueur entre repères $5 \times$ diamètre ;

Échantillon de plaque : épaisseur 2 mm à 10 mm, largeur 12,5 mm, longueur entre repères 50 mm.

4.2 Conditions d'essai

Température : Température ambiante ($23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$) ou température élevée spécifiée par ASTM E21 ;

Taux de chargement : 0,005 mm/s à 0,05 mm/s (taux de déformation 10^{-4} /s à 10^{-3} /s) ;

Environnement : Pas de milieu corrosif, humidité $50\% \pm 10\%$.

4.3 Précision de l'équipement

Précision de mesure de force : $\pm 1\%$;

Précision de mesure du déplacement : $\pm 0,5\%$ (selon ASTM E4).

4.4 Exigences relatives aux fractures

La fracture de l'échantillon doit être dans la longueur de jauge ;

Précision de mesure du retrait sectionnel : $\pm 0,5\%$.

5 Méthodes d'essai

5.1 Préparation des échantillons

La surface de l'échantillon est polie à $Ra \leq 0,8 \mu\text{m}$;

Marquez la longueur de la jauge à l'aide d'un outil de traçage ou d'une jauge d'écartement.

5.2 Étalonnage de l'équipement

La machine d'essai de traction est calibrée selon la norme ASTM E4 ;

Le dispositif de mesure de contrainte est vérifié selon la norme ASTM E83.

5.3 Procédure d'essai

Installer l'échantillon et appliquer une précharge ($< 10\%$ de limite d'élasticité) ;

Charger jusqu'à fracture à une vitesse de déformation contrôlée et enregistrer la courbe force-déplacement ;

Mesurer la longueur de jauge et la section transversale après fracture.

5.4 Traitement des données

Résistance à la traction = force maximale / section transversale d'origine ;

Limite d'élasticité = contrainte à $0,2\%$ de déformation résiduelle ;

Allongement = $[(\text{longueur de jauge après rupture} - \text{longueur de jauge d'origine}) / \text{longueur de jauge d'origine}] \times 100\%$.

5.5 Contenu du rapport

Matériau et dimensions de l'échantillon ;

Température d'essai et taux de charge ;

Résistance à la traction, limite d'élasticité, allongement et réduction de surface ;

Graphique et description des anomalies.

6 Règles d'inspection

6.1 Inspection en usine

Chaque lot d'échantillons doit être testé trois fois et les données doivent satisfaire aux exigences de spécification du matériau.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.2 L'inspection de type

doit être effectuée tous les deux ans ou après des changements d'équipement/processus, en répétant la procédure 5.3 pour vérifier la cohérence.

6.3 Règles de jugement

Si un indice de performance s'écarte de la valeur moyenne de $\pm 10\%$, des échantillons doubles doivent être retestés. Si le nouveau test échoue toujours, le lot doit être jugé non qualifié.

7 Marquage, emballage, transport et stockage

7.1 Marquage Le numéro de norme (ASTM E8/E8M),

le numéro de lot et les conditions d'essai doivent être marqués sur l'emballage de l'échantillon.

7.2 L'emballage doit

être fait de boîtes en plastique ou de boîtes en bois résistantes à l'humidité et aux chocs, et le rapport d'essai doit être joint.

7.3 Évitez les fortes pressions et l'érosion par l'humidité pendant le transport, et le véhicule de transport doit être recouvert de mesures imperméables à la pluie.

7.4 Stockage

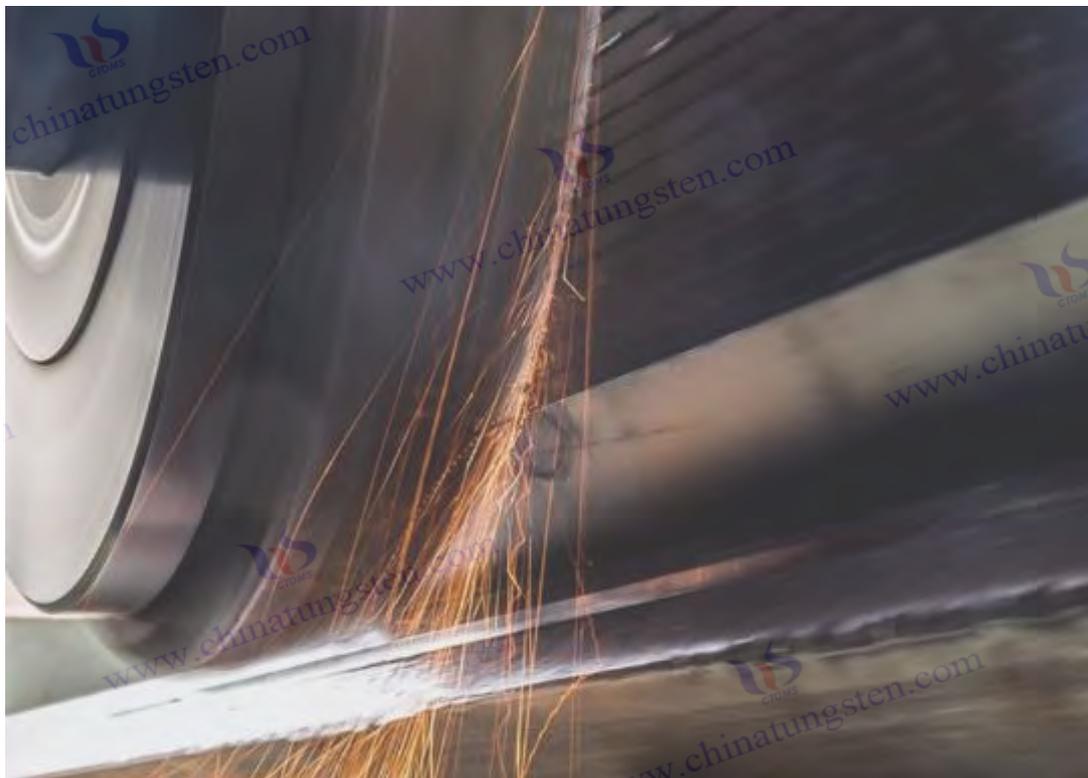
Stocker dans un environnement sec et sans poussière avec une température de 0°C à 30°C et une humidité de $<50\%$.

