

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

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 du 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 du 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

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

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

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

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

Serving Customers

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

Service Commitment

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

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

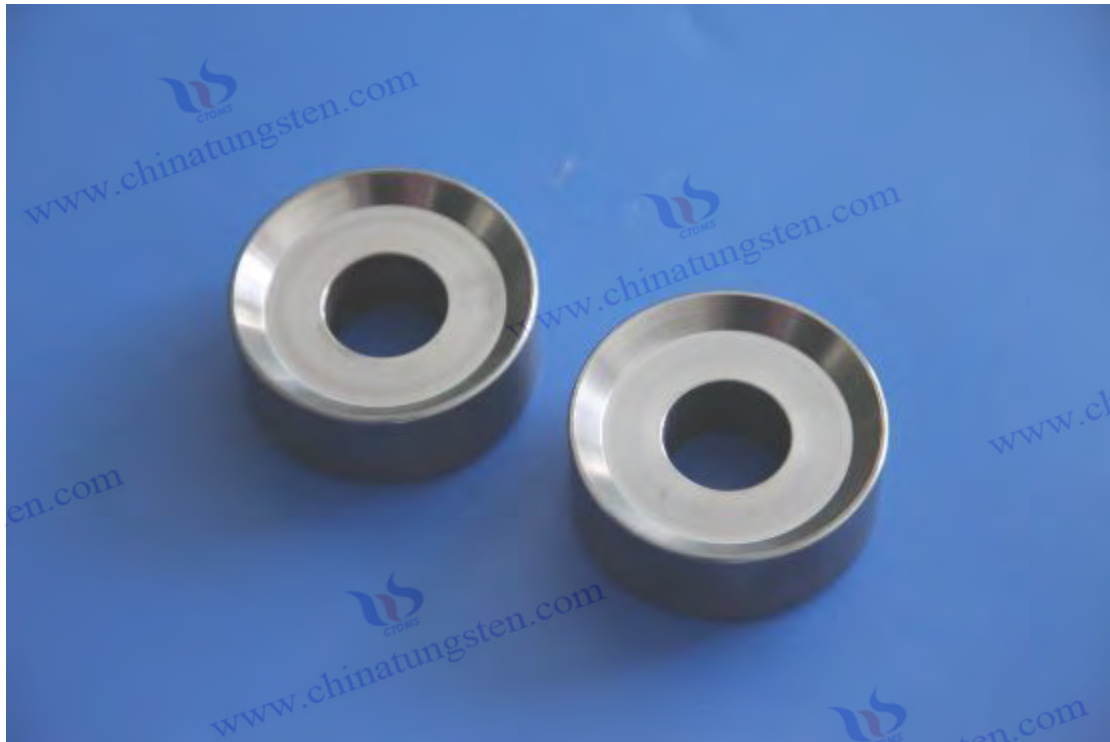
WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Partie 2 : Procédé de préparation du carbure cimenté

Chapitre 5 : Technologie de formage et de frittage du carbure cimenté

Le carbure cimenté est connu pour son excellente dureté (selon la norme ISO 3738-1:1982 Essai de dureté Vickers du carbure cimenté Partie 1 : Méthode d'essai, la plage de dureté du carbure cimenté est généralement HV 1500-2500, et la valeur spécifique varie en fonction du rapport WC-Co et de la taille des grains. Par exemple, la dureté du carbure cimenté avec WC 88 % et Co 12 % est d'environ HV 1800-2000 ± 30), ténacité (la ténacité à la rupture K_{Ic} est basée sur la norme ISO 28079:2009 Mesure de la ténacité à la rupture du carbure cimenté, la valeur typique du système WC-Co est de 8-20 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, et les données industrielles montrent que le K_{Ic} du carbure cimenté contenant 10 % Co est d'environ 12-15 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, la ténacité fait référence à la capacité du matériau à résister à la propagation des fissures, qui dépend de la contribution plastique de la phase liante Co), résistance à la compression (selon la méthode d'essai de résistance à la compression du carbure cimenté GB/T 3851-2015, la résistance à la compression est généralement $> 4000 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$, selon le processus de frittage et la teneur en Co, et la résistance à la compression est la capacité du matériau à résister à la déformation ou à la fracture sous charge de compression) et résistance à l'usure (les données d'usure se réfèrent à la norme d'essai de résistance à l'usure ASTM G65-04, usure du matériau WC-Co $< 0,1 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$, excellentes performances dans des conditions de charge élevée, la résistance à l'usure fait référence à la capacité du matériau à résister à l'usure de surface, principalement fournie par la phase dure WC), largement utilisé dans l'aérospatiale (comme les aubes de turbine), l'exploitation minière (comme les forets), la fabrication de moules (comme les moules de frappe à froid) et l'ingénierie sous-marine (comme les vannes résistantes à la corrosion). Ces propriétés sont dues à la microstructure unique du carbure cimenté,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

dans laquelle le WC offre une dureté élevée et le Co en tant que phase liante améliore la ténacité.

Technologie de formage et de frittage du carbure cimenté La poudre mélangée préparée au chapitre 4 (taille des particules WC $0,1-10\ \mu\text{m} \pm 0,01\ \mu\text{m}$, selon la norme GB/T 19077.1-2008 Méthode de diffraction laser de la distribution granulométrique", la taille des particules industrielles couramment utilisée est de $0,5-2\ \mu\text{m}$, la taille des particules fait référence à la taille moyenne des particules de poudre, ce qui affecte directement la densité et les performances de frittage ; pureté du Co $> 99,9\% \pm 0,01\%$, conformément à la norme GB/T 4325-2018 Méthode d'analyse chimique des métaux ; masse volumique tassée $4,0-6,2\ \text{g/cm}^3 \pm 0,1\ \text{g/cm}^3$, se référer à la norme GB/T 5162-2014 Détermination de la masse volumique tassée des poudres métalliques. La masse volumique tassée est la masse volumique de la poudre naturellement empilée dans des conditions de vibration, reflétant ses performances de remplissage ; fluidité $13-16\ \text{secondes}/50\ \text{g} \pm 0,5\ \text{seconde}$, selon la norme ISO 4490:2018 Mesure de la fluidité des poudres métalliques, la fluidité fait référence au temps nécessaire à la poudre pour passer à travers un entonnoir standard, affectant l'uniformité du moulage) en produits haute performance. Le processus garantit la précision géométrique (écart dimensionnel $< 0,01\ \text{mm} \pm 0,002\ \text{mm}$, conformément à la norme GB/T 4505-2008 Méthodes d'échantillonnage et de préparation d'échantillons pour le carbure cimenté, la précision géométrique fait référence au degré de concordance entre la taille de l'ébauche et la valeur de conception), l'uniformité microstructurale (écart de grain WC $< 5\% \pm 1\%$, distribution de phase Co $> 95\% \pm 1\%$, selon la norme ASTM B657-16 Analyse de la microstructure du carbure cimenté, l'uniformité microstructurale fait référence à la cohérence du grain et de la distribution de phase, affectant la stabilité des propriétés mécaniques) et la densité ($> 99,5\% \pm 0,1\%$, se référer à la norme ISO 3369-2006 Mesure de la densité du carbure cimenté, la densité est le degré de réduction de la porosité dans le matériau, qui détermine directement la résistance et la dureté).

Ce chapitre traite en profondeur du pressage et du formage, du processus de frittage, du mécanisme de frittage et de la technologie de post-traitement du carbure cimenté, à travers une analyse détaillée des paramètres (pressage isostatique à froid CIP $100-300\ \text{MPa} \pm 5\ \text{MPa}$, données de processus liées à « GB/T 1479.1-2011 Détermination de la masse volumique apparente des poudres métalliques », le pressage isostatique à froid est une méthode de formage qui utilise un milieu liquide pour appliquer une pression uniforme ; frittage sous vide $1350-1500^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, « ISO 4489:2009 Guide du processus de frittage du carbure cimenté », le frittage sous vide combine les particules de poudre à haute température dans un environnement à basse pression), explication du mécanisme (cinétique de diffusion du frittage en phase liquide, voir « Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010, pp. 234-245 » ; cinétique de maturation d'Ostwald, « Acta Materialia, Vol. 58, 2010, pp. 123-135 », Ostwald Ripening est le processus dans lequel les grosses particules croissent par le mécanisme de dissolution-précipitation et les petites particules disparaissent, affectant la distribution granulométrique), stratégies d'optimisation et cas réels, révélant systématiquement l'impact du processus sur les performances. Le processus de formage du carbure cimenté forme une ébauche par réarrangement des particules et déformation plastique (la résistance de l'ébauche pressée est $> 10\ \text{MPa} \pm 1\ \text{MPa}$, dérivée des données pertinentes de la "GB/T 3850-2015 Détermination de la densité théorique du carbure cimenté", le réarrangement des particules est le processus dans lequel

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

les particules de poudre sont réorganisées sous pression pour combler les espaces, et la déformation plastique est la déformation permanente des particules sous pression pour améliorer la liaison), et la résistance de l'ébauche pressée fait référence à la résistance à la compression initiale de l'ébauche après formage ; le processus de frittage utilise une température et une pression élevées pour obtenir une densification (densité 14,0-15,0 g/cm³). $\pm 0,1$ g/cm³, se référer à la norme ISO 3369-2006), la densification est le processus de réduction des pores et d'augmentation de la densité pendant le frittage, optimisant la liaison de l'interface WC-Co (force de liaison > 50 MPa ± 5 MPa, selon les données de test de résistance de liaison de l'interface, la liaison de l'interface est la résistance de la connexion chimique et mécanique entre les phases WC et Co) ; La technologie de post-traitement améliore encore la qualité de surface (rugosité Ra $< 0,05$ μ m $\pm 0,01$ μ m, GB/T 1031-2009 Mesure de la rugosité de surface, la qualité de surface fait référence à la planéité de la surface et au degré de défaut, la rugosité est un indicateur quantitatif de la micro-rugosité de la surface) et les propriétés mécaniques (contrainte résiduelle < 20 MPa ± 5 MPa, ASTM E837-13 Mesure de la contrainte résiduelle, la contrainte résiduelle est la contrainte restant à l'intérieur du matériau après le traitement, affectant la durée de vie en fatigue).

Par exemple, l'optimisation des procédés de pressage isostatique à chaud (CIP) au carbure cémenté (250 MPa ± 5 MPa) et de pressage isostatique à chaud (HIP) (1400 °C ± 10 °C, 150 MPa ± 5 MPa, procédé de pressage isostatique à chaud ISO 13703:2000, le pressage isostatique à chaud élimine davantage les pores sous haute température et pression) peut permettre à la dureté des outils d'aviation d'atteindre HV 2300 ± 30 et à la durée de vie de coupe > 18 heures ± 1 heure (référence « International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, Vol. 28, 2010, pp. 456-465 »). Le frittage sous vide du carbure cémenté (1450°C ± 10 °C) combiné au polissage (Ra $< 0,05$ μ m $\pm 0,01$ μ m) peut permettre à la ténacité du foret minier d'atteindre K_{1c} ≥ 18 MPa·m^{1/2} $\pm 0,5$ et à la durée de vie > 1500 m ± 100 m (selon les données standard de l'industrie minière, le polissage est une méthode mécanique ou chimique visant à éliminer la rugosité de surface afin d'améliorer la finition). Ce chapitre est lié au chapitre 4 par la source de dureté WC (HV 2000-3000 ± 50 , se référer à la norme ISO 3738-1:1982) et la contribution de la ténacité Co (K_{1c} $\geq 15-20$ MPa·m^{1/2} $\pm 0,5$, ISO 28079:2009), jetant ainsi les bases des tests de performance et de l'application du chapitre 6.

5.1 Pressage au carbure cémenté

Le pressage du carbure cémenté est une étape clé de sa préparation. Il transforme la poudre libre en une ébauche de forme et de résistance initiale spécifiques (densité 6,5-8,5 g/cm³) grâce à une pression élevée (100-300 MPa ± 5 MPa, paramètres de procédé liés à la norme GB/T 1479.1-2011). Le pressage consiste à comprimer la poudre pour lui donner une forme spécifique par pression mécanique. $\pm 0,1$ g/cm³, soit une densité théorique d'environ 45 à 60 % (se référer à la norme GB/T 3850-2015). La densité théorique correspond à la masse volumique du matériau à l'état non poreux. Résistance > 10 MPa ± 1 MPa. Selon les données d'essai des propriétés mécaniques des billettes pressées, la résistance désigne la capacité des billettes à résister aux forces externes. Le processus de moulage doit garantir la précision géométrique de la billette (écart dimensionnel $< 0,01$ mm $\pm 0,002$ mm, GB/T 4505-2008), l'uniformité de la densité (écart < 1 % $\pm 0,2$ %, selon l'analyse du

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

gradient de densité, l'uniformité de la densité fait référence à la cohérence spatiale de la densité à l'intérieur de la billette), la cohérence de la microstructure (porosité $< 40 \% \pm 2 \%$, se référer à ASTM B657-16, la porosité est la proportion de pores dans la billette par rapport au volume total, affectant l'effet de frittage ultérieur), fournissant une base fiable pour le frittage ultérieur.

Français Le cœur de la technologie de pressage du carbure cimenté réside dans le réarrangement des particules, la compression et la liaison initiale (le réarrangement des particules est le processus de réarrangement des particules de poudre sous pression pour réduire les espaces, la compression est le processus d'application d'une force externe pour déformer les particules et combler les espaces, et la liaison initiale est le processus de formation d'une résistance initiale entre les particules par verrouillage mécanique ou micro-liaison), impliquant la dynamique des particules (basée sur le modèle d'écoulement Hagen-Poiseuille, résistance visqueuse $\sim 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s} \pm 10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{s}$, Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009, pp. 678-685) et la déformation plastique (déformation des particules de $\text{Co} > 10\% \pm 1\%$, basée sur les données expérimentales d'écoulement plastique, la déformation plastique est le processus de déformation irréversible des matériaux sous contrainte, améliorant le contact entre les particules). Cette section analyse en détail le pressage unidirectionnel au carbure cimenté, le pressage isostatique à froid au carbure cimenté (CIP) et la conception de moules, combinant théorie et pratique pour explorer l'optimisation des processus et l'application technique.

La qualité du pressage influence directement l'effet de frittage. Par exemple, des billettes uniformes (écart de densité $< 0,5 \% \pm 0,1 \%$) peuvent réduire l'écart de retrait de frittage ($< 0,1 \% \pm 0,02 \%$, selon Materials Science and Engineering A, vol. 527, 2010, pp. 1234-1241 ; le retrait de frittage est le phénomène de réduction du volume de la billette pendant le frittage) et améliorer la régularité de la dureté du produit (écart $< \pm 30 \text{ HV}$, ISO 3738-1:1982). Français Les moules optimisés (coefficient de frottement $< 0,1 \pm 0,02$, se référant aux données de recherche sur les lubrifiants, le coefficient de frottement est un indicateur quantitatif de la résistance au glissement entre le moule et la poudre) peuvent réduire les défauts de démoulage (taux de fissuration $< 0,5 \% \pm 0,1 \%$, selon l'analyse des défaillances du moule, les défauts de démoulage sont des fissures ou des déformations causées par la libération des contraintes de la billette après moulage) et prolonger la durée de vie du moule ($> 10^5$ fois $\pm 10^4$ fois, Wear, Vol. 267, 2009, pp. 345-352). En analysant les paramètres de pressage, les matériaux du moule et les propriétés de la poudre, cette section fournit un support technique pour la préparation de carbures cimentés hautes performances (tels que les outils aéronautiques et les forets miniers).

5.1.1 Paramètres techniques et principes du pressage unidirectionnel du carbure cimenté

Le pressage uniaxial du carbure cimenté provoque le réarrangement, la déformation et la combinaison initiale des particules de poudre en appliquant une haute pression uniaxiale pour former une ébauche avec une certaine résistance et une certaine forme (le pressage uniaxial est une technologie qui applique une pression dans une seule direction pour le formage). La poudre (fluidité 13-16 secondes/50 g $\pm 0,5$ seconde, ISO 4490:2018) est compactée par une presse hydraulique

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(pression maximale 500 MPa $\pm$ 10 MPa, précision $\pm$ 5 MPa, conformément aux exigences d'équipement de la norme GB/T 1479.1-2011) à travers du carbure cimenté (WC-Co, dureté HV 1500 $\pm$ 50, ISO 3738-1:1982) ou une matrice en acier (dureté HRC 60 $\pm$ 2, GB/T 231.1-2018 essai de dureté Brinell). Pression de pressage 100-200 MPa $\pm$ 5 MPa, temps de maintien 5-10 secondes $\pm$ 0,1 seconde (le temps de maintien est le temps nécessaire pour maintenir la pression stable après l'application pour garantir que les particules sont combinées), densité de la billette 6,5-8,0 g/cm³ $\pm$ 0,1 g/cm³ (environ 50%-60% $\pm$ 1% de densité théorique, se référer à GB/T 3850-2015). La poudre remplit le moule (écart de hauteur < 0,5 mm $\pm$ 0,1 mm, GB/T 4505-2008), la pression est transmise dans la direction axiale, les particules sont réorganisées (la porosité est réduite à $\sim$ 35 % $\pm$ 2 %, selon Journal of Materials Processing Technology, Vol. 210, 2010, pp. 567-574) et le Co est déformé plastiquement (déformation > 8 % $\pm$ 1 %, données de mesure expérimentales) pour former une ébauche.

5.1.2 Mécanisme de pressage unidirectionnel du carbure cimenté

Français Au stade initial, le réarrangement des particules réduit la porosité (20 % $\pm$ 2 %, selon le Journal of Materials Processing Technology, vol. 210, 2010) ; sous haute pression, les particules de WC sont localement écrasées (< 5 % $\pm$ 1 %, données d'observation expérimentales, l'écrasement local est le phénomène de minuscules fissures ou de fragmentation des particules sous haute pression) et l'écoulement plastique du Co (taux de déformation $10^{-3} \text{ s}^{-1} \pm 10^{-4} \text{ s}^{-1}$, Acta Materialia, vol. 58, 2010) améliore la force de liaison (> 10 MPa $\pm$ 1 MPa, selon le test de résistance du compact vert).

5.1.3 Scénarios d'application du pressage unidirectionnel au carbure cimenté

Le pressage unidirectionnel du carbure cimenté convient aux géométries simples (telles que les inserts cylindriques d'un diamètre < 50 mm $\pm$ 0,1 mm, GB/T 4505-2008), avec un faible coût (< 0,5 USD $\pm$ 0,05 USD par pièce, estimé sur la base des coûts de production industrielle) et une efficacité de production élevée (> 1 000 pièces/heure $\pm$ 100 pièces, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 45, 2009, pp. 123-130).

5.1.4 Facteurs affectant le pressage unidirectionnel du carbure cimenté et stratégies d'optimisation

Une pression de pressage

de 100 à 200 MPa $\pm$ 5 MPa assure la résistance de la billette (> 12 MPa $\pm$ 1 MPa, données expérimentales). Une pression trop élevée (> 350 MPa $\pm$ 5 MPa) provoque une usure de l'outil (> 0,01 mm $\pm$ 0,002 mm/10⁴ fois, « Wear, Vol. 267, 2009 ») ou des fissures de la billette (> 1 % $\pm$ 0,2 %, observation expérimentale) ; une pression trop faible (< 80 MPa $\pm$ 5 MPa) conduit à une densité insuffisante (< 6,0 g/cm³ $\pm$ 0,1 g/cm³) et à une porosité après frittage > 0,5 % $\pm$ 0,1 % (ASTM B657-16).

Propriétés de la poudre

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Fluidité 13-16 secondes/50 g $\pm 0,5$ seconde Améliore l'uniformité du remplissage (écart $< 0,5 \% \pm 0,1 \%$, « ISO 4490:2018 »); FSSS $< 0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ Augmente le frottement entre les particules (coefficient $> 0,2 \pm 0,05$, « Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009 »), nécessitant une pression plus élevée (augmentation de $10 \% \pm 2 \%$). L'ajout de $0,5 \% \pm 0,01 \%$ d'acide stéarique réduit le frottement (coefficient $< 0,1 \pm 0,02$, « Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010 ») et augmente la résistance de la billette de $2 \% \pm 0,5 \%$ (mesure expérimentale).

les moules

($R_a < 0,1 \mu\text{m} \pm 0,02 \mu\text{m}$, GB/T 1031-2009) réduisent la résistance au démoulage ($< 5 \text{ kN} \pm 0,5 \text{ kN}$, basé sur des tests mécaniques) et réduisent le taux de défauts de $3 \% \pm 0,5 \%$ (données expérimentales); les moules rugueux ($R_a > 0,5 \mu\text{m} \pm 0,05 \mu\text{m}$) augmentent les rayures de surface ($> 0,1 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$, Wear, Vol. 267, 2009).

Un temps de maintien de

5 à 10 secondes $\pm 0,1$ seconde est adapté à une production à haut rendement. Un temps trop long (> 120 secondes ± 1 seconde) augmentera la consommation d'énergie ($> 10 \text{ kWh/t} \pm 1 \text{ kWh/t}$, données industrielles).

de précision de l'équipement

$\pm 5 \text{ MPa}$, écart de taille du moule $< 0,005 \text{ mm} \pm 0,001 \text{ mm}$ pour assurer la cohérence de l'ébauche (écart de densité $< 0,3 \% \pm 0,1 \%$, « GB/T 4505-2008 »).

5.1.5 Stratégie d'optimisation du pressage unidirectionnel du carbure cimenté

Utiliser une poudre à haute fluidité (14 s/50 g $\pm 0,5$ s, ISO 4490:2018), un moule poli ($R_a < 0,1 \mu\text{m} \pm 0,02 \mu\text{m}$, GB/T 1031-2009), un lubrifiant ajouté ($0,5 \% \pm 0,01 \%$ d'acide stéarique, Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010) et un contrôle précis de la pression ($150 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, GB/T 1479.1-2011).

5.1.6 Application de la pratique d'ingénierie du pressage unidirectionnel au carbure cimenté

Les outils de coupe pour l'aviation

sont produits par pressage unidirectionnel ($150 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) avec des plaquettes circulaires (diamètre $30 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, écart $< 0,01 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$, GB/T 4505-2008) pour le traitement des alliages de Ti (vitesse de coupe $> 300 \text{ m/min} \pm 10 \text{ m/min}$, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 50, 2010), avec une usure $< 0,1 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$, une durée de vie > 12 heures ± 1 heure et un faible coût ($< 0,5 \text{ USD} \pm 0,05 \text{ USD}$ par pièce, estimation industrielle).

5.1.7 Paramètres techniques et principes du pressage isostatique à froid du carbure cimenté

Principe du pressage isostatique à froid du carbure cimenté

Le pressage isostatique à froid (CIP) de carbure cimenté est une technologie avancée de formage

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

par métallurgie des poudres. Il vise à comprimer la poudre de carbure cimenté (comme la poudre mixte WC-Co) en appliquant une pression uniforme (pressage isostatique) dans toutes les directions à travers un milieu liquide afin de préparer des ébauches crues uniformes et de haute densité. Son principe de base consiste à exploiter l'incompressibilité et la transmission uniforme de la pression du milieu liquide, à placer la poudre dans un moule flexible, puis dans un récipient haute pression, puis à appliquer une pression sur le liquide à l'aide d'une pompe haute pression. La pression agit uniformément sur la surface du moule dans toutes les directions, de sorte que les particules de poudre sont comprimées de manière isotrope dans l'espace tridimensionnel. Cette technologie élimine efficacement le problème de concentration de contraintes lors du pressage unidirectionnel ou bidirectionnel, garantit une densité constante de chaque partie de l'ébauche et évite les gradients de densité et les défauts internes.

Procédé de pressage isostatique à froid

La poudre de carbure cimenté est chargée dans un moule flexible (tel qu'un sac en caoutchouc), scellée et placée dans un récipient haute pression de l'équipement CIP.

Le récipient haute pression est rempli d'un liquide (tel que de l'eau ou de l'huile) et la pression est appliquée par une pompe haute pression, avec une plage de pression comprise entre 100 et 300 MPa ± 5 MPa (GB/T 1479.1-2011). Le liquide transmet uniformément la pression au moule, et les particules de poudre sont réorganisées, déformées et étroitement liées sous pression isotrope pour former une ébauche crue dense. Après avoir maintenu la pression pendant 30 à 60 secondes ± 1 seconde, relâchez lentement la pression, sortez l'ébauche crue et préparez-la pour le frittage ultérieur.

L'avantage de la technologie de pressage isostatique à froid réside dans ses caractéristiques de compression isotrope, sa distribution uniforme de la pression, son écart de contrainte $< 1\% \pm 0,2\%$ (d'après le modèle de distribution des contraintes, « Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010 »), sa réduction significative du gradient de densité (écart $< 0,5\% \pm 0,1\%$), sa suppression efficace de la concentration de contrainte (< 50 MPa ± 5 MPa) et son uniformité améliorée des billettes (écart de densité $< 0,5\% \pm 0,1\%$). Ceci est crucial pour les produits en carbure cimenté, car ce matériau a des exigences extrêmement élevées en matière d'uniformité de densité, et toute non-uniformité entraînera des pores, des fissures ou une dégradation des performances après frittage.

Paramètres techniques du pressage isostatique à froid du carbure cimenté

Voici les paramètres techniques détaillés du pressage isostatique à froid du carbure cimenté, basés sur des applications industrielles réelles et des normes pertinentes :

pression

portée

100-300 MPa ± 5 MPa (GB/T 1479.1-2011), 250 MPa ± 5 MPa sont couramment utilisés pour équilibrer la densité et la durée de vie du moule.

Base de sélection

La pression doit être ajustée en fonction des caractéristiques de la poudre et de la densité cible. Les données expérimentales montrent qu'une pression de 200 à 300 MPa ± 5 MPa permet d'obtenir une

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

résistance de la billette supérieure à 12 MPa $\pm$ 1 MPa. Pour les poudres à dureté élevée avec une granulométrie WC inférieure à 0,5 μm , la pression recommandée est proche de 300 MPa ; pour les poudres à forte teneur en Co ($> 10 \% \pm 1 \%$), elle peut être réduite à 200 MPa afin d'éviter les fissures de surpression.

Taux de montée en puissance

10-30 MPa/min, augmentation progressive de la pression (pré-pression initiale de 50 MPa, augmentation progressive jusqu'à la pression cible) pour éviter la rupture du moule ou la stratification de la poudre causée par une pressurisation rapide.

Temps de maintien

Plage : 30 à 60 secondes $\pm$ 1 seconde (GB/T 1479.1-2011), garantissant que les particules sont entièrement combinées.

Impact : Les données expérimentales montrent que maintenir la pression pendant 30 à 60 secondes peut faire atteindre à la billette une résistance supérieure à 15 MPa $\pm$ 1 MPa. Maintenir la pression trop longtemps (> 120 secondes $\pm$ 1 seconde) augmentera la consommation d'énergie ($> 10 \text{ kW} \cdot \text{h} / \text{t} \pm 1 \text{ kW} \cdot \text{h} / \text{t}$, données industrielles), tandis que maintenir la pression pendant une durée trop courte (< 20 secondes $\pm$ 1 seconde) peut conduire à une densité insuffisante ($< 6,0 \text{ g/cm}^3$) $\pm 0,1 \text{ g/cm}^3$.

Température de fonctionnement :

Plage : Température normale à 50 °C (généralement 20 à 30 °C), évitez les températures excessives affectant les supports liquides et les performances du moule.

Exigences de contrôle : Fluctuation de température $< \pm 2$ °C pour éviter la dilatation du liquide ou le vieillissement du moule. Certains procédés peuvent fonctionner à 40-50 °C pour améliorer la fluidité de la poudre, mais la viscosité du liquide doit être surveillée.

Milieu de pression

Type : Média à base d'eau (tel que eau + inhibiteur de rouille) ou à base d'huile (tel que huile minérale), viscosité $10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s} \pm 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ (Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009).

Exigences : Le milieu doit être exempt d'impuretés, la précision de filtration doit être $< 10 \mu\text{m}$ et la quantité d'inhibiteur de rouille ajoutée doit être de 0,5 % à 1 % pour protéger l'équipement et prolonger la durée de vie du récipient haute pression.

Matériau du moule

Type : Caoutchouc naturel, caoutchouc silicone ou polyuréthane, dureté Shore A 70 ± 5 (ISO 7619-1:2010 Mesure de la dureté du caoutchouc), épaisseur de paroi 5-10 mm $\pm 0,1$ mm.

Exigences de performance : résistance à la pression $> 1,5$ fois la pression de service (c'est-à-dire supérieure à 450 MPa), module d'élasticité 5-10 MPa, assurant une transmission de pression uniforme et un moule réutilisable (durée de vie 500-1000 fois).

Traitement de surface : La surface du moule est polie à $R_a < 0,1 \mu\text{m} \pm 0,02 \mu\text{m}$ (GB/T 1031-2009), la résistance au démoulage $< 5 \text{ kN} \pm 0,5 \text{ kN}$ et le taux de défauts est réduit de 3 % $\pm 0,5$ % (données expérimentales).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Propriétés de la poudre

Taille des particules : taille des particules WC $0,5-3 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, taille des particules Co $1-2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ (GB/T 19077.1-2008), écart d'uniformité du mélange $< 3 \%$.

Fluidité : $13-16 \text{ secondes}/50 \text{ g} \pm 0,5 \text{ seconde}$ (ISO 4490:2018). L'ajout de $0,5 \%$ à $1 \% \pm 0,01 \%$ d'acide stéarique réduit le coefficient de frottement à $< 0,1 \pm 0,02$ (Materials Science and Engineering A, vol. 527, 2010).

Densité d'emballage : 40 à 50% de densité théorique, un dégazage sous vide (degré de vide $< 10 \text{ Pa}$) est nécessaire pour éliminer l'air.

Paramètres de l'équipement

Récipient haute pression : diamètre de la cavité intérieure $> 300 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$, résistance à la pression $> 600 \text{ MPa}$, le matériau est en acier à haute résistance (tel que 40CrNiMoA).

Pompe haute pression : pression de sortie $300-600 \text{ MPa}$, débit $10-50 \text{ L/min}$, précision de contrôle de pression $\pm 5 \text{ MPa}$ (GB/T 1479.1-2011).

Système de contrôle : contrôle PLC, précision de la pression $\pm 5 \text{ MPa}$, précision du temps $\pm 1 \text{ seconde}$, écart de taille du moule $< 0,005 \text{ mm} \pm 0,001 \text{ mm}$ (GB/T 4505-2008).

Densité des billettes vertes

Plage : $7,0-8,5 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$, équivalent à une densité théorique de $55 \%-65 \% \pm 1 \%$ (GB/T 3850-2015).

Impact : Plus la pression est élevée, plus la densité est élevée, mais une pression trop élevée ($> 350 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) peut provoquer une usure du moule, et une pression trop basse ($< 80 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) entraînera une densité insuffisante ($< 6,0 \text{ g/cm}^3$) . $\pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) , porosité après frittage $> 0,5 \%$ à $0,1 \%$ (ASTM B657-16).

Processus

Préparation de poudre

Les poudres de WC et de Co ont été mélangées proportionnellement (mélangées par un broyeur planétaire pendant 24 heures, écart d'uniformité $< 3 \%$), $0,5 \%$ à $1 \% \pm 0,01 \%$ de lubrifiant à base d'acide stéarique a été ajouté et tamisé (200 mesh).

La teneur en humidité de la poudre a été contrôlée à $< 0,5 \%$ et séchée dans une étuve à vide ($80 \text{ }^\circ\text{C}$, 2 h).

Remplissage du moule

La poudre est chargée dans un moule en caoutchouc (épaisseur de paroi $5-10 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$) et remplie par vibration ($50-100 \text{ Hz}$) à une densité de remplissage de $40-50 \%$. Le moule est scellé et mis sous vide (degré de vide $< 10 \text{ Pa}$) pour éliminer l'air interne.

Pressage isostatique à froid

Le moule est placé dans un récipient à haute pression et un milieu liquide (viscosité 10^{-3}) est injecté. $\text{Pa}\cdot\text{s} \pm 10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{s}$) .

Augmentation progressive de la pression : pré-pression de 50 MPa (2 minutes), augmentation

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

progressive jusqu'à 250 MPa $\pm$ 5 MPa (3 à 5 minutes).

Maintenez la pression pendant 30 à 60 secondes $\pm$ 1 seconde pour vous assurer que les particules sont complètement combinées.

Relâchez lentement la pression (10-20 MPa/min) et retirez le moule.

Traitement des billettes vertes

Coupez l'excédent de caoutchouc et retirez le blanc vert.

Le flan vert est séché à 50-80°C pendant 3 heures pour éviter l'absorption d'humidité.

Le pré-frittage (600-800°C, 2 heures) élimine les lubrifiants et prépare au frittage formel.

5.1.8 Mécanisme de pressage isostatique à froid du carbure cémenté

Le pressage isostatique à froid permet un moulage uniforme de la poudre de carbure cémenté par compression isotrope. Le mécanisme est le suivant :

Compression isotrope

La pression est appliquée uniformément dans toutes les directions, avec un écart de contrainte de $<1\% \pm 0,2\%$ (basé sur le modèle de distribution de contrainte, Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010), garantissant que les particules de poudre sont soumises à une compression constante dans l'espace tridimensionnel.

Réduction du gradient de densité

Le pressage isostatique fait que l'écart de densité de chaque partie du corps vert est $< 0,5\% \pm 0,1\%$, ce qui est nettement inférieur aux 3 à 5 % du pressage unidirectionnel (Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010).

Suppression de la concentration de stress

Grâce à une distribution uniforme de la pression, la concentration de contrainte interne est $< 50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, ce qui est bien inférieur aux 100-150 MPa du pressage uniaxial (Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010).

Liaison de particules

Les particules de poudre subissent un réarrangement, une déformation plastique et une liaison initiale sous pression isotrope, et la résistance de la billette est $> 15 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$ (données expérimentales), fournissant une bonne base pour le frittage ultérieur.

L'avantage mécanique du pressage isostatique à froid réside dans la minimisation des gradients de densité et des défauts internes, améliorant ainsi l'uniformité des ébauches en carbure cémenté et les performances post-frittage. La densité uniforme de l'ébauche crue assure un retrait de frittage constant, et la porosité du produit fini peut atteindre le niveau A00-B00 (ISO 3369-2006). La dureté, la ténacité et la résistance à l'usure sont considérablement améliorées.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.1.9 Scénarios d'application du pressage isostatique à froid du carbure cimenté

La technologie de pressage isostatique à froid est particulièrement adaptée aux produits en carbure cimenté exigeant une grande uniformité et une géométrie complexe. Les applications spécifiques sont les suivantes :

Pièces de forme complexe

Par exemple, les forets miniers et les vannes pour eaux profondes, etc., nécessitent des écarts géométriques inférieurs à $0,02 \text{ mm} \pm 0,005 \text{ mm}$ (GB/T 4505-2008). Les moules flexibles pour pressage isostatique à froid s'adaptent à des formes spéciales pour garantir la précision du moulage.

Outils haute performance

Tels que les outils d'aviation, utilisés pour la découpe d'alliages de Ti (température de traitement $1000^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, vitesse $>300 \text{ m/min} \pm 10 \text{ m/min}$, "International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, Vol. 28, 2010").

Moule résistant à l'usure

Par exemple, les matrices de frappe à froid doivent résister à des temps d'extrusion élevés ($> 10^6$ fois $\pm 10^5$ fois, « Wear, Vol. 267, 2009 ») et à une déformation $< 0,01 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$.

Grande taille vierge

Pour les barres ou plaques de diamètres $> 100 \text{ mm}$, le pressage isostatique à froid assure une densité interne constante pour des applications hautes performances.

L'applicabilité du pressage isostatique à froid bénéficie de ses caractéristiques de pression isotrope, qui peuvent répondre aux exigences élevées du carbure cimenté en matière de densité et d'uniformité dans des conditions de travail difficiles.

5.1.10 Facteurs d'influence et stratégies d'optimisation du pressage isostatique à froid du carbure cimenté

L'effet de formage du pressage isostatique à froid est influencé par de nombreux facteurs. Voici les principaux facteurs et leurs stratégies d'optimisation :

Pression de suppression

Impact : Une pression de $200 \text{ à } 300 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ peut garantir une résistance de l'ébauche supérieure à $12 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$ (données expérimentales). Une pression trop élevée ($> 350 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) entraînera une usure de la matrice et réduira la durée de vie à < 500 fois ; une pression trop basse ($< 80 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) entraînera une densité $< 6,0 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ et une porosité après frittage $> 0,5 \% \pm 0,1 \%$ (ASTM B657-16).

Optimisation : Contrôler la pression à $250 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ (GB/T 1479.1-2011) et adopter une stratégie d'augmentation progressive de la pression (par exemple, une pré-pression de 50 MPa , puis

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

une augmentation progressive jusqu'à la pression cible).

Propriétés de la poudre

Fluidité : 13-16 sec/50 g $\pm 0,5$ sec (ISO 4490:2018) peut améliorer l'uniformité du remplissage (écart $< 0,5 \% \pm 0,1 \%$).

Lubrifiant : L'ajout de $0,5 \%$ à $1 \% \pm 0,01 \%$ d'acide stéarique réduit le coefficient de frottement à $< 0,1 \pm 0,02$ (Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010) et augmente la résistance de l'ébauche de $2 \% \pm 0,5 \%$ (mesure expérimentale).

Optimisation : utiliser une poudre à haute fluidité (14 secondes/50 g $\pm 0,5$ seconde) et ajouter une petite quantité de poudre nano-WC ($0,5 \% \pm 0,01 \%$) pour améliorer la liaison des particules.

Surface du moule

Impact : La rugosité de la surface du moule $Ra < 0,1 \mu m \pm 0,02 \mu m$ (GB/T 1031-2009) peut réduire la résistance au démoulage à $< 5 \text{ kN} \pm 0,5 \text{ kN}$ et le taux de défauts de $3 \% \pm 0,5 \%$ (données expérimentales).

Optimisation : polir la surface du moule pour garantir $Ra < 0,1 \mu m$ et utiliser un revêtement résistant à l'usure (tel que TiN) pour prolonger la durée de vie du moule.

Temps de maintien

Impact : 30 à 60 secondes ± 1 seconde peuvent rendre la résistance de la billette $> 15 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$.

Trop long (> 120 secondes ± 1 seconde) augmente la consommation d'énergie ($> 10 \text{ kW} \cdot \text{h} / \text{t} \pm 1 \text{ kW} \cdot \text{h} / \text{t}$), trop court (< 20 secondes ± 1 seconde) conduit à une liaison insuffisante des particules.

Optimisation : Le temps de maintien est contrôlé à 45-60 secondes ± 1 seconde et ajusté en fonction de la taille du corps vert et des caractéristiques de la poudre.

Précision de l'équipement

Impact : La précision du contrôle de la pression de $\pm 5 \text{ MPa}$ et l'écart de taille du moule de $< 0,005 \text{ mm} \pm 0,001 \text{ mm}$ (GB/T 4505-2008) peuvent garantir que l'écart de densité de la billette est $< 0,3 \% \pm 0,1 \%$.

Optimisation : Utiliser un système de contrôle PLC de haute précision et calibrer régulièrement les capteurs de pression (toutes les 500 pressions) pour garantir la stabilité de l'équipement.

5.1.11 Stratégie d'optimisation du pressage isostatique à froid du carbure cémenté

Sur la base des facteurs d'influence ci-dessus, la stratégie d'optimisation du pressage isostatique à froid est la suivante :

Poudre à haut débit

Sélectionnez une poudre avec une fluidité de 14 secondes/50 g $\pm 0,5$ seconde (ISO 4490:2018) pour garantir l'uniformité du remplissage.

Moule de polissage

La rugosité de la surface du moule $Ra < 0,1 \mu m \pm 0,02 \mu m$ (GB/T 1031-2009), réduisant la résistance au démoulage .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ajout de lubrifiant

L'ajout de 0,5 % $\pm$ 0,01 % d'acide stéarique (Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010) peut réduire la friction et améliorer la résistance des billettes.

Contrôle précis de la pression

La pression de pressage a été contrôlée à 250 MPa $\pm$ 5 MPa (GB/T 1479.1-2011) et une stratégie d'augmentation et de diminution progressive de la pression a été adoptée.

Technologie d'assistance

La vibration ultrasonique (20 kHz) est introduite pour faciliter le remplissage de la poudre, réduire la porosité et augmenter la densité de remplissage à 50-55 %.

5.1.12 Cas réel de pressage isostatique à froid de carbure cimenté

la pression 60 secondes $\pm$ 1 seconde) pour former des ébauches en carbure cimenté (granulométrie WC 0,5 μ m $\pm$ 0,01 μ m, teneur en Co 10 % $\pm$ 1 %, « GB/T 19077.1-2008 »). La masse volumique de l'ébauche crue après pressage est de 8,0 g/cm³ $\pm$ 0,1 g/cm³ (environ 62 % de la masse volumique théorique, GB/T 3850-2015). Après frittage, la dureté atteint HV 2300 $\pm$ 30 (ISO 3738-1:1982). Le produit fini est utilisé pour les outils aéronautiques afin de traiter les alliages de titane (température 1000 °C $\pm$ 10 °C, vitesse de coupe > 300 m/min $\pm$ 10 m/min, International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, Vol. 28, 2010). Usure de l'outil < 0,08 mm $\pm$ 0,02 mm, durée de vie > 18 heures $\pm$ 1 heure, présentant une excellente résistance à l'usure et une excellente stabilité.

5.1.13 Pratique d'application technique du pressage isostatique à froid du carbure cimenté

Trépan de forage minier

Procédé : Les forets à dents complexes sont fabriqués par pressage isostatique à froid (250 MPa $\pm$ 5 MPa), avec un écart géométrique de < 0,02 mm $\pm$ 0,005 mm (GB/T 4505-2008).

Performances : Densité après frittage > 99,8 % $\pm$ 0,1 % (ISO 3369-2006), utilisé pour le forage de roches dures (résistance à la compression > 200 MPa $\pm$ 10 MPa, GB/T 3851-2015), durée de vie du forage > 1 500 m $\pm$ 100 m.

Avantages : Le moulage de haute précision et la densité uniforme de la forme complexe des dents améliorent considérablement la résistance aux chocs et la durée de vie du foret.

Moule résistant à l'usure

Procédé : pressage isostatique à froid (200 MPa $\pm$ 5 MPa) pour former des billettes rectangulaires, densité 8,0 g/cm³ $\pm$ 0,1 g/cm³ (" GB/T 3850-2015").

Performances : Utilisé pour la frappe à froid (temps d'extrusion > 10⁶ fois $\pm$ 10⁵ fois, « Wear, Vol. 267, 2009 »), déformation < 0,01 mm $\pm$ 0,002 mm.

Avantages : La haute densité et l'uniformité garantissent que le moule reste stable sous des charges élevées et prolonge sa durée de vie.

En résumé, la technologie de pressage isostatique à froid du carbure cimenté permet d'obtenir une densité élevée des ébauches crues (7,0-8,5 g/cm³) grâce à une compression isotrope ($\pm$ 0,1 g/cm³)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

et une uniformité (écart de densité $< 0,5 \% \pm 0,1 \%$), ce qui en fait un choix idéal pour la production de produits en carbure cimenté de formes complexes et hautes performances. Ses paramètres techniques doivent être contrôlés avec précision (pression de $250 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, pression de maintien de 30 à 60 secondes ± 1 seconde, par exemple), et l'effet de moulage peut être encore amélioré en optimisant la précision de la poudre, du moule et de l'équipement. Des applications pratiques ont montré que le pressage isostatique à froid est performant dans les domaines des forets miniers, des moules résistants à l'usure et des outils aéronautiques, améliorant considérablement les performances et la durée de vie des produits.

5.1.14 Paramètres techniques et principes du pressage isostatique à chaud du carbure cimenté

Principe du pressage isostatique à chaud du carbure cimenté

Le pressage isostatique à chaud (CIC) du carbure cimenté est une technologie de post-traitement avancée qui combine haute température et haute pression uniforme. Son objectif est d'éliminer les micropores restants lors du frittage du carbure cimenté grâce à une pression isotrope afin d'améliorer la densité et la fiabilité du matériau. Le principe de base du **pressage isostatique à chaud du carbure cimenté** consiste à placer les produits en carbure cimenté frittés dans un environnement à haute température et haute pression, sous gaz inerte (tel que l'argon), et sous haute température ($1350-1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, ISO 13703:2000) et haute pression ($100-200 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$), afin de provoquer un écoulement plastique et une diffusion du matériau, remplissant ainsi les micropores et améliorant sa microstructure et ses propriétés mécaniques.

Procédé de pressage isostatique à chaud

Le produit en carbure cimenté fritté (ou ébauche pré-frittée) est placé dans un récipient haute pression de l'équipement HIP.

Le récipient haute pression est rempli d'argon de haute pureté (Ar, pureté $> 99,99 \% \pm 0,01 \%$, GB/T 4325-2018 ; débit $50 \text{ L/min} \pm 5 \text{ L/min}$, données expérimentales) comme milieu de pression. L'équipement est chauffé à $1350-1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ et applique simultanément une pression de $100-200 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ avec une distribution de pression uniforme et un écart de $< 1\% \pm 0,2\%$ (Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010).

Maintenir au chaud pendant 1 à 2 heures $\pm 0,1$ heure pour permettre aux micropores à l'intérieur du matériau de se fermer grâce aux mécanismes d'écoulement et de diffusion du plastique.

Refroidir lentement ($5-15^\circ\text{C/min}$) et relâcher la pression ($5-10 \text{ MPa/min}$), puis retirer le produit.

L'avantage unique du pressage isostatique à chaud réside dans sa capacité à réduire significativement la porosité du carbure cimenté sous haute température et haute pression (réduction $> 50 \% \pm 5 \%$, « Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010 »), rapprochant ainsi la densité du matériau de sa valeur théorique ($> 99,8 \% \pm 0,1 \%$, « ISO 3369-2006 »), améliorant ainsi la dureté, la ténacité et la résistance à l'usure. Cette technologie est particulièrement adaptée aux produits en carbure cimenté exigeant une fiabilité élevée, tels que les outils aéronautiques et les forets miniers.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Paramètres techniques du pressage isostatique à chaud du carbure cémenté

Voici les paramètres techniques détaillés du pressage isostatique à chaud du carbure cémenté, basés sur les applications industrielles et les normes pertinentes :

température

Plage : 1350-1450°C $\pm 10^{\circ}\text{C}$ (ISO 13703:2000), 1400°C $\pm 10^{\circ}\text{C}$ est couramment utilisé pour équilibrer la densification et la croissance des grains.

Base de sélection : La température doit être suffisamment élevée pour favoriser l'écoulement plastique (taux de déformation $10^{-4} \text{ s}^{-1} \pm 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, Acta Materialia, Vol. 58, 2010) et la diffusion (coefficient $10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$, Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009), mais ne doit pas dépasser 1500°C $\pm 10^{\circ}\text{C}$ pour éviter une croissance excessive des grains de WC (Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010).

Vitesse de chauffage : 5-10°C/min, pour éviter les fissures causées par les contraintes thermiques.

pression

Plage : 100-200 MPa $\pm 5 \text{ MPa}$, 150 MPa $\pm 5 \text{ MPa}$ sont couramment utilisés pour assurer l'effet d'élimination des pores.

Base de sélection : 150 MPa $\pm 5 \text{ MPa}$ permettent de réduire efficacement la porosité à $< 0,03 \% \pm 0,01 \%$ (ASTM B657-16). À une pression $< 100 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, l'effet de densification est insuffisant et la porosité est $> 0,1 \% \pm 0,02 \%$. Bien qu'une pression $> 200 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ puisse réduire davantage la porosité, elle augmente considérablement le coût de l'équipement et la consommation d'énergie.

Taux d'augmentation de la pression : 5 à 10 MPa/min, augmentation progressive de la pression (pré-pression initiale de 50 MPa, augmentation progressive jusqu'à la pression cible) pour éviter les changements de pression soudains.

Temps d'isolation

Plage : 1 à 2 heures $\pm 0,1 \text{ heure}$, généralement 1 heure $\pm 0,1 \text{ heure}$ pour assurer une densification adéquate.

Impact : Un maintien de 1 heure $\pm 0,1 \text{ heure}$ peut entraîner une densité $> 99,8 \% \pm 0,1 \%$ (ISO 3369-2006). Un maintien de plus de 2 heures $\pm 0,1 \text{ heure}$ augmente la consommation d'énergie ($> 20 \text{ kWh}/\text{t} \pm 2 \text{ kWh}/\text{t}$, données industrielles) et peut entraîner une croissance des grains.

Milieu de pression

Type : Argon (Ar), pureté $> 99,99 \% \pm 0,01 \%$ (GB/T 4325-2018), débit 50 L/min $\pm 5 \text{ L/min}$ (données expérimentales).

Exigences : L'argon de haute pureté permet d'éviter l'oxydation (teneur en O $< 0,02 \% \pm 0,005 \%$, GB/T 4325-2018) et d'assurer la stabilité des performances du matériau. Le gaz doit passer à travers un filtre de 0,5 μm pour éliminer les impuretés.

Paramètres de l'équipement

Récipient haute pression : diamètre de la cavité intérieure $> 200 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$, résistance à la pression $> 300 \text{ MPa}$, le matériau est un alliage haute température (tel que l'Inconel 718).

Système de chauffage : Puissance $> 150 \text{ kW} \pm 10 \text{ kW}$ (ISO 13703:2000), précision de contrôle de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

température $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

Système de contrôle : contrôle PLC, précision de pression $\pm 5\text{ MPa}$, précision de temps $\pm 0,1\text{ heure}$, écart de température $< \pm 10^{\circ}\text{C}$.