Annexe X1 (Annexe informative)

X1.1 Outils de préparation d'échantillons recommandés

Tour ou machine de découpe à fil, précision $\pm 0,01\text{ mm}$;

Papier de verre diamanté (grain 800# et plus).



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

en.com

www.ch


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

1


www.chinatun


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

ASTM B777-15

Spécification standard de l'alliage lourd de tungstène

Numéro de norme : ASTM B777-15

Nom standard : Spécification standard de l'alliage lourd de tungstène

Date de sortie : 1er décembre 2015

Date d'entrée en vigueur : 1er décembre 2015

Publié par : American Society for Testing and Materials (ASTM International)

Norme de remplacement : Remplace la norme ASTM B777-07

Révision : B777-15R20 (reconfirmée le 17 avril 2020)

SOCIÉTÉ AMÉRICAINE POUR LES ESSAIS ET LES MATÉRIAUX

ASTM B777-15

(approuvé le 01/12/2015, réapprouvé le 17/04/2020)

tungstène , métal haute densité

ICS 77.160 Cette norme industrielle américaine a été élaborée par ASTM International grâce au consensus de l'industrie et des experts.

Préface

Cette norme a été élaborée par le Comité ASTM B10 (Métaux réactifs et réfractaires) conformément aux dispositions de l'article 12, paragraphe 1, de la loi américaine sur la normalisation industrielle. Elle a été proposée par l'Association japonaise de l'industrie du tungstène (JTIA) et d'autres organisations concernées sous forme de projet, puis approuvée par le ministre.

Initialement publiée le 1er décembre 2015, elle a remplacé la norme ASTM B777-07 et a été réaffirmée le 17 avril 2020 (révision B777-15R20) afin de refléter les dernières exigences relatives aux alliages lourds de tungstène pour les applications à haute densité. Elle s'applique aux métaux à haute densité à base de tungstène préparés par métallurgie des poudres, largement utilisés dans les masses d'équilibrage statiques et dynamiques, les composants inertiels rotatifs à grande vitesse, la protection contre les radiations, les impacts à grande vitesse et les applications de réduction des vibrations.

1. Portée

1.1 Cette spécification couvre les exigences relatives à quatre classes de métaux usinables à base de tungstène haute densité, préparés par compactage de mélanges de poudres métalliques, dont le composant principal est le tungstène. Cette spécification de matériau peut être utilisée pour des pièces nues ou pour des pièces pouvant être revêtues d'autres matériaux pour les protéger contre la corrosion et l'usure.

1.2 Cette spécification décrit les essais physiques, mécaniques et microstructuraux de lots de matériaux à partir d'éprouvettes plutôt que de pièces réelles. Les propriétés frittées varient généralement selon la taille de la pièce et le lieu d'échantillonnage, les résultats des essais sur éprouvettes peuvent différer des propriétés de portions spécifiques de pièces plus grandes. 1.3 Utilisations prévues — Les pièces fabriquées dans ce matériau conviennent aux utilisations

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

suivantes : contrepoids ou masses d'équilibrage pour l'équilibrage statique ou dynamique, éléments d'inertie rotatifs à grande vitesse, protection contre les radiations et applications d'amortissement des chocs et vibrations à grande vitesse. Lors de la sélection d'un alliage pour une application particulière, il convient de noter qu'à mesure que la teneur en tungstène de l'alliage augmente, la rigidité, l'atténuation du rayonnement et la densité augmentent, tandis que la ductilité réalisable diminue.

2. Références normatives

Les normes suivantes constituent les dispositions de la présente spécification par référence dans le présent texte. La dernière version (y compris les amendements) s'applique.

ASTM E8/E8M : Méthodes d'essai de traction pour les matériaux métalliques

ASTM B311 : Méthode d'essai pour la densité des matériaux de métallurgie des poudres (PM) (porosité inférieure à 2 %)

ASTM E9 : Méthodes d'essai de compression pour les matériaux métalliques

ASTM E10 : Méthode d'essai pour la dureté Brinell des métaux

Norme fédérale n° 151 : Méthodes d'essai des métaux (disponible auprès des services de documentation du DLA)

3. Termes et définitions

3.1 Métaux à base de tungstène à haute densité

Métaux usinables produits par compactage d'un mélange de poudres métalliques, principalement du tungstène, avec une densité généralement supérieure à 17 g/cm³.

3.2 Métallurgie des poudres Procédés de production de matériaux par pressage et frittage d'un mélange de poudres métalliques. 3.3 Propriétés frittées

Propriétés physiques et mécaniques d'un matériau formé par la liaison de particules de poudre à haute température.

4. Classification

Cette spécification spécifie quatre types d'alliages lourds de tungstène, classés par teneur en tungstène et densité :

Classe 1 : 90 % W, densité 17,0-17,25 g/cm³

Classe 2 : 92,5 % W, densité 17,25-17,85 g/cm³

Classe 3 : 95 % W, densité 17,75-18,35 g/cm³

Classe 4 : 97 % W, densité 18,25-18,85 g/cm³

5. Exigences techniques

5.1 Composition chimique

Teneur en tungstène (W) : 90 % à 97 % (fraction massique, selon la catégorie) ;

Liant (nickel + fer ou nickel + cuivre) : 3%-10% ; teneur totale en impuretés : <0,5%.

5.2 Propriétés physiques

Densité : Mesurée selon la norme ASTM B311, plage 17,0-18,85 g/cm³ (selon le type) ;

Microstructure : Frittage uniforme, pas de pores évidents (porosité < 2 %).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.3 Propriétés mécaniques

résistance à la traction:

Classe 1 : ≥ 700 MPa

Classe 2 : ≥ 850 MPa

Classe 3 : ≥ 900 MPa

Classe 4 : ≥ 1100 MPa

Limite d'élasticité :

Classe 1 : ≥ 550 MPa

Classe 2 : ≥ 650 MPa

Classe 3 : ≥ 750 MPa

Classe 4 : ≥ 900 MPa

Élongation:

Classe 1 : ≥ 20 %

Classe 2 : ≥ 10 %

Classe 3 : ≥ 5 %

Classe 4 : ≥ 2 %

Dureté : HV 250-400 (croissante selon la catégorie).

5.4 Traitement de surface

Des revêtements optionnels tels que le cadmium ou le zinc-nickel sont disponibles pour améliorer la résistance à la corrosion et à l'usure.

6. Méthodes d'essai

6.1 Analyse chimique

Utilisez un spectromètre ou une méthode de fluorescence X pour confirmer la teneur en tungstène et en liant.

6.2 Mesure de la densité

Exécuté selon la norme ASTM B311, en utilisant la méthode d'Archimède, avec une précision de $0,01 \text{ g/cm}^3$.

6.3 Essai de traction

Conformément à la norme ASTM E8/E8M, la résistance à la traction, la limite d'élasticité et l'allongement sont testés.

6.4 Essai de dureté

Conformément à la norme ASTM E10, utilisez un testeur de dureté Brinell, charge 3000 kg.

6.5 Inspection de la microstructure

Utilisez un microscope optique à un grossissement de 50x pour vérifier la porosité et l'uniformité.

7. Règles d'inspection

7.1 Inspection d'usine

Pour chaque lot de produits, trois échantillons sont testés pour la densité, les propriétés de traction et la dureté, et les résultats répondent aux exigences de 5.2 et 5.3.

7.2 Contrôle de type

Tous les deux ans ou après un changement de processus, répétez la procédure 6.3 pour vérifier la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

cohérence.

7.3 Règles de décision

Si un indicateur de performance s'écarte de $\pm 10\%$ de la valeur spécifiée, des échantillons doubles doivent être retestés. Si le nouveau test échoue à nouveau, le lot est considéré comme non qualifié.

8. Marquage, emballage, transport et stockage

8.1 Logo

Le produit est marqué du numéro standard (ASTM B777-15), de la catégorie (Classe 1-4) et du numéro de lot de production.

8.2 Emballage

Utilisez des boîtes en bois ou en plastique résistantes à l'humidité et aux chocs et joignez des rapports d'inspection.

8.3 Transport

Pour éviter une forte pression et une érosion due à l'humidité, les moyens de transport doivent être recouverts de mesures imperméables à la pluie.

8.4 Stockage

Conserver dans un environnement sec et sans poussière entre 0°C et 40°C et humidité <60%.

9. Mots-clés

Alliage lourd de tungstène ; métal à haute densité ; résistance à la traction ; limite d'élasticité ; ductilité ; protection contre les radiations ; amortissement des vibrations

Annexe X1 (Annexe informative)

X1.1 Exemples d'application

Classe 1 : Poids faible densité, facile à traiter ;

Classe 2 : Poids d'équilibrage et blindage médical ;

Classe 3 : Protection contre les rayons X et gamma ;

Classe 4 : Protection contre les rayonnements à haute densité et applications d'impact à grande vitesse.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

BS EN 10360:2005 Conditions techniques de livraison des tubes en carbure cémenté

NORME EUROPÉENNE BRITANNIQUE

(Établi le 15/12/2005)

(Confirmé le 15/12/2015)

Conditions pour le métal dur

Tubes

ICS 77.160

Cette norme européenne britannique a été préparée sur la base du consensus du Comité européen de normalisation (CEN) et adoptée comme norme britannique par la British Standards Institution (BSI).

Préface

La présente Norme européenne britannique a été élaborée par le comité technique CEN/TC 76 (Matériaux durs), chargé de la normalisation du carbure cémenté et de ses produits.

Adoptée par la British Standards Institution (BSI) comme norme nationale britannique, elle a été rédigée par la UK Hardmetal Association et les représentants des fabricants concernés.