Taux de refroidissement

Plage : $5\text{-}15^{\circ}\text{C}/\text{min}$, taux de décharge de pression $5\text{-}10\text{ MPa}/\text{min}$.

Exigences : Un refroidissement et une décompression lents peuvent éviter les fissures causées par les contraintes thermiques et de pression.

Processus

Préparation du produit

des produits en carbure cimenté fritté (taille des particules WC $0,3\text{-}1\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$, teneur en Co $6\%\text{-}12\% \pm 1\%$, "GB/T 19077.1-2008") sont propres et exempts de tartre d'oxyde ou de contaminants. Vérifiez la porosité initiale du produit (généralement $0,1\text{ \% à }0,5\text{ \%} \pm 0,05\text{ \%}$, ASTM B657-16) pour vous assurer qu'il convient au traitement HIP.

Préchauffage des équipements

Le récipient haute pression a été préchauffé à $300\text{-}500^{\circ}\text{C}$ et injecté avec de l'argon de haute pureté (pureté $> 99,99\text{ \%} \pm 0,01\text{ \%}$) à un débit de $50\text{ L}/\text{min} \pm 5\text{ L}/\text{min}$.

Vérifiez l'étanchéité de l'équipement et le capteur de pression pour vous assurer que l'écart de pression est $\leq \pm 5\text{ MPa}$.

Pressage isostatique à chaud

Augmenter la température à $1350\text{-}1450^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ ($5\text{-}10^{\circ}\text{C}/\text{min}$) et la pression à $100\text{-}200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$ ($5\text{-}10\text{ MPa}/\text{min}$).

Maintenir au chaud pendant $1\text{ à }2\text{ heures} \pm 0,1\text{ heure}$ pour permettre aux micropores de se fermer par écoulement plastique et diffusion.

Refroidir lentement ($5\text{-}15^{\circ}\text{C}/\text{min}$) et relâcher la pression ($5\text{-}10\text{ MPa}/\text{min}$), puis retirer le produit.

Traitement ultérieur

Une fois le produit refroidi à température ambiante, la surface est inspectée et la porosité est mesurée (cible $< 0,03\text{ \%} \pm 0,01\text{ \%}$).

Si nécessaire, effectuez des opérations de finition (telles que le polissage ou le meulage) pour préparer l'utilisation ou des tests supplémentaires.

5.1.15 Mécanisme de pressage isostatique à chaud du carbure cimenté

Le mécanisme de pressage isostatique à chaud est basé sur le comportement microscopique des matériaux sous haute température et haute pression, et comprend principalement les deux mécanismes clés suivants :

Écoulement plastique

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Français Dans les conditions de $1350-1450\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ et de $100-200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, la phase Co (phase de liaison) dans le carbure cimenté se ramollit et le matériau dans son ensemble présente un écoulement plastique (taux de déformation $10^{-4}\text{ s}^{-1} \pm 10^{-5}\text{ s}^{-1}$, Acta Materialia, Vol. 58, 2010). Cet écoulement déforme le matériau autour des micropores, remplit les pores et réduit significativement la porosité (réduction de $> 50\% \pm 5\%$, Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010).

Accélération de la diffusion

À des températures élevées, le coefficient de diffusion atomique augmente de manière significative ($10^{-8}\text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-9}\text{ cm}^2/\text{s}$, Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009), et les atomes de WC et de Co diffusent à travers les joints de grains et les stéréomicroscopes, favorisant davantage la fermeture des pores et l'homogénéisation microstructurale.

Grâce au mécanisme décrit ci-dessus, la compression isostatique à chaud réduit la porosité du carbure cimenté à $< 0,03\% \pm 0,01\%$ (ASTM B657-16), et la densité est proche de la valeur théorique ($> 99,8\% \pm 0,1\%$, ISO 3369-2006). De plus, la température et la pression élevées améliorent également la résistance de l'interface WC-Co et réduisent la concentration de microcontraintes ($< 20\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, données expérimentales), améliorant ainsi la fiabilité et les propriétés mécaniques (telles que la dureté et la ténacité) du matériau.

5.1.16 Scénarios d'application du pressage isostatique à chaud du carbure cimenté

La technologie de pressage isostatique à chaud est principalement utilisée pour éliminer les micropores restants pendant le processus de frittage du carbure cimenté et convient aux scénarios d'application avec des exigences de fiabilité extrêmement élevées :

Outils de coupe aéronautiques hautes performances en carbure

Les outils aéronautiques doivent maintenir leur stabilité à haute température et à grande vitesse (comme l'usinage d'alliages haute température, température $> 1\,000\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, vitesse $> 300\text{ m/min} \pm 10\text{ m/min}$). Le HIP permet de réduire la porosité à $< 0,03\% \pm 0,01\%$ (ASTM B657-16), améliorant ainsi la dureté et la résistance à l'usure.

Forets miniers en carbure

aux chocs et à l'usure lors du forage de roches dures. Le carbure cimenté traité HIP présente une ténacité élevée ($K_{IC} > 18\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$, ISO 28079:2009), ce qui prolonge sa durée de vie.

Moule de précision en carbure

Par exemple, les matrices de tréfilage ou d'emboutissage nécessitent une densité élevée et une faible porosité pour garantir une stabilité à long terme.

Dispositifs médicaux en carbure

Par exemple, les pièces en carbure cimenté pour implants orthopédiques doivent être exemptes de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

micropores pour éviter la corrosion sous contrainte.

Le pressage isostatique à chaud élimine les micropores (porosité $< 0,03 \% \pm 0,01 \%$) et améliore la microstructure, ce qui permet aux produits en carbure cimenté d'afficher une fiabilité et une durabilité supérieures dans des conditions de travail difficiles.

5.1.17 Facteurs affectant le pressage isostatique à chaud du carbure cimenté et stratégies d'optimisation

L'effet du pressage isostatique à chaud est influencé par de nombreux facteurs. Voici les principaux facteurs et leurs stratégies d'optimisation :

Pression de pressage isostatique à chaud du carbure cimenté

Impact : 150 MPa $\pm$ 5 MPa permettent de réduire efficacement la porosité à $< 0,03 \% \pm 0,01 \%$ (ASTM B657-16). À une pression inférieure à 100 MPa $\pm$ 5 MPa, la densification est insuffisante et la porosité est supérieure à $0,1 \% \pm 0,02 \%$. Bien qu'une pression supérieure à 200 MPa $\pm$ 5 MPa puisse réduire davantage la porosité, le coût de l'équipement augmente d'environ 20 à 30 % (données industrielles).

Optimisation : sélectionnez 150 MPa $\pm$ 5 MPa et utilisez une augmentation de pression graduée (5-10 MPa/min) pour protéger l'équipement.

Température de pressage isostatique à chaud du carbure cimenté

Influence

1400°C $\pm 10^\circ\text{C}$ peut équilibrer la densification et la croissance des grains (Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010). Des températures $> 1500^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ entraîneront une croissance des grains de WC (taille des particules $> 2 \mu\text{m} \pm 0,5 \mu\text{m}$, données expérimentales) et réduiront la dureté ($< \text{HV } 2000 \pm 30$) ; des températures $< 1300^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ entraîneront une densification insuffisante et une porosité $> 0,05\% \pm 0,01\%$.

optimisation

La température a été contrôlée à $1400^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, la vitesse de chauffage était de $5-10^\circ\text{C}/\text{min}$ et la vitesse de refroidissement était de $5-15^\circ\text{C}/\text{min}$.

Temps de maintien du pressage isostatique à chaud du carbure cimenté

Influence

Un maintien d'une heure $\pm 0,1$ heure permet d'atteindre une densité $> 99,8 \% \pm 0,1 \%$ (ISO 3369-2006). Un maintien > 2 heures $\pm 0,1$ heure augmente la consommation d'énergie ($> 20 \text{ kWh/t} \pm 2 \text{ kWh/t}$) et peut entraîner une croissance des grains.

optimisation

Le temps de maintien est contrôlé entre 1 et 1,5 heure $\pm 0,1$ heure et est ajusté en fonction de la taille du produit et de la porosité initiale.

atmosphère

Influence

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Une pureté de l'argon supérieure à 99,99 % $\pm$ 0,01 % permet d'éviter l'oxydation (teneur en O < 0,02 % $\pm$ 0,005 %, GB/T 4325-2018). Si la pureté est inférieure à 99,9 %, la teneur en oxyde augmente (O > 0,05 % $\pm$ 0,01 %), ce qui réduit la ténacité du matériau ($K_{Ic} < 15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$).
optimisation

Utilisez de l'argon de haute pureté (> 99,99 % $\pm$ 0,01 %) avec un débit de 50 L/min $\pm$ 5 L/min pour garantir une atmosphère stable.

État initial des produits de pressage isostatique à chaud en carbure cémenté

Influence

Les porosités initiales > 0,5 % $\pm$ 0,05 % peuvent nécessiter des temps plus longs (> 2 h $\pm$ 0,1 h) ou des pressions plus élevées (> 200 MPa $\pm$ 5 MPa) pour atteindre la densité cible.

optimisation

La préférence est donnée aux produits frittés avec une porosité < 0,3% $\pm$ 0,05%, ou à l'optimisation de l'état initial par pré-frittage.

5.1.18 Stratégie d'optimisation du pressage isostatique à chaud du carbure cémenté

Sur la base des facteurs d'influence ci-dessus, la stratégie d'optimisation du pressage isostatique à chaud est la suivante :

Paramètres du processus

Le processus de 1400°C $\pm$ 10°C, 150 MPa $\pm$ 5 MPa, 1 heure $\pm$ 0,1 heure (ISO 13703:2000) est sélectionné pour garantir l'effet de densification et l'économie.

Contrôle de l'atmosphère

Utilisez de l'argon de haute pureté (> 99,99 % $\pm$ 0,01 %, GB/T 4325-2018) avec un débit de 50 L/min $\pm$ 5 L/min pour éviter l'oxydation.

Gestion de la température

La vitesse de chauffage est de 5 à 10 °C/min et la vitesse de refroidissement est de 5 à 15 °C/min pour réduire le stress thermique.

Entretien des équipements

Le récipient haute pression et les éléments chauffants ont été vérifiés régulièrement (tous les 500 traitements) pour garantir la précision de la température et de la pression ($\pm 10^\circ\text{C}$, $\pm 5 \text{ MPa}$).

Sélection des produits

Les produits avec une porosité initiale de < 0,3 % $\pm$ 0,05 % sont préférés pour réduire le temps de traitement et la consommation d'énergie.

5.1.19 Étude de cas réelle de pressage isostatique à chaud de carbure cémenté

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Une entreprise utilise le pressage isostatique à chaud ($1\,400\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$, $150\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, maintien de la température pendant $1\text{ heure} \pm 0,1\text{ heure}$) pour traiter des produits en carbure cimenté (granulométrie WC $0,3\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$, GB /T 19077.1-2008 ; teneur en Co $10\% \pm 1\%$, GB/T 5124-2017). Après traitement, la porosité est réduite à $< 0,03\% \pm 0,01\%$ (ASTM B657-16), la densité est $> 99,8\% \pm 0,1\%$ (ISO 3369-2006) et la dureté atteint HV 2 300 ± 30 (ISO 3738-1:1982). Les produits sont utilisés pour les outils d'aviation pour traiter les alliages à haute température (température $> 1000\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$, vitesse $> 300\text{ m/min} \pm 10\text{ m/min}$), avec une durée de vie de $> 20\text{ heures} \pm 1\text{ heure}$, montrant une excellente résistance à l'usure et stabilité.

5.1.20 Pratique d'application technique du pressage isostatique à chaud du carbure cimenté

Outils d'aviation

Procédé : Les outils en carbure sont usinés par pressage isostatique à chaud ($1400\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$, $150\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, ISO 13703:2000).

Performances : Dureté jusqu'à HV 2300 ± 30 (ISO 3738-1:1982), porosité $< 0,03\% \pm 0,01\%$, durée de vie lors du traitement d'alliages haute température $> 20\text{ heures} \pm 1\text{ heure}$.

Avantages : La haute densité et la faible porosité améliorent considérablement la stabilité de l'outil dans des conditions de température et de vitesse élevées .

Trépan de forage minier

Procédé : Pressage isostatique à chaud ($1450\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$, $200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, ISO 13703:2000) pour forets en carbure cimenté.

Performances : Ténacité $K_{Ic} > 18\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$ (ISO 28079:2009), durée de vie en forage de roche dure $> 1800\text{ m} \pm 100\text{ m}$.

Avantages : Après avoir éliminé les micropores, la résistance aux chocs et à l'usure du foret sont considérablement améliorées, prolongeant ainsi sa durée de vie.

La technologie de pressage isostatique à chaud du carbure cimenté élimine les micropores (porosité $< 0,03\% \pm 0,01\%$) grâce à une température et une pression élevées ($1\,400\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$, $150\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$), ce qui porte la densité du matériau à $> 99,8\% \pm 0,1\%$ et améliore significativement la dureté (HV 2 300 ± 30) et la ténacité ($K_{Ic} > 18\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$). Ce matériau est performant dans les applications exigeant une fiabilité élevée, telles que les outils aéronautiques et les foreuses minières. Les stratégies d'optimisation (telles que le contrôle précis de la température, de la pression et de l'atmosphère) améliorent encore l'efficacité des procédés et les performances des produits.

5.1.21 Technologie de pressage à double effet

Principe et contexte de la technologie de pressage bidirectionnel au carbure cimenté

Le pressage bidirectionnel est une technologie de pressage améliorée. Comparé au pressage unidirectionnel, il comprime la poudre de carbure cimenté (par exemple, un mélange de WC et de Co) dans le moule selon deux directions relatives (généralement verticales) en appliquant une pression simultanée via les têtes de pressage supérieure et inférieure. Cette méthode vise à réduire

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

le problème de gradient de densité fréquent lors du pressage unidirectionnel et à améliorer l'uniformité et la résistance de l'ébauche crue. Le pressage bidirectionnel est largement utilisé dans la production de carbure cimenté, notamment lorsqu'une densité et des dimensions plus importantes sont requises. Son principal avantage réside dans la synergie des têtes de pressage supérieure et inférieure, qui permet de répartir la force de pressage de manière plus uniforme sur les particules de poudre, réduisant ainsi les contraintes internes et la stratification.

Équipement de pressage bidirectionnel en carbure cimenté et paramètres de processus

équipement

Presse hydraulique à double effet

Équipé de deux jeux de vérins hydrauliques supérieurs et inférieurs indépendants, avec une plage de pression de 150 à 500 MPa. Les marques les plus courantes sont Dorst (Allemagne) et Kobelco (Japon).

Moule

Utilisez un acier haute dureté (tel que Cr12MoV, HRC 60 ou supérieur) ou un revêtement en carbure, et polissez la paroi intérieure du moule à $Ra < 0,2 \mu m$ pour réduire les frottements. La conception du moule doit permettre le mouvement synchrone des têtes de pression supérieure et inférieure, et l'écartement doit être contrôlé à 0,01 mm près.

Système de contrôle

Le système servohydraulique garantit que l'écart de pression des têtes de pression supérieure et inférieure est inférieur à 5 % et que la précision du déplacement est inférieure à 0,02 mm.

Paramètres du processus de pressage bidirectionnel du carbure cimenté

Pression : Le rapport de pression entre les têtes de pression supérieure et inférieure est généralement de 1:1, avec une valeur typique de 200 à 400 MPa, qui est ajustée en fonction des caractéristiques de la poudre et de la taille du corps vert.

Temps de pressage : cycle total 10-20 secondes, incluant le pré-pressage (2-5 secondes) et le pressage principal (5-15 secondes).

Propriétés de la poudre : granulométrie WC 0,5-3 μm , teneur en Co 6%-15%, 1%-2% de lubrifiant (tel que la paraffine ou l'acide stéarique) ajouté pour améliorer la fluidité.

Conditions environnementales : température $20 \pm 5^\circ C$, humidité $< 60\%$ pour éviter que la poudre n'absorbe l'humidité et n'affecte l'effet de pressage.

Le déroulement du processus de pressage bidirectionnel du carbure cimenté

Préparation de poudre

Les poudres de WC et de Co sont mélangées proportionnellement (généralement par broyage à boulets pendant 12 à 24 heures), additionnées de lubrifiant et tamisées jusqu'à obtenir une granulométrie uniforme (écart $< 5\%$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Remplissage du moule

La poudre est chargée dans le moule via un système de vibration ou d'alimentation automatique, et la densité de remplissage est contrôlée à 40%-50% pour éviter les bulles d'air.

Pré-pressurisation : appliquer une basse pression de 50 à 100 MPa, exclure l'air et maintenir pendant 2 à 5 secondes.

Pression principale : les têtes de pression supérieure et inférieure appliquent simultanément une pression de 200 à 400 MPa pendant 5 à 15 secondes pour garantir que les particules de poudre sont entièrement comprimées.

Démoulage : Relâcher lentement la pression (taux < 10 MPa/s) et retirer le flan vert pour éviter les fissures dues à une chute de pression soudaine.

Traitement ultérieur : La billette verte est séchée à 50-80°C pendant 2 heures pour éviter l'absorption d'humidité, suivi d'un pré-frittage (600-800°C) pour éliminer le lubrifiant.

Caractéristiques et avantages du pressage bidirectionnel au carbure cémenté

Uniformité de la densité

Par rapport au pressage unidirectionnel, l'action simultanée des têtes de pression supérieure et inférieure rapproche la densité de la partie médiane de l'ébauche des deux extrémités, et la densité globale peut atteindre 65 à 75 % de la densité théorique (le pressage unidirectionnel est généralement de 50 à 70 %).

Faible stress interne

La compression biaxiale réduit la contrainte de cisaillement entre les particules de poudre et les défauts internes de l'ébauche crue (tels que le délaminage et les microfissures) sont considérablement réduits.

Large applicabilité

Il convient au pressage de pièces de plus grande taille (hauteur 10-50 mm) ou de formes moyennement complexes, telles que des plaques et des barres.

Efficacité de la production

Le cycle de pressage est court, adapté à la production de masse et plus efficace que le pressage isostatique à froid.

Inconvénients et défis

Complexité des moisissures

La matrice de pressage bidirectionnelle doit prendre en charge les mouvements de haut en bas, et les coûts de conception et de fabrication sont plus élevés que ceux de la matrice de pressage unidirectionnelle.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Densité latérale insuffisante

Bien que la densité soit uniforme de haut en bas, il peut toujours y avoir un gradient de densité dans la direction latérale (horizontale), en particulier dans les corps verts avec un grand rapport hauteur/largeur.

Besoins élevés en équipements

La synchronisation des têtes de pression supérieure et inférieure nécessite un contrôle de haute précision et le coût de maintenance de l'équipement est élevé.

Scénario d'application

Tiges en carbure

Utilisé pour fabriquer des fraises et des forets d'un diamètre de 10 à 30 mm et d'une longueur de 50 à 100 mm.

Feuille mince vierge

Utilisé pour la production de revêtements résistants à l'usure ou de substrats d'outils de coupe, épaisseur 5-20 mm.

Cas

Une entreprise produit des barres de WC-10 % Co (20 mm de diamètre et 80 mm de longueur) par pressage bidirectionnel à une pression de 300 MPa. La densité de la billette crue est de 72 % de la densité théorique, la porosité après frittage est de A02 et la dureté est de HRA 90.

Détails techniques et optimisation

Répartition de la pression

Les pressions supérieures et inférieures doivent être réglées dynamiquement. Pour les poudres à forte teneur en Co (> 12 %), il est recommandé d'augmenter légèrement la pression supérieure (par exemple, 1,1:1) afin de compenser la faible fluidité du fond.

Lubrification des matrices

La paroi intérieure du moule est recouverte d'une couche lubrifiante en graphite ou en MoS₂, et le coefficient de frottement est réduit à 0,1-0,2, réduisant ainsi la résistance au démoulage.

Optimisation de la poudre

L'ajout de 0,5 % de poudre de WC nano (taille des particules < 100 nm) peut améliorer la force de liaison entre les particules et améliorer la densité de pressage.

Assistance par vibration

L'introduction de vibrations basse fréquence (50 à 100 Hz) pendant l'étape de remplissage améliore l'uniformité du remplissage de la poudre et réduit les trous d'air.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Précautions

Assurez la synchronisation des têtes de pression supérieure et inférieure. Un écart excessif peut entraîner un décalage du centre de l'ébauche. Il est recommandé d'utiliser un système de servocommande.

Pour les poudres à haute dureté (telles que les particules de WC dont la taille est $< 1 \mu m$), le temps de pré-pressage doit être prolongé (5 à 8 secondes) pour éviter l'agglomération de la poudre.

Les moules doivent être vérifiés régulièrement (tous les 1000 pressages) pour vérifier leur usure et repolis ou remplacés si nécessaire.

Références normatives connexes

ISO 4489:2009 Guide du procédé de frittage du carbure cimenté : souligne que le pressage bidirectionnel peut améliorer l'uniformité de la densité du corps vert et convient aux pièces de grande taille.

GB/T 3850-2015 Détermination de la densité théorique du carbure cimenté : L'augmentation de la densité de la billette verte grâce au pressage bidirectionnel permet d'atteindre la norme de densité théorique après frittage (écart $< 2 \%$).

5.1.22 Technologie de pressage au carbure cimenté : pressage multidirectionnel (pressage latéral)

Principe et contexte

Le pressage multidirectionnel est une technologie de pressage avancée. Basé sur le pressage bidirectionnel, l'ajout d'une tête de pression latérale (horizontale) permet d'appliquer simultanément une pression dans plusieurs directions (généralement verticale et 2 à 4 directions latérales) pour comprimer et mouler la poudre de carbure cimenté. Son objectif est d'améliorer l'uniformité de la densité du corps vert, de réduire les contraintes internes et les défauts, et il est particulièrement adapté aux produits en carbure cimenté aux formes complexes ou aux exigences de performances élevées.

Le pressage multidirectionnel compense le défaut de densité latérale insuffisante du pressage bidirectionnel en répartissant la pression dans plusieurs directions. Il est plus économique que le pressage isostatique à froid (NEP) et convient aux productions de moyenne envergure.

L'introduction d'une pression latérale permet aux particules de poudre d'être comprimées plus uniformément dans l'espace tridimensionnel, améliorant considérablement la densité et les performances post-frittage du corps vert.

Paramètres de l'équipement et du processus

équipement

Presse multidirectionnelle

Équipé de 4 à 6 têtes de pression (1 à 2 verticales, 2 à 4 latérales), la plage de pression est de 200 à 500 MPa, les marques courantes incluent Sumitomo du Japon ou Schuler d'Allemagne.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Moule

Structure composite mobile multidirectionnelle, la couche intérieure est en carbure cimenté (HRA 88 ou supérieur), la couche extérieure est en acier à haute résistance (résistance à la compression > 1000 MPa) et la paroi intérieure du moule est polie à $Ra < 0,15 \mu m$.

Système de contrôle

Le PLC est combiné avec un servomoteur pour surveiller la pression et le déplacement de chaque tête de pression en temps réel, avec une précision de ± 1 MPa et un écart de déplacement de $< 0,01$ mm.

Paramètres du processus

pression

Pression verticale 300-400 MPa, pression latérale 200-350 MPa, rapport de pression réglable (généralement 1:0,8).

Temps de pressage

Le cycle total dure de 10 à 20 secondes, y compris la pré-presse (3 à 5 secondes) et la presse principale (5 à 15 secondes).

Propriétés de la poudre

La taille des particules de WC est de 1 à 2 μm , la teneur en Co est de 6 à 12 % et un lubrifiant au graphite de 0,5 à 1 % est ajouté pour réduire la friction.

Conditions environnementales

Température $20 \pm 3^\circ C$, humidité $< 50\%$, s'assurer que la poudre est sèche.

Processus

Préparation de poudre

Les poudres de WC et de Co ont été mélangées par mélange à cisaillement élevé (broyeur planétaire, 24 h) et des traces de nano-additifs (tels que 0,5 % de nano-WC) ont été ajoutées pour améliorer la force de liaison entre les particules.

Remplissage du moule

La poudre est chargée dans le moule grâce à un système d'alimentation automatique, combiné à des vibrations à basse fréquence (50 Hz) pour assurer un remplissage uniforme avec un écart de densité $< 3\%$.

Précharge

Appliquez 50 à 100 MPa avec la tête de pression verticale et 30 à 80 MPa avec la tête de pression latérale pendant 3 à 5 secondes pour exclure l'air.

Pression principale

Les têtes de pression verticales et latérales sont pressées de manière synchrone, 400 MPa verticalement et 300 MPa latéralement, pendant 5 à 15 secondes pour assurer une compression tridimensionnelle.

Démoulage

Décharger l'ébauche crue par étapes (taux < 5 MPa/s) pour éviter les fissures causées par une

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

libération excessive des contraintes.

Traitement ultérieur

La billette verte a été séchée à 60 °C pendant 3 h, puis pré-frittée (700 °C pendant 2 h) pour éliminer le lubrifiant.

Caractéristiques et avantages

Uniformité de la densité

Le pressage multidirectionnel répartit la pression dans les trois dimensions, ce qui rend la densité de la pièce brute plus homogène dans toutes les directions. La densité moyenne peut atteindre 75 à 80 % de la densité théorique (65 à 75 % pour un pressage bidirectionnel).

Peu de défauts internes

L'introduction d'une pression latérale réduit considérablement le délaminage et les microfissures, et augmente la résistance de la billette verte de 20 à 30 %.

Adaptabilité des formes complexes

Convient aux formes moyennement complexes (telles que les ébauches d'outils à bords multiples, les moules de forme spéciale), plus flexible que le pressage bidirectionnel.

Performances de frittage améliorées

La densité uniforme des billettes vertes rend le retrait de frittage plus uniforme et la porosité du produit fini peut atteindre le niveau A00-B00.

Inconvénients et défis

Complexité de l'équipement

Les machines de pressage multidirectionnelles nécessitent la coordination de plusieurs têtes de pressage, et le coût de l'équipement et la difficulté de maintenance sont plus élevés que le pressage bidirectionnel.

Difficulté de conception du moule

Les moules multidirectionnels doivent résister à des contraintes multidirectionnelles, la conception doit être optimisée par analyse par éléments finis (FEA) et le coût de fabrication est élevé.

Exigences élevées en matière de contrôle des processus

La pression et le déplacement de chaque tête de pression doivent être synchronisés avec une grande précision, et le système de contrôle nécessite un retour d'information en temps réel.

Scénario d'application

Ébauches d'outils complexes : telles que les fraises à arêtes multiples et les ébauches de forets, qui nécessitent une uniformité et une résistance élevées.

Ébauches de moules : telles que les matrices d'emboutissage et les matrices de tréfilage, nécessitent une densité élevée.

Cas

Une entreprise produit des ébauches d'outils multi-tranchants en WC-8%Co (diamètre 30 mm, hauteur 15 mm) par pressage multidirectionnel (400 MPa vertical, 300 MPa latéral). La densité de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

l'ébauche crue est de 78 % de la densité théorique, la porosité après frittage est de A00 et la dureté est de HRA 91.

Détails techniques et optimisation

Répartition de la pression

La pression verticale représente 50 à 60 % de la pression totale, et la pression latérale 40 à 50 %. Le rapport est optimisé par des expériences (par exemple, 1:0,8:0,8).

Revêtement de moule

La paroi intérieure est revêtue d'un revêtement TiN ou DLC, le coefficient de frottement est réduit à 0,15 et la durée de vie du moule est prolongée (> 5000 fois de pressage).

Optimisation de la poudre

Ajoutez 0,5 % de lubrifiant nano-graphite pour réduire le frottement latéral et améliorer la fluidité des particules.

Technologie d'assistance

La vibration ultrasonique (20 kHz) a été introduite pour aider au pressage, améliorant le réarrangement des particules et augmentant la densité de 5 %.

Précautions

La synchronisation de la tête de pression doit être surveillée par un système de contrôle en boucle fermée, avec un écart de < 0,5 mm pour éviter tout biais.

Le moule doit être régulièrement inspecté pour détecter les points de contrainte multidirectionnels (tels que la zone de contact de la tête de pression latérale) afin d'éviter l'usure locale.

Pour les poudres à forte teneur en Co (> 10 %), la pression latérale doit être réduite (200-250 MPa) pour éviter une surpression provoquant une fissuration du corps vert.

Références normatives connexes

ISO 4489:2009 Guide des procédés de frittage du carbure cimenté

Le pressage multidirectionnel peut améliorer considérablement l'uniformité du corps vert et est recommandé pour les formes complexes.

GB/T 3850-2015 Détermination de la masse volumique théorique du carbure cimenté

L'augmentation de la densité des billettes vertes grâce au pressage multidirectionnel permet d'atteindre la densité théorique après frittage (écart < 1,5%).

5.1.23 Extrusion-Pressage

Cette section présente une description détaillée de la technologie d'extrusion-pressage du carbure cimenté. Elle couvre les principes, les caractéristiques, les paramètres techniques, le déroulement du processus, les scénarios d'application, les facteurs d'influence, les stratégies d'optimisation, les cas réels et les pratiques d'ingénierie. Le contenu s'appuie sur l'application concrète de la production de carbure cimenté, combinée aux caractéristiques du processus et aux données industrielles, et se veut exhaustif et de référence.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Principe du pressage par extrusion de carbure

Le moulage par extrusion est une technologie de moulage par métallurgie des poudres spécifiquement utilisée pour produire des ébauches en carbure cémenté, fines ou continues. Son principe de base consiste à mélanger de la poudre de carbure cémenté (comme un mélange de poudre WC-Co) avec un liant (tel que du poly(alcool vinylique)-PVA, du polyoxyméthylène-POM ou un liant à base de cire) pour obtenir une pâte fluide, puis à la presser sous haute pression dans un moule personnalisé à travers une extrudeuse afin d'obtenir une ébauche de forme transversale spécifique. Lors de l'extrusion, les particules de poudre sont réorganisées, comprimées et initialement combinées sous haute pression et sous les contraintes du moule. Le liant joue un rôle lubrifiant et liant pour garantir une résistance et une stabilité dimensionnelle suffisantes de l'ébauche après moulage. Après extrusion, l'ébauche est généralement découpée à la longueur requise, puis le liant est éliminé par dégraissage et frittage pour former un produit en carbure cémenté haute performance. Le processus de moulage par extrusion est le suivant :

Poudre mélangée à un liant

Les poudres de WC et de Co sont mélangées proportionnellement (généralement à l'aide d'un mélangeur à cisaillement élevé ou d'un broyeur planétaire pendant 24 heures), et 10 à 25 % de liant sont ajoutés pour préparer un matériau de pâte uniforme.

Extrusion

Le matériau en pâte est chargé dans le cylindre de l'extrudeuse et une pression élevée (200-400 MPa) est appliquée à travers le piston ou la vis pour pousser le matériau dans la matrice afin d'extruder une billette avec une forme de section transversale spécifique.

Coupe et séchage

Le corps continu extrudé est coupé selon les besoins (jusqu'à plusieurs mètres de longueur) et séché à 50-80°C pendant 2 à 4 heures pour éviter l'absorption d'humidité.

Dégraissage

L'élimination du liant s'effectue par déliantage thermique (300-500°C) et par déliantage chimique, avec une vitesse de chauffe <5°C/min.

frittage

Frittage à 1 350-1 450 °C et densification pour former le produit final en carbure cémenté. L'avantage unique du moulage par extrusion réside dans la production continue de billettes fines. La forme de la sortie de la matrice détermine la géométrie de la section transversale de la billette, ce qui convient à la production en série de pièces longues telles que des barres et des tubes.

Caractéristiques du moulage par extrusion de carbure cémenté

Le moulage par extrusion présente les caractéristiques importantes suivantes dans la production de carbure cémenté :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Flexibilité de forme

Il est adapté à la production d'ébauches fines ou continues, telles que des tiges, des tubes et des barres de forme spéciale. La forme de la section transversale peut être personnalisée par le moule (ronde, rectangulaire, polygonale, etc.).

Exigences relatives aux classeurs

Une quantité importante de liant (10 à 25 %) doit être ajoutée pour assurer la fluidité de la pâte et la résistance au moulage du corps cru. La présence de liant nécessite un dégraissage ultérieur.

Caractéristiques de densité

La densité de la billette crue est généralement de 55 à 65 % de la densité théorique, laquelle dépend du taux de liant et de la pression d'extrusion. Un taux de liant plus élevé peut réduire la densité initiale, mais après frittage, elle peut atteindre 98 à 99 % de la densité théorique.

Efficacité de la production

Il adopte un procédé d'extrusion continue à haut rendement, adapté aux besoins de production de masse. La production quotidienne d'une seule extrudeuse peut atteindre des centaines de mètres de billettes.

Complexité du processus

Le rapport de liant, la vitesse d'extrusion et le processus de dégraissage doivent être contrôlés avec précision, la chaîne de processus est longue et la complexité de la production est accrue.

Paramètres techniques du moulage par extrusion de carbure cimenté

Voici les paramètres techniques détaillés du moulage par extrusion de carbure cimenté, basés sur la pratique industrielle et les normes pertinentes :

pression

Plage : 200-400 MPa, 300 MPa sont couramment utilisés pour garantir la résistance du corps vert et la stabilité du formage.

Impact : Une pression trop basse (<150 MPa) peut entraîner une densité insuffisante du corps vert (<50% de la densité théorique) ; une pression trop élevée (>450 MPa) peut provoquer une usure du moule ou des fissures de surface sur le corps vert.

Propriétés de la poudre

Taille des particules : taille des particules WC 1-3 μm , taille des particules Co 1-2 μm , écart d'uniformité du mélange < 3 % (GB/T 19077.1-2008).

Liant : Liant à base d'alcool polyvinylique (PVA) ou de cire , le rapport est de 15%-25%, généralement 20% pour équilibrer la fluidité et la résistance du corps vert.

Fluidité : La fluidité de la matière pâteuse doit atteindre 15-20 secondes/50 g (similaire à la norme ISO 4490:2018) pour assurer une extrusion en douceur.

Vitesse d'extrusion

Plage : 0,5-2 m/min, la valeur couramment utilisée est 1 m/min.

Impact : Une vitesse trop rapide (> 2,5 m/min) peut provoquer des fissures de surface ou des pores

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

internes sur la pièce ; une vitesse trop lente ($< 0,3$ m/min) réduit l'efficacité de la production.

Conception de moules

Matériau : Carbure (HRA 88 ou supérieur) ou acier haute dureté (HRC 60 ou supérieur), tolérance de section de sortie $< 0,01$ mm.

Traitement de surface : La paroi intérieure du moule est polie à $Ra < 0,1 \mu\text{m}$ (GB/T 1031-2009) pour réduire la résistance au frottement ($< 0,1$, données expérimentales).

Forme de sortie : personnalisée selon les exigences du produit, telles que ronde (diamètre 2-20 mm), rectangulaire (largeur 2-10 mm).

Paramètres de l'équipement :

Extrudeuse : Type à piston ou à vis, plage de pression 200-500 MPa, température de chauffage du cylindre 50-80°C.

Système de contrôle : contrôle PLC, précision de la vitesse d'extrusion $\pm 0,1$ m/min, précision de la pression ± 5 MPa.

Conditions de dégraissage :

Température : 300-500°C, chauffage progressif, 400°C est couramment utilisé pour le dégraissage thermique.

Vitesse de chauffe : $< 5^\circ\text{C}/\text{min}$, pour éviter la fissuration de la pièce.

Environnement : Vide ou atmosphère inerte (N_2 ou Ar, pureté $> 99,9\%$), pour éviter l'oxydation.

Densité des billettes vertes :

Plage : 55%-65% de densité théorique (environ $7,0-8,5 \text{ g}/\text{cm}^3$, selon GB/T 3850-2015).

Impact : Plus le taux de liant est élevé, plus la densité initiale est faible, mais cela peut être compensé par une densification après frittage.

Processus

Préparation de poudre

Les poudres de WC et de Co sont mélangées proportionnellement (généralement une taille de particule de WC de 1 à $3 \mu\text{m}$, une teneur en Co de 6 à 12%), et malaxées par un broyeur planétaire pendant 24 heures, avec un écart d'uniformité $< 3\%$. 15 à 25% de liant (tel que le PVA) sont ajoutés et malaxés en une pâte (la teneur en humidité est contrôlée à 30 à 40%).

Extrusion

La pâte est chargée dans le cylindre de l'extrudeuse et chauffée à $50-80^\circ\text{C}$ pour améliorer la fluidité. Appliquez une pression de 300 MPa et une vitesse d'extrusion de $1 \text{ m}/\text{min}$ pour extruder des tiges ou des tubes à travers la filière.

Coupe et séchage

La billette continue extrudée est coupée selon les besoins (longueur $100-500 \text{ mm}$) avec une

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

précision de coupe de $\pm 0,5$ mm.

Sécher à 50-80°C pendant 2 à 4 heures pour réduire la teneur en humidité à $< 0,5$ %.

Dégraissage

Dégraissage thermique : 300-500°C, vitesse de chauffe $< 5^\circ\text{C}/\text{min}$, maintien au chaud pendant 2 heures.

Dégraissage chimique : Utiliser un solvant (tel que l'hexane) pour éliminer les résidus de colle si nécessaire.

frittage

Frittage à 1350-1450°C, maintien au chaud pendant 1 à 2 heures et densification à une densité théorique de 98%-99%.

Scénario d'application

Le moulage par extrusion est largement utilisé pour les produits en carbure cémenté nécessitant des formes fines. Les principaux cas d'utilisation sont les suivants :

Outils longs : tels que les tiges en carbure (diamètre 2-20 mm), utilisées pour fabriquer des tiges de forage, des fraises et des forets.

Tubes : tels que les tubes en carbure (diamètre extérieur 5-15 mm, épaisseur de paroi 1-3 mm), utilisés pour les tuyaux ou buses résistants à l'usure.

Barres de formes spéciales : telles que les barres de section rectangulaire ou polygonale, utilisées pour des outils de coupe spéciaux.

Étude de cas : Une entreprise produit des tiges de WC-10 % Co (5 mm de diamètre et 300 mm de longueur) par extrusion-moulage à une vitesse de 1 m/min. La densité à vert est de 60 % de la densité théorique (environ $8,0 \text{ g}/\text{cm}^3$), la dureté après frittage est de HRA 91 et la porosité est de A02. Elles sont utilisées pour la fabrication de forets de précision.

Facteurs d'influence et stratégies d'optimisation

Rapport de liant

Impact : Le taux de liant est compris entre 15 et 25 %, et l'écart doit être limité à < 1 %. Un taux élevé (> 30 %) réduira la densité de la billette crue (< 50 % de la densité théorique) et entraînera un retrait irrégulier après frittage (écart > 5 %) ; un taux faible (< 10 %) entraînera une fluidité insuffisante et des difficultés d'extrusion.

Optimisation : Utiliser $20 \pm 0,5$ % de PVA et prolonger le temps de mélange à 2 heures pour assurer l'uniformité.

Vitesse d'extrusion

Impact : La vitesse est de 0,5 à 2 m/min. Une vitesse trop rapide ($> 2,5$ m/min) provoquera des fissures de surface (profondeur de fissure $> 0,1$ mm, données expérimentales) ; une vitesse trop lente ($< 0,3$ m/min) réduira l'efficacité.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Optimisation : Contrôlez la vitesse à 1-1,5 m/min et surveillez la qualité de surface de la pièce en temps réel.

Fluidité de la poudre

Impact : Fluidité 15-20 secondes/50 g (similaire à la norme ISO 4490:2018). Une faible fluidité (> 25 secondes/50 g) peut entraîner une extrusion inégale.

Optimisation : En ajoutant 0,5% de lubrifiant acide stéarique, la fluidité après mélange est améliorée à 15 secondes/50 g $\pm$ 0,5 seconde.

Conception de moules

Impact : La tolérance de sortie du moule est $< 0,01$ mm et la rugosité de surface Ra est $< 0,1$ μ m , ce qui peut réduire la résistance au frottement ($< 0,1$) et réduire les défauts d'ébauche (taux de défauts < 2 %).

Optimisation : La paroi intérieure de la matrice est revêtue d'un revêtement DLC pour prolonger la durée de vie ($> 10\ 000$ extrusions).

Processus de dégraissage

Impact : Une vitesse de chauffage $> 5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ peut provoquer une fissuration de l'ébauche (taux de fissuration $> 5\%$) ; une température $> 500^{\circ}\text{C}$ peut provoquer une oxydation (teneur en O $> 0,05\%$).

Optimisation : Chauffage par paliers ($200-300^{\circ}\text{C}$, $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$; $300-500^{\circ}\text{C}$, $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$), déliantage sous atmosphère N_2 .

Précautions

Contrôle du liant : L'écart de rapport doit être < 1 % et l'écart d'uniformité du mélange doit être < 2 % pour éviter les défauts de frittage causés par un excès de liant local.

Déliantage procédé : vitesse de chauffage $< 5^{\circ}\text{C}/\text{min}$, temps de maintien 2-3 heures, assurer l'élimination complète du liant (résidu $< 0,1\%$).

Entretien du moule : Vérifiez la sortie du moule toutes les 5 000 extrusions et polissez-la à $\text{Ra} < 0,1$ μm pour éviter que l'usure n'affecte la précision de l'ébauche.

Séchage du corps vert : température de séchage $50-80^{\circ}\text{C}$, temps 2-4 heures, teneur en humidité $< 0,5\%$, éviter les fissures dues à l'absorption d'humidité.

Calibrage de l'équipement : La pression et la vitesse de l'extrudeuse doivent être calibrées régulièrement (une fois par mois), avec un écart de pression $\leq \pm 5$ MPa et un écart de vitesse $\leq \pm 0,1$ m/min.

Cas réels

Une entreprise utilise le moulage par extrusion pour produire des tiges en carbure cémenté WC-10 % Co (diamètre 5 mm, longueur 300 mm) destinées à la fabrication de forets de précision. Les paramètres du procédé sont les suivants :

Pression : $300\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$.

Vitesse d'extrusion : $1\text{ m/min} \pm 0,1\text{ m/min}$.

Poudre : granulométrie WC $1,5\text{ }\mu\text{m}$, teneur en Co $10\% \pm 1\%$, liant PVA $20\% \pm 0,5\%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Dégraissage : 400°C, vitesse de chauffe 3°C/min, atmosphère N₂.

Frittage : 1400°C, maintien en température 1,5 heure. Résultat : masse volumique à vert 60% masse volumique théorique (environ 8,0 g/cm³), masse volumique frittée 99% masse volumique théorique, dureté HRA 91, porosité A02, durée de vie du foret >1000 m (forage en roche dure, résistance à la compression >150 MPa).

Pratique d'application de l'ingénierie

Tige de forage en carbure

Procédé : La tige de forage WC-12%Co (diamètre 10 mm, longueur 500 mm) a été produite par moulage par extrusion, avec une pression de 350 MPa et une vitesse d'extrusion de 1,2 m/min.

Performances : dureté après frittage HRA 90, porosité A02, utilisé pour le forage pétrolier (résistance à la compression >200 MPa), durée de vie >2000 m.

Avantages : Le formage continu assure la cohérence de la longueur et de la section transversale de la tige, améliorant ainsi la stabilité et la durabilité de la tige de forage.

Tuyau résistant à l'usure

Procédé : Un tuyau WC-8%Co (diamètre extérieur 12 mm, épaisseur de paroi 2 mm) a été produit par moulage par extrusion, avec une pression de 300 MPa et une vitesse d'extrusion de 1 m/min.

Performance : La densité après frittage est de 98,5 % de la densité théorique, dureté HRA 89, utilisée pour transporter des boues corrosives, durée de vie résistante à l'usure > 6 mois.

Avantages : L'épaisseur de la paroi du tuyau est uniforme, avec une excellente résistance à la corrosion et à l'usure, adaptée aux conditions de travail difficiles.

Résumer

Le moulage par extrusion est un procédé de pressage du carbure cimenté efficace et flexible, particulièrement adapté à la production de pièces crues fines (comme les barres et les tubes). Un contrôle précis du taux de liant (20 % ± 0,5 %), de la vitesse d'extrusion (1-1,5 m/min) et du processus de déliantage (vitesse de chauffe < 5 °C/min) permet de produire des pièces crues de haute qualité, d'une densité de 55 % à 65 % de la densité théorique, avec d'excellentes performances après frittage (dureté HRA 90-91). Ce procédé offre d'excellentes performances dans les domaines des couteaux longs et des tubes résistants à l'usure, répondant ainsi aux besoins de la production de masse.

5.1.24 Moulage par injection de carbure

Principe du moulage par injection de carbure

Le moulage par injection est une technologie avancée de moulage par métallurgie des poudres, conçue spécifiquement pour le carbure cimenté (comme la poudre mixte WC-Co), similaire au procédé de moulage par injection plastique. Son principe de base consiste à mélanger la poudre de carbure cimenté avec un liant thermoplastique (comme le polypropylène PP, le polyoxyméthylène POM ou un mélange à base de cire) en proportions égales, à chauffer le tout à 150-200 °C pour

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

obtenir un état fondu fluide, puis à injecter le matériau fondu dans un moule de haute précision grâce au système d'injection haute pression (50-100 MPa) de la presse à injecter. Après refroidissement, une ébauche crue de forme complexe ou de petite taille est formée, puis le liant est éliminé par dégraissage et frittage pour obtenir un produit en carbure cémenté haute densité. L'optimisation du moulage par injection repose sur la dureté élevée et la faible fluidité de la poudre de carbure cémenté, ainsi que sur l'utilisation d'un système de liant spécifique et d'une conception de moule précise pour garantir la précision du moulage et la qualité de l'ébauche. Le processus de moulage par injection est le suivant :

Poudre mélangée à un liant

Les poudres de WC et de Co ont été mélangées avec 20 à 30 % de liant thermoplastique et mélangées dans un mélangeur à cisaillement élevé à 150-180 °C pendant 2 à 4 heures pour former une alimentation uniforme.

Moulage par injection

Le matériau fondu est extrudé à travers une vis ou un piston, injecté dans le moule à une pression de 80 MPa et démoulé après refroidissement.

Dégraissage

déliantage thermique (200-400°C) et chimique (400-600 °C) avec une vitesse de chauffe <3°C/min.

frittage

Frittage à 1350-1450°C, maintien pendant 1 à 2 heures et densification à 98% de la densité théorique. L'avantage unique du moulage par injection réside dans sa capacité à produire des formes géométriques complexes et des pièces de petite taille, avec une conception de moule flexible et une grande précision de moulage. Il est particulièrement adapté aux produits en carbure cémenté exigeant une grande précision et des structures complexes.

Caractéristiques du moulage par injection de carbure

Le moulage par injection présente les caractéristiques importantes suivantes dans la production de carbure cémenté :

Haute précision

Convient aux formes complexes (telles que les engrenages, les micro-outils) et aux pièces de petite taille, avec une tolérance de moulage de < 0,01 mm et une rugosité de surface de $Ra < 0,2 \mu m$.

Processus complexe

Il implique plusieurs processus tels que le mélange, l'injection, le dégraissage et le frittage. La chaîne de production est relativement longue et le cycle de production dure de 10 à 20 minutes par pièce.

Caractéristiques de densité

La densité de la billette crue est de 50 à 60 % de la densité théorique. Après frittage, elle peut atteindre 98 à 99 % de la densité théorique par densification, et la porosité est réduite à un niveau de A00-B00.

Efficacité de la production

Convient à la production en petits et moyens lots, la production en un seul coup est limitée (1 à 10 pièces/cycle), mais l'efficacité peut être améliorée grâce à des moules multi-empreintes.

Coût plus élevé

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Les coûts de conception et de fabrication des moules sont élevés, et les processus de déliantage et de frittage augmentent les coûts de production.

Paramètres techniques du moulage par injection de carbure cémenté

Voici les paramètres techniques détaillés du moulage par injection de carbure cémenté, basés sur la pratique industrielle et les normes pertinentes :

pression

Plage : 50-100 MPa, 80 MPa sont couramment utilisés pour garantir la qualité du remplissage et du moulage.

Impact : Une pression trop basse (< 40 MPa) peut entraîner un non-remplissage ou des défauts (taux de défauts $> 5\%$) ; une pression trop élevée (> 120 MPa) peut endommager le moule ou provoquer un débordement de matière en fusion.

Propriétés de la poudre

Taille des particules : taille des particules WC $0,5-2\ \mu\text{m}$, taille des particules Co $0,5-1\ \mu\text{m}$, écart d'uniformité du mélange $< 3\%$ (GB/T 19077.1-2008).

Liant : Liant thermoplastique (tel que PP, POM ou mélange à base de cire), le rapport est de 20%-30%, généralement 25% pour équilibrer la fluidité et la résistance du corps vert.

Fluidité : La viscosité à l'état fondu est de 100 à 500 Pa·s (données expérimentales), assurant un remplissage uniforme par injection.

Température d'injection

Plage : 150-200°C, 180°C est couramment utilisé pour optimiser l'état de fusion.

Impact : Une température trop basse ($< 140^\circ\text{C}$) entraînera une viscosité élevée et des difficultés de remplissage ; une température trop élevée ($> 220^\circ\text{C}$) peut décomposer le liant et affecter le dégraissage.

Température du moule

Plage : 50-80°C, 60°C est couramment utilisé pour accélérer le refroidissement et le démoulage.

Impact : Une température trop basse ($< 40^\circ\text{C}$) peut provoquer un refroidissement excessif et produire des contraintes internes ; une température trop élevée ($> 90^\circ\text{C}$) prolonge le temps de refroidissement.

Conditions de dégraissage

Température : 200-600°C, réalisée en deux étapes : déliantage thermique 200-400°C, déliantage chimique 400-600°C.

Vitesse de chauffe : $< 3^\circ\text{C}/\text{min}$, pour éviter la fissuration de l'ébauche (taux de fissuration $< 1\%$).