Publiée initialement le 15 décembre 2005, sa validité a été confirmée le 15 décembre 2015. Elle vise à spécifier les exigences de fabrication, d'inspection et de livraison des tubes en carbure cémenté destinés aux applications industrielles résistantes à l'usure et à la corrosion.

Remarque : Cette norme peut inclure une coordination avec des normes internationales (telles que l'ISO). Veuillez consulter les archives officielles du BSI pour connaître l'historique des révisions.

1. Portée

Cette norme spécifie les conditions techniques de livraison des tubes en carbure cémenté produits par métallurgie des poudres, notamment la composition chimique du matériau, les dimensions et tolérances, les propriétés mécaniques, l'état de surface, les méthodes d'inspection et d'essai, ainsi que les exigences relatives aux documents de livraison.

Elle s'applique à la fabrication, à la commercialisation et à l'utilisation des tubes en carbure cémenté, largement utilisés dans les outils de coupe, les tubes résistants à l'usure et les composants pour environnements haute température.

2. Références normatives

Les normes suivantes contiennent des articles qui, par référence dans le présent texte, deviennent partie intégrante de la présente norme. La dernière version (y compris les modifications) s'applique.

BS EN 10021:1993 : Conditions techniques générales de livraison des produits en acier

BS EN ISO 377:2017 : Acier et produits sidérurgiques – Échantillonnage et préparation des éprouvettes

BS EN 10204:2004 : Documents d'inspection pour les produits métalliques

BS EN ISO 6507-1:2005 : Essai de dureté des métaux - Méthode Vickers

BS EN 843-1:2006 : Céramiques avancées - Propriétés mécaniques - Essai de résistance à la flexion

3. Termes et définitions

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Français Les termes et définitions suivants s'appliquent à la présente norme :

3.1 Les tubes en carbure cémenté

sont des produits tubulaires constitués de carbure de tungstène (WC) comme composant principal, avec du cobalt (Co) ou du nickel (Ni) comme liant, produits par métallurgie des poudres, avec une dureté et une résistance à l'usure élevées.

3.2 Conditions techniques de livraison Les exigences de matériau, de dimensions et de performance que le fabricant doit respecter lors de la livraison du produit. 3.3 Procédé de métallurgie des poudres La méthode de fabrication consistant à préparer des tubes par pressage et frittage d'un mélange de poudres métalliques.

4. Exigences techniques

4.1 Composition chimique des matériaux

Teneur en carbure de tungstène (WC) : 85 % à 92 % (fraction massique) ;

Teneur en cobalt (Co) : 6 % à 12 % ;

Additifs facultatifs (tels que TiC, TaC) : 0,5 % à 3 % pour améliorer la résistance à l'usure ;

Teneur totale en impuretés : < 0,5 %.

4.2 Dimensions et tolérances

Diamètre extérieur : 10 mm à 100 mm, tolérance $\pm 0,1$ mm ;

Épaisseur de paroi : 2 mm à 20 mm, tolérance $\pm 0,05$ mm ;

Longueur : 100 mm à 2000 mm, tolérance ± 5 mm.

4.3 Propriétés mécaniques

Dureté : HV 1400 à 1800 (selon BS EN ISO 6507-1:2005) ;

Résistance à la flexion : ≥ 2000 MPa (selon BS EN 843-1:2006) ;

Résistance à l'usure : Taux d'usure $< 0,05$ mm³ / N · m (se référer à la norme industrielle).

4.4 Qualité de surface

Rugosité de surface : $R_a \leq 0,4$ μ m ;

Aucune fissure ni pore évident (porosité <1%).

4.5 Livraison des documents

Conformément à la norme BS EN 10204:2004, fournissez des documents d'inspection de type 2.1, 2.2, 3.1 ou 3.2.

5. Méthodes d'essai

5.1 Analyse chimique

Réalisé conformément à la norme BS EN ISO 377:2017 à l'aide d'un spectromètre ou d'une fluorescence X.

5.2 Essai de dureté

Conformément à la norme BS EN ISO 6507-1:2005, en utilisant un testeur de dureté Vickers, charge 30 kg.

5.3 Essai de résistance à la flexion

L'essai a été réalisé conformément à la norme BS EN 843-1:2006, en utilisant la méthode de flexion en trois points avec une taille d'échantillon de 20 mm × 5 mm × 5 mm.

Contrôle dimensionnel

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Utilisez un pied à coulisse et un testeur de rugosité de surface avec une précision de 0,01 mm.

5.5 Contrôle de la qualité de surface

Utilisez un microscope optique (grossissement 50×) pour vérifier la présence de fissures et de pores.

6. Règles d'inspection

6.1 Inspection d'usine

Pour chaque lot de produits, trois échantillons sont testés pour la dureté, la résistance à la flexion et les dimensions, et les résultats répondent aux exigences de 4.3 et 4.2.

6.2 Contrôle de type

Réalisé tous les deux ans ou après un changement de processus pour vérifier toutes les exigences techniques.

6.3 Règles de décision

Si la dureté ou la résistance à la flexion s'écarte de $\pm 5\%$ de la valeur spécifiée, un double des échantillons doit être retesté. Si le retest échoue à nouveau, le lot est considéré comme non qualifié.

7. Marquage, emballage, transport et stockage

7.1 Logo

Le produit est marqué du numéro standard (BS EN 10360:2005), du numéro de lot et du logo du fabricant.