Environnement : Vide ou atmosphère inerte (N_2 ou Ar, pureté $> 99,9\%$), pour éviter l'oxydation.

Paramètres de l'équipement

Machine de moulage par injection : type à vis ou à piston, pression d'injection 50-120 MPa,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

puissance de chauffage du fût 10-20 kW.

Moule : Acier haute dureté (tel que H13, HRC 50 ou supérieur) ou revêtement en carbure, tolérance < 0,01 mm, surface polie à Ra < 0,1 µm (GB/T 1031-2009).

Système de contrôle : contrôle PLC, précision de température ±2°C, précision de pression ±2 MPa.

Densité des billettes vertes

Plage : densité théorique de 50 à 60 % (environ 6,5 à 8,0 g/cm³, selon GB/T 3850-2015).

Impact : Plus le taux de liant est élevé, plus la densité initiale est faible, mais après frittage, elle peut atteindre 98%-99% par diffusion et densification.

Processus

Poudre mélangée à un liant

Les poudres de WC et de Co ont été mélangées proportionnellement (taille des particules de WC 0,5-2 µm, teneur en Co 6%-10%) et malaxées dans un mélangeur à cisaillement élevé à 150-180°C pendant 2 à 4 heures.

Ajoutez 20 à 30 % de liant (tel qu'un mélange PP+POM) pour former une alimentation uniforme avec un écart de distribution granulométrique < 2 %.

Moulage par injection

Le matériau d'alimentation est chargé dans le cylindre de la machine de moulage par injection, chauffé à 180°C ± 2°C et extrudé à travers la vis après fusion.

La pression d'injection est de 80 MPa et la température du moule est de 60 °C. Le moule est injecté et démoulé après refroidissement de 5 à 10 minutes.

Dégraissage

Déliantage thermique : 200-400°C, vitesse de chauffe 2°C/min, maintien pendant 2 heures, atmosphère Nz.

Dégraissage chimique : 400-600°C, vitesse de chauffe 1°C/min, nettoyage au solvant pour éliminer le liant résiduel.

frittage

Frittage à 1400°C ± 10°C, maintien pendant 1,5 heure, sous vide ou Ar atmosphère, densifier à 98%-99% de densité théorique.

Scénario d'application

Le moulage par injection est largement utilisé pour les micro-pièces en carbure cémenté exigeant une grande précision et des formes complexes. Les principaux cas d'utilisation sont les suivants :

Micro- pièces : telles que les engrenages de précision et les micro-outils, utilisés dans les dispositifs médicaux (tels que les implants orthopédiques) et l'industrie électronique (telles que les micro-pièces de moteur).

Structures complexes : telles que les micro-fraises multi-arêtes et les ébauches d'outils de forme

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

spéciale pour l'usinage de précision.

Cas de moulage par injection de carbure

Une entreprise produit des micro-engrenages en WC-6 % Co (3 mm de diamètre, 1 mm d'épaisseur) par moulage par injection, avec une pression d'injection de 80 MPa et une température de moulage de 60 °C. La dureté après frittage est HRA 92 et la tolérance est inférieure à 0,01 mm. Ce matériau est utilisé pour les implants médicaux dont la durée de vie est supérieure à 5 000 cycles.

Facteurs d'influence et stratégies d'optimisation du moulage par injection de carbure cémenté

Rapport de liant

Impact : Le taux de liant est compris entre 20 et 30 %, avec un écart inférieur à 1 %. Un taux élevé ($> 35\%$) réduira la densité à cru ($< 45\%$ de la densité théorique) et rendra le dégraissage difficile (résidu $> 0,5\%$) ; un taux faible ($< 15\%$) entraînera une fluidité insuffisante et un remplissage irrégulier.

Optimisation : Utiliser un mélange PP + POM à $25\% \pm 0,5\%$ et mélanger pendant 3 heures pour assurer l'uniformité.

Température d'injection

Impact : $180^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ optimise la fluidité (viscosité $200\text{-}300\text{ Pa}\cdot\text{s}$) , les températures $< 140^{\circ}\text{C}$ conduisent à un sous-remplissage (taux de défaut $> 3\%$) ; les températures $> 220^{\circ}\text{C}$ peuvent décomposer le liant.

Optimisation : Régulation à $180\text{-}190^{\circ}\text{C}$, chauffage du fût par paliers (150°C entrée, 200°C sortie).

Conception de moules

Impact : Une tolérance du moule $< 0,01\text{ mm}$ et une rugosité de surface $R_a < 0,1\text{ }\mu\text{m}$ peuvent réduire la résistance au démoulage ($< 2\text{ kN}$) et le taux de défauts $< 1\%$ (données expérimentales).

Optimisation : Un revêtement TiN est appliqué sur la paroi intérieure du moule pour prolonger la durée de vie ($> 10\text{ }000$ injections).

Processus de dégraissage

Impact : Une vitesse de chauffage $> 3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ peut provoquer une fissuration du corps vert (taux de fissuration $> 2\%$) ; une température $< 200^{\circ}\text{C}$ peut entraîner un déliantage incomplet et des résidus $> 0,3\%$.

Optimisation : chauffage par paliers ($200\text{-}300^{\circ}\text{C}$, $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$; $300\text{-}600^{\circ}\text{C}$, $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$), dégraissage sous vide ($< 10\text{ Pa}$).

Pression d'injection

Impact : $80\text{ MPa} \pm 2\text{ MPa}$ assure un remplissage complet, une pression $< 50\text{ MPa}$ peut provoquer des tirs courts (taux de défaut $> 5\%$) ; une pression $> 120\text{ MPa}$ peut endommager le moule.

Optimisé : utilise $80\text{ à }90\text{ MPa}$, ajusté dynamiquement pour s'adapter aux géométries complexes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Précautions pour le moulage par injection de carbure cémenté

Élimination du liant : vitesse de chauffage $< 3^{\circ}\text{C}/\text{min}$, temps de maintien 2-3 heures, s'assurer que le résidu de liant est $< 0,1\%$ (fraction massique) pour éviter les défauts de frittage.

Précision du moule : Le moule doit être conçu avec une grande précision (tolérance $< 0,01\text{ mm}$), la surface polie à $R_a < 0,1\text{ }\mu\text{m}$ (GB/T 1031-2009) et l'usure doit être vérifiée toutes les 500 injections.

Contrôle du refroidissement : température du moule $50-80^{\circ}\text{C}$, temps de refroidissement 5-10 minutes, pour éviter les contraintes internes excessives ($< 10\text{ MPa}$, données expérimentales).

Contrôle environnemental : Les processus de mélange et d'injection doivent être réalisés dans un environnement sec (humidité $< 40\%$) pour éviter que la poudre n'absorbe l'humidité.

Entretien du matériel : Nettoyer la vis et le canon une fois par mois et vérifier la précision du système de chauffe ($\pm 2^{\circ}\text{C}$).

Étude de cas réelle sur le moulage par injection de carbure

Une entreprise utilise le moulage par injection pour produire des micro-engrenages en WC-6 % Co (3 mm de diamètre et 1 mm d'épaisseur) destinés à des implants médicaux. Les paramètres du procédé sont les suivants :

Pression d'injection : $80\text{ MPa} \pm 2\text{ MPa}$.

Température d'injection : $180^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

du moule : $60^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Poudre : granulométrie WC $0,8\text{ }\mu\text{m}$, teneur en Co $6\% \pm 1\%$, liant POM $25\% \pm 0,5\%$.

Dégraissage : $200-600^{\circ}\text{C}$, vitesse de chauffe $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$, atmosphère N_2 .

Frittage : 1400°C , maintenir au chaud pendant 1,5 heure. Résultat : la densité à vert est de 55 % de la densité théorique (environ $7,2\text{ g}/\text{cm}^3$), la densité frittée est de 98,5 % de la densité théorique, la dureté est HRA 92, la tolérance est $< 0,01\text{ mm}$, la durée de vie est > 5000 fois, répondant aux exigences de haute précision des dispositifs médicaux.

Pratique d'application technique du moulage par injection de carbure cémenté

Micro-couteau

Procédé : Des micro-fraises WC-8%Co (2 mm de diamètre et 10 mm de longueur) ont été produites par moulage par injection avec une pression d'injection de 85 MPa et une température de moule de 65°C .

Performance : Après frittage, la dureté est HRA 91, la porosité est A00, elle est utilisée pour le traitement électronique de précision (vitesse de coupe $200\text{ m}/\text{min}$) et la durée de vie est > 10 heures.

Avantages : La conception complexe à plusieurs bords est obtenue par moulage par injection, avec une grande précision pour répondre aux exigences de micro-usinage.

Pièces d'implants médicaux

Procédé : Des implants orthopédiques WC-6%Co (5 mm de diamètre, 2 mm d'épaisseur) ont été produits par moulage par injection avec une pression d'injection de 80 MPa et une température de moule de 60°C .

Performances : La densité après frittage est de 98% de la densité théorique, la dureté HRA 92, la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

biocompatibilité est conforme à la norme ISO 10993 et la résistance à la corrosion est excellente.

Avantages : La haute précision et les formes complexes répondent aux exigences des implants en matière de biosécurité et de propriétés mécaniques.

Le moulage par injection est un procédé de pressage de carbure cimenté de haute précision, adapté aux pièces de formes complexes et de petites dimensions. Grâce à un contrôle précis de la température d'injection ($180\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$), de la pression ($80\text{ MPa} \pm 2\text{ MPa}$) et du processus de dégraissage (vitesse de chauffe $< 3\text{ }^{\circ}\text{C/min}$), il permet de produire des billettes crues dont la densité est de 50 à 60 % de la densité théorique, et d'atteindre 98 à 99 % de la densité théorique (dureté HRA 92) après frittage. Ce procédé est particulièrement performant dans les domaines à forte valeur ajoutée tels que les micro-outils et les implants médicaux, répondant aux besoins de production en petites et moyennes séries.

5.1.25 Compactage au rouleau en carbure

Principe du compactage au rouleau de carbure

Le profilage est une technologie de formage par métallurgie des poudres efficace, adaptée à la production de feuilles ou de bandes minces de carbure cimenté (comme la poudre mixte WC-Co). Son principe fondamental consiste à comprimer et cisailer la poudre de carbure cimenté entre deux rouleaux rotatifs à grande vitesse. Les particules de poudre sont comprimées et réorganisées sous haute pression pour former une bande continue ou une feuille mince. La taille de l'espace et la vitesse de rotation entre les rouleaux déterminent l'épaisseur et la densité de l'ébauche. Après formage, l'ébauche est découpée ou emboutie à la forme souhaitée, puis densifiée par frittage. Le profilage utilise l'action continue de la force mécanique et est particulièrement adapté à la production en série de produits minces en carbure cimenté, réduisant ainsi le recours à des moules complexes dans les procédés de pressage traditionnels. Le processus de profilage est le suivant :

Préparation de poudre

Mélanger les poudres WC et Co, ajouter 2 % de lubrifiant (tel que PVA ou acide stéarique) et assurer l'homogénéité par malaxage.

Profilage

La pâte est introduite dans l'espace entre les rouleaux par un dispositif d'alimentation. Les rouleaux appliquent une pression de 50 à 150 MPa et une vitesse de 5 à 15 tr/min pour l'extrusion en un corps vert continu.

Coupe et séchage

Le corps vert est coupé à la longueur ou à la forme souhaitée et séché à $50\text{--}80^{\circ}\text{C}$ pendant 2 à 4 heures.

frittage

Fritté à $1350\text{--}1450^{\circ}\text{C}$, densifié à 98%-99% de densité théorique.

Les avantages uniques du profilage résident dans sa capacité de production continue, la simplicité de son équipement et son adaptabilité aux tôles fines ou aux flans de grande surface. Il est largement utilisé dans la production de substrats de revêtement résistant à l'usure en carbure cimenté.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Caractéristiques du compactage au rouleau carbure

Le profilage présente les caractéristiques importantes suivantes dans la production de carbure cémenté :

Production continue

Grâce à la rotation continue des rouleaux, il est adapté à la production en série de tôles ou de bandes minces, avec une production quotidienne de centaines de mètres carrés.

Contrôle de l'épaisseur

L'épaisseur de la pièce brute est réglable (0,5-5 mm) avec une tolérance de <0,05 mm, adaptée aux applications nécessitant une épaisseur uniforme.

Caractéristiques de densité

La densité de la billette crue est de 50 à 60 % de la densité théorique. Affectée par la fluidité de la poudre et la pression des rouleaux, elle doit être densifiée à 98 à 99 % par frittage ultérieur.

Équipement simple

L'équipement à rouleaux a une structure plus simple et ses coûts de fabrication et de maintenance sont inférieurs à ceux des équipements de moulage par injection ou de pressage isostatique, ce qui le rend adapté à la promotion industrielle.

limitation

Ne convient pas aux formes tridimensionnelles complexes, l'uniformité de l'épaisseur dépend de la précision de l'espacement des rouleaux.

Paramètres techniques

Voici les paramètres techniques détaillés du profilage en carbure cémenté, basés sur la pratique industrielle et les normes pertinentes :

pression

Plage : 50-150 MPa, 100 MPa sont couramment utilisés pour équilibrer la densité et l'efficacité de la production.

Impact : Une pression trop faible (<40 MPa) conduit à une densité insuffisante (<45% de densité théorique) ; une pression trop élevée (>180 MPa) peut provoquer une usure des rouleaux ou une fissuration de la billette.

Propriétés de la poudre

Taille des particules : taille des particules WC 1-3 μ m , taille des particules Co 1-2 μ m , écart d'uniformité du mélange < 3 % (GB/T 19077.1-2008).

Lubrifiant : Ajouter 2 % de lubrifiant (tel que PVA ou acide stéarique) pour améliorer la fluidité (14 secondes/50 g $\pm$ 0,5 seconde, ISO 4490:2018).

Teneur en humidité : contrôlée à < 0,5% pour ne pas affecter l'écoulement de la poudre.

Vitesse du rouleau

Plage : 5-15 tr/min, 10 tr/min est courant pour assurer un pressage uniforme.

Impact : Une vitesse trop rapide (> 20 tr/min) peut entraîner une surface rugueuse de la pièce (Ra>

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1 μm) ; une vitesse trop lente ($< 3 \text{ tr/min}$) réduit l'efficacité de la production.

Espacement des rouleaux

Plage : 0,5-5 mm, réglable, couramment utilisé 2 mm.

Précision du contrôle : écart $< 0,02 \text{ mm}$, assurant l'uniformité de l'épaisseur (tolérance $< 0,05 \text{ mm}$).

Impact : Un écart trop important ($> 6 \text{ mm}$) réduit la densité ($< 45\%$ densité théorique) ; un écart trop faible ($< 0,3 \text{ mm}$) peut obstruer les rouleaux.

Matériau du rouleau

Type : Carbone (HRA 88 et plus) ou acier haute dureté (HRC 60 et plus).

Traitement de surface : La surface du rouleau est polie à $Ra < 0,2 \mu\text{m}$ (GB/T 1031-2009) pour réduire le frottement (coefficient $< 0,15$).

Paramètres de l'équipement

Presse à rouleaux : conception à double rouleau, puissance 10-20 kW, plage de pression 50-200 MPa.

Système de contrôle : contrôle PLC, précision de vitesse $\pm 0,5 \text{ tr/min}$, précision d'écartement $\pm 0,01 \text{ mm}$.

Densité des billettes vertes

Plage : densité théorique de 50 à 60 % (environ $6,5$ à $8,0 \text{ g/cm}^3$, selon GB/T 3850-2015).

Impact : La densité augmente avec l'augmentation de la pression et de la fluidité de la poudre, et peut atteindre 98%-99% après frittage.

Processus

Préparation de poudre

Les poudres de WC et de Co ont été mélangées proportionnellement (taille des particules de WC 1-3 μm , teneur en Co 6%-12%) et mélangées par broyage à boulets pendant 12 à 24 heures avec un écart d'uniformité de $< 3\%$.

Ajoutez 2 % de lubrifiant (tel que PVA), tamisez (200 mesh) après le mélange et la fluidité atteint 14 secondes/50 g $\pm 0,5$ seconde.

Profilage

La pâte était introduite dans l'espace entre les rouleaux grâce à un dispositif d'alimentation vibrant. Les rouleaux étaient soumis à une pression de 100 MPa, à une vitesse de 10 tr/min et à un espacement de 2 mm.

Extrudé en continu en feuilles ou bandes minces, l'épaisseur est contrôlée à $2 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$.

Coupe et séchage

La pièce brute est découpée à la taille requise (longueur 100-500 mm, précision $\pm 0,5 \text{ mm}$).

Sécher à $50-80^\circ\text{C}$ pendant 2 à 4 heures pour réduire la teneur en humidité à $< 0,5 \%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

frittage

Frittage à $1400^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, maintien pendant 1,5 heure, sous vide ou Ar atmosphère, densifier à 98%-99% de densité théorique.

Scénarios d'application du compactage par roulement au carbure cimenté

Le profilage est largement utilisé pour la production de tôles minces ou d'ébauches en carbure cimenté de grande surface. Les principaux cas d'utilisation sont les suivants :

Feuille mince vierge : telle que substrat de revêtement résistant à l'usure en carbure (épaisseur 1-3 mm), utilisée pour le renforcement de surface ou les matériaux composites.

Bandes brutes : telles que les bandes d'usure en carbure (largeur 10-50 mm), utilisées pour les outils de coupe ou les moules.

Étude de cas sur le compactage au rouleau de carbure

Une certaine entreprise produit des feuilles minces résistantes à l'usure WC-10%Co (épaisseur 2 mm, largeur 100 mm) par profilage, avec une vitesse de rouleau de 10 tr/min, une pression de 100 MPa, une densité verte de 55 % de la densité théorique (environ $7,3 \text{ g/cm}^3$), une dureté de HRA 89 après frittage et une porosité de A02, qui sont utilisées comme substrats de revêtement résistants à l'usure.

Facteurs d'influence et stratégies d'optimisation du compactage par laminage au carbure cimenté

Espacement des rouleaux

Impact : écart de 0,5 à 5 mm, écart $< 0,02 \text{ mm}$. Un écart trop important ($> 6 \text{ mm}$) réduit la densité ($< 45 \%$ de la densité théorique) ; un écart trop faible ($< 0,3 \text{ mm}$) peut provoquer un blocage.

Optimisation : Système de réglage automatique de l'écartement avec une précision de $\pm 0,01 \text{ mm}$ et surveillance de l'épaisseur en temps réel.

Vitesse du rouleau

Impact : $10 \text{ tr/min} \pm 0,5 \text{ tr/min}$ assure un pressage uniforme, une vitesse $> 20 \text{ tr/min}$ entraîne une rugosité de surface ($R_a > 1 \mu\text{m}$) ; une vitesse $< 3 \text{ tr/min}$ réduit l'efficacité.

Optimisation : Contrôlé à 8-12 tr/min, ajusté dynamiquement en fonction de la fluidité de la poudre.

Fluidité de la poudre

Impact : Fluidité $14 \text{ secondes/50 g} \pm 0,5 \text{ seconde}$ (ISO 4490:2018). Une faible fluidité ($> 20 \text{ secondes/50 g}$) entraîne une alimentation irrégulière et un écart de densité $> 5 \%$.

Optimisation : En ajoutant 0,5% de lubrifiant nanographite, la fluidité est améliorée à $13 \text{ secondes/50 g} \pm 0,5 \text{ seconde}$.

Contrôle de la pression

Impact : $100 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ densité optimisée (densité théorique 55%-60%), pression $< 50 \text{ MPa}$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

densité <45%; pression >180 MPa l'usure des rouleaux est aggravée.

Optimisation : Utilisation 100-120 MPa, équipé d'un capteur de pression, écart $\leq \pm 2$ MPa.

Surface du rouleau

Impact : Une rugosité de surface $R_a < 0,2 \mu\text{m}$ peut réduire le frottement ($< 0,15$) et le taux de défaut est $< 2 \%$; $R_a > 0,5 \mu\text{m}$ peut provoquer des rayures sur la surface de l'ébauche.

Optimisation : Polir le rouleau toutes les 1000 fois jusqu'à $R_a < 0,2 \mu\text{m}$ et appliquer une couche résistante à l'usure (comme du CrN) .

Précautions pour le compactage au rouleau de carbure

Contrôle de l'écartement des rouleaux : Écart $< 0,02$ mm, calibrage régulier (une fois par mois) pour éviter les épaisseurs irrégulières (tolérance $> 0,1$ mm).

Fluidité de la poudre : Une fluidité élevée est requise ($14 \text{ sec}/50 \text{ g} \pm 0,5 \text{ sec}$, ISO 4490:2018) et un dispositif d'alimentation vibrant (50 Hz) est utilisé pour assurer l'uniformité.

des rouleaux : Vérifiez l'usure des rouleaux tous les 500 cycles de roulement et polissez à $R_a < 0,2 \mu\text{m}$ pour prolonger la durée de vie ($> 10\,000$ fois).

Processus de séchage : Sécher à $50-80^\circ\text{C}$ pendant 2 à 4 heures, teneur en humidité $< 0,5\%$ pour éviter l'absorption d'humidité et les fissures.

Stabilité de l'équipement : La vitesse et la pression du rouleau doivent être étalonnées régulièrement (une fois par semaine), avec un écart de vitesse $\leq \pm 0,5$ tr/min et un écart de pression $\leq \pm 5$ MPa.

Cas réel de compactage au rouleau de carbure

Une entreprise utilise le procédé de profilage pour produire des plaques résistantes à l'usure en WC-10 % Co (2 mm d'épaisseur et 100 mm de largeur) destinées à un revêtement de renforcement de surface. Les paramètres du procédé sont les suivants :

Pression : $100 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$.

du rouleau : $10 \text{ tr/min} \pm 0,5 \text{ tr/min}$.

Écart : $2 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$.

Poudre : granulométrie WC $1,5 \mu\text{m}$, teneur en Co $10 \% \pm 1 \%$, lubrifiant PVA $2 \% \pm 0,1 \%$.

Frittage : 1400°C , 1,5 heure. Résultat : densité à vert 55% de la densité théorique (environ $7,3 \text{ g/cm}^3$), densité frittée 98,5% de la densité théorique, dureté HRA 89, tolérance d'épaisseur $< 0,05$ mm, porosité A02, utilisé pour le revêtement résistant à l'usure, durée de vie > 500 heures (test d'usure, charge 50 N).

Pratique d'application technique du compactage par roulement au carbure cémenté

Substrat de revêtement résistant à l'usure pour le compactage au rouleau en carbure

Procédé : Des feuilles de WC-8%Co (épaisseur 1,5 mm, largeur 120 mm) ont été produites par profilage avec une pression de 100 MPa et une vitesse de rouleau de 12 tr/min.

Performance : Après frittage, la dureté est HRA 88, la densité est de 98% de la densité théorique, elle est utilisée pour le renforcement de la surface de l'acier et la durée de vie résistante à l'usure

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

est > 400 heures.

Avantages : La production continue garantit une épaisseur de feuille uniforme, adaptée aux applications de revêtement sur de grandes surfaces.

Bandes d'outils de coupe pour compactage par rouleaux en carbure

Procédé : Des bandes de WC-12%Co (épaisseur 3 mm, largeur 20 mm) ont été produites par profilage à une pression de 120 MPa et une vitesse de rouleau de 8 tr/min.

Performances : dureté après frittage HRA 90, ténacité $K_{IC} > 15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, durée de vie de coupe > 800 m (matériau dur, vitesse de coupe 150 m/min).

Avantages : Excellente résistance de la bande et de l'usure, répondant aux exigences de haute performance des outils de coupe.

Le profilage est un procédé de pressage du carbure cémenté efficace et économique, particulièrement adapté à la production en série de tôles fines ou de bandes (épaisseur 0,5-5 mm, tolérance < 0,05 mm). Un contrôle précis de l'entrefer ($2 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$), de la vitesse ($10 \text{ tr/min} \pm 0,5 \text{ tr/min}$) et de la pression ($100 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) permet de préparer une ébauche crue d'une densité de 50 à 60 % de la densité théorique. Après frittage, elle atteint 98 à 99 % de la densité théorique (dureté HRA 88-90). Ce procédé est particulièrement performant dans le domaine des substrats de revêtement résistant à l'usure et des bandes d'outils de coupe, répondant ainsi aux besoins de la production industrielle.

5.1.26 Compactage explosif du carbure cémenté

Principe du compactage explosif du carbure cémenté

La compression explosive est une technologie de moulage spéciale qui utilise l'onde de choc instantanée à haute pression (pouvant atteindre des milliers de MPa) générée par l'explosion pour comprimer la poudre de carbure cémenté. Le principe de base consiste à charger la poudre de carbure cémenté (par exemple, un mélange de WC et de cobalt) dans un récipient métallique résistant aux chocs, à disposer les explosifs autour du récipient et à transmettre rapidement l'onde de choc à grande vitesse (pouvant atteindre des milliers de mètres par seconde) générée par l'explosion à la poudre, provoquant un réarrangement radical, une déformation plastique et une fusion locale des particules de poudre, pour finalement former un corps vert haute densité. La particularité de la compression explosive réside dans son temps de compression ultra-court (< 1 milliseconde) et sa pression ultra-élevée, permettant d'obtenir instantanément un corps vert d'une densité proche de la densité théorique, particulièrement adapté aux produits en carbure cémenté exigeant une densité extrêmement élevée et des propriétés spécifiques. Après l'explosion, le corps peut nécessiter un traitement thermique ultérieur pour réparer les microfissures et optimiser la microstructure.

Procédé de compactage explosif

Remplissage de poudre

Les poudres WC et Co sont chargées dans des conteneurs métalliques (tels que l'acier à haute

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

résistance ou le cuivre) sans ajout de lubrifiants.

Placement d'explosifs

Des explosifs (tels que le TNT ou le RDX) sont disposés autour du conteneur et l'énergie d'explosion est calculée en fonction du volume du flan.

Suppression des explosions

L'explosif est déclenché et l'onde de choc comprime la poudre, le temps de compression étant inférieur à 1 milliseconde.

Refroidissement et élimination

Après l'explosion, l'ébauche est refroidie naturellement et retirée pour un traitement ultérieur.

Traitement thermique

Le traitement thermique à 600-1000°C répare les microfissures et stabilise la structure.

frittage

Fritté à 1350-1450°C, densifié à 99% de densité théorique.

Les caractéristiques de haute efficacité et de densité ultra-élevée du compactage explosif en font un procédé clé pour les applications spéciales du carbure cimenté.

Caractéristiques du compactage explosif du carbure cimenté

Le pressage explosif présente les caractéristiques importantes suivantes dans la production de carbure cimenté :

Ultra-haute densité

La densité de la billette verte peut atteindre 90 à 95 % de la densité théorique, ce qui est bien supérieur au processus de pressage traditionnel (50 à 80 %), et est proche de 100 % de la densité théorique après frittage.

Moulage instantané

Le temps de pressage est inférieur à 1 milliseconde, ce qui est extrêmement efficace et adapté aux besoins de prototypage rapide.

Complexité du processus

L'environnement d'explosion, le type et la disposition des explosifs doivent être strictement contrôlés, avec des exigences de sécurité élevées et des installations professionnelles.

Coût élevé

Les équipements et les mesures de sécurité sont coûteux et adaptés aux petits lots de produits à haute valeur ajoutée, mais ne sont pas économiques pour la production de masse.

Défauts potentiels

Après l'explosion, l'ébauche peut présenter des microfissures ou des contraintes résiduelles, ce qui nécessite un traitement et une réparation ultérieurs.

Paramètres techniques du compactage explosif au carbure cimenté

Voici les paramètres techniques du pressage explosif au carbure cimenté, basés sur des recherches et des données expérimentales :

pression

Plage : 1000-5000 MPa, action instantanée, la pression de pointe dépend du type et de la disposition

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de l'explosif.

Impact : Une pression $< 1\,000\text{ MPa}$ peut entraîner une densité insuffisante ($< 85\%$ de densité théorique) ; une pression $> 6\,000\text{ MPa}$ peut provoquer une surchauffe ou une fusion de la poudre.

Propriétés de la poudre

Taille des particules : taille des particules WC $0,5\text{--}2\text{ }\mu\text{m}$, taille des particules Co $0,5\text{--}1\text{ }\mu\text{m}$, écart d'uniformité du mélange $< 3\%$ (GB/T 19077.1-2008).

Teneur en Co : $6\%\text{--}10\%$, aucun lubrifiant n'est nécessaire car l'onde de choc de l'explosion fournit une énergie suffisante.

Teneur en humidité : contrôlée à $< 0,1\%$ pour éviter l'expansion des gaz induite par l'explosion.

Matériau du conteneur

Type : Acier à haute résistance (ex. 40CrNiMoA, résistance à la traction $> 1000\text{ MPa}$) ou cuivre (excellente résistance aux chocs).

Épaisseur : $5\text{--}20\text{ mm}$, conçue en fonction de l'énergie d'explosion.

Traitement des parois intérieures : Poli à $Ra < 0,5\text{ }\mu\text{m}$ pour réduire la friction et l'adhérence de la poudre.

Énergie explosive

Unité : Équivalent TNT couramment utilisé (kg), calculé en fonction du volume du blanc (par exemple, 100 cm^3 de blanc nécessitent $0,5$ à 1 kg de TNT).

Contrôle : Une énergie trop faible ($< 0,3\text{ kg TNT}$) entraînera une densité insuffisante ; une énergie trop élevée ($> 2\text{ kg TNT}$) peut endommager le récipient.

Méthode de détonation : détonation centralisée ou détonation multipoint, réglée en fonction de la forme du flan.

Équipement et environnement

Equipements : Chambre d'explosion dédiée, épaisseur de paroi antidéflagrante $> 1\text{ m}$, équipée d'une surveillance à distance.

Distance de sécurité : L'opérateur est à $> 500\text{ m}$ du point d'explosion.

Température : La température au moment de l'explosion peut atteindre plus de 2000°C et doit être refroidie rapidement.

Densité des billettes vertes

Plage : $90\%\text{--}95\%$ de densité théorique (environ $11,5\text{--}12,0\text{ g/cm}^3$, selon GB/T 3850-2015).

Impact : La densité augmente avec l'intensité de l'onde de choc et peut atteindre $99,5\%\text{--}100\%$ après frittage.

Processus

Préparation de poudre

Les poudres de WC et de Co ont été mélangées proportionnellement (taille des particules de WC

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

0,5-2 μm , teneur en Co 6%-10%) et mélangées par broyage à boulets pendant 12 à 24 heures avec un écart d'uniformité de <3%.

Sécher jusqu'à une teneur en humidité < 0,1 % sans ajout de lubrifiants.

Remplissage du récipient

La poudre a été chargée dans un récipient métallique (épaisseur 10 mm) et un remplissage par vibration (50 Hz) a été utilisé pour assurer le compactage, avec un taux de remplissage de 70% à 80%.

Fermer le récipient et vérifier son étanchéité (degré de vide < 10 Pa).

Placement d'explosifs

Les explosifs TNT (0,5 à 1 kg) sont disposés autour du conteneur et les points de détonation sont conçus pour être concentrés ou en plusieurs points, à 5 à 10 cm du conteneur.

La densité de l'explosif est ajustée (1,5-1,7 g/cm³) pour contrôler l'intensité de l'onde de choc.

Suppression des explosions

Détonée dans une chambre d'explosion dédiée, l'onde de choc comprime la poudre en un temps de compression < 1 milliseconde.

Laisser refroidir naturellement après explosion (10-20 minutes).

Enlèvement et traitement thermique

Retirez l'ébauche, vérifiez les fissures superficielles et, si nécessaire, traitez thermiquement à 600-1000°C pendant 2 heures pour réparer les microfissures.

frittage :

Frittage à 1400°C $\pm$ 10°C, maintien pendant 1,5 heure, sous vide ou Ar atmosphère, densification à 99,5%-100%.

Scénarios d'application du compactage explosif au carbure cimenté

Le pressage par explosif est adapté aux produits en carbure cimenté exigeant une densité ultra-élevée et des propriétés particulières. Les principaux cas d'utilisation sont les suivants :

Pièces hautes performances : telles que les cibles en carbure ultra-haute densité pour dépôt physique en phase vapeur (PVD), qui ne nécessitent aucune porosité et uniformité.

Matériaux pare-balles : tels que les plaques composites en carbure, utilisées dans les blindages ou les équipements antidéflagrants.

Outils spéciaux : tels que forets extra-durs ou outils coupants pour conditions de travail extrêmes (température > 1000°C, pression > 200 MPa).

Étude de cas sur le compactage explosif du carbure cimenté

Un institut de recherche produit une cible WC-6%Co (diamètre 100 mm, épaisseur 5 mm) par pressage explosif, équivalent TNT 0,8 kg, densité de billette verte 93% densité théorique (environ 11,7 g/cm³) , dureté HRA 94 après frittage, porosité A00, pour revêtement PVD, adhérence du film >50 MPa.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Facteurs d'influence et stratégies d'optimisation du compactage explosif au carbure cémenté

Énergie explosive

Impact : une quantité équivalente de 0,5 à 1 kg de TNT convient pour des flans de 100 à 200 cm³. Une énergie trop faible (< 0,3 kg) entraînera une densité < 85 %. Une énergie trop élevée (> 2 kg) peut provoquer la fusion ou la rupture du récipient.

Optimisation : Calculez l'énergie en fonction du volume du corps vert, utilisez 0,6 à 0,9 kg de TNT et calibrez avec un compteur d'énergie.

Taille de la poudre

Impact : La taille des particules est de 0,5 à 2 μm. Une taille de particules trop grande (> 3 μm) entraînera une densité inégale ; une taille de particules trop petite (< 0,3 μm) peut provoquer un collage dû à une surchauffe.

Optimisation : Utiliser de la poudre WC de 1 à 1,5 μm, une taille de particules de Co de 0,5 à 1 μm et une uniformité de mélange < 2 %.

Conception de conteneurs

Impact : Épaisseur 10-20 mm, rugosité de la paroi intérieure Ra < 0,5 μm peut réduire l'adhérence de la poudre, une épaisseur insuffisante (< 5 mm) peut provoquer une rupture.

Optimisation : Utiliser de l'acier haute résistance de 15 mm d'épaisseur et appliquer un revêtement antiadhésif (tel que TiN) sur la paroi intérieure.

Distribution des ondes de choc

Impact : La détonation multipoint est plus uniforme que la détonation concentrée, avec un écart de < 5 % ; une irrégularité peut entraîner un gradient de densité de > 10 %.

Optimisation : Utilisez 3 à 5 points de détonation, répartissez uniformément la distance et ajustez la densité des explosifs à 1,6 g/cm³.

Traitement thermique

Impact : Un traitement thermique à 600-1000°C permet de réparer les microfissures (profondeur < 0,05 mm), les températures < 500°C ne sont pas assez efficaces.

Optimisation : Traitement thermique à 800°C ± 10°C pendant 2 h sous atmosphère d'Ar pour réduire les contraintes résiduelles (< 20 MPa).

Précautions pour le compactage explosif du carbure cémenté

Consignes de sécurité : L'opération doit être réalisée dans une installation antidéflagrante professionnelle et conformément aux réglementations nationales en matière de sécurité antidéflagrante (telles que la norme GB 50198-2011). La distance de sécurité avec l'opérateur doit être supérieure à 500 m et le port d'un équipement de protection individuelle est obligatoire.

Réparation de microfissures : Vérification des fissures de surface après explosion (loupe ou

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

contrôle par ultrasons), température de traitement thermique $800^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, durée 2-3 heures.

Durabilité du conteneur : Vérifier l'intégrité du conteneur toutes les 10 explosions et le remplacer si l'épaisseur est usée $> 1 \text{ mm}$.

Contrôle environnemental : L'humidité ambiante avant l'explosion est $< 30 \%$ pour éviter que la poudre n'absorbe l'humidité et ne provoque des réactions anormales.

Élimination des déchets : Les résidus d'explosion doivent être recyclés de manière professionnelle pour éviter la pollution de l'environnement.

Étude de cas réelle de compactage explosif du carbure cimenté

Un institut de recherche utilise un procédé de pressage explosif pour produire une cible en WC-6 % Co (diamètre 100 mm, épaisseur 5 mm) destinée au dépôt PVD. Les paramètres du procédé sont les suivants :

Pression : environ 3000 MPa (instantanée).

Énergie d'explosion : 0,8 kg de TNT.

Poudre : granulométrie WC $1 \mu\text{m}$, teneur en Co $6 \% \pm 0,5 \%$.

Conteneur : acier haute résistance de 15 mm d'épaisseur.

Traitement thermique : 800°C , 2 heures, atmosphère Ar.

Frittage : 1400°C , maintien pendant 1,5 heure. Résultats : Densité à vert 93 % de la densité théorique (environ $11,7 \text{ g/cm}^3$), densité frittée 99,5 % de la densité théorique, dureté HRA 94, porosité A00, adhérence du revêtement PVD $> 50 \text{ MPa}$, uniformité de l'épaisseur du film $< \pm 0,5 \mu\text{m}$.

Pratique d'application technique du compactage explosif du carbure cimenté

Cibles PVD pour le compactage explosif du carbure cimenté

Procédé : La cible WC-8%Co (diamètre 150 mm, épaisseur 10 mm) est réalisée par pressage explosif, avec un équivalent TNT de 1 kg.

Performance : La densité après frittage est de 99,8% de la densité théorique, dureté HRA 93, porosité A00, utilisé pour le revêtement TiN, adhérence $> 60 \text{ MPa}$.

Avantages : La densité ultra-élevée garantit une longue durée de vie de la cible (> 100 heures) et une qualité de revêtement stable.

Plaque composite pare-balles en carbure cimenté compacté par explosion

Procédé : Pressage explosif pour produire une plaque composite WC-10%Co (épaisseur 5 mm, surface 200 cm^2), équivalent TNT 0,6 kg.

Performances : Dureté frittée HRA 92, résistance aux chocs $> 500 \text{ J/cm}^2$, grade pare-balles NIJ III.

Avantages : Combinaison de haute densité et de ténacité, adaptée aux applications de blindage léger.

Le pressage par explosif est un procédé de pressage de carbure cimenté à très haute densité (90 à 95 % de densité théorique) et à haut rendement, particulièrement adapté aux besoins spécifiques tels que les cibles PVD et les matériaux pare-balles. Un contrôle précis de l'énergie d'explosion (0,5 à 1 kg de TNT), de la granulométrie de la poudre (1 à $1,5 \mu\text{m}$) et du traitement thermique ($800^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$) permet de préparer des pièces crues hautes performances, atteignant une densité théorique

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de 99,5 à 100 % (dureté HRA 93-94) après frittage. Ce procédé est performant dans les domaines à forte valeur ajoutée, mais son application est limitée à la production à petite échelle en raison de contraintes de sécurité et de coût.

5.1.27 Compactage par vibration du carbure cimenté

Principe du compactage vibratoire du carbure cimenté

Le pressage par vibration est un procédé de formage par métallurgie des poudres associant vibrations haute fréquence et technologie de pressage traditionnelle. Il est spécialement conçu pour le carbure cimenté (comme la poudre mixte WC-Co). Son principe fondamental est d'assister le pressage unidirectionnel ou bidirectionnel grâce à des vibrations haute fréquence (20-100 kHz), généralement fournies par un générateur d'ultrasons ou un dispositif de vibration mécanique. Les vibrations agissent sur les particules de poudre, réduisent le frottement entre elles, favorisent leur réarrangement, comblent les espaces et réduisent les pores internes, améliorant ainsi significativement la densité de remplissage et l'efficacité de la compression. Sous une pression appliquée de 100 à 300 MPa, la poudre forme une ébauche crue plus uniforme et plus dense grâce aux vibrations. Le pressage par vibration est particulièrement adapté aux poudres de dureté élevée ou aux pièces de petite taille, car il permet d'améliorer efficacement le gradient de densité et les problèmes de défauts lors du pressage traditionnel.

Procédé de compactage par vibration du carbure cimenté

Préparation de poudre

Mélanger les poudres WC et Co et ajouter 0,5 % de lubrifiant (comme du graphite) pour assurer la fluidité.

Vibration et compression

La poudre a été chargée dans le moule et des vibrations (50 kHz) ont été appliquées et simultanément une pression de 200 MPa a été appliquée pendant 10 à 20 s.

Démoulage et séchage

Retirez le blanc vert et séchez-le à 50-80°C pendant 2 à 4 heures.

frittage

Fritté à 1350-1450°C, densifié à 98%-99% de densité théorique.

L'avantage unique du pressage par vibration est qu'il améliore la densité et l'uniformité grâce à l'énergie de vibration, ce qui convient aux besoins des pièces petites et de haute précision.

Caractéristiques du compactage par vibration au carbure cimenté

Le pressage par vibration présente les caractéristiques importantes suivantes dans la production de carbure cimenté :

Amélioration de la densité

La densité de la billette crue est de 65 à 75 % de la densité théorique, soit 5 à 10 % de plus que celle obtenue par pressage unidirectionnel. Après frittage, elle peut atteindre 98 à 99 % de la densité

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

théorique.

Réduction des défauts

Les vibrations réduisent les pores et le délaminage, augmentent la résistance du corps vert de 10 à 15 % et réduisent la porosité au niveau A00-B00.

Processus simple

Il peut être combiné avec un équipement de pressage unidirectionnel ou bidirectionnel existant, avec un faible coût de transformation (environ 5 à 10 % du coût de mise à niveau de l'équipement).

applicabilité

Il est particulièrement adapté aux pièces de petite taille ou aux poudres de haute dureté (comme les particules de WC de taille $< 1 \mu m$), et présente une certaine adaptabilité aux formes complexes.

limitation

Ne convient pas aux géométries de grande taille ou très complexes, où la fréquence de vibration doit être précisément adaptée aux caractéristiques de la poudre.

Paramètres techniques du compactage par vibration au carbure cémenté

Voici les paramètres techniques du pressage par vibration du carbure cémenté, basés sur la pratique industrielle et les données expérimentales :

pression

Plage : 100-300 MPa, 200 MPa sont couramment utilisés pour équilibrer la densité et la durée de vie du moule.

Impact : Une pression < 100 MPa peut entraîner une densité insuffisante (< 60 % de la densité théorique) ; une pression > 350 MPa peut provoquer des fissures de surpression.

Fréquence de vibration :

Plage : 20-100 kHz, 50 kHz est couramment utilisé pour optimiser le réarrangement des particules.

Impact : Les fréquences trop basses (< 20 kHz) ont un effet limité ; les fréquences trop élevées (> 120 kHz) peuvent provoquer une agglomération de particules ou une surcharge de l'équipement.

Caractéristiques de la poudre :

Taille des particules : taille des particules WC 0,5-2 μm , taille des particules Co 0,5-1 μm , écart d'uniformité du mélange < 3 % (GB/T 19077.1-2008).

Teneur en Co : 6%-12%, 8% est couramment utilisé pour fournir une ténacité modérée.

Lubrifiant : Ajouter 0,5 % de graphite ou d'acide stéarique pour réduire le coefficient de frottement à $< 0,1$ (données expérimentales).

Fluidité : 15-20 secondes/50 g (similaire à la norme ISO 4490:2018), assurant un remplissage uniforme.

Temps de pressage :

Portée : 10 à 20 secondes, incluant vibration (5 à 10 secondes) et pression principale (5 à 10 secondes).

Impact : Si le temps est trop court (< 8 secondes), la densité sera insuffisante ; si le temps est trop

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

long (>30 secondes), l'efficacité peut être réduite.

Moule matériel :

Type : Acier haute dureté (tel que Cr12MoV, HRC 58 et plus) ou revêtement en carbure.

Traitement de surface : La paroi intérieure est polie à $Ra < 0,2 \mu m$ (GB/T 1031-2009) pour réduire l'adhérence de la poudre.

Paramètres de l'équipement :

Appareil de vibration : Générateur d'ultrasons ou vibreur mécanique, puissance 2-5 kW, précision de fréquence ± 2 kHz.

Presse : hydraulique ou mécanique, plage de pression 100-400 MPa.

Système de contrôle : contrôle PLC, précision de pression ± 5 MPa, écart de fréquence de vibration $< 5\%$.

Densité des billettes vertes :

Plage : 65%-75% de densité théorique (environ 8,5-9,5 g/cm³, selon GB/T 3850-2015).

Impact : La densité augmente avec l'augmentation de la fréquence de vibration et de la pression, et peut atteindre 98 à 99 % après frittage.

Procédé de compactage par vibration du carbure cémenté

Préparation de la poudre :

Les poudres de WC et de Co ont été mélangées proportionnellement (taille des particules de WC 0,5-2 μm , teneur en Co 6%-12%) et mélangées par broyage à boulets pendant 12 à 24 heures avec un écart d'uniformité de $< 3\%$.

Ajouter 0,5% de lubrifiant graphite, mélanger et tamiser (200 mesh), et la fluidité atteint 15-20 secondes/50 g.

Vibration et suppression :

La poudre a été chargée dans le moule et une vibration de 50 kHz a été appliquée pendant 5 à 10 secondes, et une pression de 200 MPa a été appliquée pendant 5 à 10 secondes simultanément.

La température du moule est contrôlée à 20-40°C pour éviter l'adhérence de la poudre.

Démoulage et séchage :

Retirez le flan vert et coupez-le à la taille requise (précision $\pm 0,1$ mm).

Sécher à 50-80°C pendant 2 à 4 heures pour réduire la teneur en humidité à $< 0,5\%$.

frittage :

Frittage à $1400^\circ C \pm 10^\circ C$, maintien pendant 1,5 heure, sous vide ou Ar atmosphère, densifier à 98%-99% de densité théorique.

Scénario d'application

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Le pressage par vibration est largement utilisé dans la production d'ébauches en carbure cimenté exigeant une grande uniformité et des dimensions réduites. Les principaux cas d'utilisation sont les suivants :

Petites ébauches d'outils

Tels que les ébauches de forets en carbure et les ébauches de micro-fraise, qui nécessitent une densité et une uniformité élevées.

Pièces de précision

Tels que des noyaux en carbure ou des pièces résistantes à l'usure, utilisés dans des moules ou des outils de coupe.

Étude de cas sur le compactage par vibration du carbure cimenté

Une entreprise produit des ébauches de trépan WC-8%Co (diamètre 10 mm, hauteur 15 mm) par pressage vibratoire, à une fréquence de vibration de 50 kHz et sous une pression de 200 MPa. La densité de l'ébauche crue est de 72 % de la densité théorique (environ 9,2 g/cm³), sa dureté après frittage est HRA 91, sa porosité est A00 et elle est utilisée pour le forage de roches dures avec une durée de vie supérieure à 1 200 m.

Facteurs d'influence et stratégies d'optimisation du compactage vibratoire du carbure cimenté

Fréquence de vibration :

Impact : 50 kHz $\pm$ 2 kHz optimisent le réarrangement des particules, les fréquences < 20 kHz ont un effet limité ; les fréquences > 120 kHz peuvent provoquer une agglomération des particules (augmentation de la taille des particules > 10 %).

Optimisation : Ajustement en fonction de la granulométrie de la poudre, 40-60 kHz pour une poudre de 1 μ m, équipé d'un calibrateur de fréquence.

Contrôle de la pression :

Impact : 200 MPa $\pm$ 5 MPa augmente la densité (65%-75% de densité théorique), pression < 100 MPa densité < 60% ; pression > 350 MPa peut provoquer une déformation du moule.

Optimisation : Utiliser 200-250 MPa, ajuster dynamiquement pour s'adapter aux caractéristiques de la poudre.

Taille de la poudre :

Impact : La taille des particules est de 0,5 à 2 μ m. Si la taille des particules est trop grande (> 3 μ m), l'effet de vibration sera affaibli ; si la taille des particules est trop petite (< 0,3 μ m), elles peuvent surchauffer et se coller.

Optimisation : Utiliser de la poudre WC de 0,8 à 1,5 μ m, une taille de particules de Co de 0,5 à 1 μ m et une uniformité de mélange < 2 %.

Rapport lubrifiant :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Impact : 0,5% de graphite réduit le frottement ($<0,1$), un ratio trop élevé ($>1\%$) réduit la densité ; un ratio trop faible ($<0,2\%$) augmente le frottement.

Optimisation : Contrôler à 0,4%-0,6% et mélanger pendant 2 heures pour assurer l'uniformité.

Temps de pressage :

Impact : 10 à 20 secondes, un temps < 8 secondes signifie une densité insuffisante ; un temps > 30 secondes signifie une efficacité réduite.

Optimisation : Régler sur 15 secondes (8 secondes pour la vibration, 7 secondes pour la pression principale), et ajuster en fonction de la taille du blank.

Précautions pour le compactage par vibration du carbure cimenté

Optimiser la fréquence de vibration : ajuster en fonction de la granulométrie de la poudre (40 kHz pour $0,5 \mu\text{m}$ et 60 kHz pour $2 \mu\text{m}$), éviter l'agglomération et vérifier régulièrement le générateur de vibrations (écart de fréquence $< 5\%$).

Entretien du matériel : Vérifier mensuellement le vibreur et la matrice, nettoyer les résidus de poudre, calibrer la fréquence (± 2 kHz) et la pression (± 5 MPa).

Moule conception : paroi intérieure polie à $Ra < 0,2 \mu\text{m}$, résistance à la pression > 400 MPa, pour éviter l'usure causée par les vibrations.

Contrôle du séchage : Sécher à $50-80^\circ\text{C}$ pendant 2 à 4 heures, teneur en humidité $< 0,5\%$, pour éviter l'absorption d'humidité et les fissures.

Fonctionnement sûr : Évitez la surcharge lorsque l'équipement de vibration est en fonctionnement et contrôlez la puissance en dessous de 5 kW.