7.2 Emballage

Utilisez des boîtes en bois ou en plastique résistantes à l'humidité et aux chocs, avec les documents d'inspection joints.

7.3 Transport

Pour éviter une forte pression et une érosion due à l'humidité, les moyens de transport doivent être recouverts de mesures imperméables à la pluie.

7.4 Stockage

Conserver dans un environnement sec et sans poussière entre 0°C et 30°C et humidité <50%.

Annexe A (Annexe informative)

A.1 Procédé de fabrication recommandé

Frittage par métallurgie des poudres : température 1450°C \pm 10°C, pression 50 MPa ;

Usinage du diamètre extérieur : précision de rectification \pm 0,05 mm.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

JIS G 0570

« Méthode d'essai pour la résistance à la corrosion du carbure cémenté »

NORME INDUSTRIELLE JAPONAISE

(Norme industrielle japonaise)

JIS G 0570:2010

(Établi le 22 mars 2010) (Révisé le 22/03/2010)

Méthode d'essai de résistance à la corrosion

du carbure cémenté

ICS 77.160

Cette norme industrielle japonaise est établie par le Comité japonais des normes industrielles par consensus entre les experts industriels et techniques.

Préface

Cette norme industrielle japonaise a été établie par le ministre de l'Économie, du Commerce et de l'Industrie, conformément à l'article 12, paragraphe 1, de la loi sur la normalisation industrielle, après délibération du Comité japonais des normes industrielles, sur la base d'une proposition d'établissement d'une nouvelle norme soumise par l'Association japonaise des industries du tungstène (JTIA) et d'un projet de norme.

Cette norme spécifie la méthode d'essai de la résistance à la corrosion du carbure cémenté et s'applique à l'évaluation des performances de ce matériau en environnements corrosifs, tels que les outils de coupe et les pièces résistantes à l'usure.

Remarque : la norme actuelle peut contenir des révisions historiques ou des références internationales, qui ne sont pas incluses ici.

1. Portée

Cette norme spécifie la méthode d'essai de résistance à la corrosion du carbure cémenté, incluant la préparation des échantillons, les conditions d'essai, les méthodes d'évaluation et les exigences de rapport.

Elle s'applique au carbure cémenté dont le composant principal est le carbure de tungstène (WC) et le liant cobalt (Co) ou nickel (Ni), largement utilisé en milieux acides, alcalins ou salins.

2. Références normatives

Les normes suivantes constituent le contenu de la présente norme par référence dans le présent texte.

La dernière version (y compris les amendements) s'applique.

JIS G 0575:2005 : Règles générales pour les essais de corrosion des matériaux métalliques

JIS Z 2371:2015 : Méthode d'essai au brouillard salin

JIS H 8502:1999 : Règles générales pour les essais de corrosion des revêtements métalliques

JIS B 7502:1994 : Pieds à coulisse, comparateurs à cadran et pieds à coulisse numériques

3. Termes et définitions

Français Les termes et définitions applicables à cette norme sont les suivants :

3.1 Le carbure cémenté est un matériau composite composé de carbure de tungstène (WC) comme

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

composant principal et de liants métalliques tels que le cobalt (Co) ou le nickel (Ni).

3.2 Résistance à la corrosion

La capacité du carbure cémenté à résister à la perte de matière ou aux dommages de surface dans les milieux corrosifs, généralement exprimée en perte de masse ou en taux de corrosion. 3.3 Essai au brouillard salin Un essai de corrosion standard effectué dans des conditions spécifiées en utilisant une solution de chlorure de sodium (NaCl) à 5 % pour simuler un environnement salin.

4. Échantillon

4.1 Forme et taille

L'échantillon doit être cylindrique d'un diamètre de 10 mm et d'une longueur de 20 mm, ou rectangulaire avec des dimensions de 20 mm × 20 mm × 5 mm.

Rugosité de surface : $Ra \leq 0,2 \mu m$, préparée par meulage au diamant.

4.2 Préparation

Les échantillons ont été nettoyés à l'éthanol et séchés à 60°C pendant 1 heure.

Les bords doivent être chanfreinés pour éviter les concentrations de contraintes.

5. Méthodes d'essai

5.1 Conditions d'essai

Milieu d'essai : solution de NaCl à 5 % (pH 6,5-7,2) ou solution d'acide sulfurique (H_2SO_4) à 10 % (choisie en accord).

Température : $35^\circ C \pm 2^\circ C$ pour le test au brouillard salin et $50^\circ C \pm 2^\circ C$ pour le test d'immersion acide.

Durée d'exposition : 24 heures, 48 heures ou 96 heures (selon accord).

5.2 Procédure d'essai

L'échantillon est placé dans une chambre d'essai au brouillard salin conforme à la norme JIS Z 2371 ou immergé dans une solution acide contrôlée.

Maintenir une exposition continue sans interruption.

Après le test, rincer à l'eau distillée et mesurer la perte de masse après séchage.

5.3 Évaluation

Perte de masse : Peser avant et après le test à l'aide d'une balance analytique d'une précision de $\pm 0,1 mg$.

Inspection de surface : utilisez un microscope 50x pour vérifier la présence de piqûres ou de fissures.

Taux de corrosion : calculé selon la formule : Taux de corrosion = perte de masse / (surface d'exposition × temps d'exposition), l'unité est $mg/cm^2 \cdot h$.

6. Rapport d'essai

Le rapport de test doit inclure les éléments suivants :

Matériau et dimensions de l'échantillon ; milieu d'essai, température et temps d'exposition ; perte de masse et taux de corrosion ; enregistrement photographique de l'état de surface ;

Date du test et signature de l'opérateur.

7. Inspection

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.1 Inspection d'usine

Trois échantillons sont testés pour chaque lot d'échantillons afin de garantir qu'ils répondent aux critères d'évaluation de la section 5.3.

7.2 Contrôle de type

Ce test est effectué une fois par an ou après un changement de processus, et la procédure de test complète est répétée.

7.3 Jugement

Si la perte de masse dépasse $0,5 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{h}$ ou si des piqûres évidentes apparaissent, un double des échantillons doit être retesté. Si le nouveau test échoue à nouveau, le lot sera considéré comme non qualifié.

Annexe JA (Annexe informative)

JA.1 Milieu de test recommandé

Environnement marin : solution de NaCl à 5%.

Environnements de traitement chimique : 10 % H_2SO_4 ou 5 % HCl (sélectionné selon l'application).



DIN 17350

« Exigences techniques pour le carbure cimenté haute performance »

Conditions techniques de livraison des carbures cimentés hautes performances

ICS 77.160

Institut allemand de normalisation

(norme allemande)

DIN 17350:1980-10

(Date de publication : octobre 1980)

(Date de révision : Pas de dernière révision, au 5 juillet 2025)

Cette norme allemande a été élaborée par l'Institut allemand de normalisation (DIN) sur la base d'exigences techniques industrielles et s'applique à la fabrication, au contrôle et à la livraison de carbures cimentés hautes performances.

Préface

Cette norme a été élaborée par le comité technique DIN NA 066-01-01 AA (Aciers à outils et matériaux durs) afin de spécifier les conditions techniques de livraison des carbures cimentés hautes performances, notamment la composition du matériau, les propriétés mécaniques, les tolérances dimensionnelles et les exigences de contrôle.

Elle s'applique aux carbures cimentés contenant du carbure de tungstène (WC) et du cobalt (Co) ou du nickel (Ni) comme liants, largement utilisés dans les outils de coupe, les pièces résistantes à l'usure et les applications haute température. Publiée pour la première fois en octobre 1980, cette norme n'a pas été révisée de manière significative depuis, mais les normes connexes ultérieures peuvent être consultées dans la pratique.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

1. Portée

Cette norme spécifie les conditions techniques de livraison du carbure cimenté hautes performances, notamment les exigences relatives aux matériaux, les propriétés mécaniques, les dimensions et tolérances, l'état de surface, les méthodes de contrôle et les documents de livraison.

Elle s'applique aux produits en carbure cimenté fabriqués par métallurgie des poudres et couvre des applications exigeantes telles que les outils de coupe, les matrices et les revêtements anti-usure.

2. Références normatives

Les clauses des normes suivantes deviennent les clauses de la présente norme par référence dans le présent texte. La dernière version (y compris ses amendements) s'applique.

DIN EN ISO 4506:2013 : Méthodes d'essai pour la résistance à l'usure des carbures cimentés

DIN EN 10204:2004 : Documents de contrôle pour les produits métalliques

DIN EN ISO 6507-1:2018 : Essai de dureté Vickers pour les matériaux métalliques

DIN EN 10021:1993 : Conditions techniques générales de livraison des produits en acier

3. Termes et définitions

3.1 Le carbure cimenté haute performance

est un matériau de haute dureté et résistant à l'usure, composé de carbure de tungstène (WC) comme composant principal et d'un liant tel que le cobalt (Co), le nickel (Ni) ou le titane (Ti). 3.2 Conditions techniques de livraison Les exigences en matière de matériaux, de performances et de dimensions que le fabricant doit respecter lors de la livraison du produit. 3.3 Procédé de métallurgie des poudres La méthode de fabrication consistant à préparer du carbure cimenté par pressage et frittage d'un mélange de poudres métalliques.

4. Exigences techniques

4.1 Composition du matériau

Teneur en carbure de tungstène (WC) : 85 % à 95 % (fraction massique) ;

Teneur en liant (Co, Ni ou Ti) : 5 % à 15 % ;

Additifs facultatifs (tels que TiC, TaC) : 0%-5%, utilisés pour améliorer les performances ;

Teneur totale en impuretés : < 0,5 %.

4.2 Propriétés mécaniques

Dureté : HV 1400-1800 (déterminée selon DIN EN ISO 6507-1) ;

Résistance à la flexion : ≥ 2000 MPa ;

Ténacité à la rupture : $KIC \geq 8$ MPa·m^{1/2} ;

Résistance à l'usure : Taux d'usure < 0,05 mm³ / N · m (se référer à DIN EN ISO 4506).

4.3 Dimensions et tolérances

Diamètre : 5 mm à 50 mm, tolérance $\pm 0,05$ mm ;

Longueur : 50 mm à 500 mm, tolérance ± 2 mm ;

Épaisseur de paroi (pour tubes) : 2 mm à 10 mm, tolérance $\pm 0,1$ mm.

4.4 Qualité de surface

Rugosité de surface : $Ra \leq 0,4$ μm ;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Aucune fissure, pore ou inclusion de scories évidents (porosité < 1 %).