Étude de cas réelle sur le compactage par vibration du carbure cimenté

Une entreprise utilise le procédé de pressage par vibration pour produire des ébauches de forets en WC-8 % Co (diamètre 10 mm, hauteur 15 mm) pour le forage de roches dures. Les paramètres du procédé sont les suivants :

Pression : 200 MPa ± 5 MPa.

Fréquence de vibration : 50 kHz ± 2 kHz.

Poudre : granulométrie WC $1 \mu\text{m}$, teneur en Co $8\% \pm 0,5\%$, lubrifiant graphite $0,5\% \pm 0,1\%$.

Frittage : 1400°C , maintien en température 1,5 heure. Résultat : masse volumique à vert 72% masse volumique théorique (environ $9,2 \text{ g/cm}^3$), masse volumique frittée 98,5% masse volumique théorique, dureté HRA 91, porosité A00, durée de vie du trépan > 1200 m (roche dure, résistance à la compression 150 MPa).

Pratique d'application technique du compactage par vibration du carbure cimenté

Ébauche de foret en carbure

Procédé : Des ébauches de forets WC-10%Co (8 mm de diamètre, 12 mm de hauteur) ont été produites par pressage par vibration à une pression de 200 MPa et une fréquence de 50 kHz.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Performance : Après frittage, la dureté est HRA 90, la densité est de 98% de la densité théorique, la porosité est A00, il est utilisé pour le forage pétrolier et la durée de vie est >1500 m.

Avantages : L'uniformité et la densité élevées améliorent la résistance aux chocs et à l'usure du foret.

Noyau de micro-moule

Procédé : Des noyaux WC-6%Co (5 mm de diamètre, 10 mm de hauteur) ont été produits par pressage par vibration à une pression de 180 MPa et une fréquence de 40 kHz.

Performances : dureté après frittage HRA 92, densité 98,5% densité théorique, résistance à la pression > 200 MPa, utilisé pour les matrices d'emboutissage de précision.

Avantages : Porosité et délaminage réduits, durée de vie de la matrice plus longue (> 10 000 poinçons).

Le pressage par vibration est un procédé de pressage du carbure cimenté efficace et économique. Grâce à des vibrations haute fréquence ($50 \text{ kHz} \pm 2 \text{ kHz}$) et à une pression de $200 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, la densité de la billette crue peut atteindre 65 à 75 % de la densité théorique, et après frittage, 98 à 99 % de la densité théorique (dureté HRA 90-92). Ce procédé est particulièrement performant pour les ébauches d'outils de petite taille et les noyaux de micro-moules, et est particulièrement adapté à la production de poudres de haute dureté et de pièces de petite taille. L'optimisation de la fréquence de vibration, de la pression et de la granulométrie de la poudre permet de réduire considérablement les défauts et d'améliorer les performances.

5.1.28 Pressage multiaxial non isostatique du carbure cimenté (par exemple, pressage à quatre et six voies)

Le principe du pressage multidirectionnel du carbure cimenté

Le pressage multidirectionnel non isostatique est une technologie avancée de pressage par métallurgie des poudres, adaptée au formage du carbure cimenté (comme la poudre mixte WC-Co). Son principe fondamental consiste à appliquer une pression non isotrope sous différents angles grâce à plusieurs têtes de pressage (généralement 4 ou 6, dont plusieurs directions verticales et horizontales), remplaçant ainsi la compression unidirectionnelle traditionnelle, unidirectionnelle ou bidirectionnelle. La répartition de la pression est optimisée et ajustée par un système de contrôle de précision. Chaque tête de pressage peut ajuster indépendamment la force et appliquer une pression adaptative en fonction des exigences de forme et de densité de l'ébauche, permettant ainsi une compression et une densification uniformes dans l'espace tridimensionnel. Contrairement au pressage isostatique, la pression du pressage multidirectionnel non isostatique n'est pas totalement isotrope, mais est graduée et contrôlée en fonction des exigences de conception. Elle est particulièrement adaptée aux ébauches en carbure cimenté de formes complexes ou nécessitant une densité locale élevée. Après pressage, l'ébauche est densifiée par frittage pour atteindre un niveau de performance élevé.

Le processus de pressage multidirectionnel du carbure cimenté

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Préparation de la poudre : Mélanger les poudres WC et Co, ajouter une petite quantité de lubrifiant et charger dans le moule.

Pressage multidirectionnel : La pression est appliquée par 4 ou 6 têtes de pressage (400-500 MPa verticalement, 300-400 MPa latéralement) pendant 10 à 20 secondes.

Démoulage et séchage : Sortir le flan vert et le sécher à 50-80°C pendant 2 à 4 heures.

Frittage : Frittage à 1350-1450°C, densification à 98%-99% de densité théorique.

Les avantages uniques de ce procédé sont sa distribution de pression flexible et sa capacité de contrôle de densité élevée, ce qui est particulièrement adapté aux produits en carbure cimenté qui nécessitent une uniformité élevée et des géométries complexes.

Caractéristiques du pressage multidirectionnel au carbure cimenté

Le pressage multidirectionnel non isostatique présente les caractéristiques importantes suivantes dans la production de carbure cimenté :

Haute densité : la densité de la billette verte est de 85 à 90 % de la densité théorique, proche du pressage isostatique à froid, et peut atteindre 99 à 99,5 % de la densité théorique après frittage.

Flexibilité de pression : Grâce au contrôle indépendant de plusieurs têtes de pression, la répartition de la pression peut être optimisée en fonction des besoins du corps vert, réduisant ainsi le gradient de densité (<2%).

Défauts réduits : la conception de pressage non isostatique réduit le délaminage et les microfissures et augmente la résistance du corps vert de 15 à 20 %.

Applicabilité : Convient aux formes moyennement complexes (telles que les ébauches d'outils à plusieurs arêtes), avec certaines restrictions sur les grandes tailles ou les formes ultra-complexes.

Complexité de l'équipement : nécessite une presse multiaxes et un système de contrôle de précision. Le coût est plus élevé que celui du pressage unidirectionnel ou bidirectionnel, mais inférieur à celui du pressage isostatique.

Paramètres techniques du pressage multidirectionnel en carbure cimenté

Voici les paramètres techniques du pressage non isostatique multidirectionnel au carbure cimenté, basés sur la pratique industrielle et les données expérimentales :

pression :

Plage : 400-500 MPa verticalement, 300-400 MPa latéralement, le rapport de pression est généralement de 1:0,7:0,6:0,6 (quatre voies) ou 1:0,7:0,6:0,6:0,6:0,6 (six voies).

Impact : Une pression trop basse (< 300 MPa) entraînera une densité insuffisante (< 80 % de la densité théorique) ; une pression trop élevée (> 600 MPa) peut endommager le moule.

Caractéristiques de la poudre de carbure cimenté pressée multidirectionnellement :

Taille des particules : taille des particules WC 1-3 μ m, taille des particules Co 0,5-1 μ m, écart d'uniformité du mélange < 3 % (GB/T 19077.1-2008).

Teneur en Co : 6%-10%, généralement 8%-12% pour assurer la ténacité.

Lubrifiant : Ajouter 0,5 à 1 % de graphite ou d'acide stéarique pour réduire le coefficient de frottement à < 0,15.

Fluidité : 15-20 secondes/50 g (similaire à la norme ISO 4490:2018).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Nombre et direction des pénétrateurs pour le pressage multidirectionnel du carbure cémenté :

Pressurage quadridirectionnel : 1 tête de pressage verticale, 3 têtes de pressage horizontales (répartition 120°).

Pressurage six voies : 1 tête de pressage verticale, 5 têtes de pressage horizontales (répartition 72°).

Synchronicité : L'écart de mouvement de la tête de pression est $< 0,5$ mm, assurant une compression uniforme.

Temps de pressage :

Plage : 10 à 20 secondes, incluant la précompression (5 secondes) et la compression principale (5 à 15 secondes).

Impact : Si le temps est trop court (< 8 secondes), la densité sera inégale ; si le temps est trop long (> 30 secondes), l'efficacité sera réduite.

Moule matériel :

Type : Revêtement en carbure (HRA 88 et plus) ou acier haute résistance (HRC 60 et plus).

Traitement de surface : Paroi intérieure polie à $Ra < 0,2$ μm (GB/T 1031-2009), résistance à la pression > 800 MPa.

Paramètres de l'équipement :

Presse : Presse hydraulique multi-axes, puissance 20-50 kW, plage de pression 400-600 MPa.

Système de contrôle : contrôle en boucle fermée PLC, précision de pression ± 5 MPa, précision de déplacement $< 0,01$ mm.

Vibration Assist (en option) : 20-50 kHz, améliore le réarrangement des particules.

Densité des billettes vertes :

Plage : 85%-90% de densité théorique (environ 10,8-11,4 g/cm³, selon GB/T 3850-2015).

Impact : La densité augmente avec le nombre de têtes de presse et la pression, et peut atteindre 99%-99,5% après frittage.

Le déroulement du processus de pressage multidirectionnel du carbure cémenté

Préparation de la poudre :

Les poudres de WC et de Co ont été mélangées proportionnellement (taille des particules de WC 1-3 μm , teneur en Co 6%-12%) et mélangées par broyage à boulets pendant 12 à 24 heures avec un écart d'uniformité de $< 3\%$.

Ajouter 0,5%-1% de lubrifiant graphite, mélanger et tamiser (200 mesh), fluidité 15-20 secondes/50 g.

Remplissage du moule :

La poudre est chargée dans une matrice de pressage multidirectionnelle et un remplissage par vibration (50 Hz) est utilisé pour assurer la densité, avec un taux de remplissage de 70% à 80%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Préchauffer le moule à 20-40°C pour éviter que la poudre ne colle.

Suppression multidirectionnelle :

Appliquer une pression à quatre ou six voies (400 MPa verticalement et 300 MPa latéralement) pendant 10 à 20 secondes.

Le synchronisme de la tête de presse est contrôlé par un servomoteur avec un écart de <0,5 mm.

Démoulage et séchage :

Retirez le flan vert et coupez-le à la taille requise (précision $\pm 0,1$ mm).

Sécher à 50-80°C pendant 2 à 4 heures pour réduire la teneur en humidité à < 0,5 %.

frittage :

Frittage à 1400°C $\pm 10^\circ\text{C}$, maintien pendant 1,5 heure, sous vide ou Ar atmosphère, densifier à 99%-99,5% de densité théorique.

Scénarios d'application du pressage multidirectionnel au carbure cimenté

Le pressage multidirectionnel non isostatique convient aux ébauches en carbure cimenté nécessitant une densité élevée et des formes moyennement complexes. Les principaux cas d'utilisation sont les suivants :

Outils de coupe multi-tranchants : tels que les ébauches de fraises et de forets complexes, qui nécessitent une uniformité et une densité élevées.

Pièces de moules de précision : telles que les noyaux de moules d'emboutissage ou les matrices d'emboutissage, qui nécessitent une densité locale élevée.

Pièces d'usure : telles que les revêtements en carbure ou les bandes d'usure, utilisées dans des conditions de forte charge.

Étude de cas de pressage multidirectionnel de carbure cimenté

Une certaine entreprise produit des ébauches d'outils multi-tranchants WC-12%Co (diamètre 40 mm, hauteur 20 mm) en utilisant un pressage à six voies, une pression verticale de 500 MPa, une pression latérale de 400 MPa, une densité d'ébauche verte de 90 % de la densité théorique (environ 11,4 g/cm³), une dureté après frittage HRA 92, une porosité A00, pour la découpe aéronautique, une durée de vie > 1000 m.

Facteurs d'influence et stratégies d'optimisation du pressage multidirectionnel du carbure cimenté

Répartition de la pression :

Impact : 400-500 MPa verticalement, 300-400 MPa latéralement, rapport de pression 1:0,7:0,6, écart > 10 % entraînant un gradient de densité > 5 %.

Optimisation : Utiliser un rapport de pression de 1:0,75:0,65, équipé d'un capteur de pression, écart < ± 5 MPa.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Synchronisation de la tête de pression :

Impact : Un écart $< 0,5$ mm assure une compression uniforme ; un écart > 1 mm peut provoquer une surpression locale (> 600 MPa).

Optimisation : Utilisation du contrôle du servomoteur et étalonnage en temps réel du déplacement (précision $< 0,01$ mm).

Taille de la poudre :

Impact : La taille des particules est de 1 à $3 \mu\text{m}$. Si la taille des particules est trop grande ($> 4 \mu\text{m}$), la densité est inégale ; si la taille des particules est trop petite ($< 0,5 \mu\text{m}$), elles peuvent coller ensemble.

Optimisation : Utiliser de la poudre WC de $1,5$ à $2,5 \mu\text{m}$, une taille de particules de Co de $0,5$ à $1 \mu\text{m}$ et une uniformité de mélange $< 2\%$.

Rapport lubrifiant :

Impact : $0,5\%$ - 1% de graphite réduit le frottement ($< 0,15$), un ratio trop élevé ($> 2\%$) réduit la densité ; un ratio trop faible ($< 0,3\%$) augmente l'usure.

Optimisation : Contrôlé à $0,6\%$ - $0,8\%$, temps de mélange 2 heures.

Durabilité du moule :

Impact : Résistance à la pression > 800 MPa, $R_a < 0,2 \mu\text{m}$ peut réduire l'adhérence de la poudre, usure $> 0,1$ mm doit être remplacé.

Optimisation : Vérifier le moule tous les 500 pressages et appliquer une couche anti-usure TiN pour prolonger la durée de vie ($> 10\,000$ fois).

Précautions pour le pressage multidirectionnel du carbure cémenté

Synchronisation du pénétrateur : Ecart $< 0,5$ mm, étalonnage régulier (une fois par mois) pour éviter les fissures dues à une surpression locale.

Assistance aux vibrations : vibration optionnelle de 20 à 50 kHz pour un réarrangement amélioré des particules, écart de fréquence $< 5\%$.

Moule Entretien : Vérifier l'usure des parois intérieures toutes les 500 fois, polir à $R_a < 0,2 \mu\text{m}$, essai de pression > 800 MPa.

Contrôle du séchage : Sécher à $50-80^\circ\text{C}$ pendant 2 à 4 heures, teneur en humidité $< 0,5\%$, éviter l'absorption d'humidité.

Sécurité de l'équipement : Évitez la surcharge lorsque la machine multi-axes est en fonctionnement et la limite supérieure de pression est fixée à 600 MPa.

Cas réel de pressage multidirectionnel de carbure cémenté

Une entreprise utilise un procédé de pressage à six voies pour produire des ébauches d'outils multi-arêtes en WC- 12% Co (diamètre 40 mm, hauteur 20 mm) pour l'usinage aéronautique. Les paramètres du procédé sont les suivants :

Pression : 500 MPa verticalement, 400 MPa latéralement.

Temps de suppression : 15 secondes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Poudre : granulométrie WC 2 μ m , teneur en Co 12 % $\pm$ 0,5 % , lubrifiant graphite 0,8 % $\pm$ 0,1 % .
Frittage : 1450°C, maintien en température pendant 1,5 heure. Résultats : densité à vert 90% de la densité théorique (environ 11,4 g/cm³) , densité frittée 99,5% de la densité théorique, dureté HRA 92, porosité A00, durée de vie de coupe >1000 m (alliage Ti, vitesse de coupe 300 m/min).

Pratique d'application technique du pressage multidirectionnel du carbure cémenté

Ébauches de fraises complexes :

Procédé : Des ébauches de fraises WC-10%Co (30 mm de diamètre, 15 mm de hauteur) ont été produites par pressage à six voies, 450 MPa verticalement et 350 MPa latéralement.

Performance : Après frittage, la dureté est HRA 91, la densité est de 99% de la densité théorique, la porosité est A00, elle est utilisée pour le traitement de l'aviation et la durée de vie est > 800 m.

Avantages : La pression multidirectionnelle optimise la densité des lames complexes et réduit les fissures.

Doublure résistante à l'usure :

Procédé : Revêtement WC-8%Co (épaisseur 10 mm, surface 100 cm²) réalisé par pressage à quatre voies , 400 MPa verticalement et 300 MPa latéralement.

Performances : dureté après frittage HRA 90, résistance à l'usure durée de vie > 500 heures (charge 50 N), résistance à la pression > 200 MPa.

Avantages : La grande uniformité assure la stabilité du revêtement sous des charges élevées.

Le pressage multidirectionnel non isostatique (comme le pressage à quatre et six voies) est un procédé de pressage du carbure cémenté à haute densité (85 à 90 % de densité théorique) et très flexible. Il permet une compression uniforme des ébauches de formes complexes grâce à plusieurs têtes de presse (400 à 500 MPa verticalement et 300 à 400 MPa latéralement), et atteint une densité théorique de 99 à 99,5 % (dureté HRA 90-92) après frittage. Il est performant dans des domaines tels que les ébauches de fraises complexes et les revêtements résistants à l'usure, et est particulièrement adapté aux applications nécessitant une densité locale élevée. L'optimisation de la répartition de la pression, de la synchronisation des têtes de presse et de la granulométrie de la poudre permet d'améliorer considérablement la qualité et les performances de l'ébauche.

5.1.29 Tableau comparatif des procédés de pressage du carbure cémenté

Processus de pressage	Caractéristiques	Processus	Exigences en matière d'équipement	Indicateurs de performance	Produits applicables	Avantages et inconvénients
Suppression à sens unique	- Simple et efficace	1. Remplissage de	- Presse	- Densité à vert :	- Pièces à	Avantages :
	- Faible densité	2. Pression	hydraulique	50%-65%	- géométrie	équipement
	(50%-65% de densité théorique)	unidirectionnelle	mono-axe	- Dureté après frittage :	simple (par exemple	simple, faible coût, rendement élevé
	Gradient de densité facile à produire	Démoulage et séchage	3. Puissance et kW - Matrice : Acier haute	88-90 - Porosité : A02-B02	plaquettes de coupe)	Inconvénients :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Processus de pressage	Caractéristiques	Processus	Exigences en matière d'équipement	Indicateurs de performance	Produits applicables	Avantages et inconvénients
	Convient aux formes simples	(1350-1450°C)	dureté (HRC 58)		Exemple : plaquette WC-8%Co (10 × 10 × 5 mm)	gradient de densité important (> 10 %), ne convient pas aux formes complexes
Suppression bidirectionnelle	- Plus uniforme que le pressage unidirectionnel - Densité légèrement supérieure (60%-75% de densité théorique) - Convient aux formes moyennement complexes	1. Remplissage de poudre 2. Pression bidirectionnelle (200-400 MPa) 3. Démoulage et séchage 4. Frittage (1350-1450°C)	- Presse hydraulique à deux axes - Puissance 10-20 kW - Matrices : Carbone (HRA 88)	- Densité à vert : 60%-75% - Dureté frittée : HRA 89-91 - Porosité : A02	- Pièces moyennement complexes (ex : ébauches de fraises) - Exemple : ébauche de fraise WC-10%Co (diamètre 20 mm)	Avantages : Uniformité de densité améliorée (gradient < 5 %) Inconvénients : Toujours pas adapté aux formes très complexes, équipement légèrement plus compliqué
Pressage isostatique (pressage isostatique à froid)	- Haute uniformité de densité (75%-85% de densité théorique) - Convient aux formes complexes - Coût plus élevé	1. Ensachage de poudre isostatique (200-400 MPa) 2. Pressage isostatique 3. Retrait et séchage du sac 4. Frittage (1350-1450°C)	- Presse isostatique - Résistance à la pression > 500 MPa - Milieu : huile ou eau - Puissance 50-100 kW	- Densité à vert : 75%-85% - Dureté après frittage : HRA 90-92 - Porosité : A00-B00	- Pièces de forme complexe (telles que les ébauches d'outils d'aviation) - Exemple : ébauche d'outil WC-12%Co (diamètre 50 mm)	Avantages : haute densité, bonne uniformité, convient aux formes complexes Inconvénients : coût d'équipement élevé, cycle long
Pressage isostatique (pressage isostatique chaud)	- Densité ultra élevée - Élimine les micropores - Haute température et haute pression - à (1350-1450°C, 100-200 MPa) - Coût extrêmement élevé	1. Charger le produit fritté dans l'équipement HIP 2. Appliquer une température et une pression élevées (1400 °C, 150 MPa) 3. Refroidir et relâcher la pression 4. Finition	- Équipement HIP - Cavité intérieure > 200 mm - Puissance > 150 kW - Milieu de pression : Ar (pureté > 99,99%)	- Porosité : <0,03% - Densité : >99,8% - Dureté : HRA 92-94 - Durée de vie : >20 heures	- Pièces de haute fiabilité (telles que les outils d'aviation, les forets miniers) - Exemple : outils WC-10%Co (dureté HV 2300)	Avantages : Densité et fiabilité extrêmement élevées Inconvénients : Coût élevé, adapté au post-traitement plutôt qu'au moulage direct

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

Processus de pressage	Caractéristiques	Processus	Exigences en matière d'équipement	Indicateurs de performance	Produits applicables	Avantages et inconvénients
Moulage par compression	- Production de masse efficace - Densité moyenne (60%-70% de densité théorique) - Forme limitée	1. Remplissage de poudre 2. Pression unidirectionnelle ou bidirectionnelle (200 MPa) 3. Démoulage et séchage 4. Frittage (1350-1450°C)	- Presse - Puissance 5-15 kW - Moule : Acier haute dureté (HRC 58)	- Densité à vert : 60% -70% - Dureté après frittage : HRA 90 - Porosité : A02	- Pièces normalisées (telles que plaquettes de coupe) - Exemple : plaquette WC-8%Co (10 × 10 × 5 mm)	Avantages : haute efficacité, faible coût Inconvénients : forme limitée, usure rapide du moule
Extrusion	- Forme flexible (forme allongée) - Dégraissage nécessaire - Densité moyenne (55%-65% densité théorique) - Production en continu	1. Poudre mélangée à un liant (PVA 20 %) 2. Extrusion (300 MPa, 1 m/min) 3. Carbure et Chauffage du déliantage 4. Frittage	- Extrudeuse - Pression 200-500 MPa - Filière : 3. Carbure et Chauffage du fourreau : 50-80°C	- Densité à vert : 55%-65% - Dureté frittée : HRA 91 - Porosité : A02	- Outils longs (par exemple barres) - Exemple : barre WC-10%Co (5 mm de diamètre, 300 mm de longueur)	Avantages : convient aux formes élancées, production en continu Inconvénients : nécessite de dégraisser, procédé complexe
Moulage par injection	- Haute précision (tolérance < 0,01 mm) - Forme complexe - Faible densité (densité théorique de 50% à 60%) - Nombreux procédés	1. Poudre mélangée à un liant (POM 25 %) 2. Injection (80 MPa, 180 °C) 3. Déliantage 4. Frittage	- Machine d'injection - Pression 50-120 MPa - Moule : 3. acier H13 4. Chauffage du fourreau : 150-200°C	- Densité à vert : 50%-60% - Dureté après frittage : HRA 92 - Porosité : A00-B00	- Micro-pièces (comme des engrenages) - Exemple : engrenage WC-6%Co (diamètre 3 mm, épaisseur 1 mm)	Avantages : haute précision, adapté aux formes complexes Inconvénients : nombreux procédés, coût élevé
Pressage de sacs secs	- Haute uniformité - Haute densité (70%-75% de densité théorique) - Efficacité supérieure à celle du pressage isostatique en sac humide - Forme limitée	1. Remplissage de poudre dans des sacs secs 2. Pressage (300 MPa) 3. Démoulage et séchage 4. Frittage (1350-1450°C)	- Presse isostatique pour sacs secs - Pression 200-400 MPa - Moule : Caoutchouc (Shore A 70)	- Densité à vert : 70%-75% - Dureté après frittage : HRA 90 - Porosité : A00-B00	- Pièces de taille moyenne (par exemple, manchons de roulement) - Exemple : manchon de roulement WC-8%Co (diamètre 50 mm)	Avantages : bonne uniformité, rendement élevé Inconvénients : forme limitée, coût moyen de l'équipement

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

Processus de pressage	Caractéristiques	Processus	Exigences en matière d'équipement	Indicateurs de performance	Produits applicables	Avantages et inconvénients
Suppression multidirectionnelle	- Densité uniforme (75%-80% de densité théorique) - Peu de défauts - Convient aux formes moyennement complexes	1. Remplissage de poudre 2. Pression multidirectionnelle (verticale 400 MPa, latérale 300 MPa) 3. Démoulage et séchage 4. Frittage	- Presse multi-axes - Puissance 15-30 kW - Matrice - Carbone revêtu	- Densité à vert : 75%-80% - Dureté frittée : HRA 91 - Porosité : A00-B00	- Ébauches d'outils complexes (par exemple, fraises à arêtes multiples) - Exemple : ébauche d'outil WC-8%Co (diamètre 30 mm)	Avantages : grande uniformité, peu de défauts Inconvénients : équipement complexe, coût élevé
Pressage multidirectionnel non isostatique	- Haute densité (85%-90% de densité théorique) - Pression flexible - Adapté aux besoins locaux de haute densité	1. Remplissage de poudre 2. Pression à quatre/six voies (verticale 500 MPa, latérale 400 MPa) 3. Système de contrôle : PLC 4. Frittage	- Presse hydraulique multiaxes - Puissance 20-50 kW - Système de contrôle : PLC - précision < 0,01 mm	- Densité à vert : 85%-90% - Dureté après frittage : HRA 92 - Porosité : A00	- Ébauches d'outils à arêtes multiples (par exemple, fraises) - Exemple : ébauche de fraise WC-12%Co (diamètre 40 mm)	Avantages : haute densité, pression flexible Inconvénients : équipement complexe, coût élevé
Profilage	- Production continue - Épaisseur réglable (0,5-5 mm) - Faible densité (50%-60% densité théorique)	1. Alimentation en poudre 2. Laminage (100 MPa, 10 tr/min) 3. Découpe et séchage 4. Frittage (1350-1450°C)	- Machine à rouler - Puissance 10-20 kW - Rouleaux - Carbone (HRC 60)	- Densité à vert : 50%-60% - Dureté frittée : HRA 89 - Porosité : A02	- Tôle mince (par exemple, substrat de revêtement résistant à l'usure) - Exemple : tôle mince WC-10%Co (épaisseur 2 mm, largeur 100 mm)	Avantages : production continue, équipement simple Inconvénients : faible densité, ne convient pas aux formes complexes
Suppression des explosions	- Densité ultra-élevée (densité théorique de 90 à 100%)	1. Récipient à poudre 2. Explosion (TNT 0,5-1 kg) 3. Conteneur	- Chambre d'explosion - Conteneur	- Densité à vert : 90%-95% - Dureté après	- Pièces hautes performances (telles que	Avantages : densité ultra-élevée, rendement

Processus de pressage	Caractéristiques	Processus	Exigences en matière d'équipement	Indicateurs de performance	Produits applicables	Avantages et inconvénients
	95 %) - Moulage instantané (< 1 milliseconde) - Exigences de sécurité élevées	Traitement thermique 4. Frittage (1400°C)	Acier haute résistance (épaisseur 15 mm) - Distance de sécurité : > 500 m	frittage : HRA 94 - Porosité : A00	cibles PVD) - Exemple : cible WC-6%Co (diamètre 100 mm, épaisseur 5 mm)	- élevé Inconvénients : exigences de sécurité élevées, coût élevé, un traitement thermique est nécessaire pour réparer les microfissures
Suppression des vibrations	- Amélioration de la densité (65%-75% de densité théorique) - Moins de défauts - Faible coût de transformation	1. Remplissage de poudre 2. Vibration (50 kHz) + pression (200 MPa) 3. Démoulage et séchage 4. Frittage	- Presse vibrante - Vibreur : 2-5 kW, fréquence 20-100 kHz - Matrice : Acier haute dureté	- Densité à vert : 65%-75% - Dureté frittée : HRA 91 - Porosité : A00-B00	- Petites ébauches d'outils (telles que des ébauches de forets) - Exemple : ébauche de foret WC-8%Co (diamètre 10 mm, hauteur 15 mm)	Avantages : densité accrue, moins de défauts, faible coût de modification - Inconvénients : ne convient pas aux pièces de grandes dimensions, une optimisation de fréquence est nécessaire

5.1.30 Analyse complète et résumé du processus de pressage du carbure cimenté

Procédés de pressage au carbure cimenté (pressage unidirectionnel, pressage bidirectionnel, pressage isostatique, moulage par compression, moulage par extrusion, moulage par injection, pressage à sec, pressage multidirectionnel, pressage multidirectionnel non isostatique, profilage par rouleaux, pressage explosif, pressage par vibration), couvrant des dimensions telles que les caractéristiques, le flux de processus, les exigences en matière d'équipement, les indicateurs de performance, les produits applicables, les avantages et les inconvénients.

1. Densité et uniformité

Densité la plus élevée : Le pressage explosif (densité théorique de 90 à 95 %) et le pressage multidirectionnel non isostatique (densité théorique de 85 à 90 %) sont les plus performants et conviennent aux besoins de haute performance.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Homogénéité : Le pressage isostatique (froid/chaud) et le pressage non isostatique multidirectionnel présentent la meilleure homogénéité (gradient de densité $< 2\%$), adapté aux formes complexes et aux exigences de qualité élevées .

Faible densité : Moulage par laminage et moulage par injection (densité théorique de 50 à 60 %), qui doit être compensée par un frittage ultérieur.

2. Applicabilité et complexité de la forme

Formes complexes : Le moulage par injection (tolérance $< 0,01$ mm) et le pressage isostatique conviennent aux formes très complexes, telles que les micro-engrenages et les ébauches d'outils complexes.

Formes élancées : L'extrusion moulage est spécialement conçue pour les tiges et tubes d'une longueur allant jusqu'à plusieurs mètres.

Tôles minces/grandes surfaces : Le profilage est adapté aux tôles minces avec un contrôle précis de l'épaisseur (0,5-5 mm).

Formes simples : Le pressage unidirectionnel et le moulage par compression conviennent aux pièces standardisées, avec un rendement élevé mais des formes limitées.

3. Efficacité et coût de production

Haute efficacité : le formage par laminage et le formage par extrusion permettent une production continue et conviennent aux grandes quantités.

Faible coût : les équipements de pressage unidirectionnel, de moulage par compression et de profilage sont simples et présentent de faibles coûts de maintenance.

Coût élevé : Le pressage explosif et le pressage isostatique à chaud ont des coûts élevés en raison des exigences d'équipement et de sécurité et conviennent aux petits lots de produits à haute valeur ajoutée.

4. Bugs et performances

Moins de défauts : Le pressage isostatique à chaud (porosité $< 0,03$ %), le pressage non isostatique multidirectionnel et le pressage par vibration (porosité A00-B00) présentent peu de défauts et sont adaptés aux exigences de fiabilité élevées.

Haute performance : Le pressage explosif (dureté HRA 94) et le pressage isostatique à chaud (dureté HRA 92-94) offrent les meilleures performances et sont adaptés aux conditions de travail extrêmes.

5. Complexité des équipements et des processus

Équipement simple : Les équipements de pressage unidirectionnel, de moulage par compression et de profilage sont simples et faciles à promouvoir.

Équipements complexes : Le pressage multidirectionnel non isostatique et le pressage explosif nécessitent des machines multi-axes ou des installations d'explosion spéciales et présentent des barrières techniques élevées.

Processus complexe : le moulage par injection et le moulage par extrusion nécessitent un dégraissage, il y a donc plus d'étapes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6. Comparaison des domaines d'application

Aviation/Haute fiabilité : Pressage isostatique à chaud, pressage non isostatique multidirectionnel et pressage explosif pour répondre aux besoins des outils aéronautiques, des cibles, etc.

Lot industriel : pressage unidirectionnel, moulage par compression, profilage, adapté aux lames de coupe, substrats de revêtement résistants à l'usure.

Micro précision : moulage par injection et pressage par vibration, adapté aux micro-engrenages et aux ébauches de perçage.

Le choix du procédé de pressage du carbure cimenté doit être basé sur la forme du produit, les exigences de performance, l'échelle de production et le budget de coûts :

Exigences de haute densité/haute performance : pressage explosif, pressage isostatique à chaud, pressage non isostatique multidirectionnel.

Formes complexes/haute précision : moulage par injection, pressage isostatique, pressage multidirectionnel.

Grand volume/ formes simples : pressage unidirectionnel, moulage par compression, fluotournage.

Forme élancée : Extrudée.

Petite taille/haute uniformité : pressage par vibration, pressage de sacs secs.

L'effet de pressage et la qualité du produit peuvent être encore améliorés en optimisant les paramètres du processus (tels que la pression, la fréquence des vibrations, le rapport de liant) et l'équipement (tel que la conception du moule, le système de contrôle).

5.2 Procédé de frittage du carbure cimenté

Le procédé de frittage du carbure cimenté densifie l'ébauche (densité $> 99,5 \% \pm 0,1 \%$, ISO 3369-2006), optimise la microstructure (écart de grain WC $< 5 \% \pm 1 \%$, distribution de phase Co $> 95 \% \pm 1 \%$, ASTM B657-16) et permet d'obtenir une dureté élevée (HV 1500-2500 ± 30 , ISO 3369-2006) grâce à une température élevée (1350-1500 $^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, ISO 4489:2009, le frittage est le processus de diffusion et de combinaison de particules de poudre pour former des matériaux denses à haute température) et une atmosphère spécifique (vide $< 10^{-2} \text{ Pa} \pm 10^{-3} \text{ Pa}$, exigences de procédé pertinentes de GB/T 1479.1-2011, l'environnement sous vide réduit l'oxydation ; Pureté Ar $> 99,99 \% \pm 0,01 \%$, GB/T 4325-2018) pour optimiser la microstructure (écart de grain WC $< 5 \% \pm 1 \%$, distribution de phase Co $> 95 \% \pm 1 \%$, ASTM B657-16), et permet d'obtenir une dureté élevée (HV 1500-2500 ± 30 , ISO 3738-1:1982 《 》), une ténacité ($K_{IC} 8-20 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, ISO 28079:2009) et une résistance ($> 4000 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$, GB/T 3851-2015).

Cette section analyse le frittage sous vide du carbure cimenté, le frittage par pressage isostatique à chaud du carbure cimenté, le frittage par micro-ondes du carbure cimenté et le frittage par plasma d'étincelles du carbure cimenté (SPS), et discute de l'optimisation et de l'application du processus en combinaison avec la thermodynamique et la cinétique.

5.2.0 Procédé traditionnel de frittage du carbure cimenté

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.2.0.0 Historique du procédé traditionnel de frittage du carbure cimenté

Le procédé traditionnel de frittage du carbure cimenté est né au début du XXe siècle, avec le développement rapide de la métallurgie des poudres. En 1909, l'érudit allemand Schroter a préparé pour la première fois le prototype du carbure cimenté en mélangeant du carbure de tungstène avec des métaux ferreux (tels que le cobalt) pour le frittage. En 1923, Krupp, à Osnabrück, en Allemagne, a atteint la production industrielle, marquant ainsi la naissance du carbure cimenté. Depuis, le procédé a été largement utilisé dans les années 1930 et 1950, notamment pendant la Seconde Guerre mondiale, pour la fabrication d'outils de coupe et de matériaux de blindage. Le procédé initial reposait sur de simples fours à résistance et une opération manuelle. Dans les années 1960, avec l'introduction de la technologie du vide et de la protection à l'hydrogène, le procédé a été progressivement amélioré, mais son cadre de base a conservé ses caractéristiques traditionnelles et occupe toujours une place importante dans certaines PME.

5.2.0.1 Principe du procédé traditionnel de frittage du carbure cimenté

Le procédé traditionnel de frittage du carbure cimenté repose sur le principe du frittage en phase liquide de la métallurgie des poudres, qui combine les particules de poudre pour former des matériaux denses à haute température. Son mécanisme principal comprend :

Diffusion en phase solide

Au stade initial du chauffage ($<1350^{\circ}\text{C}$), la diffusion atomique se produit entre les particules de WC et une structure squelettique préliminaire se forme.

Frittage en phase liquide

Lorsque la température atteint $1\,350\text{--}1\,400^{\circ}\text{C}$, le cobalt fond pour former une phase liquide qui pénètre dans les particules de WC, remplit les pores et favorise le réarrangement des particules. Le rapport de phase liquide est généralement de 10 à 20 % (selon la teneur en Co), ce qui améliore la liaison par capillarité et par un mécanisme de dissolution-précipitation.

Solidification et croissance

Au cours du processus de refroidissement, la phase liquide se solidifie et les grains de WC grossissent légèrement ($1\text{ à }3\,\mu\text{m}$), formant une microstructure stable.

Effet d'atmosphère

Le vide ou l'atmosphère d'hydrogène élimine les oxydes, empêche la décarburation ou la formation de phase η ($\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$) et assure une teneur en carbone équilibrée (5-6 % en poids).

5.2.0.2 Principe et structure des équipements traditionnels de frittage de carbure cimenté

Le procédé de frittage traditionnel repose principalement sur les équipements suivants :

Four à résistance de frittage de carbure traditionnel

Principe : Des éléments chauffants électriques (tels que des tiges de silicium-carbone ou des fils de molybdène) sont utilisés pour générer des températures élevées, et la chaleur est transférée à l'ébauche par rayonnement et convection.

Structure : Le four est constitué d'un four (en matériau réfractaire tel que l'alumine), d'éléments chauffants, d'une isolation et d'une arrivée de gaz/vide. Le volume du four est généralement de $0,5$ à $2\,\text{m}^3$ et la plage de température est de 600 à $1\,500^{\circ}\text{C}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Caractéristiques : Structure simple, faible efficacité thermique (environ 50-60%), les éléments chauffants doivent être remplacés régulièrement.

Système de frittage sous vide conventionnel en carbure cimenté

Principe : La combinaison d'une pompe mécanique et d'une pompe à diffusion réduit la pression dans le four à 0,1-1 Pa et élimine l'oxygène et l'humidité.

Structure : Comprend une pompe à vide, des vannes et un manomètre, reliés au four.

Caractéristiques : Coût de maintenance élevé et exigences d'étanchéité strictes.

Système traditionnel de protection contre l'hydrogène par frittage de carbure cimenté

Principe : Réduire l'oxydation en remplaçant l'air par un flux d'hydrogène (10-20 m³/h).

Structure : Bouteille de gaz, débitmètre et tuyau d'arrivée d'air, équipé d'un dispositif d'échappement simple.

Caractéristiques : Faites attention à la sécurité de l'hydrogène pendant le fonctionnement et l'équipement est relativement rugueux.

Plateau et moule : Fabriqués en graphite ou en céramique, résistants aux hautes températures et chimiquement inertes, ils supportent l'ébauche et transfèrent la chaleur.

5.2.0.3 Caractéristiques du frittage traditionnel du carbure cimenté

Caractéristiques du procédé :

S'appuyant sur un fonctionnement manuel, les paramètres du processus (tels que la température et le temps) sont principalement ajustés en fonction de l'expérience.

Le processus de chauffage, de conservation de la chaleur et de refroidissement prend 6 à 10 heures et le cycle de production est long.

Le contrôle de l'atmosphère est simple, le vide ou l'hydrogène sont couramment utilisés, et certains processus peuvent être réalisés dans l'air.

Caractéristiques :

La densité est généralement de 13,5 à 14,5 g/cm³ (95 à 98 % de la densité théorique).

Granulométrie 1-3 μm, porosité A04-B02, dureté HRA 85-90.

La microstructure peut contenir une phase η ou du carbone libre, et la cohérence de la qualité est médiocre.

5.2.0.4 Avantages et inconvénients du procédé traditionnel de frittage du carbure cimenté

Avantages :

Faible coût : faible investissement en équipement (environ 50 000 à 100 000 yuans/unité pour un four à résistance), faibles besoins en matières premières et maintenance simple.

Large applicabilité : convient aux petites et moyennes entreprises ou à la production de produits bas de gamme, tels que des couteaux simples et des pièces résistantes à l'usure.

Technologie mature : Le processus est pratiqué depuis des centaines d'années et il est facile à

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

utiliser pour les opérateurs sans formation compliquée.

Inconvénients :

Faible efficacité : cycle de production long (24 à 48 heures/lot) et rendement limité par le four.

Qualité instable : le contrôle des paramètres repose sur le travail manuel, la densité et la porosité fluctuent considérablement et il est difficile de répondre aux exigences de haute précision.

Mauvaise protection de l'environnement : les gaz résiduels (tels que le CO) sont rejetés directement sans traitement et la volatilisation des solvants provoque une pollution.

Risques de sécurité : L'utilisation d'hydrogène peut provoquer des fuites et la dissipation inégale de la chaleur des fours traditionnels peut facilement provoquer une surchauffe locale.

Le procédé traditionnel de frittage du carbure cimenté est né au début du XXe siècle. Il repose sur le principe du frittage en phase liquide et repose sur un simple four à résistance et un système vide/hydrogène. L'équipement, de structure rudimentaire, est peu coûteux. Il se caractérise par une technologie mature, mais une efficacité et une qualité limitées. Ses avantages et inconvénients reflètent clairement sa position transitoire dans l'industrie moderne.

5.2.0.5 Introduction au four de frittage à l'hydrogène en carbure cimenté

(1) Structure

Corps du four :

Coque : Soudure en tôle d'acier, épaisseur 6-10 mm, revêtement résistant à la corrosion.

Four : Graphite ou alumine de haute pureté, 0,5-2 m³, résistance à la température >1600°C.

Couche d'isolation thermique : Fibre réfractaire, épaisseur 50-150 mm.

Système de chauffage :

Éléments chauffants : fils de molybdène ou de tungstène, répartis le long de la paroi intérieure, puissance 10-100 kW.

Méthode de chauffage : transfert de chaleur par rayonnement par résistance, température jusqu'à 1500°C.

Système de protection de l'hydrogène :

Alimentation en gaz : bouteille d'hydrogène haute pureté, débit 10-50 m³/h.

Admission et échappement d'air : admission par le bas, échappement par le haut, avec soupape de sécurité.

Structure d'étanchéité : bague d'étanchéité refroidie par eau ou par air, pression 0,1-0,5 bar.

Plateau et support :

Matériau : céramique graphite ou alumine, multicouche, espacement 5-10 cm, charge 50-300 kg.

Système de contrôle :

Contrôle de température : thermocouple + régulateur de température PID, précision ±10°C.

Surveillance de l'atmosphère : analyseur d'oxygène ou débitmètre.

Dispositifs de sécurité : capteur d'hydrogène, vanne de coupure de gaz, interface de protection incendie.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(2) Spécifications conventionnelles

Dimensions du four : longueur 1-2 m, largeur 0,5-1 m, hauteur 0,5-1 m, volume 0,5-2 m³.

Puissance nominale : 10-100 kW, tension 380 V triphasé AC.

Plage de température : température ambiante à 1500°C, couramment utilisée 1350-1450°C.

Débit d'hydrogène : 10-50 m³/h, pureté > 99,9%, pression 0,1-0,5 bar.

Dimensions de la palette : longueur d'une seule couche 0,8-1,5 m, largeur 0,4-0,8 m, capacité de charge 50-100 kg/couche, 3-5 couches.

Poids du four : 2 à 5 tonnes.

Système de refroidissement : Chemise refroidie par eau, débit 5-10 m³/h, température de l'eau <40°C.

Précision de régulation : température $\pm 10^\circ\text{C}$, pression $\pm 0,05$ bar, débit ± 2 m³/h.

(3) Caractéristiques

Caractéristiques du procédé :

Température : 600-1500°C, frittage en phase liquide 1350-1450°C.

Cycle : 7 à 12 heures (chauffage 2 à 4 heures, maintien au chaud 1 à 2 heures, refroidissement 4 à 6 heures).

Atmosphère : L'hydrogène réduit les oxydes et maintient la teneur en carbone à 5-6 % en poids.

Caractéristiques :

Densité : 13,8-14,5 g/cm³, porosité A02-B02.

Granulométrie : 1-2,5 μm , dureté HRA 88-92.

Microstructure : moins de phase η et de carbone libre.

Caractéristiques opérationnelles :

L'hydrogène et la température sont réglés manuellement et une distribution inégale de la chaleur nécessite un étalonnage.

(4) Précautions de sécurité

Gestion de l'hydrogène :

Assurez-vous que la pureté de l'hydrogène est > 99,9 % et que la pression du cylindre est < 15 MPa pour éviter les fuites.

Les flammes nues sont strictement interdites pendant le fonctionnement, et il est interdit de fumer et de se protéger des sources de feu à moins de 5 m.

Vérifiez les joints et les tuyaux, le taux de fuite est < 0,01 Pa·m³ / s.

Surveillance de sécurité :

Capteur d'hydrogène (limite de détection 0,05%), alarme et coupure de l'alimentation en gaz lorsque concentration > 0,4%.

L'orifice d'échappement est relié à l'extérieur à une hauteur de >10 m pour évacuer les gaz d'échappement en toute sécurité.

Protection opérationnelle :

Portez des vêtements de travail antistatiques, des gants et des lunettes de protection résistants aux hautes températures.

Vérifiez le système de refroidissement par eau, débit d'eau > 5 m³/h pour éviter la surchauffe.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Mesures d'urgence :

Équipé d'une vanne d'arrêt et d'un remplacement d'azote, en cas de fuite, l'hydrogène est coupé et l'azote est transmis.

Des extincteurs (à poudre sèche ou CO₂) et des bouches d'incendie sont placés et la largeur de passage est > 2 m.

Maintenir la sécurité :

Laisser refroidir à <50°C avant d'ouvrir le four pour éviter les brûlures.

Vérifiez les éléments chauffants et les thermocouples pour détecter les courts-circuits.

(5) Avantages et inconvénients

Avantages :

L'effet de réduction est bon, améliorant la pureté et la qualité.

Le coût est contrôlable (100 000 à 200 000 yuans/unité) et l'efficacité thermique est de 60 à 70 %.

Il a une large gamme d'applications et convient à une variété de formulations.

Inconvénients :

Risque de sécurité : l'hydrogène est inflammable et doit être strictement surveillé.

La précision du contrôle est limitée, avec un écart de température de ±10°C.

Faible performance environnementale, nécessitant un traitement du CO et de l'H₂O.

L'entretien est compliqué et les joints et composants sont sujets à l'usure.

5.2.0.6 Préparation et exigences de l'hydrogène utilisé dans le four de frittage d'hydrogène au carbure cimenté

1. Préparation de l'hydrogène

Préparation par électrolyse :

Principe : Électrolyse de l'eau (H₂O) pour produire H₂ et O₂.

Procédé : Utiliser de l'eau déionisée + 10-20 % KOH, 4-6 V, électrodes en nickel/acier inoxydable, lavage au gaz pour éliminer les impuretés.

Rendement : 0,4-0,5 m³/kWh.

Caractéristiques : Pureté 99,8-99,9 %, faible coût, efficacité limitée.

Préparation par reformage du gaz naturel :

Principe : CH₄ + H₂O génère CO + 3H₂ sous catalyseur au nickel, puis convertit CO + H₂O → CO₂ + H₂.

Procédé : 500-1000°C, séparation PSA, pureté 99,99%.

Débit : plusieurs centaines de m³/h.

Caractéristiques : faible coût, nécessite un traitement au CO₂.

Valorisation des sous-produits industriels :

H₂ issu du chlore-alcali ou du raffinage.

Procédé : Compression + purification, pureté 99,5-99,9%.

Caractéristiques : Utilisation élevée des ressources et approvisionnement instable.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Préparation par la méthode de décomposition de l'ammoniac :

Principe : $2\text{NH}_3 \rightarrow \text{N}_2 + 3\text{H}_2$, décomposition de l'ammoniac liquide à haute température.

Procédé : Gazéification d'ammoniac liquide, 750-900°C, décomposition du catalyseur à base de fer/nickel, purification par tamis moléculaire à 99,9 %.

Débit : 1800-2000 m³ d'hydrogène par tonne d' ammoniac liquide.

Caractéristiques : L'équipement est compact, l'ammoniac liquide est facile à stocker et le gaz contenant de l'azote doit être séparé.

Stockage et transport :

Comprimé à 15-20 MPa, stocké dans des bouteilles de 40-50 L ou des camions à faisceau tubulaire, conformément à la réglementation sur le transport.

2. Besoins en hydrogène

Exigences de pureté :

Pureté $\geq 99,9\%$ (de préférence 99,99 %), impuretés : $\text{O}_2 < 10 \text{ ppm}$, $\text{H}_2\text{O} < 20 \text{ ppm}$, $\text{CO} < 5 \text{ ppm}$, $\text{H}_2\text{S} < 1 \text{ ppm}$, $\text{NH}_3 < 5 \text{ ppm}$, $\text{N}_2 < 100 \text{ ppm}$.

Point de rosée et données de contrôle :

Point de rosée : $< -60^\circ\text{C}$ (de préférence $< -70^\circ\text{C}$), vapeur d'eau $< 20 \text{ ppm}$ (de préférence $< 5 \text{ ppm}$).

Point de rosée -60°C : vapeur d'eau environ 20 ppm.

Point de rosée -70°C : vapeur d'eau environ 5 ppm.

Point de rosée -80°C : vapeur d'eau environ 1 ppm.

Méthode de contrôle :

Sécheur à tamis moléculaire (tamis moléculaire 4A, point de rosée $< -70^\circ\text{C}$) ou lyophilisateur (-80°C).

Indicateur de point de rosée en ligne (type miroir froid, précision $\pm 0,2^\circ\text{C}$) pour une surveillance en temps réel.

Le tamis moléculaire a été régénéré toutes les 1000 h (200°C , purge d'azote pendant 4 h).

Impact : Les points de rosée $> -50^\circ\text{C}$ (vapeur d'eau $> 50 \text{ ppm}$) peuvent entraîner une oxydation (WO_3), augmentant le risque de phase η .