4.5 Traitement thermique

Traitement de carburation ou de revêtement de surface en option pour améliorer la résistance à la corrosion ;

Température de frittage : 1400°C-1500°C, ajustée en fonction de la composition du matériau.

5. Méthodes d'essai

5.1 Analyse chimique

Réalisé conformément à la norme DIN EN ISO 377 à l'aide d'un spectromètre ou d'une fluorescence X.

5.2 Essai de dureté

Selon DIN EN ISO 6507-1, en utilisant un testeur de dureté Vickers, charge 30 kg.

5.3 Essai de résistance à la flexion

Selon DIN EN 843-1, méthode de pliage en trois points, taille de l'échantillon 10 mm × 5 mm × 5 mm.

5.4 Essai de résistance à l'abrasion

Réalisé selon la norme DIN EN ISO 4506, à l'aide d'un testeur d'usure à broche sur disque avec une charge de 50 N et une distance de glissement de 500 m.

Contrôle dimensionnel

Utilisez des pieds à coulisse de précision et des profileurs de surface avec une précision de 0,01 mm.

6. Inspection et essais

6.1 Inspection d'usine

Pour chaque lot de produits, trois échantillons sont testés pour la dureté, la résistance à la flexion et la résistance à l'abrasion, et ils répondent aux exigences de 4.2.

6.2 Contrôle de type

Répétez les procédures 5.2 à 5.4 tous les deux ans ou après un changement de processus.

6.3 Règles de décision

Si la dureté est inférieure de 10 % à la valeur spécifiée ou si la résistance à la flexion est inférieure à 5 %, il faut retester deux fois plus d'échantillons. Si le test échoue à nouveau, le lot est considéré comme non qualifié.

7. Marquage et emballage

7.1 Logo

Le produit est marqué du numéro standard (DIN 17350), de la qualité du matériau et du numéro de lot.

7.2 Emballage

Utilisez des boîtes en bois ou des conteneurs en plastique résistants à l'humidité et aux chocs, et joignez des rapports d'inspection.

7.3 Transport et stockage

Évitez les fortes pressions et l'érosion par l'humidité pendant le transport ;

Conserver dans un environnement sec entre 0°C et 30°C et humidité <60%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Annexe A (informative)

A.1 Applications recommandées

Outils de coupe : dureté HV 1600 ou supérieure, résistance à la flexion ≥ 2200 MPa ;

Revêtement résistant à l'usure : Contient des additifs TiC , excellente résistance à la corrosion.

GOST 3882-74

ГОСТ (norme de l'État russe)

« Exigences techniques pour le carbure cimenté »

Alliages durs. Spécifications

ICS 77.160 OKP19 6500, 19 6600

Développé et approuvé par le Comité d'État des normes de l'URSS. (Publié le 15 août 1974)

(Confirmé en 2008, dernière version révisée)

Préface

Cette norme a été publiée par le Comité d'État de l'URSS pour la normalisation (Gostrov Cette norme a été publiée le 15 août 1974 et rééditée en juin 1998. Elle contient 6 révisions de 1974 à 2008 (n° 1-6), visant à normaliser la classification, les exigences techniques et les méthodes d'inspection du carbure cimenté.

Remarque :

Cette version est un contenu dérivé, et l'historique et le contenu réels des révisions doivent faire référence aux documents officiels.

1 Portée

Cette norme spécifie les exigences techniques relatives au carbure cimenté, notamment la composition du matériau, les propriétés mécaniques, les tolérances dimensionnelles, l'état de surface et les règles d'inspection. Elle s'applique au carbure cimenté produit par métallurgie des poudres et est largement utilisé dans les outils de coupe, les pièces résistantes à l'usure et les équipements industriels.

2 Références normatives

Les clauses des documents suivants deviennent les clauses de la présente norme par référence. La version la plus récente au moment de la publication s'applique.

ГОСТ 20019-74 : Exigences techniques générales pour les poudres métalliques

ГОСТ 2999-75 : Méthodes d'échantillonnage des poudres métalliques

ГОСТ 9454-78 : Méthode d'essai d'impact sur les métaux

ГОСТ 26388-84 : Méthode d'essai de résistance à la flexion du carbure cimenté

3 Termes et définitions

3.1 Le carbure cimenté

est un matériau composite composé de carbure de tungstène (WC) comme composant principal, avec du cobalt (Co) ou du nickel (Ni) comme liant, et fritté par métallurgie des poudres. 3.2 Exigences techniques Les spécifications de matériau, de performance et de taille qui doivent être respectées lors de la livraison du produit. 3.3 Résistance à la flexion La contrainte maximale que le matériau peut supporter lors d'un essai de flexion en trois points, en MPa.

4 Exigences techniques

4.1 Classification

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

Cette norme spécifie les nuances de carbure cémenté suivantes :

BK6 : WC 94 %, Co 6 %, plage de dureté HV 1300-1400 ;

BK8 : WC 92 %, Co 8 %, plage de dureté HV 1250-1350 ;

BK15 : WC 85 %, Co 15 %, plage de dureté HV 1100-1200 ;

TK10 : WC 90 %, TiC 10 %, plage de dureté HV 1400-1500 ;

TK 15 : WC 85 %, TiC 15 %, plage de dureté HV 1350-1450 ;

TK20 : WC 80 %, TiC 20 %, plage de dureté HV 1300-1400.