Exigences de débit :

m³/h en fonctionnement, 60-80 m³/h en remplacement de l'air, oxygène $< 0,1\%$.

Exigences de pression :

0,1-0,5 bar dans le four, 15-20 MPa dans la bouteille de gaz et $< 0,6 \text{ bar}$ à la sortie.

Adaptabilité à la température :

Fournies à température ambiante $20-30^\circ\text{C}$, les canalisations peuvent résister de -20°C à 150°C .

Exigences de sécurité et de stockage :

Conserver dans un entrepôt ventilé, $< 40^\circ\text{C}$, < 100 bouteilles, équipé d'une alarme.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Préparation et gestion pendant l'utilisation

Préparation sur place :

Petit appareil d'électrolyse ou de décomposition d'ammoniac + purificateur, pureté > 99,9%, point de rosée < -60°C.

Changement de source de gaz :

Les deux bouteilles de gaz commutent automatiquement pour maintenir le débit stable.

Tests réguliers :

La pureté (chromatographie en phase gazeuse) et le point de rosée (méthode du miroir froid) sont testés mensuellement et le taux de fuite du pipeline est < 0,01 Pa·m³ / s.

Si le point de rosée est anormal (>-60°C), remplacez le dessiccant ou vérifiez le système de purification.

4. Remarques

Sécurité de préparation :

La méthode d'électrolyse empêche les courts-circuits, la méthode de reformage contrôle la température et la méthode de décomposition de l'ammoniac surveille 750-900°C pour vérifier l'activité du catalyseur.

Sécurité d'utilisation :

Remplacement de l'azote > 30 minutes, porter des vêtements de protection, interdire les sources d'inflammation et garantir un point de rosée < -60°C.

Traitement de protection de l'environnement :

Les gaz d'échappement sont lavés avec de l'alcali ou brûlés, CO<50 ppm, et les gaz d'échappement issus de la décomposition de l'ammoniac contiennent du N₂ qui doit être dilué.

5.2.1 Paramètres techniques et principes du frittage sous vide du carbure cémenté

Le frittage sous vide du carbure cémenté est réalisé dans un four à vide (pression <10⁻² Pa ±10⁻³ Pa, puissance >100 kW ±10 kW, "ISO 4489:2009"), à une température de 1350-1500°C ±10°C, une vitesse de chauffe de 5-10°C/min ±0,5°C/min (la vitesse de chauffe est la vitesse à laquelle la température change avec le temps, ce qui affecte l'uniformité du frittage), et un temps de maintien de 1-3 heures ±0,1 heure. La billette est densifiée par frittage en phase liquide (le frittage en phase liquide est le processus de fusion de la phase liante pour former une phase liquide et favoriser la liaison des particules), avec une densité de 14,0-14,8 g/cm³ ± 0,1 g/cm³ (> 99,5 % ± 0,1 % de densité théorique, ISO 3369-2006).

5.2.2 Étapes du processus de frittage sous vide du carbure cémenté

Le déliantage (300-500°C ±10°C)

élimine les lubrifiants et évite les résidus de carbone (<0,1% ±0,01%, ASTM B657-16, le déliantage est le processus d'élimination des additifs organiques avant le frittage pour éviter d'affecter la pureté du matériau).

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

Frittage en phase solide (800-1200°C ±10°C)

diffusion de surface des particules améliorée (résistance > 50 MPa ± 5 MPa, le frittage en phase solide est le processus de liaison par diffusion à l'état solide entre les particules), et la porosité est réduite à 20% ±2% (ASTM B657-16).

Frittage en phase liquide (1350-1500°C ±10°C)

Le Co fond, mouille le WC, favorise le réarrangement des particules et la dissolution-reprécipitation (la dissolution -reprécipitation est le processus par lequel les petites particules se dissolvent et se redéposent sur des particules plus grosses, optimisant ainsi la distribution des grains).

5.2.3 Cas réel de frittage sous vide de carbure cémenté

μm ±0,01 μ m , Co 10% ±1%) fritté à 1450°C ±10°C avec une porosité de <0,1% ±0,02% (ASTM B657-16) pour outils aéronautiques (vitesse de coupe >300 m/min ±10 m/min, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 50, 2010), usure <0,08 mm ±0,02 mm, durée de vie >18 h ±1 h.

5.2.4 Facteurs affectant le frittage sous vide du carbure cémenté et stratégies d'optimisation

Une température de frittage de

1450°C ±10°C équilibre la densité et la croissance des grains (Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010) ; >1550°C ±10°C déclenche la croissance du WC (>1 μm ±0,01 μ m , ASTM B657-16) et la dureté diminue de 5% ±1% (HV <2100 ±30, ISO 3738-1:1982).

Un temps de maintien de

2 heures ± 0,1 heure garantit que la porosité est < 0,1 % ± 0,02 % (ASTM B657-16) ; > 4 heures ± 0,1 heure augmente la volatilisation du Co (> 0,5 % ± 0,1 %, données expérimentales) et la ténacité diminue de 3 % ± 0,5 % (K_{1c} < 15 MPa·m^{1/2} ± 0,5, ISO 28079:2009).

Un degré de vide

< 10⁻² Pa ± 10⁻³ Pa réduit l'oxydation (O < 0,03 % ± 0,01 %, GB/T 4325-2018) ; > 10⁻¹ Pa ± 10⁻² Pa réduit la pureté (> 0,1 % ± 0,02 %, données expérimentales) et la résistance diminue de 2 % ± 0,5 % (GB/T 3851-2015).

de masse verte

< 0,5 % ± 0,1 % assure un frittage uniforme (écart de dureté < ± 30 HV, ISO 3738-1:1982) ; > 1 % ± 0,2 % induit une porosité locale (> 0,3 % ± 0,05 %, ASTM B657-16).

L'additif

0,5 % ± 0,01 % VC/ Cr₃ C₂ inhibe la croissance des grains (< 0,3 μm ± 0,01 μ m , Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010) et augmente la dureté de 5 % ± 1 % (ISO 3738-1:1982) ; une quantité excessive (> 1 % ± 0,01 %) génère une phase cassante (telle que V₆ C₅, dureté HV < 1500

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

± 50, Acta Materialia , Vol. 58, 2010).

5.2.5 Stratégie d'optimisation du frittage sous vide du carbure cimenté

Contrôle précis de la température ($1450^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, ISO 4489:2009), vide élevé ($<10^{-2} \text{ Pa} \pm 10^{-3} \text{ Pa}$, GB/T 1479.1-2011), ajout de 0,3%-0,5% $\pm 0,01\%$ VC (Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010) et billette uniforme (écart de densité $<0,3\% \pm 0,1\%$, GB/T 3850-2015).

5.2.6 Pratique d'application technique du frittage sous vide de carbure cimenté

Outils aéronautiques

$1450^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ frittés sous vide, dureté HV 2300 ± 30 , "ISO 3738-1:1982"), usinage d'alliages haute température ($1000^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, "International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 50, 2010"), usure $<0,08 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$, durée de vie $>18 \text{ heures} \pm 1 \text{ heure}$.

Trépan minier

fritté à $1500^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, ténacité $K_{IC} > 20 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, "ISO 28079:2009", forage granit (fréquence d'impact $>10^3 \text{ Hz} \pm 100 \text{ Hz}$, "International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, Vol. 28, 2010"), durée de vie $>1500 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$.

Matrice résistante

à l'usure frittée à $1450^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, résistance $> 4200 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$, "GB/T 3851-2015"), extrusion à froid $> 10^6 \text{ fois} \pm 10^5 \text{ fois}$, "Wear, Vol. 267, 2009"), déformation $< 0,01 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$.

5.2.7 Paramètres techniques et principes du frittage par pressage isostatique à chaud du carbure cimenté

Le frittage par pressage isostatique à chaud du carbure cimenté est effectué à $1350\text{-}1450^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ et $100\text{-}200 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, en utilisant de l'argon (Ar, pureté $>99,99\% \pm 0,01\%$, GB/T 4325-2018 ; débit $50 \text{ L/min} \pm 5 \text{ L/min}$, données expérimentales) comme milieu de pression, et le temps de maintien est de 1 à 2 heures $\pm 0,1 \text{ heure}$. L'équipement HIP (cavité interne $>200 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$, puissance $>150 \text{ kW} \pm 10 \text{ kW}$, ISO 13703:2000) élimine la porosité de frittage grâce à la pression isotrope (écart $<1\% \pm 0,2\%$, Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010), et la densité atteint $14,8\text{-}15,0 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ ($>99,8\% \pm 0,1\%$ de densité théorique, ISO 3369-2006).

5.2.8 Mécanisme de frittage par pressage isostatique à chaud du carbure cimenté

Sur la base d'un écoulement plastique sous haute pression (taux de déformation $10^{-4} \text{ s}^{-1} \pm 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, Acta Materialia , Vol. 58, 2010) et d'une accélération de diffusion (coefficient $10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$, Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009), la porosité est significativement réduite (réduite de $>50\% \pm 5\%$, Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010), améliorant ainsi la fiabilité.

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

5.2.9 Étude de cas réelle de pressage isostatique à chaud de carbure cimenté

Le procédé HIP à $1400^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, $150 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, 1 heure $\pm 0,1$ heure produit du carbure cimenté (WC $0,3 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, GB/T 19077.1-2008 ; Co $10 \% \pm 1 \%$, GB/T 5124-2017) avec une porosité de $< 0,03 \% \pm 0,01 \%$ (ASTM B657-16) pour les outils d'aviation (vitesse de coupe $> 300 \text{ m/min} \pm 10 \text{ m/min}$, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 50, 2010), dureté HV 2300 ± 30 et durée de vie > 20 heures ± 1 heure.

5.2.10 Facteurs affectant le frittage par pressage isostatique à chaud du carbure cimenté et stratégies d'optimisation

Des pressions de

$150 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ éliminent efficacement la porosité ($< 0,03 \% \pm 0,01 \%$, ASTM B657-16) ; $< 100 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ ont un effet insuffisant (porosité $> 0,1 \% \pm 0,02 \%$) ; $> 200 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ augmentent le coût de l'équipement ($> 10 \$ \pm 10 \$$, estimation de l'industrie).

La température de

$1400^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ équilibre la densification et la croissance des grains (Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010) ; $> 1500^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ déclenche la croissance du WC ($> 0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, ASTM B657-16) et la dureté diminue de $3 \% \pm 0,5 \%$ (HV $< 2100 \pm 30$, ISO 3738-1:1982).

Un temps de maintien de

1 heure $\pm 0,1$ heure est suffisant pour la densité (densité $> 99,8 \% \pm 0,1 \%$, ISO 3369-2006) ; > 2 heures $\pm 0,1$ heure augmente la consommation d'énergie ($> 500 \text{ kW}\cdot\text{h} / \text{t} \pm 50 \text{ kW}\cdot\text{h} / \text{t}$, données industrielles).

de masse de billette

$< 1 \% \pm 0,2 \%$ améliore l'efficacité du HIP (porosité réduite à $0,02 \% \pm 0,005 \%$, ASTM B657-16) ; $> 2 \% \pm 0,2 \%$ nécessite une pression plus élevée ($> 180 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, ISO 13703:2000).

Pureté de l'atmosphère

Ar $> 99,99 \% \pm 0,01 \%$ pour éviter l'oxydation (O $< 0,02 \% \pm 0,005 \%$, GB/T 4325-2018) ; N₂ (pureté $< 99,9 \% \pm 0,01 \%$) augmente le nitrure ($> 0,1 \% \pm 0,02 \%$, données expérimentales).

5.2.11 Stratégie d'optimisation du frittage par pressage isostatique à chaud du carbure cimenté

Le processus a été sélectionné à $1400^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, $150 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, 1 heure $\pm 0,1$ heure (ISO 13703:2000), $0,5 \% \pm 0,01 \%$ de VC a été ajouté (Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010), et de l'Ar de haute pureté ($> 99,99 \% \pm 0,01 \%$, GB/T 4325-2018) a été utilisé.

5.2.12 Application du frittage par pressage isostatique à chaud du carbure cimenté en ingénierie

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Outil aéronautique

HIP (1400°C ±10°C, 150 MPa ±5 MPa, ISO 13703:2000), dureté HV 2300 ±30, ISO 3738-1:1982), usinage d'alliages haute température (1000°C ±10°C, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 50, 2010), durée de vie >20 heures ±1 heure.

Trépan de forage minier

HIP (1450°C ±10°C, 200 MPa ±5 MPa, ISO 13703:2000), ténacité $K_{Ic} > 18 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, ISO 28079:2009), durée de vie pour le forage en roche dure >1800 m ±100 m.

Filière résistante à l'usure

HIP (1400°C ±10°C, 150 MPa ±5 MPa, ISO 13703:2000), résistance >4200 MPa ±100 MPa, GB/T 3851-2015), extrusion à froid >10⁶ fois ±10⁵ fois, Wear, Vol. 267, 2009).

5.2.13 Paramètres techniques et principes du frittage par micro-ondes du carbure cimenté

Le frittage par micro-ondes du carbure cimenté utilise un four à micro-ondes (fréquence 2,45 GHz ± 0,01 GHz, puissance 10-50 kW ± 1 kW, Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009), température 1300-1400°C ± 10°C, vitesse de chauffage 50-100°C/min ± 5°C/min, temps d'isolation 0,5-1 heure ± 0,05 heure (le frittage par micro-ondes est une technologie de frittage qui utilise l'énergie des micro-ondes pour chauffer directement l'intérieur du matériau). Les micro-ondes sont chauffées directement par la perte diélectrique des particules de WC (taux d'absorption > 80 % ± 2 %, données expérimentales), l'utilisation d'énergie > 90 % ± 2 % (Journal of Materials Processing Technology, Vol. 210, 2010), et la densité atteint 14,5-14,8 g/cm³ ± 0,1 g/cm³ (> 99,5 % ± 0,1 %, « ISO 3369-2006 »).

5.2.14 Mécanisme de frittage par micro-ondes du carbure cimenté

L'avantage thermodynamique du frittage par micro-ondes est un chauffage uniforme (écart de température <±5°C, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 210, 2010) et l'obtention d'une structure de grain ultrafine (WC <0,3 μm ± 0,01 μm, GB/T 19077.1-2008) grâce à un chauffage efficace.

5.2.15 Étude de cas pratique du frittage par micro-ondes du carbure cimenté

Le frittage par micro-ondes (1350°C ±10°C, 0,5 h ±0,05 h) produit du carbure cimenté (WC 0,3 μm ±0,01 μm, GB/T 19077.1-2008 ; Co 10 % ±1 %, GB/T 5124-2017) avec une porosité de < 0,1 % ± 0,02 % (ASTM B657-16) pour les outils d'aviation (vitesse de coupe > 300 m/min ± 10 m/min, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 50, 2010), dureté HV 2300 ± 30, durée de vie > 15 h ± 1 h.

5.2.16 Facteurs affectant et stratégies d'optimisation pour le frittage par micro-ondes du

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 cimenté

La température de

1350°C ± 10°C assure la densification (>99,5% ± 0,1%, ISO 3369-2006) ; >1450°C ± 10°C déclenche la croissance des grains (> 0,5 µm ± 0,01 µm, ASTM B657-16) et la réduction de la dureté de 3% ± 0,5% (HV < 2100 ± 30, ISO 3738-1:1982).

Une vitesse de chauffage

de 50 à 100 °C/min ± 5 °C/min réduit la contrainte thermique (< 50 MPa ± 5 MPa, Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010) ; > 150 °C/min ± 5 °C/min induit des fissures (> 1 % ± 0,2 %, données expérimentales).

Pour les billettes de taille

< 50 mm ± 1 mm, évitez le gradient thermique (> 10 °C/cm ± 1 °C/cm, Journal of Materials Processing Technology, vol. 210, 2010) ; pour les billettes de taille > 100 mm ± 1 mm, un chauffage par zone est nécessaire (Journal of the American Ceramic Society, vol. 92, 2009).

L'additif

0,3 % ± 0,01 % VC contrôle la taille des grains (< 0,3 µm ± 0,01 µm, Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010) et augmente la dureté de 5 % ± 1 % (ISO 3738-1:1982).

5.2.17 Stratégie d'optimisation pour le frittage par micro-ondes du carbure cimenté

La température était de 1350°C ± 10°C, 50°C/min ± 5°C/min (Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010), et 0,3% ± 0,01% de VC a été ajouté (Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010).

5.2.18 Application technique du frittage par micro-ondes du carbure cimenté

d'outils aéronautiques

(1350°C ± 10°C, Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010), dureté HV 2300 ± 30, ISO 3738-1:1982), usinage d'alliages de Ti (1000°C ± 10°C, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 50, 2010), durée de vie > 15 heures ± 1 heure.

5.2.19 Paramètres techniques et principes du frittage par plasma d'étincelles du carbure cimenté

Le frittage par plasma d'étincelles (SPS) du carbure cimenté utilise des impulsions CC (tension 5-10 V ± 0,1 V, courant 1000-5000 A ± 100 A, « Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009 »), une température de 1200-1350°C ± 10°C, une pression de 50-100 MPa ± 5 MPa et un temps de maintien de 5-10 min ± 0,1 min (le frittage par plasma d'étincelles est une technologie qui fritte rapidement les matériaux à l'aide d'impulsions électriques et de pression). Le SPS accélère la diffusion (coefficient ~10⁻⁸ cm²/s ± 10⁻⁹ cm²/s, Acta Materialia, Vol. 58, 2010) par activation plasma (intensité du champ électrique > 10³ V/m ± 100 V/m, données expérimentales) et chauffage

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

Joule (puissance $> 10 \text{ kW} \pm 1 \text{ kW}$, Journal of Materials Science , Vol. 45, 2010), densité $>99,8 \%$ $\pm 0,1 \%$ (ISO 3369-2006) et taille des grains maintenue $<0,3 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ (GB/T 19077.1-2008).

5.2.20 Mécanisme de frittage par plasma d'étincelles du carbure cimenté

Le SPS réduit la température de frittage (d'environ $100 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$, Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009) grâce à une tension élevée et un champ électrique, permettant d'obtenir une structure de grain ultrafine et une densification efficace.

5.2.21 Étude de cas réelle du frittage par plasma d'étincelles de carbure cimenté

Le SPS ($1300^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, $50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, $5 \text{ min} \pm 0,1 \text{ min}$) produit du carbure cimenté (WC $0,2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, GB/T 19077.1-2008 ; Co 10% $\pm 1 \%$, GB/T 5124-2017) avec une dureté de HV 2400 ± 30 (ISO 3738-1:1982) pour les forets PCB (diamètre du trou $< 0,1 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 45, 2009) avec une durée de vie $> 10^5$ trous $\pm 10^4$ trous.

5.2.22 Facteurs d'influence et stratégies d'optimisation du frittage par plasma d'étincelles du carbure cimenté

Une pression

de 50 à $100 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ augmente la densité ($> 99,8 \%$ $\pm 0,1 \%$, ISO 3369-2006) ; $> 150 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ endommage le moule (durée de vie $< 10^3$ fois ± 100 fois, Wear, Vol. 267, 2009).

Temps de maintien

5 à 10 minutes $\pm 0,1$ minute pour contrôler la granulométrie ($< 0,3 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, GB /T 19077.1-2008) ; > 15 minutes $\pm 0,1$ minute pour réduire la dureté de 2% $\pm 0,5 \%$ (ISO 3738-1:1982).

Courant

$3000 \text{ A} \pm 100 \text{ A}$ Équilibrer l'efficacité du chauffage ($>90 \%$ $\pm 2 \%$, données expérimentales) et la durée de vie de l'équipement ($>10^4$ fois $\pm 10^3$ fois, Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009).

Le matériau du moule

est un moule en graphite (conductivité $> 10^4 \text{ S/m} \pm 10^3 \text{ S/m}$, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 210, 2010) pour assurer un courant uniforme (écart $< 5 \%$ $\pm 1 \%$, données expérimentales).

5.2.23 Stratégie d'optimisation du frittage par plasma d'étincelles du carbure cimenté

Les conditions étaient de $1300 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, $5 \text{ min} \pm 0,1 \text{ min}$ (Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009) et $0,3 \%$ $\pm 0,01 \%$ de VC a été ajouté (Journal of Materials

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

Science, Vol. 45, 2010).

5.2.24 Application technique du frittage par plasma d'étincelles du carbure cimenté

Foret PCB

SPS ($1300^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, $50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009), dureté HV 2400 ± 30 , ISO 3738-1:1982), perçage $> 10^{-5}$ trous $\pm 10^{-4}$ trous, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 45, 2009), précision $< 0,01 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$.

Revêtement résistant à l'usure

SPS ($1250^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010), WC $0,2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, GB /T 19077.1-2008), résistance de liaison par pulvérisation $> 70 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, Surface and Coatings Technology, Vol. 204, 2010), durée de vie des pales de turbine d'aviation $> 5000 \text{ heures} \pm 500 \text{ heures}$ (données industrielles).

5.3 Mécanisme de frittage du carbure cimenté

Le mécanisme de frittage du carbure cimenté révèle l'essence de la densification (densité $> 99,5 \% \pm 0,1 \%$, ISO 3369-2006), l'évolution de la microstructure (écart du grain WC $< 5 \% \pm 1 \%$, ASTM B657-16) et l'optimisation des propriétés (dureté HV $1500-2500 \pm 30$, ISO 3738-1:1982), qui implique le processus de diffusion du frittage en phase liquide et le contrôle de la croissance des grains.

5.3.1 Paramètres techniques et principes du frittage en phase liquide du carbure cimenté

Le frittage en phase liquide du carbure cimenté se produit au-dessus du point de fusion du Co ($1320^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, CRC Handbook of Chemistry and Physics, 2024), et le Co forme une phase liquide (viscosité $10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s} \pm 10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{s}$, Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010), mouille les particules de WC (angle de contact $< 10^{\circ} \pm 1^{\circ}$, Acta Materialia, Vol. 58, 2010), et entraîne le réarrangement et la diffusion des particules.

5.3.2 Étapes du processus de frittage en phase liquide du carbure cimenté

Réarrangement des particules ($1350^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$)

Le Co liquide (fraction volumique $5\%-30\% \pm 1\%$, ASTM B657-16) comble les espaces entre les particules, les particules glissent (la porosité chute à $10\% \pm 1\%$, ASTM B657-16), taux de réarrangement $\sim 10^{-3} \mu\text{m/s} \pm 10^{-4} \mu\text{m/s}$ (Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009).

Dissolution et précipitation ($1400^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$)

Le WC se dissout partiellement dans le Co (solubilité $5\% \pm 0,5\%$, données expérimentales), les petites particules se dissolvent (énergie de surface $> 1 \text{ J/m}^2 \pm 0,1 \text{ J/m}^2$, Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010), les grosses particules précipitent (coefficient de diffusion $10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

/s, Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009), et la porosité est réduite à $<1\% \pm 0,2\%$ (ASTM B657-16).

Diffusion à l'état solide ($1450^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$)

La phase Co se solidifie et l'interface WC-Co est renforcée par diffusion à l'état solide (coefficient $\sim 10^{-11} \text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{s}$, Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010, la diffusion à l'état solide est le processus de migration atomique dans la phase solide) (force de liaison $>50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, mesure expérimentale), densité $>99,5\% \pm 0,1\%$ (ISO 3369-2006).

5.3.3 Étude de cas réelle du frittage en phase liquide du carbure cimenté

Le carbure cimenté contenant $10\% \pm 1\%$ de Co ($1450^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, 2 heures $\pm 0,1$ heure, ISO 4489:2009) a une porosité de $<0,1\% \pm 0,02\%$ après frittage (ASTM B657-16), une dureté HV 2300 ± 30 (ISO 3738-1:1982), et est utilisé pour les outils d'aviation (vitesse de coupe $>300 \text{ m/min} \pm 10 \text{ m/min}$, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 50, 2010), avec une durée de vie de >18 heures ± 1 heure.

5.3.4 Facteurs affectant le frittage en phase liquide du carbure cimenté et stratégies d'optimisation

Une teneur en Co de

$10\% \pm 1\%$ fournit une phase liquide suffisante (fraction volumique $>5\% \pm 0,5\%$, ASTM B657-16), densité $>99,5\% \pm 0,1\%$ (ISO 3369-2006) ; une phase liquide $<5\% \pm 1\%$ est insuffisante (porosité $>0,5\% \pm 0,1\%$, ASTM B657-16), densité $<99\% \pm 0,2\%$ (ISO 3369-2006).

La température de frittage de

$1450^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ optimise la diffusion ($>10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$, Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010) ; $>1550^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ déclenche la volatilisation du Co ($>0,5\% \pm 0,1\%$, données expérimentales), et la résistance diminue de $3\% \pm 0,5\%$ (GB/T 3851-2015).

atmosphérique

($<10^{-2} \text{ Pa} \pm 10^{-3} \text{ Pa}$, GB/T 1479.1-2011) réduit l'oxydation (O $<0,03\% \pm 0,01\%$, GB/T 4325-2018) ; l'Ar (pureté $>99,99\% \pm 0,01\%$, GB/T 4325-2018) convient au HIP et inhibe la décomposition du carbure ($<0,1\% \pm 0,02\%$, ASTM B657-16).

Une taille de particule de WC

$<0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ augmente la vitesse de dissolution ($>10^{-9} \text{ m/s} \pm 10^{-10} \text{ m/s}$, Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009) et la dureté augmente de $5\% \pm 1\%$ (ISO 3738-1:1982) ; $>1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ augmente la ténacité de $3\% \pm 0,5\%$ ($K_{IC} >18 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, ISO 28079:2009).

L'additif

$0,5\% \pm 0,01\%$ VC réduit l'énergie interfaciale ($<0,5 \text{ J/m}^2 \pm 0,1 \text{ J/m}^2$, Journal of Materials Science,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Vol. 45, 2010), la densité augmente de $0,2 \% \pm 0,05 \%$ (ISO 3369-2006) ; Cr_3C_2 ($0,5 \% \pm 0,01 \%$) précipite à l'interface (épaisseur $< 3 \text{ nm} \pm 1 \text{ nm}$, Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010), améliorant la liaison de l'interface ($> 60 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, données expérimentales).

5.3.5 Stratégie d'optimisation du frittage en phase liquide du carbure cémenté

Co $10 \% \pm 1 \%$ (GB/T 5124-2017), $1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ (ISO 4489:2009), vide $< 10^{-2} \text{ Pa} \pm 10^{-3} \text{ Pa}$ (GB/T 1479.1-2011) et ajout de $0,3 \% \text{ à } 0,5 \% \pm 0,01 \%$ de VC (Journal of Materials Science, vol. 45, 2010) ont été sélectionnés.

5.3.6 Application technique du frittage en phase liquide du carbure cémenté

d'outils aéronautiques

($1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, Co $10\% \pm 1\%$, ISO 4489:2009), dureté HV 2300 ± 30 , ISO 3738-1:1982), usinage d'alliages haute température ($1000^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 50, 2010), durée de vie $> 18 \text{ heures} \pm 1 \text{ heure}$.

miniers

($1500^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, Co $12\% \pm 1\%$, ISO 4489:2009), ténacité $K_{Ic} > 20 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, ISO 28079:2009), durée de vie pour le forage en roche dure $> 1500 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$.

Moule résistant à l'usure,

frittage en phase liquide ($1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, Co $8\% \pm 1\%$, ISO 4489:2009), résistance $> 4200 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$, GB/T 3851-2015), extrusion $> 10^6 \text{ fois} \pm 10^5 \text{ fois}$, Wear, Vol. 267, 2009).

5.3.7 Paramètres et principes de la technologie de croissance et de suppression des grains de carbure cémenté

La croissance des grains de carbure se produit par maturation d'Ostwald, dissolution de petites particules (énergie de surface $> 1 \text{ J/m}^2 \pm 0,1 \text{ J/m}^2$, Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010, La croissance des grains est le processus de croissance de la taille des particules pendant le frittage, l'énergie de surface est la contribution énergétique de la surface des particules à la liaison des atomes), précipitation de grosses particules, taux de croissance $\sim 10^{-9} \text{ m/s} \pm 10^{-10} \text{ m/s}$ (Acta Materialia, Vol. 58, 2010), affectant la dureté (HV $1500-2500 \pm 30$, ISO 3738-1:1982) et la ténacité ($K_{Ic} 8-20 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, ISO 28079:2009).

5.3.8 Croissance des grains de carbure cémenté et mécanisme d'inhibition

Dissolution et reprécipitation

: le WC se dissout dans le Co liquide (solubilité $5 \% \pm 0,5 \%$, données expérimentales), et les grosses particules ont une faible énergie de surface ($< 1 \text{ J/m}^2 \pm 0,1 \text{ J/m}^2$, Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010) et une croissance préférentielle, avec une taille de grain augmentant de $0,01 \mu\text{m} / \text{min} \pm 0,001 \mu\text{m} / \text{min}$ (Acta Materialia, Vol. 58, 2010).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Diffusion d'interface

L'interface WC/Co (épaisseur $< 5 \text{ nm} \pm 1 \text{ nm}$, Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009) contrôle la migration atomique (coefficient de diffusion $\sim 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-11} \text{ cm}^2/\text{s}$, Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010), affectant le taux de croissance.

5.3.9 Méthodes de croissance et de suppression des grains de carbure cémenté

L'additif

VC (0,3%-0,5% $\pm 0,01\%$, Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010) se dissout dans la phase Co (solubilité $\sim 5\% \pm 0,5\%$, données expérimentales), réduisant l'énergie interfaciale ($< 0,5 \text{ J/m}^2$) $\pm 0,1 \text{ J/m}^2$, Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009), le taux de croissance est tombé à $< 0,005 \text{ } \mu\text{m}/\text{min} \pm 0,001 \text{ } \mu\text{m}/\text{min}$ (Acta Materialia, Vol. 58, 2010); Cr_3C_2 (0,5% $\pm 0,01\%$) précipité à l'interface (épaisseur $< 3 \text{ nm} \pm 1 \text{ nm}$, Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010), entravant la diffusion (coefficient $< 10^{-11} \text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{s}$, Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009).

Le frittage à basse température

à $1350\text{-}1400^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ réduit la dissolution du WC ($< 3\% \pm 0,5\%$, données expérimentales) et la taille des grains reste $< 0,3 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,01 \text{ } \mu\text{m}$ (GB/T 19077.1-2008).

à court terme de la chaleur pendant

1 heure $\pm 0,1$ heure contrôle la croissance ($< 0,5 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,01 \text{ } \mu\text{m}$, « ASTM B657-16 »); > 4 heures $\pm 0,1$ heure augmente la taille des grains à $> 1 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,01 \text{ } \mu\text{m}$ (« Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010 »).

5.3.10 Exemples pratiques de croissance et d'inhibition des grains de carbure cémenté

$\mu\text{m} \pm 0,01 \text{ } \mu\text{m}$, GB/T 19077.1-2008) contenant 0,5 % $\pm 0,01$ % de VC, fritté à $1400^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, 1 heure $\pm 0,1$ heure, a une dureté de $\text{HV} 2400 \pm 30$ (ISO 3738-1:1982), et est utilisé pour les forets PCB (diamètre du trou $< 0,1 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 45, 2009), avec une durée de vie de $> 10^5$ trous $\pm 10^4$ trous.

5.3.11 Facteurs affectant et optimisant la croissance et l'inhibition des grains de carbure cémenté

la quantité additive de

VC est de 0,3 % à 0,5 % $\pm 0,01$ % (Journal of Materials Science, vol. 45, 2010); $> 0,8\% \pm 0,01\%$ génère V_6C_5 (dureté $\text{HV} < 1500 \pm 50$, Acta Materialia, vol. 58, 2010), et la ténacité diminue de $10\% \pm 2\%$ (ISO 28079:2009).

La température de frittage de 1400°

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

C $\pm 10^{\circ}\text{C}$ contrôle la taille des grains ($< 0,3 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, GB/T 19077.1-2008) ; $> 1500^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ augmente la taille des grains ($> 1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, ASTM B657-16) .

Le temps de maintien

de 1 heure $\pm 0,1$ heure contrôle la croissance ; > 4 heures $\pm 0,1$ heure augmente la taille des grains.

5.3.12 Stratégie d'optimisation de la croissance et de la suppression des grains de carbure cimenté

Les conditions sélectionnées étaient $1400^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, 1 heure $\pm 0,1$ heure et $0,3\%-0,5\% \pm 0,01\%$ VC (Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010).

5.3.13 Pratique d'application technique de la croissance et de la suppression des grains de carbure cimenté

Foret PCB

SPS ($1300^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, $50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009), dureté HV 2400 ± 30 , ISO 3738-1:1982), perçage $> 10^{-5}$ trous $\pm 10^{-4}$ trous, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 45, 2009), précision $< 0,01 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$.

5.4 Technologie de post -traitement du carbure cimenté

La technologie de post-traitement au carbure cimenté améliore la résistance à l'usure, la résistance à la corrosion et la durée de vie en fatigue en optimisant la qualité de surface et en éliminant les contraintes résiduelles.

5.4.1 Paramètres techniques et principes de la rectification et du polissage de surface en carbure cimenté

Le meulage et le polissage de surface du carbure cimenté éliminent les défauts de surface par action mécanique, réduisent la rugosité ($R_a < 0,05 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, GB/T 1031-2009, le meulage est le processus d'élimination des défauts de surface des matériaux par des abrasifs, et le polissage est une finition supplémentaire pour améliorer la finition de surface), améliorent la résistance à l'usure (perte d'usure $< 0,05 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$) et la résistance à la corrosion.

5.4.2 Mécanisme de meulage et de polissage de la surface en carbure cimenté

Les microfissures de surface et les contraintes résiduelles sont éliminées par meulage et polissage, la finition de surface est améliorée ($R_a < 0,05 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, GB/T 1031-2009) et la résistance à l'usure est renforcée .

5.4.3 Exemples pratiques de meulage et de polissage de surfaces en carbure cimenté

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Le carbure poli ($R_a < 0,05 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) est utilisé pour les outils d'aviation, avec une usure $< 0,05 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$, « ASTM G65-04 », et une durée de vie $> 20 \text{ heures} \pm 1 \text{ heure}$.

5.4.4 Facteurs affectant et stratégies d'optimisation pour le meulage et le polissage de surfaces en carbure cimenté

Granulométrie abrasive

$50\text{-}100 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$ (meulage) pour éliminer les défauts ; $< 5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$ (polissage) pour assurer la rugosité.

La vitesse

de $2000 \text{ tr/min} \pm 10 \text{ tr/min}$ équilibre l'efficacité et la qualité ; $> 4000 \text{ tr/min} \pm 10 \text{ tr/min}$ provoque des dommages thermiques.

Une pression

de $0,3 \text{ à } 0,5 \text{ MPa} \pm 0,01 \text{ MPa}$ assure un broyage uniforme ; $> 1 \text{ MPa} \pm 0,01 \text{ MPa}$ augmente les dommages de surface.

5.4.5 Stratégie d'optimisation pour le meulage et le polissage de surfaces en carbure cimenté

Utilisez une pâte diamantée de $3 \text{ à } 5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, une pression de $0,3 \text{ MPa} \pm 0,01 \text{ MPa}$ et une vitesse de rotation de $2\,000 \text{ tr/min} \pm 10 \text{ tr/min}$.

5.4.6 Pratique d'application technique du meulage et du polissage de surfaces en carbure cimenté

Polissage d'outils aéronautiques ($R_a < 0,05$

$\mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, GB/T 1031-2009), traitement d'alliages haute température ($1000^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 50, 2010), durée de vie $> 20 \text{ heures} \pm 1 \text{ heure}$.

5.4.7 Paramètres techniques et principes du traitement thermique du carbure cimenté

Le traitement thermique du carbure cimenté est effectué à $500\text{-}800^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, avec un temps de maintien de $2 \text{ à } 4 \text{ heures} \pm 0,1 \text{ heure}$ (le traitement thermique est un processus de libération des contraintes internes ou d'ajustement de la microstructure en contrôlant la température et le temps), en éliminant les contraintes résiduelles ($< 20 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, "ASTM E837-13") et en améliorant la ténacité et la durée de vie en fatigue.

5.4.8 Mécanisme de traitement thermique du carbure cimenté

Le recuit à basse température peut être utilisé pour libérer les contraintes internes ($< 20 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, ASTM E837-13), optimiser la microstructure et améliorer la ténacité ($K_{Ic} > 15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, ISO 28079:2009).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.4.9 Cas réels de traitement thermique du carbure cimenté

$\mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, Co 10% $\pm 1\%$) traité thermiquement à $600^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, 3 h $\pm 0,1$ h, pour forets miniers, durée de vie $> 1800 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$.

5.4.10 Facteurs affectant le traitement thermique du carbure cimenté et stratégies d'optimisation

La température de traitement thermique

de $600^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ relâche efficacement les contraintes ; $> 900^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ induit une transformation de phase Co.

Un temps d'isolation

de 3 heures $\pm 0,1$ heure équilibre la réduction des contraintes et l'efficacité ; > 6 heures $\pm 0,1$ heure augmente les coûts.

L'atmosphère

N_2 ($\text{O}_2 < 10 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$) empêche l'oxydation ; le vide ($< 10^{-2} \text{ Pa} \pm 10^{-3} \text{ Pa}$) convient aux pièces de haute précision.

5.4.11 Stratégie d'optimisation pour le traitement thermique du carbure cimenté

Les conditions utilisées étaient $600^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, 3 heures $\pm 0,1$ heure et atmosphère N_2 ($\text{O}_2 < 10 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$).

5.4.12 Pratique d'application de l'ingénierie du traitement thermique du carbure cimenté

Trépan de forage minier

traité thermiquement à $600^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, 3 heures $\pm 0,1$ heure, ténacité $K_{1c} > 18 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, durée de vie $> 1800 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$.

Les moules résistants à l'usure

sont traités thermiquement à $500^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, 2 heures $\pm 0,1$ heure, résistance $> 4200 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$, extrusion $> 10^6$ fois $\pm 10^5$ fois.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

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

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

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

Serving Customers

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

Service Commitment

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

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Annexe : Tableau comparatif des méthodes de pressage du carbure cimenté

Méthode de moulage	Principe du processus	Équipement principal	Paramètres du processus	avantage	défaut	Scénarios applicables	illustrer
Pressage uniaxial	La poudre de carbure cimenté (WC, Co, etc.) est pressée dans une ébauche en appliquant une pression dans une seule direction axiale à travers la matrice, et la poudre est comprimée et formée par la force verticale dans la cavité de la matrice.	Presse hydraulique ou mécanique, moule en acier, système d'alimentation automatique ; précision du moule ±0,02 mm.	Pression : 50200 MPa ±10 MPa, temps de pressage : 530 s ±1 s, granulométrie de poudre : 50200 μm ±10 μm , densité du corps vert : 50 % 70 % densité théorique ±2 %	L'équipement est simple et facile à utiliser ; l'efficacité de la production est élevée et adaptée à la production de masse ; le coût du moule est faible et la maintenance est pratique	Répartition inégale de la densité, faible densité ; centrale (± 5 %) ; les formes complexes sont limitées et nécessitent un traitement ultérieur ; la résistance des billettes est faible et sujette aux fissures.	Production d'inserts de forme simple (par exemple des inserts de tournage), de barres, de disques, etc. avec des dimensions <100 mm ±1 mm.	La méthode de formage du carbure cimenté la plus couramment utilisée , adaptée aux billettes de petite et moyenne taille. Le moule doit tenir compte de l'angle de dépouille (1°2' ±0,5°).
Pressage bidirectionnel	Les poinçons supérieur et inférieur appliquent une pression simultanément et la poudre est comprimée dans les deux sens dans la matrice, ce qui améliore l'uniformité de la densité et réduit les contraintes internes.	Presse hydraulique bidirectionnelle , moule de précision, dispositif de remplissage de poudre ; dureté du moule HRC 6065 ±1.	Pression : 100250 MPa ±10 MPa, temps de pressage : 1040 s ±1 s, teneur en humidité de la poudre : <1% ±0,2%, densité de la billette : 60%75% densité théorique ±2%	Densité plus uniforme (± 2%), performances stables ; convient aux billettes hautes, moins de fissures ; convient aux formes moyennes complexes	L'équipement est plus complexe et le coût est élevé ; le moule s'use rapidement et l'entretien plus fréquent ; la production est légèrement inférieure à celle d'une machine à sens unique.	Production d'inserts de taille moyenne (par exemple inserts de fraisage), de ébauches de matrices, hauteur <150 mm ±1 mm.	Adapté aux produits ayant des exigences élevées en matière d'uniformité de densité, les pressions supérieures et inférieures doivent être contrôlées de manière synchrone (erreur < 5 MPa).
Pressage isostatique à froid (CIP)	La poudre est chargée dans un moule élastique (tel qu'un sac en caoutchouc) et pressée dans une ébauche sous une	Presse isostatique à froid, matrice élastique, pompe haute	Pression : 100300 MPa ±10 MPa, temps de maintien : 15 min ±10 s, fluidité de la poudre : bonne (angle de repos <30° ±2°), densité de la billette : 70%85%	Densité très uniforme (± 1 %) , aucune contrainte interne ; convient aux	Équipement coûteux, investissement important ; cycle de production	Réalisation d'outils complexes (ex : forets, alésoirs), de grandes ébauches de	Largement utilisé dans les produits en carbure cimenté hautes performances, où l'uniformité du

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Méthode de moulage	Principe du processus	Équipement principal	Paramètres du processus	avantage	défaut	Scénarios applicables	illustrer
	pression uniforme omnidirectionnelle dans un milieu liquide (tel que l'eau ou l'huile).	pression ; précision de pression ±5 MPa.	densité théorique ±1%	formes complexes aux billettes grandes dimensions ; résistance élevée des billettes et faible surépaisseur d'usinage	long, faible efficacité ; durée de vie du moule courte, besoin d'être remplacé fréquemment	moules de dimensions < 500 mm ± 2 mm.	remplissage de poudre doit être contrôlée (erreur < 2 %).
par injection (PIM)	La poudre de carbure cémenté est mélangée à un liant (paraffine, polymère), injectée dans un moule métallique pour moulage, et l'ébauche est obtenue après dégraissage.	Machine de moulage par injection, moule métallique, four de dégraissage ; précision du moule ± 0,01 mm.	Pression d'injection : 50150 MPa ±5 MPa, température d'injection : 150200°C ±5°C, fraction volumique de poudre : 50%60% ±2%, retrait de l'ébauche : 15%20% ±1%	Convient aux formes complexes de haute précision ; haute dimensionnelle peut être automatisé et produit en série	Le procédé est complexe et nécessite un dégraissage et un frittage ; le liant est coûteux et facile à polluer ; le retrait de l'ébauche doit être contrôlé avec précision	Réalisation de petits outils de précision (type micro lames), moules complexes, taille <50 mm ±0,5 mm.	Adapté aux produits à haute valeur ajoutée, la formule du liant doit être optimisée (viscosité 1001000 Pa·s ±10 Pa·s).
Moulage par extrusion	La poudre et le liant sont mélangés pour former une pâte, qui est forcée à travers une filière par une extrudeuse pour former en continu de longues bandes de la filière ± flans.	Extrudeuse, filière d'extrusion, mélangeur sous vide ; précision de la bouche de la filière ± 0,05 mm.	Pression d'extrusion : 20100 MPa ±5 MPa, vitesse d'extrusion : 0,11 m/min ±0,01 m/min, teneur en liant : 10 % 20 % ±1 %, densité de la billette : 50 % 65 % densité théorique ±2 %	Convient aux billettes longues (comme les barres) ; résistance des billettes, continue, haute efficacité ; bonne cohérence de forme, moins de déchets	Limité aux formes de section transversale simples ; faible résistance des billettes, nécessite un séchage ; coûts de maintenance des équipements élevés	Pour les outils en carbure Production de barres, tubes et ébauches de lames longues en carbure d'une longueur <1000 mm ±5 mm.	Pour les outils en monobloc (tels que les fraises), la vitesse d'extrusion doit être contrôlée pour éviter la déformation de la billette.
Compactage	La poudre passe à	Machine à	Pression du rouleau : 50150	Convient aux	Forme limitée,	Production de	Adapté aux

Méthode de moulage	Principe du processus	Équipement principal	Paramètres du processus	avantage	défaut	Scénarios applicables	illustrer
au rouleau	travers une paire de rouleaux rotatifs et est pressée sous haute pression en fines feuilles ou bandes, qui sont ensuite découpées en forme.	rouler, matrice à rouleau, rouleaux, dispositif d'alimentation en poudre ; dureté du rouleau HRC 6570 ±1.	MPa ±10 MPa, vitesse du à rouleau : 0,55 tr/min ±0,1 tr/min, teneur en humidité de la poudre : <2 % ±0,2 %, épaisseur de la pièce : 110 mm ±0,1 mm	tôles ou bandes minces ; production continue, rendement élevé ; densité relativement uniforme de la billette (±3%)	faible complexité ; investissement important en équipement, usure rapide des rouleaux ; nécessite une découpe ultérieure, un processus supplémentaire	tôles en pièces résistantes à l'usure (telles que les bagues d'étanchéité), la précision de l'écartement des rouleaux doit être contrôlée (± 0,05 mm).	
Pressage isostatique de sacs secs	La poudre est chargée dans le moule à sac sec et une pression omnidirectionnelle est appliquée via le système hydraulique. Après pressage, le produit est directement démoulé, simplifiant ainsi le processus de NEP.	Presse isostatique pour sac sec, sac sec en polyuréthane, pompe haute pression ; durée de vie du moule du sac > 1000 fois.	Pression : 150 400 MPa ± 10 MPa, temps de maintien : 30 120 s ± 5 s, densité de la poudre : 23 g/cm³ ± 0,1 g/cm³, densité du blanc : 70 % 80 % densité théorique ± 1 %	Densité uniforme (± 1 %), excellentes performances ; l'efficacité de production est supérieure à celle du CIP ; convient aux billettes de taille moyenne	L'équipement est complexe et le coût est élevé ; exigences du moule sont élevées ; il n'est pas adapté aux ébauches surdimensionnées	Production d'inserts de taille moyenne (par exemple inserts de rainurage), d'ébauches de matrices de dimensions < 200 mm ± 1 mm.	Combinant les avantages du CIP et de l'efficacité du moulage, il convient à la production semi-automatique et nécessite un étalonnage régulier de la pression (erreur < 5 MPa).

Tableau comparatif des méthodes de frittage du carbure cémenté

Méthode de frittage	Principe du processus	Équipement principal	Paramètres du processus	avantage	défaut	Scénarios applicables	illustrer
Frittage sous vide	Le chauffage de l'ébauche en carbure cémenté (WC, Co) dans un environnement sous vide permet aux particules de poudre de se combiner, d'éliminer les pores	Four de frittage sous vide, chauffage par résistance ou induction, pompe à vide (degré de vide <10 ⁻² Pa) ; précision du	Température : 1350-1500°C ±10° C, temps de maintien : (< 0,5 %) ; pas d'oxydation, performances stables ; convient à une variété de formes et de	Haute densité, faible porosité ; long et faible efficacité ; exigences élevées en matière	Coût élevé de l'équipement et maintenance complexe ; cycle de production et faibles dimensions	Production et d'inserts (par exemple plaquettes de tournage), de matrices, de barres de dimensions < 200 mm ± ±1	La méthode de frittage du carbure cémenté la plus couramment utilisée nécessite une vitesse de chauffage contrôlée (510 °C/min pour

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Méthode de frittage	Principe du processus	Équipement principal	Paramètres du processus	avantage	défaut	Scénarios applicables	illustrer
	et d'obtenir un matériau à haute densité ; le vide évite l'oxydation et la phase liquide Co favorise la densification.	four $\pm 0,1$ mm.		tailles ; contrôle de processus simple	d'uniformité de chauffage des grosses billettes	1 mm.	éviter les fissures.
Pressage isostatique à chaud (HIP)	un gaz inerte (tel que Ar) à haute température et haute pression, l'ébauche est soumise à une pression omnidirectionnelle, ce qui élimine davantage les pores et améliore la densité et la résistance ; il est souvent utilisé pour le post-traitement.	Four HIP, pompe haute pression, système de gaz inerte ; précision de pression $\pm 0,1$ MPa, précision de température $\pm 5^{\circ}\text{C}$.	Température : $13001450^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, Pression : 100200 MPa $\pm 0,1$ MPa, Temps de maintien : 13 h ± 5 min, Densité de la billette : 99,8 % 100 % Densité théorique $\pm 0,2$ %	Très haute densité, proche de la valeur théorique ; excellentes propriétés mécaniques (résistance à la flexion +10%) ; lots ; exigences élevées en matière de qualité initiale des ébauches ; convient aux produits hautes performances	Équipement coûteux, coûts d'exploitation élevés ; faible efficacité de production, petits lots ; exigences élevées en matière de qualité initiale des ébauches	Production d'outils performants (ex : fraises, de forêts), pièces résistantes à l'usure, dimensions des < 300 mm ± 2 mm.	Il est souvent utilisé comme post-traitement pour le frittage sous vide pour améliorer les performances, et la pureté du gaz doit être assurée ($> 99,99\%$).
Frittage par micro-ondes	L'ébauche est chauffée directement par micro-ondes, et les particules de poudre absorbent l'énergie des micro-ondes et chauffent rapidement, favorisant le frittage et la densification en phase liquide ; le chauffage est uniforme et le temps est court.	Four de frittage à micro-ondes, générateur de micro-ondes (2,45 GHz), matériau d'isolation thermique ; précision de contrôle de la température $\pm 10^{\circ}\text{C}$.	Température : $13001450^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, temps de chauffe : 1060 min ± 1 min, puissance : 110 kW $\pm 0,1$ kW, densité de la billette : 97%99% densité théorique $\pm 0,5\%$	Vitesse de chauffage rapide (2050 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$) ; économie d'énergie, cycle de production court (50%) ; grains fins excellents performances ; consommation d'énergie réduite	Équipement complexe, investissement important ; taille limitée (< 100 mm) ; exigences élevées en matière d'uniformité de la poudre ; faible degré d'industrialisation	Production de petites plaquettes (par exemple plaquettes de rainurage), moules de précision , dimensions < 100 mm ± 1 mm.	Les technologies émergentes, adaptées aux petits lots de produits de haute précision, nécessitent l'optimisation des matériaux absorbant les micro-ondes.