4.2 Composition du matériau

Teneur en carbure de tungstène (WC) : 80 % à 94 % (fraction massique) ; teneur en cobalt (Co) : 6 % à 15 % ; additifs facultatifs (tels que TiC , TaC) : 0 % à 20 % ; teneur totale en impuretés : < 0,5 %.

4.3 Propriétés mécaniques

Dureté : HV 1100 à 1500 (selon le grade) ;

Résistance à la flexion : ≥ 1200 MPa (selon GOCT 26388-84) ;

Densité : 14,5 à 15,0 g/cm³ (selon le grade) ;

Résistance à l'usure : Taux d'usure < 0,05 mm³ / N · m (test de référence).

4.4 Dimensions et tolérances

Diamètre de la tige : 5 mm à 40 mm, tolérance $\pm 0,1$ mm ; Longueur de la tige : 50 mm à 300 mm, tolérance ± 2 mm ;

Épaisseur de la tôle : 2 mm à 20 mm, tolérance $\pm 0,05$ mm ; rugosité de surface : $Ra \leq 0,4 \mu m$.

4.5 Qualité de surface

La surface doit être lisse, sans fissures, pores ou inclusions (porosité < 1%) ;

De légères rayures ou marques d'usinage sont autorisées, avec une profondeur ne dépassant pas 50 % de la limite supérieure de tolérance.

4.6 Statut de livraison

Le produit doit être à l'état fritté et peut être meulé ou poli selon les exigences de la commande.

5 Méthodes d'essai

5.1 Analyse chimique

Conformément à la norme GOCT 20019-74, utilisez une analyse spectroscopique ou une analyse chimique avec une précision de 0,01 %.

5.2 Essai de dureté

Conformément à la norme GOCT 2999-75, utilisez un testeur de dureté Vickers, chargez 30 kg, mesurez 5 points et prenez la valeur moyenne.

5.3 Essai de résistance à la flexion

Selon GOCT 26388-84, méthode de flexion en trois points, taille de l'échantillon 20 mm \times 6,5 mm \times 5,2 mm, température d'essai 20°C \pm 2°C.

5.4 Mesure de la densité

Mesuré par la méthode d'Archimède à l'aide d'une balance de précision avec une précision de 0,01 g/cm³ .

5.5 Contrôle de la qualité de surface

Utilisez un microscope optique (grossissement 50x) pour vérifier les défauts de surface ;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La rugosité de surface a été mesurée à l'aide d'un profileur de surface selon GOCT 2789-73.

6 Inspection

6.1 Inspection d'usine

Trois échantillons sont sélectionnés aléatoirement à différents endroits de chaque lot de produits pour les propriétés mécaniques spécifiées à la section 4.3 et les essais dimensionnels spécifiés à la section 4.4. Les résultats des essais doivent être conformes aux exigences techniques, faute de quoi des échantillons doubles seront réessayés.

6.2 Contrôle de type

Une fois tous les deux ans ou après un changement de procédé, prélevez au moins 5 échantillons et répétez tous les tests des sections 5.2 à 5.5.

6.3 Règles de décision

Si un indice de performance (tel que la dureté, la résistance à la flexion) s'écarte de la valeur spécifiée de $\pm 5\%$, ou si la densité s'écarte de $\pm 0,1 \text{ g/cm}^3$, une réinspection d'un double échantillon est nécessaire ; si la réinspection échoue toujours, le lot est considéré comme non qualifié.

7 Marquage, emballage, transport et stockage

7.1 Logo

Le produit doit être marqué du numéro standard (GOCT 3882-74), du numéro de marque (par exemple BK8), du numéro de lot et de la date de fabrication.

7.2 Emballage

Les barres et les plaques doivent être regroupées et emballées avec du papier résistant à l'humidité (GOCT 9569-79) ou un film plastique ;

Chaque lot est accompagné d'un certificat d'inspection conforme aux exigences de la norme GOCT 14192-96.

7.3 Transport

Évitez les fortes pressions et l'humidité pendant le transport et utilisez des véhicules ou des conteneurs couverts.

7.4 Stockage

Conserver dans un entrepôt sec et ventilé entre -10°C et 40°C et humidité relative $<70\%$.

Annexe A (informative)

A.1 Procédé de fabrication recommandé

Préparation de la poudre : selon GOCT 20019-74, granulométrie $0,5-5 \mu\text{m}$;

Frittage : température 1400°C à 1500°C , pression 40-50 MPa, atmosphère protectrice hydrogène ou argon ;

Post-traitement : précision de meulage $\pm 0,05 \text{ mm}$, polissage à $Ra \leq 0,2 \mu\text{m}$ (en option).

A.2 Exemples d'application

BK6 : convient aux outils de coupe de haute précision ;

TK20 : Convient aux revêtements résistants à l'usure et aux matrices d'emboutissage.

Annexe B (informative) B.1 Tableau de contrôle de la qualité

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Marque	Dureté (HV)	à la flexion (MPa)	Densité (g/cm ³)	Écart admissible (%)
VK6	1300-1400	≥1400	14,8-15,0	±5
VK8	1250-1350	≥1300	14,7-14,9	±5
VK15	1100-1200	≥1200	14,5-14,7	±5
TK10	1400-1500	≥1500	14,6-14,8	±5



www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

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



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