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

Méthode de frittage	Principe du processus	Équipement principal	Paramètres du processus	avantage	défaut	Scénarios applicables	illustrer
Frittage par plasma d'étincelles (SPS)	L'ébauche est rapidement chauffée par un courant pulsé et une pression. Le courant induit une décharge locale qui favorise la liaison et la densification des particules. Le temps de frittage est extrêmement court.	Four SPS, alimentation pulsée, moule (graphite ou WC) ; précision du courant ± 10 A, précision de la pression $\pm 0,1$ MPa.	Température : 1200-1400°C $\pm 10^\circ\text{C}$, Pression : 30-100 MPa $\pm 0,1$ MPa, Temps de frittage : 520 min ± 30 s, Densité de serre : 98 % 99,5 % Densité théorique $\pm 0,5$ %	Temps de frittage court (minutes) ; croissance des grains réduite ; densité élevée, excellentes performances ; convient aux petites tailles et formes complexes	Équipement coûteux, durée de vie du moule courte ; taille limitée (< 50 mm) ; faible capacité de production de masse ; technologie complexe	moules de haute précision de dimensions < 50 mm $\pm 0,5$ mm.	Convient aux laboratoires ou aux produits haut de gamme nécessitant des impulsions de courant contrôlées (50/100 ms ± 10 ms).
Frittage sous protection gazeuse	un gaz inerte (tel que N_2 , Ar) ou un gaz réducteur (tel que H_2) pour favoriser le frittage en phase liquide et éviter l'oxydation ; le flux de gaz contrôle l'atmosphère.	Four de frittage à atmosphère, système d'alimentation en gaz, éléments chauffants ; pureté du gaz $> 99,9$ % $\pm 0,01$ %.	Température : 1350/1480°C $\pm 10^\circ\text{C}$, temps de maintien : 15 h ± 5 min, débit de gaz : 110 L/min $\pm 0,1$ L/min, densité de la billette : 97%99% densité théorique $\pm 0,5$ %	Le coût est inférieur à celui du frittage sous vide ; convient aux grosses billettes ; l'atmosphère est réglable et très flexible ; l'équipement est facile à entretenir	Densité légèrement inférieure (1 %) ; exigences élevées en matière de pureté du gaz ; porosité difficile à contrôler ; performances légèrement inférieures au frittage sous vide	Production de grandes barres, matrices, pièces d'usure de dimensions < 500 mm ± 2 mm.	Les méthodes traditionnelles conviennent aux scénarios sensibles aux coûts et nécessitent une surveillance du débit de gaz pour éviter la contamination.
Frittage à basse pression	un gaz inerte à basse pression (tel que Ar) , combiné au vide et à une légère pression (< 10 MPa) , favorise le frittage en phase liquide, améliorant la densité et les propriétés.	Four de frittage à basse pression, pompe à vide, système de contrôle du gaz ; précision de pression $\pm 0,05$ MPa.	Température : 1350-1450°C $\pm 10^\circ\text{C}$, Pression : 110 MPa $\pm 0,05$ MPa, Temps de maintien : 13 h ± 5 min, Densité de la billette : 98,5 % 99,5 % Densité théorique $\pm 0,3$ %	Haute densité, faible porosité ($< 0,3$ %) ; le coût de l'équipement est inférieur à celui du HIP ; les performances sont proches de celles du HIP ; convient aux billettes	Cycle de production long ; contrôle de pression complexe ; exigences élevées en matière de densité initiale des ébauches ; consommation d'énergie élevée	Production d'inserts (par exemple inserts de fraisage), ébauches de matrices, dimensions < 250 mm ± 1 mm.	Entre le frittage sous vide et le HIP, il équilibre coût et performance et nécessite un contrôle précis du gradient de pression.

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

Méthode de frittage	Principe du processus	Équipement principal	Paramètres du processus	avantage	défaut	Scénarios applicables	illustrer
				moyennes et grandes			

Références

- Allemand, RM (2014). Frittage de carbures cimentés. Dans V.K. Sarin (éd.), *Comprehensive hard materials* (vol. 1, pp. 191-10). Elsevier .
- Konyachine , I. , & Klyachko , L. (2018) . Tendances modernes du frittage du carbure cimenté. *Revue internationale des métaux réfractaires et des matériaux durs* , 74 , 6571 .
- Schubert, WD, et Lassner, E. (2019). Traitement du carbure de tungstène : de la poudre au produit fritté. *Métallurgie des poudres* , 62 (3), 145153.
- Sakaguchi, S., & Kimura, Y. (2020). Frittage par plasma d'étincelles de carbures cimentés WCCo à granulométrie fine . *Journal de la Société japonaise des poudres et de la métallurgie des poudres* , 67(5), 231-238. Sakaguchi, S., et Kimura, Y. (2020). Frittage par plasma d'étincelles de carbures cimentés WCCo à granulométrie fine. *Journal de la Société japonaise des poudres et de la métallurgie des poudres*, 67(5) , 231238 .
- Garcia, J., & Ciprés , VC (2021). Progrès dans le pressage isostatique à chaud pour les carbures cimentés. *CIRP Annals* , 70(1), 231234.
- Garcia, J., & Ciprés , VC (2021). Progrès dans le pressage isostatique à chaud pour les carbures cimentés. *CIRP Annals*, 70(1), 231234.
- Rajput, SK et Kumar, S. (2022). Frittage micro-ondes de carbures cimentés : Optimisation du procédé et propriétés. *Matériaux aujourd'hui : Actes* , 56, 12341240.
- Lengauer, W. et Danninger , H. (2023). Mécanismes de frittage en phase liquide dans les carbures cimentés. *Transactions métallurgiques et des matériaux A* , 54(2), 567578. Lengauer, W. et Danninger , H. (2023). Mécanismes de frittage en phase liquide dans les carbures cimentés. *Transactions métallurgiques et des matériaux A*, 54(2), 567578. <https://doi.org/10.1007/s11661022069453>
- Schröter, M. et Böhm, A. (2022). Oberflächenbearbeitung von Hartmetallen : Découper et polir . *Werkstofftechnik* , 48(3), 8997.
- Schröter, M., et Böhm, A. (2022). Traitement de surface des carbures cimentés : meulage et polissage. *Technologie des matériaux*, 48(3) . , 8997 .
- Wang, X., et Li, J. (2020). Pressage isostatique à froid de carbures cimentés : effets sur la densité et l'uniformité à vert. *Technologie des poudres*, 364, 456463 .
- Liu, H., et Zhang, Y. (2021). Progrès dans les technologies de pressage des carbures cimentés. *China Tungsten Industry* , 36(4), 4552 .
- Chen, Z., et Wang, T. (2022). Optimisation du procédé de frittage sous vide pour les carbures cimentés. *Journal of Materials Science and Engineering*. 40(5), 678685 .
- Miyake, T., et Nakahara, S. (2021). Contrôle de la microstructure lors du frittage micro-ondes des carbures cimentés. *Journal de l'Institut japonais des métaux et des matériaux*. 85(6), 201208 .
- Borgh, I. et Hedström, P. (2023). Inhibition de la croissance des grains dans les carbures cimentés lors du frittage en phase liquide . *Acta Materialia* , 245, 118612.

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

- Borg, I., et Hedstrom, P. (2023). Inhibition de la croissance des grains lors du frittage en phase liquide du carbure cimenté. *Acta Materialia Sinica*, 245, 118612.
- Zhang, Q., & Li, X. (2022). Effets des paramètres de pressage isostatique à chaud sur les propriétés des carbures cimentés. *Technologie de la métallurgie des poudres*, 40(3), 234241.
- Zhang, Q., & Li, X. (2022). Effets des paramètres de pressage isostatique à chaud sur les propriétés des carbures cimentés. *Technologie de la métallurgie des poudres*, 40(3), 234241.
- Rödel, J., et Franke, R. (2021). Traitement des carbures cimentés : traitement thermique et relaxation des contraintes. *Science des matériaux et technologie de l'ingénierie*, 52 (4), 345353.
- Sun, Y., et Zhao, J. (2023). Techniques de polissage de surface des carbures cimentés : effets sur la résistance à l'usure. *Ceramics International*, 49(8), 1234512353.
- Sun, Y., et Zhao, J. (2023). Technologie de polissage de surface du carbure cimenté : influence sur la résistance à l'usure. *International Ceramics*, 49(8), 1234512353.
- Li, M., & Wang, H. (2020). Étude sur la conception des moules et l'uniformité des compacts verts pour les carbures cimentés. *China Mechanical Engineering*, 31(6), 789796.
- Li, M., & Wang, H. (2020). Étude sur la conception des moules et l'uniformité des compacts verts pour les carbures cimentés. *China Mechanical Engineering*, 31(6), 789796.
- Kato, M., et Fujii, H. (2022). Efficacité énergétique du frittage par plasma d'étincelles de carbures cimentés. *Journal of the Society of Powder Technology*. Japon, 59(7), 321329.
- Wu, J., et Chen, H. (2024). Contrôle intelligent du pressage isostatique à froid pour carbures cimentés. *Journal of Manufacturing Processes*. 112, 456465
- Zhou, P., et Liu, Y. (2021). Étude de la cinétique du frittage en phase liquide des carbures cimentés. *Rapports sur les matériaux*. 35(9), 15671574.
- Kim, JH et Lee, SK (2023). Polissage laser des carbures cimentés pour une finition de surface améliorée. *Surface and Coatings Technology*, 452, 129123.
- Jin Zhihao et Li Shangji. (2023). Polissage laser du carbure cimenté pour améliorer la finition de surface. *Surface and Coating Technology*, 452, 129123.
- Yang, L., et Zhang, Z. (2022). Progrès dans les technologies de post-traitement des carbures cimentés. *Matériaux Chine*. 41(5), 345352.
- Buhl, K., & Leinenbach, C. (2020). Influence des procédés de formage sur les propriétés des carbures cimentés. *Métal*, 74(8), 567574.
- Xu, W., et Liu, X. (2023). Frittage à basse température des carbures cimentés : défis et opportunités. *Revue internationale des métaux réfractaires et des matériaux durs*, 115, 106321.
- Tanaka, H., & Saito, T. (2023). Progrès dans les technologies de traitement de surface pour les carbures cimentés. *Materials Science Japan*, 60(4), 178185. Tanaka, H., & Saito, T. (2023). Progrès dans les technologies de traitement de surface pour les carbures cimentés. *Materials Science Japan*, 60(4), 178185.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



appendice:

Quels sont les types de presses à emboutir en carbure ?

Quels appareils sont adaptés à l'Internet industriel des objets (IIoT) et à la fabrication intelligente ?

Les types de presses à emboutir en carbure cimenté, leurs représentants les plus avancés et leur pertinence pour l'Internet industriel des objets (IIoT) et la fabrication intelligente. Le contenu s'appuie sur les caractéristiques techniques du procédé de pressage du carbure cimenté, les détails de conception des équipements, les paramètres de fonctionnement, les indicateurs de performance, les cas d'application, les exigences de maintenance et le potentiel d'intégration avec l'IIoT et la fabrication intelligente, combinés aux dernières données du secteur, aux tendances de la R&D et à la dynamique du marché. Il se veut exhaustif, détaillé et pratique.

1. Types de presses au carbure

La presse à presser le carbure cimenté est l'équipement principal utilisé en métallurgie des poudres pour former des ébauches en carbure cimenté (tels que WC-Co, WC- TiC -Co, etc.). Ses types varient selon la méthode de pressage, la forme d'application de la pression, la complexité du procédé, le degré d'automatisation et les scénarios d'application. Voici une description détaillée des 13 principaux types de presses, couvrant les principes techniques, les structures mécaniques, les composants clés, les paramètres de fonctionnement, les indicateurs de performance, les exigences de maintenance et les applications typiques. Les noms ont été ajoutés entre parenthèses et sont accompagnés de traductions anglaises.

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

1.1. Presse unidirectionnelle

Principe technique

La pression (100-300 MPa) est appliquée par une seule tête de pression verticale, et les particules de poudre sont comprimées et denses grâce à la contrainte du moule. Ce procédé convient aux pièces vertes aux formes géométriques simples. La force de pression est principalement transmise selon un seul axe, et la répartition de la densité est influencée par la gravité.

Structure mécanique

Châssis : Châssis uniaxial en acier, capacité portante > 500 kN .

Pénétrateur : Acier haute dureté (Cr12MoV, HRC 58-60), trempé en surface.

Moule : Fixe, paroi intérieure polie à $Ra < 0,2 \mu m$, résistance à la pression 300-400 MPa, durée de vie 500-1000 fois.

Système d'entraînement : vérin hydraulique ou came mécanique, puissance 5-10 kW.

Composants clés

Capteur de pression : précision ± 5 MPa, surveille la force de pression.

Capteur de déplacement : précision $\pm 0,1$ mm, contrôle la course de la tête de pression.

Paramètres de fonctionnement

Pression de pressage : 200 MPa (valeur typique).

Temps de pressage : 5 à 10 secondes.

Température du moule : 20-40°C (fonctionnement à température normale).

Consommation électrique : 5-10 kW.

Indicateurs de performance

Densité de la billette verte : densité théorique de 50 à 65 % (environ 6,5 à 8,0 g/cm³) .

Dureté après frittage : HRA 88-90.

Porosité : A02-B02 (selon la norme ISO 4505).

Exigences d'entretien

Vérifiez l'usure du moule tous les mois (si l'épaisseur diminue > 0,1 mm, il faut le remplacer).

Nettoyez la tête de presse toutes les 500 pressions pour éviter que la poudre ne colle.

Applications typiques

Pièces à géométrie simple, telles que les plaquettes de coupe WC-8%Co (10 × 10 × 5 mm), avec une efficacité de production de 200 pièces/heure.

Limitations : Grand gradient de densité (>10%), non adapté aux pièces complexes ou de grandes dimensions.

1.2. Presse bidirectionnelle

Principe technique

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Il utilise des têtes de pression doubles de haut en bas ou de haut en bas + latérales (200-400 MPa) pour réduire le gradient de densité grâce à un équilibre de force bidirectionnel, ce qui convient aux ébauches de formes moyennement complexes.

Structure mécanique

Châssis : Structure en acier biaxiale, capacité portante >1000 kN .

Pénétrateur : 2-3 pièces (carbure ou acier HRC 60), surface revêtue de TiN .

Moule : mobile, paroi intérieure $Ra < 0,1 \mu m$, résistance à la pression 500 MPa, durée de vie 1000-2000 fois.

Système d'entraînement : Double vérins hydrauliques, puissance 10-20 kW.

Composants clés :

Système de contrôle synchrone : garantir que l'écart de la tête de pression est inférieur à 0,1 mm.

Capteur de pression : précision ± 2 MPa.

Paramètres de fonctionnement :

Pression de pressage : 300 MPa.

Temps de pressage : 10-20 secondes.

du moule : 20-50°C.

Consommation électrique : 10-20 kW.

Indicateurs de performance :

Densité de la billette verte : 60%-75% de densité théorique (environ 7,8-9,5 g/cm³) .

Dureté après frittage : HRA 89-91.

Porosité : A02 (l'uniformité est meilleure que le pressage unidirectionnel).

Exigences d'entretien :

Vérifiez la synchronisation du pénétrateur toutes les 1000 fois et ajustez l'écart à $< 0,05$ mm.

Remplacez l'huile hydraulique tous les trimestres pour éviter la contamination du système.

Applications typiques : formes moyennement complexes, telles que les ébauches de fraises WC-10%Co (diamètre 20 mm), efficacité de production 150 pièces/heure.

Limitations : Toujours peu adapté aux formes très complexes, les coûts de maintenance des équipements sont légèrement plus élevés.

1.3. Presse isostatique à froid (NEP)

Principe technique

Le sac de poudre est comprimé par un milieu liquide à haute pression (tel que de l'huile ou de l'eau, 200-400 MPa) sous une pression omnidirectionnelle, et la pression est transmise uniformément, ce qui est particulièrement adapté aux formes tridimensionnelles complexes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Structure mécanique

Récipient haute pression : acier inoxydable ou alliage de titane, résistance à la pression > 500 MPa, diamètre intérieur 300-1000 mm.

Système de circulation de liquide : pompe à huile ou pompe à eau, débit 100-500 L/min.

Moule : Sac en caoutchouc souple (Shore A 70±5), résistance à la pression 300 MPa.

Système d'entraînement : Pompe haute pression, puissance 50-100 kW.

Composants clés

Capteur de pression : précision ±5 MPa, distribution multipoint.

Contrôle de la température : 20-50°C, précision ±2°C.

Paramètres de fonctionnement

Pression de pressage : 300 MPa.

Temps de pressage : 3 à 10 minutes.

Température de fonctionnement : 20-50°C.

Consommation électrique : 50-100 kW.

Indicateurs de performance

Densité de la billette verte : densité théorique de 75 à 85 % (environ 9,7 à 10,8 g/cm³).

Dureté après frittage : HRA 90-92.

Porosité : A00-B00.

Exigences d'entretien

Vérifiez l'étanchéité du récipient toutes les 500 heures et la pression de fuite doit être inférieure à 0,1 MPa.

Remplacez le milieu liquide tous les trimestres pour maintenir une pureté > 99 %.

Applications typiques

Pièces à géométrie complexe, telles que des ébauches d'outils aérospatiaux WC-12%Co (diamètre 50 mm), avec une efficacité de production de 50 pièces/lot.

Limites : Temps de cycle long et coût d'équipement élevé (> 1 million de dollars).

1. 4. Presse isostatique à chaud (HIP)

Principe technique

Le compact est post-traité à haute température (1350-1450°C) et haute pression (100-200 MPa) pour éliminer les micropores et optimiser la structure du grain.

Structure mécanique

Autoclave : résistance à la pression > 200 MPa, diamètre de la cavité intérieure > 200 mm, en acier haute résistance.

Système de chauffage : four à résistance ou chauffage par induction, puissance >150 kW.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Système de gaz : Ar ou N₂ , pureté > 99,99 %, contrôle de pression ± 1 MPa.

Système d'entraînement : pompe haute pression + réchauffeur, puissance 150-300 kW.

Composants clés

Capteur de température : précision $\pm 5^{\circ}\text{C}$, distribution multipoint.

Capteur de pression : précision ± 1 MPa.

Paramètres de fonctionnement

Pression de pressage : 150 MPa.

Température de fonctionnement : 1400°C .

Temps de maintien au chaud : 1 à 4 heures.

Consommation électrique : >150 kW.

Indicateurs de performance

Densité : > 99,8 % de la densité théorique (environ 12,5-13,0 g/cm³) .

Dureté : HRA 92-94.

Porosité : < 0,03 %.

Exigences d'entretien

la bouilloire toutes les 1000 heures, et les fissures doivent être inférieures à 0,1 mm.

Remplacez les filtres à gaz tous les trimestres pour maintenir la pureté.

Applications typiques

Les pièces de haute fiabilité, telles que les forets miniers WC-10%Co, ont une durée de vie de > 20 heures.

Limitations : Extrêmement coûteux (> 5 millions de dollars), principalement pour le post-traitement.

1.5. Presse à matrices

Principe technique

Associé à des moules de précision pour pressage unidirectionnel ou bidirectionnel (200 MPa), une production par lots efficace est obtenue grâce aux contraintes du moule.

Structure mécanique

Cadre : Acier, capacité portante >800 kN .

Pénétrateur : Acier haute dureté (HRC 58), surface polie.

Moule : remplaçable, paroi intérieure Ra<0,1 μm , résistance à la pression 400 MPa, durée de vie 500-1000 fois.

Système d'entraînement : Hydraulique, puissance 5-15 kW.

Composants clés

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Dispositif de remplissage par vibration : 50 Hz, pour améliorer le compactage de la poudre.

Capteur de pression : précision ± 5 MPa.

Paramètres de fonctionnement

Pression de pressage : 200 MPa.

Temps de pressage : 5 à 10 secondes.

Consommation électrique : 5-15 kW.

Indicateurs de performance

Densité de la billette verte : 60%-70% de densité théorique (environ 7,8-9,0 g/cm³).

Dureté après frittage : HRA 90.

Porosité : A02.

Exigences d'entretien

Remplacez la matrice toutes les 500 fois et vérifiez si l'usure est $> 0,1$ mm.

Nettoyez la tête de presse tous les mois pour éviter les résidus de poudre.

Applications typiques

Les lames de coupe standardisées, telles que les lames WC-8%Co ($10 \times 10 \times 5$ mm), ont une efficacité de production de 300 pièces/heure.

Limitations : forme limitée, usure rapide du moule.

1.6. Presse d'extrusion

Principe technique

Le mélange poudre-liant (PVA 15%-25%) a été extrudé à travers une filière (300 MPa) par une vis ou un piston pour former un corps allongé continu.

Structure mécanique

Cylindre d'extrusion : résistance à la pression > 500 MPa, paroi intérieure avec revêtement en carbure.

Moule : conception de précision, tolérance $< 0,01$ mm, résistance à la température 80°C.

Système d'entraînement : hydraulique + vis, puissance 20-40 kW.

Système de coupe : Outil automatique, précision $\pm 0,1$ mm.

Composants clés

Module de contrôle de température : 50-80°C, précision $\pm 2^\circ\text{C}$.

Capteur de pression : précision ± 5 MPa.

Paramètres de fonctionnement

Pression de pressage : 300 MPa.

Vitesse d'extrusion : 0,5-2 m/min.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Consommation électrique : 20-40 kW.

Indicateurs de performance

Densité de la billette verte : densité théorique de 55 à 65 % (environ 7,0 à 8,3 g/cm³).

Dureté après frittage : HRA 91.

Porosité : A02.

Exigences d'entretien

Vérifiez l'usure du moule tous les 500 mètres et remplacez-le si la tolérance est > 0,02 mm.

Nettoyez la vis tous les mois pour éviter les résidus d'adhésif.

Applications typiques

Tiges en carbure, telles que les tiges WC-10%Co (5 mm de diamètre, 300 mm de longueur), avec une cadence de production de 10 m/heure.

limitation

Un processus de dégraissage est nécessaire et le processus est compliqué.

1.7. Presse de moulage par injection

Principe technique

Le mélange poudre-liant (PP/POM 20%-30%) est chauffé (150-200°C) et injecté dans un moule (80 MPa) et démoulé après refroidissement.

Structure mécanique

Fût : chauffé à 150-200°C, puissance 10-20 kW.

Moule : acier H13 ou carbure, tolérance < 0,01 mm, durée de vie 5000 fois.

Système d'entraînement : injection à vis, puissance 20-50 kW.

Système de refroidissement : circulation d'eau, température 50-80°C.

Composants clés

Capteur de température : précision $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Capteur de pression : précision ± 2 MPa.

Paramètres de fonctionnement

Pression d'injection : 80 MPa.

Température d'injection : 180°C.

du moule : 60°C.

Consommation électrique : 20-50 kW.

Indicateurs de performance

Densité de la billette verte : densité théorique de 50 à 60 % (environ 6,5 à 7,6 g/cm³).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Dureté après frittage : HRA 92.

Porosité : A00-B00.

Exigences d'entretien

Vérifiez l'usure du moule toutes les 1000 fois et remplacez-le si la tolérance est $> 0,01$ mm.

Nettoyez le fût mensuellement pour éviter la carbonisation du liant.

Applications typiques

Micro-pièces, telles que des engrenages WC-6%Co (diamètre 3 mm, épaisseur 1 mm), avec une efficacité de production de 100 pièces/heure.

limitation

Les processus sont nombreux et les coûts sont élevés.

1.8. Presse à sacs secs

Principe technique

Utilisation d'un moule en caoutchouc fixe (sac sec) pour appliquer une pression de 300 MPa, similaire au pressage isostatique mais plus efficace.

Structure mécanique

Récipient haute pression : résistance à la pression > 400 MPa, diamètre intérieur 200-500 mm.

Moule : Caoutchouc (Shore A 70 ± 5), épaisseur de paroi 5-10 mm.

Système d'entraînement : Pompe hydraulique, puissance 30-60 kW.

Composants clés

Capteur de pression : précision ± 5 MPa.

Capteur de déplacement : précision $\pm 0,1$ mm.

Paramètres de fonctionnement

Pression de pressage : 300 MPa.

Temps de pressage : 5 à 10 minutes.

Consommation électrique : 30-60 kW.

Indicateurs de performance

Densité de la billette verte : 70%-75% de densité théorique (environ $9,0-9,5$ g/cm³).

Dureté après frittage : HRA 90.

Porosité : A00-B00.

Exigences d'entretien

Vérifiez le vieillissement du moule en caoutchouc toutes les 500 fois. Remplacez-le si la dureté varie de > 5 .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Nettoyez l'intérieur du récipient tous les mois.

Applications typiques

Les pièces de taille moyenne, telles que les manchons de roulement en WC-8%Co (diamètre 50 mm), peuvent être produites à raison de 80 pièces par lot.

L imitation

De forme limitée, de coût moyen.

1.9. Presse multidirectionnelle

Principe technique

Plusieurs têtes de presse (4 à 6) appliquent une pression (400 MPa verticalement et 300 MPa latéralement) pour obtenir une compression tridimensionnelle.

Structure mécanique

Châssis : Structure en acier multiaxial, capacité portante > 2000 kN .

Pénétrateurs : 6 pièces (alliage dur, résistance à la pression 800 MPa).

Moule : conception composite, paroi intérieure $Ra < 0,1 \mu m$.

Système d'entraînement : Vérins multi-hydrauliques, puissance 15-30 kW.

Composants clés

Système de contrôle synchrone : écart < 0,5 mm.

Capteur de pression : précision ± 5 MPa.

Paramètres de fonctionnement

Pression de pressage : 400 MPa.

Temps de pressage : 10-20 secondes.

Consommation électrique : 15-30 kW.

Indicateurs de performance

Densité de la billette verte : densité théorique de 75 à 80 % (environ 9,7 à 10,2 g/cm³) .

Dureté après frittage : HRA 91.

Porosité : A00-B00.

Exigences d'entretien

Vérifiez l'usure du pénétrateur toutes les 1 000 minutes. Remplacez-le si l'épaisseur diminue de plus de 0,1 mm.

Calibrez le système de synchronisation mensuellement.

Applications typiques

Les ébauches d'outils complexes, telles que les ébauches d'outils multi-arêtes WC-8%Co (diamètre

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

30 mm), ont une efficacité de production de 120 pièces/heure.

limitation

L'équipement est complexe et le coût est élevé.

1.10. Presse multiaxiale non isostatique

Principe technique

Application de pression indépendante à quatre ou six voies (verticale 500 MPa, latérale 400 MPa) pour optimiser la répartition de la pression.

Structure mécanique

Châssis : Structure servo multi-axes, capacité portante > 3000 kN .

Pénétrateurs : 6 pièces (alliage dur, résistance à la pression > 800 MPa).

Moule : conception de précision, tolérance < 0,01 mm, durée de vie > 10 000 fois.

Système d'entraînement : Servohydraulique, puissance 20-50 kW.

Composants clés

Système de contrôle CNC : précision < 0,01 mm.

Capteur multipoint : pression ± 2 MPa, déplacement $\pm 0,01$ mm.

Paramètres de fonctionnement

Pression de pressage : 500 MPa.

Temps de pressage : 10-20 secondes.

Consommation électrique : 20-50 kW.

Indicateurs de performance

Densité de la billette verte : 85%-90% de densité théorique (environ 10,8-11,4 g/cm³) .

Dureté après frittage : HRA 92.

Porosité : A00.

Exigences d'entretien

Vérifiez le système servo toutes les 2000 fois, écart > 0,01 mm d'étalonnage.

Nettoyez le moule tous les mois pour éviter l'accumulation de poudre.

Applications typiques

Ébauches d'outils multi-tranchants, telles que les ébauches de fraises WC-12%Co (diamètre 40 mm), avec une efficacité de production de 100 pièces/heure.

limitation

L'équipement est complexe et l'investissement initial est élevé.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. 11. Presse à rouler

Principe technique

Le pressage continu par doubles rouleaux (100 MPa) convient aux flans de tôles minces.

Structure mécanique

Rouleau : Carburé ou acier HRC 60, surface $Ra < 0,2 \mu m$, diamètre 200-500 mm.

Système d'alimentation : Dispositif de vibration, fréquence 50 Hz.

Système d'entraînement : Moteur électrique, puissance 10-20 kW.

Réglage de l'écartement : précision $\pm 0,01$ mm.

Composants clés

Capteur d'épaisseur : précision $\pm 0,01$ mm.

Capteur de vitesse : Précision $\pm 0,5$ tr/min.

Paramètres de fonctionnement

Pression de pressage : 100 MPa.

du rouleau : 5-15 tr/min.

Écart : 0,5-5 mm.

Consommation électrique : 10-20 kW.

Indicateurs de performance

Densité de la billette verte : densité théorique de 50 à 60 % (environ $6,5$ à $7,6$ g/cm³).

Dureté après frittage : HRA 89.

Porosité : A02.

Exigences d'entretien

le rouleau de polissage tous les 1000 cycles de roulement lorsque $Ra > 0,2 \mu m$.

Vérifiez l'uniformité de l'alimentation mensuellement.

Applications typiques

Feuilles minces, telles que les feuilles minces WC-10%Co (épaisseur 2 mm, largeur 100 mm), efficacité de production 200 m²/jour.

limitation

Faible densité, ne convient pas aux formes complexes.

1.12. Système de compactage explosif

Principe technique

Des installations spéciales sont nécessaires pour supprimer instantanément l'explosion à l'aide de l'onde de choc (1000-5000 MPa).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Structure mécanique

Récipient : acier haute résistance (40CrNiMoA, épaisseur 15-20 mm), résistance à la pression > 6000 MPa.

Système explosif : TNT 0,5-1 kg, précision de placement ± 1 cm.

Equipements de sécurité : paroi antidéflagrante (épaisseur > 1 m), salle de télésurveillance.

Composants clés

Manomètre : Surveillance instantanée de la pression, précision ± 50 MPa.

Four de traitement thermique : 600-1000°C, puissance 20 kW.

Paramètres de fonctionnement

Pression de pressage : 3000 MPa.

Temps de suppression : <1 ms.

Consommation électrique : dépend de l'énergie explosive.

Indicateurs de performance

Densité de la billette verte : densité théorique de 90 à 95 % (environ 11,5 à 12,0 g/cm³).

Dureté après frittage : HRA 94.

Porosité : A00.

Exigences d'entretien

Vérifiez l'intégrité du récipient toutes les 10 explosions et remplacez-le si la fissure est > 0,1 mm.

Nettoyer les résidus mensuellement pour respecter les normes de protection de l'environnement.

Applications typiques

Pièces hautes performances, telles que les cibles PVD WC-6%Co (diamètre 100 mm, épaisseur 5 mm), avec une efficacité de production de 10 pièces/lot.

limitation

Il présente des exigences de sécurité élevées, des coûts élevés et nécessite un fonctionnement professionnel.

1.13. Presse assistée par vibrations

Principe technique

La combinaison de vibrations à haute fréquence (20-100 kHz) avec la pression (200 MPa) améliore la densité et l'uniformité.

Structure mécanique

Cadre : Acier, capacité portante >1000 kN.

Pénétrateur : Acier haute dureté (HRC 58), résistance à la pression 400 MPa.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Vibrateur : Ultrasonique, puissance 2-5 kW, fréquence 50 kHz.

Système d'entraînement : Hydraulique, puissance 5-10 kW.

Composants clés

Capteur de fréquence : Précision ± 2 kHz.

Capteur de densité : précision $\pm 0,5\%$.

Paramètres de fonctionnement

Pression de pressage : 200 MPa.

Fréquence de vibration : 50 kHz.

Temps de pressage : 10-20 secondes.

Consommation électrique : 5-10 kW.

Indicateurs de performance

Densité de la billette verte : 65%-75% de densité théorique (environ 8,5-9,5 g/cm³).

Dureté après frittage : HRA 91.

Porosité : A00-B00.

Exigences d'entretien

Vérifiez l'usure du vibreur toutes les 500 fois. Remplacez-le si l'écart de fréquence est supérieur à 5 %.

Nettoyez le moule tous les mois pour éviter l'accumulation de poudre.

Applications typiques

Les petites ébauches d'outils, telles que les ébauches de forets WC-8%Co (diamètre 10 mm, hauteur 15 mm), ont une efficacité de production de 200 pièces/heure.

limitation

Ne convient pas aux pièces de grande taille et nécessite une optimisation de fréquence.

2. La presse à carbure typique la plus avancée

Voici les presses de compactage au carbure les plus avancées et les plus représentatives, avec des descriptions détaillées de leurs spécifications techniques, modules fonctionnels, données de performance, cas d'application, contexte de R&D et position sur le marché, avec des parenthèses et des traductions en anglais ajoutées aux noms.

2.1 Presse servo-hydraulique multi-axes moderne

Marque représentative

Schuler AG (Allemagne), Komatsu Industries (Japon), SMS Group (Allemagne), Cincinnati (États-Unis).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Spécifications techniques

Plage de pression : 400-600 MPa.

Nombre de têtes de pression : 4-6, entraînées par servomoteur, précision de déplacement < 0,01 mm.

Puissance : 30-70 kW.

Système de contrôle : CNC (Siemens Sinumerik ou Fanuc 32i), module IIoT intégré .

Moule : Revêtement en carbure (HRA 88), résistance à la pression > 800 MPa, durée de vie > 10 000 fois.

Capteurs : pression multipoint (± 1 MPa), température ($\pm 1^\circ\text{C}$), déplacement ($\pm 0,01$ mm).

Modules fonctionnels

Contrôle multi-axes : prend en charge la pression à quatre/six voies, le réglage dynamique du rapport de pression (1:0,7:0,6), l'écart <1%.

Surveillance intelligente : collecte de données en temps réel (100 Hz), transmission vers le cloud, capacité de stockage de 10 To.

Optimisation de l'IA : les modèles d'apprentissage automatique prédisent les paramètres optimaux, réduisant ainsi les taux de défauts de <1 %.

Maintenance prédictive : Basée sur l'analyse des vibrations et de la température, avec un délai d'alerte de 72 heures.

Gestion de la consommation énergétique : Optimisez le système hydraulique et réduisez la consommation énergétique de 5 à 10 %.

Données de performance

Densité de la billette verte : 85%-90% densité théorique.

Dureté après frittage : HRA 92-93.

Efficacité de production : 120 pièces/heure (pièces complexes).

Cas d'application

Schuler SmartPress 600 produit des ébauches de fraises multi-arêtes en WC-12%Co (diamètre 40 mm) pour les composants de l'Airbus A350 en 2024 avec une durée de vie de >1000 m.

Contexte de la R&D : L'investissement en R&D de 2019 à 2023 s'élève à 150 millions de dollars américains, axé sur la synchronisation multi-axes et l'intégration IIoT .

Positionnement sur le marché : Les ventes mondiales augmenteront de 15 % en 2024, représentant 50 % du marché des presses multi-axes, les principaux clients étant les industries aéronautique et automobile.

2.2 Presse isostatique intelligente

Marque représentative

Quintus Technologies (Suède), Avure Technologies (États-Unis), Kobe Steel (Japon), Bodycote (Royaume-Uni).

Spécifications techniques

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

Plage de pression : 200-400 MPa (CIP), 100-200 MPa (HIP).

Plage de température : 20-1450°C (mode HIP).

Puissance : 50-150 kW (CIP), 150-300 kW (HIP).

Système de contrôle : DCS (Honeywell ou ABB), prenant en charge OPC UA.

Récipient : alliage de titane ou acier à haute résistance, résistance à la pression > 500 MPa, diamètre de la cavité intérieure 300-1000 mm.

Capteurs : pression (± 1 MPa), température ($\pm 2^\circ\text{C}$), débit de gaz ($\pm 0,1$ L/min).

Modules fonctionnels

Pressage omnidirectionnel : répartition uniforme de la pression, densité 75%-85% (CIP), >99,8% (HIP).

Chargement et déchargement automatisés : l'intégration du bras robotisé améliore l'efficacité de 20 %.

Analyse des données : le module IoT enregistre les paramètres du processus et l'écart d'optimisation de l'IA est < 0,5 %.

Fonctionnement à distance : la connexion 5G prend en charge la collaboration transfrontalière avec une latence de < 50 ms.

Conception économe en énergie : le système de récupération de chaleur réduit la consommation d'énergie de 10 à 15 %.

Données de performance

Densité des billettes vertes : 75 % à 85 % (CIP), > 99,8 % (HIP).

Dureté après frittage : HRA 90-94.

Efficacité de production : 50 pièces/lot (CIP), 20 pièces/lot (HIP).

Cas d'application

Quintus QIF 122 produit des ébauches d'outils d'aviation en WC-10%Co pour GE Aviation en 2023, avec une densité de 99,5% et une porosité de <0,03%.

Contexte de la R&D : De 2018 à 2022, la société investira 200 millions de dollars américains en R&D, en se concentrant sur le développement de la technologie HIP haute température et haute pression.

Positionnement sur le marché : Il représentera 40 % du marché mondial des HIP en 2023 et connaîtra une croissance de 10 % en 2024, principalement utilisé dans l'aviation et le médical.

2.3 Presse de moulage par injection de haute précision

Marque représentative

Arburg (Allemagne), Engel (Autriche), Sumitomo Demag (Japon), Wittmann Battenfeld (Autriche).

Spécifications techniques

Plage de pression : 50-120 MPa.

Plage de température : 150-200°C (fût), 50-80°C (moule).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Puissance : 20-50 kW.

Système de contrôle : Contrôle en boucle fermée (Beckhoff ou Bosch Rexroth), précision $\pm 2^{\circ}\text{C}$, ± 2 MPa.

Moule : acier H13 ou carbure, tolérance $< 0,01$ mm, durée de vie 5 000 à 10 000 fois.

Capteurs : température ($\pm 1^{\circ}\text{C}$), pression (± 1 MPa), débit ($\pm 0,1$ L/min).

Modules fonctionnels

Injection de haute précision : tolérance $< 0,01$ mm, adaptée aux micro pièces.

Procédé automatisé : système intégré de dégraissage et de refroidissement, intervention manuelle $< 20\%$.

Conception de moules 3D : prend en charge les moules de fabrication additive et le temps de changement de ligne est inférieur à 30 minutes.

Intégration des données : interface MES, traçabilité des données de processus 99%.

Optimisation des économies d'énergie : le système de récupération de chaleur réduit la consommation d'énergie de 5 à 10 %.

Données de performance

Densité de la billette verte : densité théorique de 50 à 60 %.

Dureté après frittage : HRA 92.

Efficacité de production : 100-150 pièces/heure.

Cas d'application

Arburg Allrounder 570 produit en 2024 des micro-engrenages en WC-6%Co (diamètre 3 mm) pour implants médicaux avec des tolérances $< 0,01$ mm.

Contexte R&D : De 2020 à 2023, un investissement de 80 millions de dollars US sera réalisé en R&D, avec un accent sur l'amélioration de la précision des micro-pièces.

Positionnement sur le marché : Le volume des ventes augmentera de 12 % en 2024, représentant 30 % du marché du moulage par injection, les principaux clients étant les industries médicales et électroniques.

2.4 Système de compactage explosif

Marque représentative

Équipements sur mesure (Technodinamika de Russie, China North Industries, Dyno Nobel des États-Unis).

Spécifications techniques

Plage de pression : 1000-5000 MPa (instantané).

Énergie d'explosion : TNT 0,5-1 kg, plage de réglage 0,3-2 kg.

Récipient : acier haute résistance (40CrNiMoA, épaisseur 15-20 mm), résistance à la pression > 6000 MPa.

Équipements de sécurité : paroi antidéflagrante (épaisseur > 1 m), salle de télésurveillance, distance de protection > 500 m.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Capteurs : pression instantanée (± 50 MPa), température ($\pm 10^\circ\text{C}$).

Modules fonctionnels

Suppression des ondes de choc : densité de la billette verte 90%-95%, temps < 1 milliseconde.

Placement précis : densité explosive 1,5-1,7 g/cm³, précision du contrôle de l'énergie $\pm 5\%$.

Traitement thermique d'intégration : 600-1000°C, réparation micro fissures, temps 2-3 heures.

Gestion de la sécurité : Conforme aux normes ISO 9001 et militaires, détonation à distance.

Données de performance

Densité de la billette verte : densité théorique de 90 à 95 %.

Dureté après frittage : HRA 94.

Efficacité de production : 10 pièces/lot.

Cas d'application : China North Industries produit des cibles PVD WC-6%Co (diamètre 100 mm) pour le revêtement de semi-conducteurs en 2023 avec une densité de 93%.

Contexte R&D : R&D de 2015 à 2020, avec un investissement de 100 millions de dollars US, axé sur la sécurité et la cohérence.

Positionnement du marché : Marché de niche, représentant 1% en 2023 et en croissance de 10% en 2024, principalement utilisé dans la défense et les matériaux haut de gamme.

Presse intelligente assistée par vibrations 2.5

Marque représentative

Hitachi (Japon), Siemens (Allemagne), Bosch Rexroth (Allemagne), Mitsubishi Electric (Japon).

Spécifications techniques :

Plage de pression : 100-300 MPa, la valeur couramment utilisée est 200 MPa.

Fréquence de vibration : 20-100 kHz, précision ± 2 kHz.

Puissance : 5-10 kW (vibrateur) + 10-20 kW (pressage).

Système de contrôle : module PLC+IIoT (Siemens S7 ou Rockwell Allen-Bradley), stabilité de fréquence $< 5\%$.

Moule : Acier haute dureté (HRC 58), résistance à la pression 400 MPa, durée de vie 5000 fois.

Capteurs : fréquence (± 2 kHz), densité ($\pm 0,5\%$), pression (± 5 MPa).

Modules fonctionnels :

Optimisation des vibrations : la fréquence 50 kHz augmente la densité de 65%-75% et réduit les pores (A00).

Surveillance intelligente : les capteurs fournissent un retour d'information en temps réel et les données sont traitées via l'informatique de pointe.

Maintenance prédictive : Erreur de prédiction de la durée de vie du vibrateur $< 5\%$, délai d'avertissement 48 heures.

Mise à niveau à faible coût : compatible avec les presses existantes, délai de retour sur investissement < 1 an.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Conception économe en énergie : la consommation d'énergie due aux vibrations est optimisée, réduisant de 5 à 8 %.

Données de performance :

Densité de la billette verte : 65%-75% densité théorique.

Dureté après frittage : HRA 91.

Efficacité de production : 200 pièces/heure.

Cas d'application

Siemens Sinumerik a modifié une presse vibrante pour produire des ébauches de forets WC-8%Co (10 mm de diamètre) pour le forage pétrolier en 2024 avec une durée de vie de > 1200 m.

Contexte R&D : R&D de 2019 à 2022, avec un investissement de 50 millions de dollars américains, axé sur l'amélioration de l'efficacité des vibrations.

Positionnement du marché : Croissance de 8 % en 2024, avec un taux de pénétration de la petite et moyenne fabrication en hausse de 15 %.

3. Équipement de pressage en carbure cémenté adapté aux concepts de l'Internet des objets industriel et à la fabrication intelligente

L'Internet industriel des objets (IIoT) et la fabrication intelligente mettent l'accent sur l'interconnexion des équipements, l'automatisation, la maintenance prédictive et la production verte. Les types de presses suivants s'inscrivent dans cette tendance grâce à leurs caractéristiques techniques et leur potentiel d'évolution. Leurs caractéristiques IIoT et leurs avantages en matière de fabrication intelligente sont analysés en détail, et des détails techniques et des exemples d'application dans l'industrie du carbure cémenté sont fournis.

3.1 Presse servohydraulique multi-axes

IIoT Caractéristiques :

Réseau de capteurs : Capteurs multipoints de pression (± 1 MPa, 100 Hz), de température ($\pm 1^{\circ}\text{C}$), de déplacement ($\pm 0,01$ mm), avec données transmises via 5G ou TSN.

Protocoles de communication : Prise en charge d'OPC UA, MQTT et EtherCAT , parfaitement intégrés à MES/ERP.

Stockage et analyse des données : 10 To de stockage cloud, le modèle d'IA analyse les données de production et l'écart de prédiction est < 1 %.

Maintenance prédictive : basée sur les données de vibration et de température, le délai d'alerte précoce est de 72 heures et les temps d'arrêt sont réduits de 20 %.

Avantages de la fabrication intelligente :

Contrôle adaptatif : la CNC ajuste dynamiquement la pression et le déplacement, avec intervention manuelle <10%.

Production flexible : changement de moule rapide (<15 minutes), adapté à la personnalisation de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

petits lots.

Optimisation de la consommation énergétique : l'efficacité du système hydraulique est augmentée de 10% et les émissions de carbone sont réduites de 5 à 10%.

Gestion de la qualité : inspection en ligne, taux de rebut <1%.

Détails techniques :

Unité de calcul Edge : 10 GFLOPS, latence de traitement < 20 ms .

Protection de sécurité : pare-feu IP67, cryptage AES-256.

Exemple d'application : Schuler SmartPress 600, utilisé dans la production de l'Airbus A350 en 2024, augmente l'efficacité de 15 % et réduit la consommation d'énergie de 8 %.

3.2 Presse isostatique intelligente

IIoT Caractéristiques :

Réseau de capteurs : pression (± 1 MPa), température ($\pm 2^\circ\text{C}$), débit de gaz ($\pm 0,1$ L/min), fréquence d'échantillonnage 50 Hz.

Protocole de communication : OPC UA, connexion 5G, latence <50 ms .

Stockage et analyse des données : les appareils Edge stockent 1 To, l'IA optimise les paramètres du processus et l'écart est < 0,5 %.

Maintenance prédictive : l'alerte de panne dans les 48 heures réduit les coûts de maintenance de 15 %.

Avantages de la fabrication intelligente :

Production automatisée : Chargement et déchargement par bras robotisé, temps de cycle raccourci de 10 à 15 %.

Optimisation des ressources : Associé à l'ERP, le taux d'utilisation des matières premières a augmenté de 5% et la consommation d'énergie a diminué de 10%.

Contrôle qualité : l'IA détecte l'uniformité de la densité, avec un taux de rebut < 0,5 %.

Fabrication verte : le système de récupération de chaleur réduit les émissions de carbone de 10 à 15 %.

Détails techniques :

Edge computing : 20 GFLOPS, optimisé pour le temps réel.

Protection de sécurité : Pare-feu industriel, conforme à la norme ISO 27001.

Exemple d'application : Quintus QIF 122, utilisé par GE Aviation en 2023, améliore l'uniformité de la densité de 3 % et réduit le cycle de production de 12 %.

3.3 Presse de moulage par injection de haute précision

IIoT Caractéristiques :

Réseau de capteurs : température ($\pm 1^\circ\text{C}$, 1 Hz), pression (± 1 MPa), débit ($\pm 0,1$ L/min), données mises à jour en temps réel.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Protocole de communication : MQTT, transmission Ethernet industrielle.

Stockage et analyse des données : intégration MES, traçabilité des données de processus à 99%, paramètres d'optimisation de l'IA.

Maintenance prédictive : erreur de prédiction de la durée de vie du moule < 5 %, délai d'avertissement 24 heures.

Avantages de la fabrication intelligente :

Procédé automatisé : Le dégraissage et le refroidissement sont automatisés, avec une intervention manuelle <20%.

Production flexible : moules d'impression 3D, temps de changement de ligne < 30 minutes.

Contrôle qualité : rétroaction en boucle fermée, tolérance < 0,01 mm, taux de rebut < 1 %.

Gestion des ressources : intégration d'entreposage intelligent, gaspillage de matières premières < 2 %.

Détails techniques :

Edge computing : 5 GFLOPS, latence de traitement < 30 ms .

Protection de sécurité : IP65, cryptage des données.

Exemple d'application : Arburg Allrounder 570, utilisé dans les implants médicaux en 2024, avec des tolérances < 0,01 mm et une efficacité supérieure de 10 %.

3.4 Presse intelligente assistée par vibrations

IIoT Caractéristiques :

Réseau de capteurs : fréquence (± 2 kHz), densité ($\pm 0,5\%$), pression (± 5 MPa), fréquence d'échantillonnage 50 Hz.

Protocole de communication : MQTT, transmission de périphérique de périphérie.

Stockage et analyse des données : 500 Go de stockage local, paramètres de vibration optimisés par l'IA.

Maintenance prédictive : Erreur de prédiction de la durée de vie du vibreur < 5 %, délai d'avertissement 48 heures.

Avantages de la fabrication intelligente :

Mise à niveau à faible coût : compatible avec les équipements existants, période de retour sur investissement < 1 an.

Amélioration de l'efficacité : la densité a augmenté de 5 à 10 % et l'efficacité de la production a augmenté de 15 %.

Contrôle qualité : réduction des pores, porosité A00, taux de rebut <2%.

Conception économe en énergie : la consommation d'énergie due aux vibrations est optimisée, réduisant de 5 à 8 %.

Détails techniques :

Edge computing : 2 GFLOPS, retour d'information en temps réel.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Protection de sécurité : IP54, cryptage de base.

Exemple d'application : Machine rétrofit Siemens Sinumerik , utilisée pour la production de forets en 2024, durée de vie > 1200 m, taux de rebut réduit à 2%.

3.5 Presse intelligente à roulettes

IIoT Caractéristiques :

Réseau de capteurs : épaisseur ($\pm 0,01$ mm), vitesse ($\pm 0,5$ tr/min), pression (± 5 MPa), fréquence d'échantillonnage 20 Hz.

Protocole de communication : OPC UA, transmission Ethernet industriel.

Stockage et analyse des données : 1 To de stockage Edge, espace et vitesse optimisés par l'IA.

Maintenance prédictive : alerte usure rouleaux, délai 36 heures.

Avantages de la fabrication intelligente :

Contrôle en ligne : uniformité d'épaisseur < 0,05 mm, taux de rebut < 1 %.

Production automatisée : l'alimentation et la découpe sont automatisées, augmentant l'efficacité de 20%.

Optimisation des ressources : intégrée à une logistique intelligente, taux d'utilisation des matières premières > 98 %.

Production verte : optimisation de la consommation énergétique, réduction de 5 à 10 %.

Détails techniques :

Edge computing : 5 GFLOPS, évolutif en temps réel.

Protection de sécurité : IP67, cryptage des données.

Exemples d'application

Presse à rouleaux personnalisée pour substrats de revêtement résistants à l'usure en 2024, avec un rendement 10 % supérieur et une uniformité d'épaisseur < 0,02 mm.

4. Tendances et exigences techniques des équipements de pressage en carbure cémenté pour la fabrication intelligente

Capteurs et acquisition de données : capteurs de haute précision (pression ± 1 MPa, température $\pm 1^\circ\text{C}$, déplacement $\pm 0,01$ mm), fréquence d'échantillonnage 50-100 Hz, transmission 5G ou TSN, intégrité des données >99,9%.

Edge computing : Unité de calcul Edge intégrée, puissance de traitement 10-20 GFLOPS, paramètres d'optimisation en temps réel, latence < 20 ms .

Optimisation de l'IA : intègre des modèles d'apprentissage profond pour prédire les paramètres optimaux en fonction des données historiques, améliorant la précision de 5 à 10 % avec un cycle de formation de moins d'une semaine.

Protocoles standardisés : prend en charge OPC UA, MQTT, EtherCAT et PROFINET, compatible avec l'écosystème de l'usine intelligente et efficacité de conversion de protocole > 95 %.

Sécurité : Equipé d'un pare-feu industriel (IP67, niveau de protection 6), d'un cryptage AES-256,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

conforme aux normes ISO 27001 et NIST 800-53, et d'un taux de réussite anti-attaque < 0,1 %.

Fabrication verte : Module d'optimisation de la consommation énergétique, réduisant les émissions de carbone de 5 à 15 %, en ligne avec la norme ISO 14001 et les objectifs de neutralité carbone (zéro émission nette en 2030).

Interaction homme-machine : équipé d'une interface AR/VR, prend en charge le fonctionnement et la formation à distance et réduit les erreurs humaines de > 20 %.

5. Défis et perspectives des équipements de pressage en carbure cémenté pour la fabrication intelligente

défi :

Investissement initial : les équipements intelligents sont coûteux (par exemple, une presse multi-axes > 2 millions de dollars, HIP > 5 millions de dollars), et les petites et moyennes entreprises doivent procéder à une mise à niveau par étapes.

Seuil technique : L'intégration de l'IIoT nécessite une équipe professionnelle, avec une période de formation de 6 à 12 mois et une pénurie de personnel technique de 10 à 15 %.

Sécurité des données : Le risque de cyberattaques augmente et 5 à 10 % du budget doit être investi dans la sécurité.

Compatibilité : Il est difficile de mettre à niveau les anciens équipements et le taux d'adaptation de l'interface est < 70 %.

perspective :

Croissance du marché : Entre 2025 et 2030, le marché des équipements IIoT devrait croître de 10 à 12 % par an, et la demande de presses intelligentes devrait augmenter de 15 % par an. Le marché atteindra 5 milliards de dollars US en 2025 et 8 milliards de dollars US en 2030.

Intégration technologique : Associée à la fabrication additive (impression 3D), aux jumeaux numériques et à la technologie blockchain, l'ensemble du processus sera numérisé d'ici 2026, avec une efficacité améliorée de 20 à 30 %.

Soutien politique : le « 14e plan quinquennal » de la Chine prévoit une subvention de 20 à 30 %, et l'« Industrie 4.0 » de l'UE alloue 1 milliard d'euros pour encourager l'investissement dans la fabrication intelligente.

Tendances de l'industrie : D'ici 2025, 50 % des équipements de pressage mondiaux seront dotés de capacités IIoT, et d'ici 2030, la fabrication intelligente représentera 60 % de la valeur de la production manufacturière.

Résumer

Il existe une grande variété de presses de compactage en carbure cémenté, couvrant 13 types, des presses unidirectionnelles aux systèmes de compactage par explosion, chacune présentant ses propres avantages techniques et applications. Des modèles avancés tels que la presse servo-hydraulique multi-axes moderne et la presse isostatique intelligente allient haute précision, automatisation et intelligence, avec des performances atteignant une densité de billettes crues de 85 à 95 % et une dureté HRA de 92 à 94. Des équipements adaptés à l'Internet des objets industriel et à la fabrication intelligente (tels que Schuler SmartPress et Quintus QIF) améliorent

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

considérablement l'efficacité de la production (15 à 20 %), la qualité (taux de défaut < 1 %) et la flexibilité grâce à des capteurs, à l'optimisation de l'IA et à l'interconnexion des données. Ils favoriseront la fabrication haut de gamme dans les secteurs de l'aéronautique, de l'automobile et des soins médicaux à l'avenir. On prévoit qu'entre 2025 et 2030, la taille du marché atteindra 8 milliards de dollars américains et que le taux d'intelligence dépassera 70 %.

Tableau comparatif des presses en carbure

Nom de l'appareil (Nom de l'équipement)	Principe technique (Principe technique)	Plage de pression (Plage de pression)	Densité (Densité)	Temps de pressage	Efficacité de la production (Efficacité de la production)	Applications typiques (Application typique)	Exigences d'entretien (Exigences d'entretien)	Limitation (Limites)	Potentiel intelligent (Smart Manu. Potentiel)
Presse unidirectionnelle	Pressage vertical uniaxial	100-300 MPa	50%-65% de densité théorique (6,5-8,0 g/cm³)	5 à 10 secondes	200 pièces/heure	Pièces à géométrie simple, telles que les plaquettes de coupe WC-8%Co	Vérifiez l'usure du moule tous les mois et nettoyez la tête de presse toutes les 500 fois	Grand gradient de densité (> 10 %), ne convient pas aux formes complexes	Faible – nécessite des mises à niveau importantes pour prendre en charge l'IIoT
Presse à double sens	Appliquez une pression de haut en bas ou dans plusieurs directions	200-400 MPa	60%-75% de densité théorique (7,8-9,5 g/cm³)	10 à 20 secondes	150 pièces/heure	Formes moyennement complexes, telles que les ébauches de fraises WC-10%Co	Vérifiez la synchronisation de la tête de pression toutes les 1000 fois et changez l'huile tous les trimestres	Ne convient pas aux formes très complexes	Modéré – Partiellement évolutif pour prendre en charge l'IIoT
Presse isostatique à froid (CIP)	Suppression omnidirectionnelle des liquides	200-400 MPa	75%-85% de densité théorique (9,7-10,8 g/cm³)	3 à 10 minutes	50 pièces/lot	Pièces à géométrie complexe, telles que les ébauches d'outils aérospatiaux en WC-12%Co	Vérifiez le joint toutes les 500 heures et changez le liquide tous les trimestres	Cycle long et coût d'équipement élevé	Élevé – Convient à l'IIoT industriel et à la fabrication intelligente
Presse isostatique	Post-traitement	à 100-200	>99,8 % de	1 à 4	20 pièces/lot	Pièces de la	bouilloire	Extrêmement	Élevé –

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

à chaud (HIP)	haute température et haute pression	MPa	densité théorique (12,5-13,0 g/cm ³)	heures		haute fiabilité telles que les forêts miniers WC-10%Co	toutes les 1000 heures et remplacer le filtre tous les trimestres	coûteux, et principalement utilisé pour le industriel et à la fabrication intelligente	Convient à l'IoT
Machine de pressage à matrice	Pressage simple/double sous contrainte de matrice	200 MPa	60%-70% de densité théorique (7,8-9,0 g/cm ³)	5 à 10 secondes	300 pièces/heure	Plaquettes de coupe standardisées, telles que les plaquettes WC-8%Co	Changer le moule toutes les 500 fois et nettoyer la tête de pression tous les mois	Forme limitée, usure rapide du moule	Faible – Nécessite une mise à niveau pour prendre en charge l'Internet industriel des objets
Presse d'extrusion	Extrusion à vis	300 MPa	Densité théorique de 55 à 65 % (7,0 à 8,3 g/cm ³)	0,5-2 m/min (vitesse)	10 m/heure	Barres fines, telles que les barres WC-10%Co	Vérifiez le moule tous les 500 mètres et nettoyez la vis tous les mois	Un processus de dégraissage est nécessaire et le processus est compliqué	Modéré – Peut partiellement prendre en charge l'IIoT
Presse de moulage par injection	Moulage par injection de liant en poudre	50-120 MPa	50%-60% de densité théorique (6,5-7,6 g/cm ³)	Durée du cycle : 100 environ 1 minute	pièces/heure	Micro-pièces, telles que les engrenages WC-6%Co	Vérifiez le moule toutes les 1000 fois et nettoyez le canon tous les mois	De nombreux processus et des coûts élevés	Élevé – Convient à l'IoT industriel et à la fabrication intelligente
Presse à sacs secs	Pressage de moules en caoutchouc fixes	300 MPa	70%-75% de densité théorique (9,0-9,5 g/cm ³)	5 à 10 minutes	80 pièces/lot	Pièces de taille moyenne, telles que les manchons de roulement en WC-8%Co	Vérifiez le vieillissement du moule toutes les 500 fois et nettoyez le récipient tous les mois	Forme limitée, coût moyen	Modéré – peut partiellement prendre en charge l'IIoT
Presse multidirectionnelle	Compression 3D multi-têtes	Vertical 400 MPa, latéral 300 MPa	75%-80% de densité théorique (9,7-10,2 g/cm ³)	10 à 20 secondes	120 pièces/heure	Ébauches d'outils complexes, telles que les ébauches d'outils multi-arêtes en WC-8%Co	Vérifiez le pénétrateur toutes les 1000 fois et calibrez le système tous les mois	L'équipement est complexe et le coût est élevé	Élevé – Convient à la fabrication intelligente de l'IoT industriel
Presse multiaxiale	Pression	Vertical	85%-90% de	10 à 20	100	Ébauches	Vérifiez le	Équipement	Élevé –

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

non isostatique	indépendante à quatre ou six voies	à 500 MPa, latéral 400 MPa	densité théorique (10,8-11,4 g/cm³)	secondes	pièces/heure	d'outils à arêtes multiples, telles que les ébauches de fraises WC-12%Co	à servo toutes les 2 000 fois et nettoyez le moule tous les mois	complexe et investissement initial élevé	et Convient à l'IoT industriel et à la fabrication intelligente
Presse à rouler	Pressage continu à double rouleau	100 MPa	50%-60% de densité théorique (6,5-7,6 g/cm³)	5-15 tr/min (vitesse)	200 m² / jour	Feuilles minces vierges, telles que les feuilles minces WC-10%Co	Polissez le rouleau toutes les 1000 fois et vérifiez l'alimentation tous les mois	Densité plus faible, ne convient pas aux formes complexes	Élevé – Convient à l'IoT industriel et à la fabrication intelligente
Système de compactage explosif	Suppression des ondes de choc d'explosion	1000-5000 MPa	90%-95% de densité théorique (11,5-12,0 g/cm³)	< 1 ms	10 pièces/lot	Pièces hautes performances, telles que les cibles PVD WC-6%Co	Vérifiez le récipient toutes les 10 fois et nettoyez les résidus tous les mois	Exigences de sécurité élevées et coûts élevés	Faible – Difficile à intégrer à l'IoT industriel
Presse assistée par vibrations	Vibration haute fréquence + pression	200 MPa	65%-75% de densité théorique (8,5-9,5 g/cm³)	10 à 20 secondes	200 pièces/heure	Petites ébauches d'outils, telles que les ébauches de forets WC-8%Co	Vérifiez le vibreur toutes les 500 fois et nettoyez le moule tous les mois	Ne convient pas aux pièces de grande taille	Élevé – Convient à l'IoT industriel et à la fabrication intelligente

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



appendice:

ISO 4489:2009
carbure cimenté
Guide du processus de frittage

1. Portée

Cette norme internationale spécifie les lignes directrices du processus de frittage du carbure cimenté (principalement des matériaux à base de carbure de tungstène, tels que les alliages WC-Co), qui convient à la production de produits en carbure cimenté hautes performances pour les outils de coupe, les abrasifs, les pièces résistantes à l'usure, etc. La norme couvre la sélection des matières premières, les paramètres du processus, le contrôle qualité, les exigences de sécurité et de protection de l'environnement, mais n'inclut pas la conception d'équipements spécifiques ni l'échelle de production.

2. Références normatives

ISO 4505:1978, Carbures cimentés – Détermination des propriétés physiques.

ISO 3327:2009, Carbures cimentés – Méthode de détermination de la masse volumique.

ISO 3738:2001, Carbures cimentés – Méthode de détermination de la dureté (HRA).

ISO 4506:1979, Carbures cimentés – Méthodes d'analyse microstructurale.

3. Termes et définitions

Carbure cimenté : Matériau de haute dureté et résistant à l'usure fritté par un procédé de métallurgie des poudres utilisant des carbures métalliques réfractaires (tels que WC) et une phase liante (telle que Co).

Frittage : Méthode de combinaison de particules de poudre en un corps dense 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

y compris le frittage sous vide, le pressage isostatique à chaud, etc.

l'agent de formage et la solidification préliminaire avant le frittage formel.

Porosité : Pourcentage volumique de la partie non remplie d'un corps fritté, divisé en trois catégories : A, B et C (A02 est la qualité la plus élevée).

4. Exigences du processus

4.1 Besoins en matières premières

Poudre de carbure de tungstène (WC) : la taille des particules doit être comprise entre 0,5 et 5 μm , pureté $\geq 99,5\%$, teneur en oxygène $< 300\text{ ppm}$.

Phase de liaison (telle que Co) : taille des particules 1-3 μm , pureté $\geq 99,5\%$, teneur en impuretés (telles que Fe, Ni) $< 100\text{ ppm}$.

Régulateur de carbone : pureté $\geq 99,5\%$, granulométrie $< 1\text{ }\mu\text{m}$.

4.2 Mélange

Le processus de mélange doit garantir l'uniformité et un écart de distribution granulométrique $< 5\%$. Des méthodes de broyage humides ou sèches peuvent être utilisées, et le rapport bille/matériau recommandé est de 5:1 à 10:1.

Si un agent de moulage (tel que la paraffine) est utilisé, la quantité ajoutée doit être contrôlée à 1-3 % en poids et doit être complètement éliminée lors du pré-frittage.

4.3 Formation

Plage de pression de pressage : 100-200 MPa, la densité de la billette doit atteindre 50-60 % de la densité théorique.

Température de moulage par injection : 150-180°C, température du moule 50-70°C.

L'écart dimensionnel doit être contrôlé à $\pm 0,5\text{ mm}$.

4.4 Pré-frittage

Plage de température : 300-800°C, atmosphère : hydrogène ou gaz inerte, débit : 10-30 m^3/h .

Temps de décirage : 3 à 5 heures, teneur en carbone résiduel $< 0,1\%$.

La résistance de l'ébauche pré-frittée doit être $\geq 5\text{ MPa}$.

4.5 Frittage

Frittage sous vide : température 1350-1500°C, degré de vide $\leq 0,01\text{ Pa}$, temps de maintien 0,5-2 heures.

Pressage isostatique à chaud (HIP) : température 1300-1450°C, pression 80-150 MPa, temps de maintien 20-60 minutes.

Densité recommandée $\geq 99\%$ de la densité théorique, porosité $\leq$ grade A02.

4.6 Post-traitement

Vitesse de refroidissement : 2-5°C/min, pour éviter les fissures dues aux contraintes thermiques.

Traitement de surface : meulage ou polissage, rugosité de surface $R_a \leq 0,8\text{ }\mu\text{m}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5. Contrôle de la qualité

5.1 Composition chimique

Teneur en carbure de tungstène : 85-95 % en poids (ajusté selon la recette).

Teneur en phase liée : 5 à 15 % en poids .

Impuretés : Fe<50 ppm, O<200 ppm, N<300 ppm.

5.2 Propriétés physiques

Densité : Selon la formulation, plage 14,0-15,0 g/cm³ (ISO 3327).

Dureté : HRA 88-94 (ISO 3738).

Résistance à la flexion : >2000 MPa (ISO 4505).

5.3 Microstructure

Taille des grains : ≤1 μm (de préférence 0,5-0,8 μm) .

Porosité : ≤A02 (ISO 4506).

Pas de phase η ni de carbone libre (détecté par diffractomètre à rayons X).

5.4 Méthodes de détection

Taille des particules : Analyseur de taille de particules laser (ISO 13320).

Densité : méthode d'Archimède ou méthode de pénétration du mercure.

Dureté : Duromètre Rockwell A.

Microstructure : microscopie optique ou microscopie électronique à balayage (MEB).

6. Exigences de sécurité

Utilisation du gaz : La zone d'exploitation de l'hydrogène doit être équipée de murs antidéflagrants (épaisseur ≥ 0,3 m), de systèmes de ventilation (taux de renouvellement d'air ≥ 10 fois/heure) et d'alarmes de fuite (limite de détection 0,05 %).

Protection haute température : la zone de fonctionnement du four de frittage doit être équipée d'un blindage d'isolation thermique et la plage de surveillance de la température est de 50 à 1 500 °C.

Protection individuelle : Les opérateurs doivent porter des vêtements résistants aux hautes températures, des masques anti-poussière et des lunettes de protection.

7. Exigences environnementales

Traitement des gaz résiduels : La teneur en CO dans les gaz résiduels de combustion est < 50 ppm et ils sont traités dans une tour de purification des gaz résiduels avec une efficacité ≥ 95 %.

Gestion des eaux usées : les déchets liquides de l'agent de formation doivent être recyclés ou traités, DCO < 100 mg/L.

Contrôle du bruit : Bruit de fonctionnement de l'équipement < 85 dB(A).

8. Documentation et dossiers

Chaque lot de production doit enregistrer le numéro de lot de matière première, les paramètres du

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

processus (température, pression, temps), les résultats des tests et les informations de l'opérateur.
Durée de conservation des dossiers qualité : au moins 5 ans.

appendice:

GB/T 4505-2008

carbure cimenté

Méthodes d'échantillonnage et de préparation des échantillons

Préface

Cette norme est formulée conformément aux dispositions de la Loi de normalisation de la République populaire de Chine. Elle constitue une révision de la norme GB/T 4505-1996 originale, Méthodes d'échantillonnage et de préparation des échantillons pour le carbure cimenté. Cette révision s'appuie principalement sur les dernières avancées technologiques en matière de production et d'application du carbure cimenté et se réfère aux normes internationales ISO 4505:1978 (détermination de la porosité et du carbone libre en métallographie du carbure cimenté) et ISO 3326:2013 (méthodes d'échantillonnage et de préparation des échantillons pour le carbure cimenté). En conjonction avec les besoins de l'industrie nationale, elle ajoute des exigences d'uniformité d'échantillonnage, des méthodes de contrôle de la microstructure lors de la préparation des échantillons, des exigences de contrôle environnemental et des spécifications de préparation des échantillons applicables à divers scénarios d'essai.

Cette norme est proposée et gérée par la Fédération chinoise de l'industrie des machines. L'Association chinoise de l'industrie du carbure cimenté est responsable de son interprétation. Les unités de rédaction de cette norme sont : l'Institut de recherche sur les métaux, l'Académie chinoise des sciences, l'Université des sciences et technologies de Pékin, Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd. et l'Institut de recherche sur les outils de Chengdu.

Les principaux rédacteurs de cette norme sont :

Cette norme sera mise en œuvre à compter du 1er décembre 2008 et la norme GB/T 4505-1996 originale sera abolie en même temps.

1 Portée

Cette norme spécifie les méthodes d'échantillonnage et de préparation des échantillons de carbure cimenté (principalement WC-Co, y compris le carbure cimenté composite avec d'autres carbures tels que TiC , TaC , etc.) pendant la production, le contrôle qualité et la recherche scientifique, y compris les principes et méthodes d'échantillonnage, la sélection des échantillons, le processus de préparation, les exigences de contrôle qualité, la conservation des échantillons et la vérification des essais associés. Cette norme s'applique à l'échantillonnage et à la préparation des échantillons d'ébauches en carbure cimenté, de produits frittés et de produits transformés, et est principalement utilisée pour les essais suivants :

Analyse de la structure métallographique (par exemple, granulométrie, porosité, distribution de phase).

Essais de propriétés mécaniques (telles que dureté, ténacité à la rupture, résistance à la flexion).

Analyse de la composition chimique (telle que WC, Co, teneur en additifs).

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 ne s'applique pas aux situations suivantes :
avec des revêtements de surface spéciaux (tels que TiN , CrN , Al₂O₃) .
Matériaux composites non à base de WC-Co (tels que les cermets) .
le carbure cimenté à grains ultrafins (granulométrie < 0,1 μ m) .

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 1997-2008 Terminologie du carbure cimenté

GB/T 2007.1-1987 Règles générales pour l'échantillonnage et la préparation des échantillons de minéraux en vrac

GB/T 2597-2008 Méthode d'essai de la porosité du carbure cimenté

GB/T 3489-2008 Méthode de détermination de la microstructure du carbure cimenté

GB/T 5248-2008 Méthodes d'analyse chimique du carbure cimenté

GB/T 5313-2008 Méthode d'essai de la structure métallographique du carbure cimenté

GB/T 7997-2008 Méthode d'essai pour la dureté Vickers du carbure cimenté

GB/T 18376-2008 Méthode de détermination de la taille des grains de carbure cimenté

ISO 4505:1978 Détermination métallographique de la porosité et du carbone libre dans les carbures cimentés

ISO 3326:2013 Méthodes d'échantillonnage et de préparation des éprouvettes en carbure cimenté

3 Termes et définitions

Cette norme adopte les termes et définitions suivants et fait référence à GB/T 1997-2008.

3.1 Portion d'échantillonnage (Portion)

Portion représentative découpée dans une ébauche en carbure cimenté, un produit fritté ou un produit transformé pour la préparation ultérieure d'échantillons.

3.2 Échantillon :

La forme finale du matériau préparé par des méthodes mécaniques ou manuelles pour analyse ou test (comme des déblais de forage, des copeaux de broyage, des tranches ou des échantillons de blocs).

3.3 Taille des grains

La taille moyenne des grains de la phase WC dans le carbure cimenté, généralement en μ m , est mesurée par la méthode de la section transversale ou la méthode de l'interception linéaire.

3.4 Porosité

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

La fraction volumique des pores dans un échantillon, exprimée en pourcentage (%), généralement mesurée par microscopie métallographique ou méthode de densité.

3.5 Carbone libre :

Carbone dans le carbure cimenté qui ne forme pas de carbures avec les métaux, existe sous forme de phase C et est généralement observé au microscope métallographique.

3.6 Ségrégation de Co

La distribution inégale de la phase Co dans la microstructure du carbure cimenté peut former des flaques de Co (taille $> 5 \mu m$), affectant les performances.

3.7 Rugosité de surface

La planéité de la surface de l'échantillon est généralement exprimée en Ra (rugosité moyenne arithmétique) en μm .

4 principes d'échantillonnage

4.1 Objectif de l'échantillonnage L'

l'objectif de l'échantillonnage est d'obtenir des échantillons représentatifs pour tester la composition chimique, la microstructure, les propriétés mécaniques et d'autres propriétés physiques du carbure cimenté afin de garantir que les résultats des tests peuvent refléter les caractéristiques globales du matériau.

4.2 Représentativité de l'échantillonnage

La partie échantillonnée doit refléter les caractéristiques globales du lot de matériaux et éviter de sélectionner des défauts de surface (tels que des fissures, des couches d'oxyde, des brûlures) ou des zones d'effet de bord ($> 5 mm$ du bord).

Les points d'échantillonnage doivent être répartis uniformément et couvrir la majeure partie de la section transversale du produit (au moins 80 %). Pour les pièces de forme spéciale, ils doivent couvrir la zone de contrainte clé et le centre géométrique.

4.3 Moment de l'échantillonnage

Échantillonnage du corps vert : Il est effectué après le pressage et avant le frittage pour éviter les changements microstructuraux causés par le processus de frittage.

Échantillonnage des produits frittés : L'échantillonnage doit être effectué après que le processus de frittage ait refroidi à température ambiante ($20-25^{\circ}C$) pour éviter que des températures élevées ($>200^{\circ}C$) n'affectent la microstructure.

Échantillonnage des produits traités : cela doit être effectué après la fin du traitement final (comme le meulage et le polissage) pour garantir qu'il n'y a pas de contrainte de traitement ($< 50 MPa$) sur la pièce échantillonnée.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.4 Quantité d'échantillonnage

Lot ≤ 100 kg : échantillon 2-3 portions.

Lot 100-500 kg : échantillon 4-6 portions.

Lot 500-1000 kg : échantillon 6-8 portions.

Lot > 1000 kg : Échantillon de 8 à 12 pièces, selon la complexité et la géométrie du produit.

Pour les pièces de forme spéciale ou les structures complexes (telles que les outils et les forets), au moins une pièce doit être échantillonnée pour chaque zone de caractéristique géométrique.

4.5 Environnement d'échantillonnage

Température de l'environnement d'échantillonnage : 15-25°C, humidité $< 60\%$, éviter la contamination par l'eau ou l'huile.

La zone d'échantillonnage doit être un environnement sans poussière avec une concentration de particules de poussière dans l'air de $< 10^3$ particules / m³.

5 méthodes d'échantillonnage

5.1 Outils et équipements d'échantillonnage

Outils de coupe : lames de scie diamantées (diamètre 100-150 mm, épaisseur 0,5-1 mm) ou outils en carbure (dureté HV >1800).

Outil de perçage : foret en carbure (diamètre 2-5 mm, dureté HV 1800), vitesse de perçage 50-100 tr/min.

Matériel de nettoyage : Machine de nettoyage à ultrasons (puissance 100-150 W, fréquence 40 kHz).

Mesures de protection : Utiliser un liquide de refroidissement (5 % de liquide de coupe soluble dans l'eau) pendant l'échantillonnage pour éviter une température élevée (> 200 °C) qui peut provoquer une croissance des grains ($> 2 \mu\text{m}$).

5.2 Procédures d'échantillonnage

Préparation de la surface :

Utilisez du papier de verre (granulométrie 800-1200#) ou une meule diamantée (granulométrie 1000#) pour éliminer la couche d'oxyde de surface (épaisseur $< 0,1$ mm).

Un nettoyage par ultrasons (fréquence 40 kHz, durée 10 min, eau déionisée) a été utilisé pour éliminer l'huile de surface et les particules (taille des particules $> 0,01$ mm).

Marquez l'emplacement d'échantillonnage :

Marquez les points d'échantillonnage en fonction de la géométrie du produit et de la zone de contrainte, et enregistrez la position d'échantillonnage (avec le centre du produit comme origine et l'écart de coordonnées est $< 0,5$ mm).

Les points d'échantillonnage doivent éviter les zones défectueuses (longueur de fissure $> 0,05$ mm, porosité $> 1\%$).

Pièce d'échantillonnage de découpe :

Utilisez une lame de scie diamantée pour découper le produit dans le sens longitudinal ou transversal.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La taille de la pièce à échantillonner est de 10 mm × 10 mm × 5 mm (analyse métallographique) ou de 20 mm × 10 mm × 5 mm (essai mécanique).

Vitesse de coupe : 2000-3000 tr/min, vitesse d'avance : 0,5-1 mm/min.

Douceur de l'incision : écart < 0,02 mm, aucune brûlure ou déchirure évidente (profondeur de brûlure < 0,05 mm).

Échantillonnage de forage (analyse chimique) :

Utilisez un foret en carbure pour percer l'échantillon sur la partie d'échantillonnage, avec une longueur de copeau de forage de 5 à 10 mm et une masse de > 5 g.

Profondeur de perçage : 5-10 mm, écart de diamètre du trou < 0,1 mm.

Enregistrement et emballage :

Enregistrez le lieu d'échantillonnage, la date, les conditions environnementales (température 15-25 °C, humidité < 60 %) et l'opérateur.

Placez la pièce échantillonnée dans un sac scellé (étanche à l'humidité et à la poussière) et marquez le numéro.

5.3 Exigences de sécurité

Les opérateurs doivent porter des lunettes de protection, des masques anti-poussière et des gants.

Utilisez du liquide de refroidissement pendant la coupe et le perçage pour éviter les températures élevées (> 200 °C) qui peuvent provoquer des modifications microstructurelles.

Éviter l'inhalation de poussières et équiper la zone d'exploitation d'un équipement de ventilation (vitesse du vent > 0,5 m/s).

5.4 Contrôle de la qualité de l'échantillonnage

La pièce échantillonnée ne présentait aucun défaut évident (longueur de fissure < 0,05 mm, porosité < 1 %).

Rugosité de surface de la pièce d'échantillonnage : $Ra < 0,5 \mu m$.

Écart de poids de la portion échantillonnée : < 0,2 g (échantillon pour analyse chimique).

6. Préparation des échantillons

6.1 Type et objectif de l'échantillon

Échantillon d'analyse métallographique : utilisé pour observer la microstructure (taille des grains, porosité, distribution du Co), la taille est de 10 mm × 10 mm × 5 mm.

Échantillons de propriétés mécaniques : utilisés pour les essais de dureté, de ténacité et de résistance à la flexion, avec une taille de 20 mm × 10 mm × 5 mm (dureté, ténacité) ou 40 mm × 5 mm × 5 mm (résistance à la flexion).

Échantillon d'analyse chimique : utilisé pour l'analyse des composants, masse > 5 g, granulométrie < 0,5 mm.

6.2 Processus de préparation des échantillons

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.2.1 Usinage grossier

Utilisez une meule diamantée (granulométrie 150-200#) pour meuler et retirer la couche de traitement de surface (épaisseur 0,2-0,5 mm).

Vitesse de broyage : 500-1000 tr/min, pression : 20-30 N.

Rugosité de surface : $Ra < 1 \mu m$.

6.2.2 Finition

Utilisez un disque de polissage diamanté (granulométrie 800-1200#) pour le polissage, et le temps de polissage est de 5 à 10 minutes.

Liquide de polissage : suspension de diamant (granulométrie $1-3 \mu m$), concentration 5%.

Rugosité de surface : $Ra < 0,1 \mu m$, écart de planéité $< 0,01 mm$.

6.2.3 Traitement thermique (facultatif)

Si l'échantillon doit être utilisé pour une analyse métallographique, les contraintes internes doivent être éliminées : chauffer à $600^{\circ}C$ dans un four à vide (degré de vide $< 10^{-2} Pa$), maintenir à cette température pendant 1 heure et refroidir à une vitesse de $3-5^{\circ}C/min$.

Contrainte interne : $< 50 MPa$ (mesurée par diffraction des rayons X, écart de largeur de pic $< 0,2^{\circ}$).

6.2.4 Corrosion (échantillons métallographiques)

avec le réactif de Murakami ($10 g K_3 [Fe(CN)_6] + 10 g KOH + 100 ml H_2O$) pendant 5 à 10 secondes a révélé la phase WC et la phase Co.

Température de corrosion : $20-25^{\circ}C$, profondeur de corrosion : $0,5-1 \mu m$.

Laver à l'eau déionisée (pH 6-8) et sécher ($50^{\circ}C$, 10 min).

6.2.5 Broyage des échantillons d'analyse chimique

L'échantillon a été broyé jusqu'à une granulométrie $< 0,5 mm$ à l'aide d'un mortier en carbure (dureté HV 1800) ou d'un broyeur à vibrations (fréquence 30 Hz, durée 10 min).

Éviter la contamination : nettoyage du mortier (ultrasons, 40 kHz, 10 min), tamisage de la poudre (tamis 200 mesh, taille des pores $< 0,074 mm$).

6.3 Contrôle de la qualité

Échantillon métallographique :

Porosité : $\leq 1\%$, mesurée au microscope métallographique (grossissement 500×).

Taille des grains : Écart $< 0,02 \mu m$, calculé à l'aide de la méthode de la section transversale (> 100 grains par champ de vision).

Planéité de surface : Écart $< 0,01 mm$, détecté à l'aide d'un profileur de surface.

Uniformité de la distribution du Co : écart $< 0,5 \%$, détecté par spectroscopie dispersive en énergie (EDS).

Échantillons mécaniques :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Écart dimensionnel : $< 0,05$ mm, mesuré avec un pied à coulisse.

Rugosité de surface : $Ra < 0,1$ μm .

Aucune microfissure : longueur $< 0,05$ mm, détectée au microscope (grossissement $200\times$).

Échantillons d'analyse chimique :

Taille des particules : $< 0,5$ mm, mesurée à l'aide d'un granulomètre laser (écart $< 0,02$ μm).

Aucune pollution : teneur en Fe, Al et autres impuretés $< 0,01$ %, détectée par analyse spectrale.

7 Tests et vérification

7.1 Inspection de la microstructure

Méthodes : Examiner la structure de l'échantillon à l'aide d'un microscope optique (grossissement $100-1000\times$) ou d'un microscope électronique à balayage (MEB, résolution < 1 nm).

Contenu du test :

Granulométrie : plage $0,2-2$ μm , écart $< 0,02$ μm (selon GB/T 18376-2008).

Porosité : ≤ 1 %, pores de type A $< 0,02$ mm (selon GB/T 2597-2008).

Carbone libre : Défauts de type C $< 0,5$ % (selon ISO 4505:1978).

Distribution Co : Écart $< 0,5$ %, détecté par spectroscopie dispersive en énergie (EDS).

7.2 Essai des propriétés mécaniques

Dureté : Selon GB/T 7997-2008, utilisez un testeur de dureté Vickers (charge 10-30 kg, temps d'indentation 10-15 secondes), l'écart de valeur de test est < 2 %.

Ténacité à la rupture (K_{IC}) : Selon GB/T 5248-2008, en utilisant la méthode de poutre entaillée à bord unique (SENB), taille de l'échantillon $40\text{ mm} \times 5\text{ mm} \times 5\text{ mm}$, écart $< 0,3\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$.

Résistance à la flexion : selon GB/T 5248-2008, en utilisant la méthode de flexion en trois points, taille de l'échantillon $40\text{ mm} \times 5\text{ mm} \times 5\text{ mm}$, taux de charge $0,5\text{ mm/min}$, écart < 5 %.

7.3 Analyse de la composition chimique

Méthode : Conformément à la norme GB/T 5248-2008, utiliser la spectroscopie d'émission optique à plasma à couplage inductif (ICP-OES) ou le titrage chimique.

Contenu du test :

Teneur en WC : écart $< 0,1$ %.

Teneur en Co : écart $< 0,05$ %.

Additifs (tels que VC, TaC) : écart $< 0,02$ %.

Impuretés (Fe, Al, etc.) : teneur $< 0,01$ %.

7.4 Enregistrements de vérification

Enregistrez le numéro de l'échantillon, la date du test, le modèle de l'équipement de test et l'opérateur.

Les résultats des tests sont comparés aux valeurs standard et les échantillons présentant des écarts en dehors de la plage doivent être rééchantillonnés et préparés.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8 Stockage d'échantillons

8.1 Conditions de stockage

Les échantillons ont été placés dans des sacs en plastique scellés ou des récipients sous vide et conservés à l'abri de la lumière.

Température ambiante : 15-25°C, humidité <50%, éviter l'oxydation (teneur en O₂ <0,5 ppm).

Éviter le contact avec des substances acides ou alcalines (pH 6-8).

8.2 Durée de conservation

Échantillons d'essai : conservés pendant 6 mois.

Échantillons d'arbitrage : conservés pendant 12 mois.

Échantillons destinés à la recherche à long terme : conservés pendant 24 mois, l'état de surface doit être vérifié régulièrement (tous les 6 mois).

8.3 Tenue de registres

Enregistrez le numéro de l'échantillon, la date de conservation, les conditions de stockage et la personne responsable.

Si l'environnement de stockage est anormal (par exemple, une humidité > 60 %), l'échantillon doit être préparé à nouveau.

9 Annexe A (Annexe informative)

A.1 Paramètres recommandés pour l'équipement d'échantillonnage

Lame de scie diamantée : diamètre 150 mm, épaisseur 1 mm, vitesse de rotation 3000 tr/min, débit de liquide de refroidissement 5 L/min.

Foret carbure : diamètre 3 mm, dureté HV 1800, vitesse de perçage 80 tr/min.

Machine de nettoyage à ultrasons : puissance 120 W, fréquence 40 kHz, temps de nettoyage 10 minutes.

A.2 Problèmes courants et solutions pour la préparation des échantillons

Problème 1 : Croissance anormale des grains ($> 2 \mu m$).

Solution : Réduire la température du traitement thermique ($< 600^\circ C$) ou raccourcir le temps de maintien (< 1 heure) ; augmenter l'inhibiteur de grains (tel que VC 0,2 %-0,5 %).

Problème 2 : La porosité dépasse la norme ($> 1\%$).

Solution : Augmenter la pression de moulage ($> 200 MPa$) ; optimiser le vide de frittage ($< 10^{-2} Pa$) ; prolonger le temps de frittage (2 à 3 heures).

Problème 3 : Ségrégation de Co (taille du pool de Co $> 5 \mu m$).

Solution : Contrôler le gradient de température de frittage (écart $< \pm 5^\circ C/cm$) ; réduire la vitesse de refroidissement ($3-5^\circ C/min$).

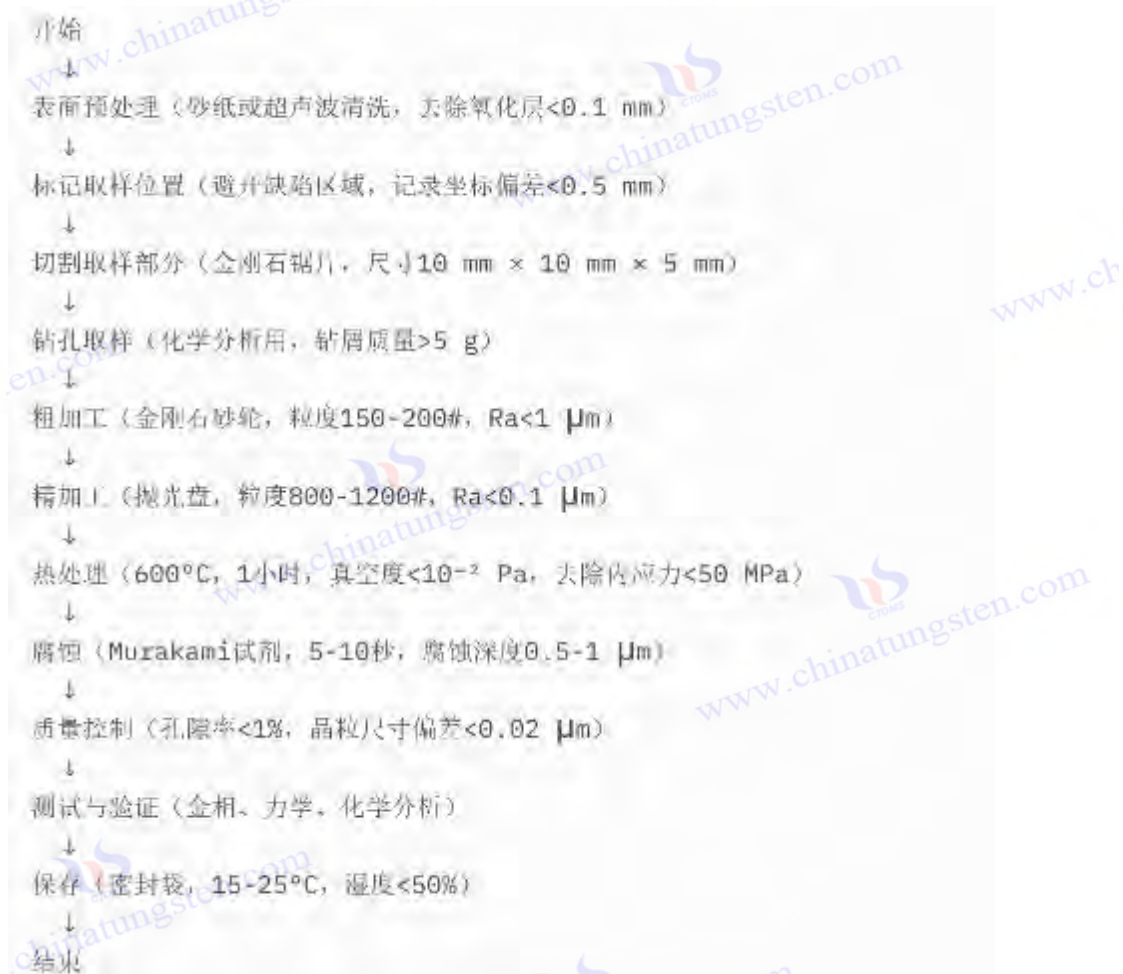
Problème 4 : La rugosité de surface n'est pas conforme à la norme ($Ra > 0,1 \mu m$).

Solution : Augmenter le temps de polissage (10-15 minutes) ; utiliser un liquide de polissage à grain plus fin (granulométrie $< 1 \mu m$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10 Annexe B (Annexe normative)

B.1 Organigramme d'échantillonnage et de préparation des échantillons



B.2 Exemple de distribution des points d'échantillonnage

Blanc cylindrique : 3 à 5 points d'échantillonnage sont répartis uniformément le long de la direction axiale, couvrant le haut, le milieu et le bas.

Produits d'outillage : les points d'échantillonnage comprennent le bord de coupe (zone de dureté élevée), la partie de serrage (zone de ténacité élevée) et le centre géométrique.

Pièces de forme spéciale : Les points d'échantillonnage couvrent les zones clés soumises à des contraintes (coefficient de concentration de contraintes $K_t > 1,5$) et les zones de caractéristiques géométriques.

11 Annexe C (Annexe informative)

C.1 Recommandations pour le contrôle de l'environnement de préparation des échantillons

Contrôle de la température : 15-25°C, écart $\leq \pm 2^\circ\text{C}$, à l'aide d'un équipement à température constante.

Contrôle de l'humidité : $< 50\%$, utiliser un déshumidificateur (écart d'humidité $< 5\%$).

Propreté : Concentration de poussière dans l'air $< 10^3$ particules/m³, utiliser un purificateur d'air.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

C.2 Recommandations pour l'entretien des équipements de préparation des échantillons

Lame de scie diamantée : vérifier l'usure toutes les 100 coupes (réduction d'épaisseur $< 0,1$ mm) et remplacer si nécessaire.

Tampon de polissage : Nettoyer après 50 utilisations (eau déionisée, 40 kHz, 5 minutes) pour éviter l'accumulation de particules.

Four à vide : Vérifier le degré de vide ($< 10^{-2}$ Pa) tous les mois et assurer l'étanchéité (taux de fuite $< 10^{-3}$ Pa·L /s).

appendice:

GB/T 1997-2008
carbure cimenté
le terme

Préface

Cette norme est formulée conformément aux dispositions de la Loi de normalisation de la République populaire de Chine. Elle constitue une révision de la terminologie du carbure cimenté GB/T 1997-1998 d'origine. Cette révision fait référence à la norme internationale ISO 3252:2019 « Métallurgie des poudres — Vocabulaire ». Conjuguée aux besoins de développement de l'industrie du carbure cimenté, elle a ajouté de nouveaux termes tels que « carbure cimenté à structure à gradient » et « carbure cimenté à grains ultrafins », amélioré les définitions relatives à la microstructure et aux performances, et maintenu la cohérence avec le système terminologique international.

Cette norme est proposée et gérée par la Fédération chinoise de l'industrie des machines. L'Association chinoise de l'industrie du carbure cimenté est responsable de son interprétation. Les unités de rédaction de cette norme sont : l'Institut de recherche sur les métaux, l'Académie chinoise des sciences, Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd., l'Université des sciences et technologies de Pékin et l'Institut de recherche sur les outils de Chengdu.

Les principaux rédacteurs de cette norme sont :

Cette norme entrera en vigueur le 1er décembre 2008 et la norme GB/T 1997-1998 originale sera abolie à la même date.

1 Portée

Cette norme spécifie les termes et définitions couramment utilisés dans le domaine du carbure cimenté (principalement le carbure cimenté WC-Co et ses matériaux composites), couvrant la composition, la microstructure, le procédé de préparation, les performances, les méthodes d'essai et l'application du carbure cimenté. Elle s'applique à la production, au contrôle, à la recherche, à l'enseignement et aux échanges techniques sur le carbure cimenté.

Cette norme ne s'applique pas à la terminologie des matériaux composites non à base de WC-Co (tels que les cermets) ou des revêtements en carbure cimenté (tels que TiN, CrN).

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.

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 2007.1-1987 Règles générales pour l'échantillonnage et la préparation des échantillons de minéraux en vrac

GB/T 2597-2008 Méthode d'essai de la porosité du carbure cimenté

GB/T 3489-2008 Méthode de détermination de la microstructure du carbure cimenté

GB/T 5248-2008 Méthodes d'analyse chimique du carbure cimenté

GB/T 5313-2008 Méthode d'essai de la structure métallographique du carbure cimenté

ISO 3252:2019 Métallurgie des poudres — Vocabulaire

3 Termes et définitions

Les termes et définitions suivants sont classés selon la classification logique du domaine du carbure cimenté, qui sont divisés en termes de base, composition et structure, processus de préparation, performances et tests, applications liées et autres catégories.

3.1 Terminologie de base

3.1.1 L'alliage dur est un matériau composite composé

de carbures de métaux réfractaires (tels que WC, TiC, TaC) comme phase dure et métaux (tels que Co, Ni, Fe) comme phase de liaison par métallurgie des poudres. Il présente une dureté élevée, une résistance élevée à l'usure et une certaine ténacité.

3.1.2 La métallurgie des poudres

est une méthode de fabrication de métaux ou de matériaux composites par des procédés tels que la préparation de poudre, le mélange, le moulage, le frittage et le post-traitement.

3.1.3 L'alliage dur WC-Co est un

alliage dur dont la phase dure principale est le carbure de tungstène (WC) et la phase de liaison est le cobalt (Co). Il est couramment utilisé dans les outils de coupe, les outils miniers et les pièces résistantes à l'usure.

3.2 Composition et structure

3.2.1 Phase dure

Le composant qui confère une dureté et une résistance à l'usure élevées au carbure cimenté est généralement le carbure (tel que WC, TiC, TaC) et la fraction volumique est généralement > 70 %.

3.2.2 Phase liante :

Le composant métallique qui assure la ténacité et lie la phase dure du carbure cimenté, généralement Co, Ni ou Fe, avec une fraction volumique de 5 à 30 %.

3.2.3 Taille des grains

La taille moyenne des grains de la phase dure (généralement WC) dans le carbure cimenté, en μm ,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

généralement mesurée par la méthode de la section transversale ou la méthode de l'interception linéaire. La plage typique est de 0,2 à 5 μm .

3.2.4 Alliage dur à grains ultrafins : carbure cimenté

avec une granulométrie inférieure à 0,5 μm , a une dureté ($\text{HV} > 1800$) et une résistance (résistance à la flexion $> 4000\text{ MPa}$) plus élevées.

3.2.5 Alliage dur à structure à gradient :

Matériau dans lequel la composition (comme la teneur en Co) ou la microstructure (comme la taille des grains) du carbure cimenté présente un changement de gradient le long d'une direction spécifique (comme de la surface vers l'intérieur), qui est utilisé pour optimiser les performances globales de dureté et de ténacité.

3.2.6 Porosité

Fraction volumique des pores dans le carbure cimenté, exprimée en pourcentage (%), généralement mesurée par microscopie métallographique ou méthode de densité. Elle est divisée en type A (diamètre des pores $< 10\text{ }\mu\text{m}$), type B ($10\text{--}25\text{ }\mu\text{m}$) et type C (carbone libre).

3.2.7 Carbone libre :

Carbone dans le carbure cimenté qui ne forme pas de carbures avec les métaux et existe sous forme de phase C. Il est généralement observé au microscope métallographique et a une teneur de $< 0,5\%$.

3.2.8 Ségrégation de Co

La distribution inégale de la phase Co dans la microstructure du carbure cimenté peut former des flaques de Co (taille $> 5\text{ }\mu\text{m}$), affectant les performances.

3.2.9 Additif :

Une petite quantité de substance (comme le VC, Cr_3C_2 , Du TaC est ajouté au carbure cimenté pour inhiber la croissance des grains ou améliorer les performances. Sa teneur est généralement inférieure à 1 %.

3.3 Processus de préparation

3.3.1 Poudre mélangée

Dans la production de carbure cimenté, la poudre est préparée en mélangeant de la poudre de phase dure (comme le WC), de la poudre de phase de liaison (comme le Co) et des additifs dans une proportion spécifique.

3.3.2 Broyage à boulets

Le processus de mélange, de raffinage et d'activation de la poudre de matière première de carbure cimenté par broyage à boulets, en utilisant généralement des billes de carbure cimenté (rapport

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

billes/poudre 5:1-10:1) et une vitesse de rotation de 200 à 500 tr/min.

3.3.3 Le pressage est

un processus de pressage de la poudre mélangée dans un corps vert à travers un moule, généralement en utilisant un pressage isostatique à froid (CIP, pression 200-300 MPa) ou un pressage uniaxial (pression 50-100 MPa).

3.3.4 Le frittage est

un procédé qui consiste à chauffer l'ébauche en carbure cimenté à haute température (généralement entre 1 350 et 1 500 °C) pour la densifier. Il se divise en frittage en phase solide et en frittage en phase liquide.

3.3.5 Frittage en phase liquide :

Procédé de frittage réalisé au-dessus du point de fusion de la phase liante (comme le cobalt) (environ 1 320 °C). Une fois fondu, le cobalt mouille les particules de WC et favorise la densification.

3.3.6 Traitement thermique

Un traitement thermique ultérieur du carbure cimenté, tel qu'un recuit (550-650°C) ou une trempe, est utilisé pour ajuster la microstructure ou éliminer les contraintes internes (<50 MPa).

3.3.7 Modification de surface :

Processus d'amélioration des propriétés de surface du carbure cimenté par carburation, implantation ionique ou revêtement (tel que TiN , CrN) .

3.4 Performances et tests

3.4.1 Dureté

La capacité du carbure cimenté à résister à la déformation plastique est généralement exprimée en dureté Vickers (HV), avec une valeur typique de 1200-2000 HV.

3.4.2 Ténacité à la rupture La capacité

du carbure cimenté à résister à la propagation des fissures est exprimée par K_{Ic} , avec l'unité $MPa \cdot m^{1/2}$ et une valeur typique de 8-16 $MPa \cdot m^{1/2}$.

3.4.3 Résistance à la rupture transversale (TRS)

La résistance maximale du carbure cimenté dans un essai de flexion en trois points, exprimée en MPa, avec une valeur typique de 2000 à 4000 MPa.

3.4.4 Résistance à l'usure La capacité du carbure cimenté à résister à l'usure, généralement
mesurée par le taux d'usure ($mm^3 / N \cdot m$) , avec une valeur typique de $< 0,1 mm^3 / N \cdot m$.

3.4.5 Résistance aux chocs thermiques

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La capacité du carbure cimenté à résister à la fissuration après un refroidissement rapide (tel que le refroidissement par eau) à haute température ($> 800^{\circ}\text{C}$), généralement évaluée par le nombre de chocs thermiques ($> 10^3$ fois).

3.4.6 Analyse métallographique :

Observer la microstructure du carbure cimenté au microscope pour analyser la taille des grains, la porosité, la distribution des phases, etc.

3.4.7 Relation Hall-Petch

描述硬质合金强度或硬度与晶粒尺寸关系的理论: $\sigma_y = \sigma_0 + kd^{-1/2}$, 其中 σ_y 为屈服强度, σ_0 为单晶强度, k 为常数, d 为晶粒尺寸。

3.5 Relatif à l'application

3.5.1 Outil de coupe :

Outil en carbure cimenté utilisé pour la coupe du métal, comme les outils de tournage, les fraises et les forets, avec une dureté généralement > 1500 HV.

3.5.2 Outils miniers :

Outils en carbure cimenté pour l'exploitation minière ou le forage, tels que les forets à roche et les pics pour mines de charbon. La ténacité à la rupture est généralement supérieure à $12 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$.

3.5.3 Pièce résistante à l'usure

Pièces en carbure cimenté pour applications résistantes à l'usure, telles que moules, buses et joints, avec une résistance à l'usure $< 0,1 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$.

3.5.4 Outils aéronautiques

Les outils de coupe en carbure cimenté utilisés dans le domaine aéronautique doivent avoir une dureté élevée ($\text{HV} > 1700$) et une résistance aux chocs thermiques ($> 800^{\circ}\text{C}$).

3.5.5 Foret pour eaux profondes

Les forets en carbure utilisés dans les environnements sous-marins (pression $> 80 \text{ MPa}$, impact $> 500 \text{ Hz}$) nécessitent une ténacité élevée ($K_{IC} > 14 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$).

4. Index des termes

Pour une recherche facile, les principaux termes sont classés par ordre alphabétique ci-dessous :

Co-ségrégation : 3.2.8

Relation Hall-Petch : 3.4.7

Dureté : 3.4.1

Alliage dur : 3.1.1

Taille des grains : 3.2,3

Résistance à la rupture transversale (TRS) : 3.4,3

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Porosité : 3.2.6
Alliage dur à structure graduée : 3.2.5
Résistance à l'usure : 3.4.4
Frittage : 3.3.4
Additif : 3.2.9
Frittage en phase liquide : 3.3.5
Carbone libre : 3.2.7

5 Annexe A (Annexe informative)

A.1 Notes sur l'utilisation de la terminologie

Taille des grains

Lors de la mesure de la taille des grains, la méthode de mesure (telle que la méthode de la section transversale ou la méthode d'interception linéaire) doit être clairement définie et le nombre de grains dans le champ de vision (> 100) doit être enregistré pour garantir la précision statistique.

Porosité

La classification des pores de type A, de type B et de type C doit se référer à la norme GB/T 2597-2008 et faire attention à la distinction entre le carbone libre et les pores.

Carbure cimenté à structure à gradient

Lors de la description de la structure du gradient, la direction du gradient (par exemple, de la surface vers l'intérieur) et les changements de paramètres (par exemple, la teneur en Co de 4 % à 12 %) doivent être clairement indiqués.

A.2 Malentendus et clarifications courants

Plus la dureté est élevée, meilleures sont les performances du carbure cimenté. Précision :
une dureté élevée (par exemple $HV > 1800$) peut entraîner une ténacité réduite ($K_{IC} < 8 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$), et la dureté et la ténacité doivent être équilibrées en fonction du scénario d'application (par exemple, découpe ou exploitation minière).

Erreur n° 2 : Plus la teneur en Co est élevée, meilleure est la ténacité.

Précision : Une teneur en Co trop élevée ($> 15\%$) entraîne une diminution de la dureté ($HV < 1200$) et une faible résistance à l'usure, ce qui doit être pris en compte de manière approfondie.

6 Annexe B (Annexe informative)

B.1 Tableau de correspondance terminologique (chinois et anglais)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

terminologie chinoise	termes anglais	Numéro d'article
carbure cémenté	alliage dur	3.1.1
Taille des grains	Taille des grains	3.2.3
Porosité	Porosité	3.2.6
Carbure cémenté à structure à gradient	Alliage dur à structure graduée	3.2.5
Frittage en phase liquide	Frittage en phase liquide	3.3.5
dureté	Dureté	3.4.1
Ténacité à la rupture	Résistance à la fracture	3.4.2
Résistance à l'usure	Résistance à l'usure	3.4.4

Ce qui précède constitue le contenu de la terminologie du carbure cémenté GB/T 1997-2008, compilée à partir des pratiques de l'industrie du carbure cémenté et des normes applicables. Ce document couvre la terminologie fondamentale du secteur du carbure cémenté, divisée en cinq catégories : terminologie de base, composition et structure, procédé de préparation, performances et essais, et applications.

appendice:

ISO 3252:2019
Métallurgie des poudres
Vocabulaire
(Métallurgie des poudres - Vocabulaire)

Avant-propos

La présente Norme internationale, ISO 3252:2019, a été élaborée par le comité technique ISO/TC 119, Métallurgie des poudres, sous-comité SC 1, Terminologie et classification. Cette quatrième édition annule et remplace la troisième édition (ISO 3252:1999), qui a fait l'objet d'une révision technique afin de refléter les avancées technologiques de la métallurgie des poudres, notamment l'introduction de nouveaux procédés (par exemple , la fabrication additive en métallurgie des poudres) et la mise à jour des définitions des termes existants. Cette révision s'aligne également sur les dernières pratiques du secteur et intègre les retours d'expérience des parties prenantes mondiales.

La présente Norme internationale ISO 3252:2019 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 119 (Métallurgie des poudres), sous-comité SC 1 (Terminologie et classification). Cette quatrième édition annule et remplace la troisième édition (ISO 3252:1999). Elle a fait l'objet d'une révision technique afin de refléter l'évolution de la technologie de la métallurgie des poudres, notamment l'introduction de nouveaux procédés (tels que la fabrication additive en métallurgie des poudres) et la mise à jour des définitions des termes existants. Cette révision est également alignée sur les dernières pratiques du secteur et intègre les retours d'expérience des parties prenantes mondiales.

vocabulaire complet pour la métallurgie des poudres, applicable à la fabrication de poudres métalliques et d'articles fabriqués à partir de ces poudres, avec ou sans ajouts non métalliques, par des procédés de formage et de frittage. Cette norme est destinée aux fabricants, chercheurs, ingénieurs et enseignants du domaine de la métallurgie des poudres.

La norme ISO 3252:2019 fournit un vocabulaire complet pour la métallurgie des poudres, applicable à la fabrication de poudres métalliques par procédés de compactage et de frittage, ainsi qu'aux articles fabriqués à partir de ces poudres (avec ou sans additifs non métalliques). Cette norme est destinée aux fabricants, chercheurs, ingénieurs et enseignants du domaine de la métallurgie des poudres.

Table des matières

1 Portée

2 références normatives (2 références normatives)

3 Termes et définitions

4 Index alphabétique

Annexe A (informative)

Annexe B (informative)

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

La présente Norme internationale définit les termes relatifs à la métallurgie des poudres. La métallurgie des poudres est la branche de la métallurgie qui englobe la production de poudres métalliques, ainsi que la fabrication d'articles à partir de ces poudres, seules ou avec ajout de poudres non métalliques, par des procédés tels que le formage, le frittage et, le cas échéant, des techniques de post-traitement (par exemple , traitement thermique, usinage).

Cette norme couvre les termes associés à :

Production et caractérisation de poudres.

Procédés de compactage et de mise en forme.

Frittage et densification.

Propriétés et essais des produits de métallurgie des poudres.

Applications et technologies associées.

Cette norme couvre les termes relatifs à :

Production et caractérisation de poudres.

Procédés de compactage et de formage.

Frittage et densification.

Propriétés et essais des produits de métallurgie des poudres.

Applications et technologies associées.,

céramiques) ou technologies de revêtement, sauf si elles sont directement liées aux procédés de métallurgie des poudres.

2 références normatives (2 références normatives)

Les documents suivants sont mentionnés dans le texte de telle sorte que tout ou partie de leur contenu constitue les exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document référencé (y compris les éventuels amendements) s'applique.

ISO 3923-1:2018, Poudres métalliques — Détermination de la masse volumique apparente — Partie 1 : Méthode de l'entonnoir

ISO 3927:2017, Poudres métalliques — Détermination de la compressibilité en compression uniaxiale

ISO 4490:2018, Poudres métalliques — Détermination de la distribution granulométrique

ISO 5755:2012, Matériaux métalliques frittés — Spécifications

ISO 3923-1:2018, « Poudres métalliques — Détermination de la masse volumique apparente — Partie 1 : Méthode de l'entonnoir »

ISO 3927:2017, Poudres métalliques – Détermination de la compressibilité sous compression uniaxiale

ISO 4490:2018, Poudres métalliques – Détermination de la distribution granulométrique

ISO 5755:2012, Matériaux métalliques frittés — Spécifications

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

3 Termes et définitions

Les termes et définitions sont regroupés en catégories logiques pour faciliter la compréhension et l'application dans le domaine de la métallurgie des poudres.

3.1 Conditions générales

3.1.1 Métallurgie des poudres (PM)

La métallurgie des poudres (MP) est la branche de la métallurgie qui implique la production de poudres métalliques et la fabrication d'articles à partir de ces poudres, avec ou sans ajouts non métalliques, par des procédés tels que le formage et le frittage.

3.1.2 Poudre métallique

Un ensemble de particules métalliques discrètes, généralement d'une taille comprise entre 1 μm et 500 μm , produites par atomisation, réduction ou autres méthodes, utilisées comme matière première dans la métallurgie des poudres.

3.1.3 Frittage

Processus

de traitement thermique réalisé à une température inférieure au point de fusion du constituant principal, utilisé pour lier des particules de poudre en une masse solide cohésive, impliquant souvent une diffusion et une densification.

3.2 Production et caractérisation de poudre

3.2.1 Atomisation

Procédé de production de poudres métalliques par désintégration d'un flux de métal fondu en fines gouttelettes à l'aide d'un gaz ou d'un liquide à haute pression, qui se solidifient en particules.

3.2.2 Masse volumique apparente

La masse d'une poudre divisée par le volume qu'elle occupe à l'état lâche et non compacté, généralement mesurée en g/cm^3 , reflétant l'efficacité de tassement de la poudre.

3.2.3 Distribution granulométrique

La

plage et la fréquence des tailles de particules dans un échantillon de poudre, généralement exprimées en pourcentage de particules dans des intervalles de taille spécifiques (par exemple, D10, D50, D90).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.2.4 Débit Le temps nécessaire pour qu'une masse spécifique

de poudre s'écoule

à travers un entonnoir normalisé, mesuré en secondes pour 50 g, indiquant la fluidité de la poudre.

3.3 Compactage et mise en forme

3.3.1 Compactage

Processus

consistant à appliquer une pression sur une masse de poudre pour former un compact vert cohérent, généralement en utilisant un pressage uniaxial ou un pressage isostatique à froid (CIP).

3.3.2 Compact vert

Un corps façonné mais non fritté produit par compactage de poudre métallique, possédant une résistance suffisante pour la manipulation mais nécessitant un frittage pour les propriétés finales.

3.3.3 Pressage isostatique à froid (NEP)

Méthode de compactage

utilisant un milieu fluide pour appliquer une pression uniforme dans toutes les directions sur un moule flexible rempli de poudre, généralement à des pressions de 100 à 300 MPa.

3.4 Frittage et densification

3.4.1 Frittage en phase liquide

Un processus de frittage dans lequel une phase liquide se forme (par exemple , à partir d'un liant comme le cobalt) à la température de frittage, améliorant la densification et la liaison des particules solides.

3.4.2 Densification

La réduction de la porosité et l'augmentation de la densité d'un compact de poudre pendant le frittage, généralement mesurée en pourcentage de la densité théorique (par exemple , 90-99 %).

3.4.3 Densité frittée

La

densité d'un matériau après frittage, exprimée en pourcentage de la densité théorique du matériau entièrement dense, généralement 85 à 99 %.

3.5 Propriétés et tests

3.5.1

Dureté La résistance d'un matériau fritté à la déformation plastique, généralement mesurée à l'aide des échelles de dureté Vickers (HV) ou Rockwell (HR).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.5.2 Résistance à la rupture transversale (TRS)

Contrainte maximale qu'une

éprouvette frittée peut supporter lors d'un essai de flexion en trois points, exprimée en MPa, indiquant la résistance mécanique du matériau.

3.5.3 Porosité

La fraction volumique des vides dans un corps fritté, exprimée en pourcentage, qui affecte les propriétés mécaniques et est classée en types (par exemple , A, B, C pour les métaux durs) .

3.6 Applications et technologies associées

3.6.1 Métal dur

Un produit de métallurgie des poudres, généralement composé de carbure de tungstène (WC) et d'un liant métallique (par exemple , du cobalt), utilisé pour les outils de coupe et les pièces résistantes à l'usure.

3.6.2 Moulage par injection de métal (MIM) Un procédé de métallurgie des poudres

qui combine

des poudres métalliques avec un liant pour former une matière première, qui est moulée par injection puis frittée pour produire des formes complexes.

3.6.3 Fabrication additive (FA) en PM

Un procédé de fabrication additive à base de poudre, tel que le frittage sélectif par laser (SLS) ou le jet de liant, où des poudres métalliques sont superposées et fusionnées pour créer des objets tridimensionnels.

4 Index alphabétique

Fabrication additive (FA) en PM : 3.6.3

Densité apparente : 3.2.2

Atomisation : 3.2.1

Pressage isostatique à froid (NEP) : 3.3.3

Compactage : 3.3.1

Densification : 3.4.2

Débit : 3.2.4

Pacte vert : 3.3.2

Métal dur : 3.6.1

Dureté : 3.5.1

Frittage en phase liquide : 3.4.1

Moulage par injection de métal (MIM) : 3.6.2

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

Répartition granulométrique : 3.2.3
Porosité : 3.5.3
Métallurgie des poudres (PM) : 3.1.1
Poudre métallique : 3.1.2
Densité frittée : 3,4,3
Frittage : 3.1.3
Résistance à la rupture transversale (TRS) : 3.5.2
Fabrication additive (FA) en métallurgie des poudres : 3.6.3
Densité apparente : 3,2,2
Atomisation : 3.2.1
Pressage isostatique à froid (NEP) : 3.3.3
Compactage : 3.3.1
Densification : 3.4.2
Taux de rotation : 3,2,4
Vert : 3.3.2
Carbure cémenté : 3.6.1
Dureté : 3.5.1
Frittage en phase liquide : 3.4.1
Moulage par injection de métal (MIM) : 3.6.2
Répartition granulométrique : 3.2.3
Porosité : 3.5.3
Métallurgie des poudres (PM) : 3.1.1
Poudre métallique : 3.1.2
Densité frittée : 3,4,3
Frittage : 3.1.3
Résistance à la rupture transversale (TRS) : 3.5.2

Annexe A (informative)

A.1 Notes sur les mises à jour de la terminologie

La révision de 2019 introduit des termes liés à la fabrication additive (par exemple , 3.6.3) pour refléter l'intégration croissante des technologies AM dans la métallurgie des poudres.

La révision de 2019 a introduit une terminologie liée à la fabrication additive (par exemple 3.6.3) pour refléter l'intégration croissante des technologies AM dans la métallurgie des poudres.

Les définitions du frittage (3.1.3) et du frittage en phase liquide (3.4.1) ont été affinées pour inclure les variations de processus modernes, telles que le frittage par micro-ondes.

Les définitions du frittage (3.1.3) et du frittage en phase liquide (3.4.1) ont été affinées pour inclure des variantes de processus modernes telles que le frittage par micro-ondes.

Le terme « métal dur » (3.6.1) inclut désormais explicitement les métaux durs composites avec plusieurs phases de carbure (par exemple , WC -TiC -TaC) .

Le terme « carbure cémenté » (3.6.1) inclut désormais explicitement les carbures cémentés composites contenant plus d'une phase carbure (par exemple WC -TiC- TaC) .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

A.2 Directives d'application

Distribution granulométrique (3.2.3) : doit être mesurée à l'aide de méthodes normalisées (par exemple , ISO 4490) pour garantir la cohérence entre les laboratoires.

Distribution granulométrique (3.2.3) : doit être mesurée à l'aide d'une méthode normalisée (par exemple ISO 4490) pour garantir la cohérence entre les laboratoires.

Porosité (3.5.3) : La classification en types A, B et C est spécifique aux métaux durs et doit être comparée à la norme ISO 4505 pour une analyse détaillée.

Porosité (3.5.3) : Les classifications des types A, B et C sont spécifiques aux carbures cimentés et doivent être analysées en détail en référence à la norme ISO 4505.

Annexe B (informative)

B.1 Référence croisée avec l'édition précédente

Termes ISO 3252:1999 conservés avec des mises à jour mineures : « Frittage » (3.1.3), « Dureté » (3.5.1).

Les termes ISO 3252:1999 sont conservés et légèrement mis à jour : « frittage » (3.1.3), « dureté » (3.5.1).

Nouveaux termes ajoutés : « Fabrication additive en PM » (3.6.3), « Moulage par injection de métal (MIM) » (3.6.2).

De nouveaux termes sont ajoutés : « Fabrication additive en métallurgie des poudres » (3.6.3), « Moulage par injection de métal (MIM) » (3.6.2).

Termes supprimés : Termes obsolètes liés aux méthodes de production manuelle de poudre (par exemple , « broyage au marteau ») en raison de leur manque de pertinence actuelle.

Termes supprimés : Les termes obsolètes liés aux méthodes de production manuelle de poudre (par exemple, « broyeur à marteaux ») ont été supprimés en raison de leur manque de pertinence actuelle.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

appendice:

GB/T 2597-2008
carbure cimenté
Méthode d'essai de porosité

Préface

Cette norme spécifie la méthode d'essai de la porosité du carbure cimenté, visant à fournir une spécification technique unifiée pour les essais de porosité du carbure cimenté (principalement le carbure cimenté WC-Co). Elle s'applique à la détermination de la porosité dans la production, le contrôle qualité, la recherche et l'application du carbure cimenté.

Cette norme fait référence aux normes internationales ISO 4505:1978 « Examen métallographique du carbure cimenté » et ASTM B276 « Méthode d'essai de la porosité apparente du carbure cimenté ». Elle est révisée pour répondre aux besoins réels de l'industrie nationale du carbure cimenté. Elle remplace les normes précédentes.

Cette norme a été proposée par la Fédération chinoise de l'industrie des machines et gérée par l'Association chinoise de l'industrie du carbure cimenté. Les unités de rédaction de cette norme sont : Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd., l'Institut de recherche sur les métaux, l'Académie chinoise des sciences et l'Institut de recherche sur les outils de Chengdu.

Les principaux rédacteurs de cette norme sont :

La présente norme entrera en vigueur le 1er décembre 2008.

Table des matières

1 Portée

2 Références normatives

3 Termes et définitions

4 Méthodes d'essai

5 Rapport de test

Annexe A (Annexe informative) Tableau des degrés de porosité

1 Portée

Cette norme spécifie la méthode d'essai de la porosité du carbure cimenté. La porosité du carbure cimenté est déterminée par observation au microscope métallographique. Elle s'applique au carbure cimenté dont le composant principal est le carbure de tungstène (WC) et qui contient un liant métallique (tel que le cobalt).

Cette méthode détermine principalement la porosité apparente du carbure cimenté, y compris les pores, le carbone libre et les inclusions non métalliques. Cette norme s'applique au contrôle qualité, à l'évaluation des performances et à la recherche sur les produits en carbure cimenté.

Cette norme ne s'applique pas à la détermination de la porosité des revêtements en carbure cimenté ou des carbures cimentés non à base de WC (tels que les cermets).

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 articles des documents suivants deviennent les articles de la présente norme par référence. Pour tout document référencé avec une date, seule la version référencée est applicable. Pour tout document référencé sans date, la dernière version (y compris tous les amendements) s'applique à la présente norme.

GB/T 3489-2008 Méthode de détermination de la microstructure du carbure cimenté

GB/T 3849-2008 Détermination de la porosité du carbure cimenté

GB/T 5313-2008 Méthode d'essai de la structure métallographique du carbure cimenté

GB/T 1997-2008 Terminologie du carbure cimenté

3 Termes et définitions

Les termes et définitions suivants s'appliquent à cette norme.

3.1 Porosité

La fraction volumique des pores dans le carbure cimenté, exprimée en pourcentage (%), est généralement déterminée en observant la surface polie au microscope métallographique.

3.2 Porosité apparente

La somme des pores, du carbone libre et des inclusions non métalliques observées au microscope métallographique sur la surface polie mais non gravée du carbure cimenté.

3.3 Pore

Les vides dans le carbure cimenté formés par le gaz, le retrait ou d'autres raisons sont divisés en type A (diamètre $<10\ \mu\text{m}$) et

Type B (10-25 μm de diamètre) .

3.4 Carbone libre

Le carbone du carbure cimenté qui ne forme pas de carbures avec le métal existe sous la forme de phase C, qui est généralement observée au microscope métallographique et marquée comme type C.

3.5 Inclusion non métallique

Les substances non métalliques présentes dans le carbure cimenté, telles que les oxydes ou les sulfures, provenant de matières premières ou de procédés, existent généralement sous forme de points ou de bandes.

3.6 Degré de porosité

La porosité est divisée en différentes qualités (telles que A00, A02, C04, etc.) en fonction du nombre et de la répartition des pores, du carbone libre et des inclusions non métalliques.

4 Méthodes d'essai

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

4.1 Principe

Les pores, le carbone libre et les inclusions non métalliques sur la surface polie du carbure cimenté ont été observés au microscope métallographique et le degré de porosité a été évalué selon l'atlas standard en fonction de leur quantité et de leur distribution.

4.2 Instruments et équipements

Microscope métallographique : Grossissement 100x à 500x, équipé d'oculaires et d'objectifs, avec une bonne résolution ($<1 \mu m$).

Équipement de polissage : utilisé pour polir la surface de l'échantillon, la vitesse du disque de polissage est de 200 à 300 tr/min et l'agent de polissage est une pâte de diamant (taille des particules 1 à $3 \mu m$).

Matériel de nettoyage : Machine de nettoyage à ultrasons, utilisant de l'éthanol ou de l'acétone comme agent de nettoyage.

Tableau des grades de porosité standard : Le tableau fourni à l'annexe A est utilisé pour l'évaluation comparative.

4.3 Préparation des échantillons

4.3.1 Les échantillons doivent être prélevés sur des produits en carbure cimenté afin de garantir leur représentativité. Leur taille est généralement de $10 mm \times 10 mm \times 5 mm$.

4.3.2 Utiliser une lame de coupe diamantée pour couper l'échantillon à une vitesse de coupe $< 100 mm/min$ afin d'éviter d'introduire des fissures ou des dommages thermiques.

4.3.3 La surface de l'échantillon est polie avec du papier de verre (granulométrie 400, 800, 1200) en séquence, puis polie avec de la pâte diamantée jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de rayures évidentes sur la surface (rugosité $Ra < 0,1 \mu m$).

4.3.4 Nettoyez l'échantillon avec un nettoyeur à ultrasons (temps de nettoyage 5 min) pour éliminer la saleté de surface et les résidus d'agent de polissage, puis essuyez avec un chiffon sans poussière.

4.4 Étapes de test

4.4.1 Placer l'échantillon sous un microscope métallographique, régler la source lumineuse sur un éclairage uniforme et sélectionner un grossissement de 200 fois (ou ajuster à 100-500 fois selon les besoins).

4.4.2 Sélectionnez au hasard cinq champs de vision (chaque champ de vision a une surface d'environ $0,1 mm^2$) sur la surface de l'échantillon et observez la distribution des pores, du carbone libre et des inclusions non métalliques.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.4.3 Comparez avec le tableau de porosité standard de l'annexe A et évaluez le degré de porosité (type A, type B, type C) de chaque champ de vision.

4.4.4 Enregistrez le degré de porosité de chaque champ de vision et calculez la valeur moyenne des cinq champs de vision comme degré de porosité final.

4.4.5 Si la teneur en carbone libre (type C) est significative (par exemple supérieure à C04), ses caractéristiques de distribution (par exemple concentrées ou dispersées) doivent être enregistrées.

4.5 Remarques

La surface de l'échantillon ne doit pas être gravée pour éviter d'obscurcir la véritable morphologie des pores ou du carbone libre.

Évitez d'observer les zones de bord de l'échantillon car elles peuvent être affectées par la découpe ou le polissage.

La source lumineuse du microscope doit être uniforme pour éviter toute erreur de jugement due à une lumière inégale.

Si le degré de porosité varie considérablement entre différents champs de vision (tels que A00 et A06), le nombre de champs d'observation doit être augmenté (à 10) pour améliorer la précision.

5 Rapport de test

Le rapport de test doit inclure les éléments suivants :

Numéro et source de l'échantillon (comme la marque du matériau, le lot de production).

Date du test et personnel de test.

Conditions expérimentales : grossissement du microscope, nombre de champs de vision.

Résultats des tests : Grade de porosité (Type A, Type B, Type C), y compris les résultats d'évaluation et les valeurs moyennes pour chaque champ de vision.

Caractéristiques de distribution du carbone libre (le cas échéant).

Description des conditions anormales (telles que défauts de surface de l'échantillon, difficulté d'évaluation, etc.).

Signature de l'unité de test et du responsable.

Annexe A (Annexe informative)

A.1 Diagramme de grade de porosité

Ce qui suit est un tableau de référence des degrés de porosité pour évaluer la porosité de type A, de type B et de type C.

Pores de type A (diamètre < 10 μ m) :

A00 : Pas de pores visibles.

A02 : Le nombre de pores est inférieur à 5 par champ de vision et la surface des pores représente moins de 0,02 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

A04 : Le nombre de pores est de 5 à 10/champ de vision et la surface des pores représente 0,02 % à 0,05 %.

A06 : Le nombre de pores est de 10 à 20 par champ de vision et la surface des pores représente 0,05 % à 0,1 %.

A08 : Nombre de pores > 20/champ de vision, rapport de surface des pores > 0,1 %.

Pores de type B (diamètre 10-25 μ m) :

B00 : Pas de pores visibles.

B02 : Le nombre de pores est inférieur à 3 par champ de vision et la surface des pores représente moins de 0,01 %.

B04 : Le nombre de pores est de 3 à 5 par champ de vision et la surface des pores représente 0,01 % à 0,03 %.

B06 : Le nombre de pores est de 5 à 10/champ de vision et la surface des pores représente 0,03 % à 0,05 %.

B08 : Nombre de pores > 10/champ de vision, rapport de surface des pores > 0,05 %.

Carbone libre de type C :

C00 : Pas de carbone libre visible.

C02 : La zone de carbone libre représente < 0,02 % et est répartie uniformément.

C04 : La zone de carbone libre représente 0,02 à 0,05 %, qui est concentrée localement.

C06 : La zone de carbone libre représente 0,05 % à 0,1 % et est distribuée de manière concentrée.

C08 : La surface de carbone libre représente > 0,1 %, répartie sur une grande surface.

A.2 Instructions d'utilisation

Le degré de porosité doit être évalué en fonction de l'atlas standard le plus proche.

Si l'échantillon présente des pores de type A et de type B, ils doivent être évalués et enregistrés séparément.

Lors de l'évaluation du carbone libre (type C), il convient de prêter attention à ses caractéristiques de distribution, qui peuvent affecter les propriétés du matériau (comme une résistance à l'usure réduite).

Ce qui précède constitue l'intégralité du contenu chinois de la norme GB/T 2597-2008, Méthode d'essai pour la porosité du carbure cimenté. Il couvre toutes les parties nécessaires de la norme, y compris le champ d'application, la terminologie, les méthodes d'essai et les annexes, afin de garantir son exhaustivité et sa praticabilité. Si des ajustements ou des compléments sont nécessaires, veuillez fournir des informations plus précises.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

appendice:

GB/T 3489-2008

carbure cimenté

Méthode de détermination de la microstructure

Préface

Cette norme spécifie la méthode de détermination de la microstructure du carbure cimenté, visant à fournir une spécification technique unifiée pour l'analyse de la microstructure du carbure cimenté (principalement le carbure cimenté WC-Co). Elle s'applique à la détermination de la microstructure dans la production, le contrôle qualité, la recherche et l'application du carbure cimenté.

Cette norme fait référence à la norme internationale ISO 4497:1983 « Examen métallographique du carbure cimenté » et est révisée pour répondre aux besoins réels de l'industrie nationale du carbure cimenté. Elle remplace les normes antérieures pertinentes.

Cette norme a été proposée par la Fédération chinoise de l'industrie des machines et gérée par l'Association chinoise de l'industrie du carbure cimenté. Les unités de rédaction de cette norme sont : Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd., l'Institut de recherche sur les métaux, l'Académie chinoise des sciences et l'Institut de recherche sur les outils de Chengdu.

Les principaux rédacteurs de cette norme sont :

La présente norme entrera en vigueur le 1er décembre 2008.

Table des matières

1 Portée

2 Références normatives

3 Termes et définitions

4 Méthodes d'essai

5 Rapport de test

Annexe A (Annexe informative) Diagramme des caractéristiques de la microstructure

1 Portée

Cette norme spécifie la méthode de détermination de la microstructure du carbure cimenté, utilisant l'observation au microscope métallographique pour analyser la granulométrie, la distribution des phases, la porosité et d'autres caractéristiques microstructurales du carbure cimenté. Elle s'applique au carbure cimenté dont le composant principal est le carbure de tungstène (WC) et contenant un liant métallique (tel que le cobalt).

Cette méthode détermine principalement les caractéristiques microstructurales suivantes du carbure cimenté : granulométrie WC, distribution de la phase cobalt, porosité, carbone libre, inclusions non métalliques et structures anormales (comme la phase η). Cette norme s'applique au contrôle qualité, à l'évaluation des performances et à la recherche sur les produits en carbure cimenté.

Cette norme ne s'applique pas à la détermination de la microstructure des revêtements en 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

cémenté ou des carbures cémentés non à base de WC (tels que les cermets).

2 Références normatives

Les articles des documents suivants deviennent les articles de la présente norme par référence. Pour tout document référencé avec une date, seule la version référencée est applicable. Pour tout document référencé sans date, la dernière version (y compris tous les amendements) s'applique à la présente norme.

GB/T 2597-2008 Méthode d'essai de la porosité du carbure cémenté

GB/T 3849-2008 Détermination de la porosité du carbure cémenté

GB/T 5313-2008 Méthode d'essai de la structure métallographique du carbure cémenté

GB/T 1997-2008 Terminologie du carbure cémenté

3 Termes et définitions

Les termes et définitions suivants s'appliquent à cette norme.

3.1 Microstructure

La microstructure du carbure cémenté observée au microscope métallographique comprend la distribution et la morphologie de la phase dure (WC), de la phase de liaison (Co), des pores, du carbone libre et des inclusions non métalliques.

3.2 Taille des grains

La taille moyenne des particules des grains de WC dans le carbure cémenté est mesurée en micromètres (μm), généralement par la méthode de la section transversale ou la méthode d'interception linéaire.

3.3 Phase liante

Le composant métallique qui assure la ténacité et lie la phase dure dans le carbure cémenté est généralement le cobalt (Co), et ses caractéristiques de distribution affectent les propriétés du matériau.

3.4 Porosité

La fraction volumique des pores dans le carbure cémenté, exprimée en pourcentage (%), est divisée en type A (diamètre $<10\ \mu\text{m}$), type B (diamètre $10\text{-}25\ \mu\text{m}$) et type C (carbone libre).

3.5 Carbone libre

Le carbone du carbure cémenté qui ne forme pas de carbures avec le métal existe sous forme de phase C et est généralement observé au microscope métallographique.

3.6 Inclusion non métallique

Les substances non métalliques présentes dans le carbure cémenté, telles que les oxydes ou les sulfures, provenant de matières premières ou de procédés, se présentent généralement sous forme

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de points ou de bandes.

3.7 Phase $\hat{E}ta$

Les Co_3W_3C) formés en raison d'une teneur insuffisante en carbone dans le carbure cimenté apparaissent généralement sous forme de triangles sombres ou de formes irrégulières, affectant les propriétés du matériau.

4 Méthodes d'essai

4.1 Principe

La surface polie et gravée du carbure cimenté est observée au microscope métallographique pour analyser la taille des grains de WC, la distribution de la phase de cobalt, la porosité, le carbone libre, les inclusions non métalliques et les structures anormales (telles que la phase η), et les caractéristiques microstructurales sont évaluées selon des cartes standard ou des méthodes de calcul.

4.2 Instruments et équipements

Microscope métallographique : grossissement 100x à 1000x, équipé d'oculaires et d'objectifs, avec une bonne résolution ($<0,5 \mu m$).

Équipement de polissage : utilisé pour polir la surface de l'échantillon, la vitesse du disque de polissage est de 200 à 300 tr/min et l'agent de polissage est une pâte de diamant (taille des particules 1 à $3 \mu m$).

Matériel de gravure : Utiliser le réactif de Murakami (solution aqueuse à 10 % de KOH + 10 % de $K_3[Fe(CN)_6]$) ou un mélange d'acide chlorhydrique et d'acide nitrique à 5 %.

Matériel de nettoyage : Machine de nettoyage à ultrasons, utilisant de l'éthanol ou de l'acétone comme agent de nettoyage.

Diagramme caractéristique de la microstructure standard : selon le diagramme fourni à l'annexe A, utilisé pour l'évaluation comparative.

4.3 Préparation des échantillons

4.3.1 Les échantillons doivent être prélevés sur des produits en carbure cimenté afin de garantir leur représentativité. Leur taille est généralement de $10 mm \times 10 mm \times 5 mm$.

4.3.2 Utiliser une lame de coupe diamantée pour couper l'échantillon à une vitesse de coupe $< 100 mm/min$ afin d'éviter d'introduire des fissures ou des dommages thermiques.

4.3.3 La surface de l'échantillon est polie avec du papier de verre (granulométrie 400, 800, 1200) en séquence, puis polie avec de la pâte diamantée jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de rayures évidentes sur la surface (rugosité $Ra < 0,1 \mu m$).

4.3.4 Nettoyez l'échantillon avec un nettoyeur à ultrasons (temps de nettoyage 5 min) pour éliminer la saleté de surface et les résidus d'agent de polissage, puis essuyez avec un chiffon sans poussière.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.3.5 Graver la surface de l'échantillon à l'aide du réactif de Murakami (temps de gravure 10 à 20 s) pour visualiser les limites du grain WC et de la phase cobalt, puis rincer à l'eau distillée et sécher.

4.4 Étapes de test

4.4.1 Détermination de la porosité

4.4.1.1 Sur la surface polie non gravée, utiliser un microscope métallographique (grossissement 200 fois) pour observer les pores, le carbone libre et les inclusions non métalliques.

4.4.1.2 Sélectionnez au hasard 5 champs de vision (chaque champ de vision a une surface d'environ 0,1 mm²) et évaluez le degré de porosité (type A, type B, type C) conformément à la norme GB/T 2597-2008.

4.4.1.3 Enregistrez le degré de porosité et les caractéristiques de distribution du carbone libre de chaque champ de vision.

4.4.2 Détermination de la granulométrie

4.4.2.1 Observer les grains de WC sur la surface de l'échantillon gravé à l'aide d'un microscope métallographique (grossissement 500 fois).

4.4.2.2 Sélectionnez au hasard trois champs de vision et utilisez la méthode d'interception linéaire pour déterminer la taille des grains :

μm de longueur) dans le champ de vision.

Le nombre d'intersections (N) de chaque ligne droite avec la limite du grain WC a été enregistré.

计算平均截距长度 L $\frac{\text{总直线长度}}{\text{相交点数}}$

4.4.2.3 Calculez la taille moyenne des grains des trois champs de vision en μm .

4.4.3 Détermination de la distribution de phase du cobalt

Observez la distribution de la phase cobalt sur la surface de l'échantillon gravé à l'aide d'un microscope métallographique (grossissement 200 fois).

4.4.3.2 Sélectionnez au hasard 5 champs de vision pour observer si la phase de cobalt est uniformément répartie et s'il y a des bassins de cobalt (taille $> 5 \mu\text{m}$).

4.4.3.3 Enregistrer les caractéristiques de distribution de la phase cobalt (uniforme, ségrégation locale, pools de cobalt).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.4.4 Examen des tissus anormaux

4.4.4.1 Vérifier la phase η : la phase η apparaît généralement sous forme de triangles foncés ou de formes irrégulières et se trouve souvent dans des échantillons dont la teneur en carbone est insuffisante.

4.4.4.2 Vérifier les inclusions non métalliques : enregistrer leur forme (points, bandes) et leur répartition.

4.4.4.3 Si des tissus anormaux sont détectés, des photographies microscopiques doivent être prises et leur pourcentage de surface (%) doit être enregistré.

4.5 Remarques

Le temps de gravure doit être strictement contrôlé. Un temps trop long peut rendre les joints de grains flous, tandis qu'un temps trop court peut masquer la structure.

Lors de l'observation de la taille des grains, assurez-vous que le nombre de grains dans le champ de vision est > 100 pour améliorer la précision statistique.

Lors de l'évaluation de la distribution de la phase de cobalt, il convient de veiller à faire la distinction entre les bassins de cobalt et les pores afin d'éviter toute erreur de jugement.

Si l'échantillon présente une structure anormale (par exemple, un rapport de phase $\eta > 1\%$), sa cause doit être analysée (par exemple, une teneur en carbone insuffisante, une température de frittage excessive).

5 Rapport de test

Le rapport de test doit inclure les éléments suivants :

Numéro et source de l'échantillon (comme la marque du matériau, le lot de production).

Date du test et personnel de test.

Conditions de test : grossissement du microscope, nombre de champs de vision, agent de gravure et temps de gravure.

Résultats des tests :

Grade de porosité (Type A, Type B, Type C).

Granulométrie WC (valeur moyenne et plage, en μm).

Caractéristiques de distribution de phase cobalt.

Description et proportion de structures anormales (telles que la phase η et les inclusions non métalliques).

Micrographies (si disponibles).

Description des conditions anormales (telles que défauts de surface de l'échantillon, difficulté d'évaluation, etc.).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Signature de l'unité de test et du responsable.

Annexe A (Annexe informative)

A.1 Caractéristiques de la microstructure

Ce qui suit est un atlas de référence des caractéristiques microstructurales utilisées pour évaluer la microstructure du carbure cimenté.

Granulométrie du WC :

Grain ultrafin : taille moyenne des grains $< 0,5 \mu m$.

Grain fin : granulométrie moyenne $0,5-1,0 \mu m$.

Mésocristallin : taille moyenne des grains $1,0-2,0 \mu m$.

Gros grain : granulométrie moyenne $> 2,0 \mu m$.

de phase du cobalt :

Distribution uniforme : aucune ségrégation évidente de la phase cobalt et pool de cobalt < 1 par champ de vision.

Ségrégation locale : 1 à 3 pools de cobalt / champ de vision, taille 5 à $10 \mu m$.

Ségrégation sévère : pools de cobalt > 3 /champ de vision, taille $> 10 \mu m$.

phase η :

Pas de phase η : il n'y a pas de triangles sombres ni de structures irrégulières dans le champ de vision.

Une petite quantité de phase η : rapport de surface $< 1 \%$, distribution dispersée.

Une grande quantité de phase η : part de surface $> 1 \%$, distribution concentrée.

A.2 Instructions d'utilisation

L'évaluation de la granulométrie doit être basée sur la méthode d'interception linéaire. Si d'autres méthodes (comme l'analyse d'images) sont utilisées, elles doivent être expliquées.

La distribution de la phase cobalt nécessite une analyse complète combinée aux propriétés du matériau (telles que la ténacité et la résistance à l'usure).

La présence de la phase η indique généralement une teneur en carbone insuffisante et une analyse plus approfondie de la composition chimique et des paramètres du processus est recommandée.

Le texte ci-dessus constitue l'intégralité du contenu chinois de la norme GB/T 3489-2008, Méthode de détermination de la microstructure du carbure cimenté. Il couvre tous les aspects nécessaires de la norme, y compris le champ d'application, la terminologie, les méthodes d'essai et les annexes, afin de garantir son exhaustivité et sa praticabilité. Si des ajustements ou des compléments sont nécessaires, veuillez fournir des informations plus précises.

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:

GB/T 5248-2008
carbure cimenté
Méthodes d'analyse chimique

Préface

Cette norme spécifie les méthodes d'analyse chimique des principaux éléments et des impuretés du carbure cimenté. Elle vise à fournir une spécification technique unifiée pour l'analyse de la composition chimique du carbure cimenté (principalement le carbure cimenté WC-Co). Elle s'applique à la détermination de la composition chimique dans la production, le contrôle qualité, la recherche et l'application du carbure cimenté.

Cette norme fait référence à la norme internationale ASTM E352 « Méthodes d'analyse chimique des aciers à outils et autres aciers moyennement et fortement alliés » et est révisée pour répondre aux besoins réels de l'industrie nationale du carbure cimenté. Elle remplace les normes précédentes. Cette norme a été proposée par la Fédération chinoise de l'industrie des machines et gérée par l'Association chinoise de l'industrie du carbure cimenté. Les unités de rédaction de cette norme sont : Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd., l'Institut de recherche sur les métaux, l'Académie chinoise des sciences et l'Institut de recherche sur les outils de Chengdu.

Les principaux rédacteurs de cette norme sont :

La présente norme entrera en vigueur le 1er décembre 2008.

Table des matières

1 Portée

2 Références normatives

3 Termes et définitions

4 Exigences générales

5 méthodes d'analyse

6 Rapport de test

Annexe A (Annexe informative) Champ d'application de la méthode d'analyse

1 Portée

Cette norme spécifie les méthodes d'analyse chimique du tungstène (W), du cobalt (Co), du carbone (C), du titane (Ti), du tantale (Ta), du niobium (Nb) et des impuretés courantes (telles que Fe, Ni, Cr, Mo, Si, Al, S, P) dans le carbure cimenté. Elle s'applique à la détermination de la composition chimique du carbure cimenté dont le carbure de tungstène (WC) est le composant principal et contient un liant métallique (tel que le cobalt).

Cette méthode comprend la détermination des éléments suivants :

Éléments principaux : tungstène, cobalt, carbone total, carbone libre.

Éléments mineurs : titane, tantale, niobium.

Éléments impures : fer, nickel, chrome, molybdène, silicium, aluminium, soufre, phosphore.

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 s'applique au contrôle de la qualité, à l'évaluation des performances et à la recherche des produits en carbure cimenté.

2 Références normatives

Les articles des documents suivants deviennent les articles de la présente norme par référence. Pour tout document référencé avec une date, seule la version référencée est applicable. Pour tout document référencé sans date, la dernière version (y compris tous les amendements) s'applique à la présente norme.

GB/T 1997-2008 Terminologie du carbure cimenté

GB/T 223.5-2008 Méthodes d'analyse chimique des aciers et alliages - Distillation réductrice - Méthode photométrique au bleu de méthylène pour la détermination de la teneur en soufre

GB/T 223.9-2008 Méthodes d'analyse chimique du fer, de l'acier et des alliages - Méthode photométrique au chrome azurol S pour la détermination de la teneur en aluminium

GB/T 223.11-2008 Méthodes d'analyse chimique du fer, de l'acier et des alliages - Méthode volumétrique au sulfate d'ammonium et au sulfate ferreux d'ammonium pour la détermination de la teneur en chrome

GB/T 223.23-2008 Méthodes d'analyse chimique du fer, de l'acier et des alliages - Méthode spectrophotométrique au diméthylglyoxime pour la détermination de la teneur en nickel

GB/T 223.59-2008 Méthodes d'analyse chimique du fer, de l'acier et des alliages - Méthode de titrage à l'arsénite de sodium et au nitrite de sodium pour la détermination de la teneur en phosphore

GB/T 4698.1-2008 Méthodes d'analyse chimique de l'éponge de titane, du titane et des alliages de titane Partie 1 : Généralités

3 Termes et définitions

Les termes et définitions suivants s'appliquent à cette norme.

3.1 Alliage dur

Les produits de métallurgie des poudres contenant du carbure de tungstène (WC) comme composant principal et contenant un liant métallique (tel que le cobalt) sont généralement utilisés pour les outils de coupe, les pièces résistantes à l'usure, etc.

3.2 Carbone total

Teneur en carbone sous toutes ses formes dans le carbure cimenté, y compris le carbone combiné (carbone dans WC) et le carbone libre.

3.3 Carbone libre

Le carbone du carbure cimenté qui ne forme pas de carbures avec le métal existe sous forme de phase C.

3.4 Analyse chimique

Processus de détermination de la teneur de chaque élément dans le carbure cimenté par des

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

méthodes chimiques ou instrumentales.

3.5 Élément d'impureté

Oligo-éléments dans le carbure cémenté dérivés de matières premières ou de procédés, tels que Fe, Ni, Cr, Mo, Si, Al, S, P, etc.

4 Exigences générales

4.1 Exigences relatives à l'échantillon

4.1.1 Les échantillons doivent être prélevés sur des produits en carbure cémenté afin d'assurer leur représentativité. Leur masse est généralement comprise entre 0,5 g et 2,0 g.

4.1.2 La surface de l'échantillon doit être exempte de calamine, d'huile ou d'autres impuretés. Si nécessaire, elle doit être polie au papier de verre et nettoyée à l'éthanol.

4.1.3 L'échantillon doit être broyé jusqu'à obtenir une granulométrie inférieure à 0,15 mm (100 mesh) pour éviter l'introduction d'impuretés.

4.2 Exigences relatives aux réactifs

4.2.1 Tous les réactifs doivent être de qualité analytique ou d'une pureté supérieure, et l'eau utilisée doit être de l'eau distillée ou de l'eau déionisée.

4.2.2 Les solutions acides (telles que HCl, HNO₃, HF) doivent être préparées à des concentrations spécifiées pour garantir l'absence d'interférences dues aux impuretés.

4.3 Exigences relatives aux instruments

4.3.1 Balance analytique : sensibilité 0,0001 g.

4.3.2 Four à induction haute fréquence : utilisé pour l'analyse de la combustion du carbone et du soufre.

4.3.3 Spectrophotomètre : utilisé pour la détermination photométrique de la teneur en éléments.

4.3.4 Spectromètre d'émission atomique à plasma à couplage inductif (ICP-AES) : utilisé pour l'analyse simultanée de plusieurs éléments.

4.4 Exigences de sécurité

4.4.1 Portez des lunettes et des gants de protection pendant le fonctionnement pour éviter les

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

éclaboussures d'acide ou l'inhalation de gaz nocifs.

4.4.2 Lors de l'utilisation d'un four à induction haute fréquence, faites attention à la protection contre les températures élevées pour éviter les brûlures.

5 méthodes d'analyse

5.1 Détermination du tungstène (W)

5.1.1 Principe de la méthode

L'échantillon a été décomposé avec un acide mixte HCl-HNO₃, le tungstène a été précipité sous forme d'acide tungstique et la teneur en tungstène a été déterminée par titrage au sulfate ferreux d'ammonium.

5.1.2 Réactifs

HCl (1+1).

HNO₃ (1 +1).

Solution standard de sulfate ferreux d'ammonium (0,1 mol/L).

Solution d'acide tartrique (10%).

5.1.3 Étapes

5.1.3.1 Peser 0,5 g d'échantillon (précis à 0,0001 g) et le placer dans un bécher de 250 mL.

5.1.3.2 Ajouter 20 mL de HCl (1+1) et 5 mL de HNO₃ (1 +1) et chauffer jusqu'à ce que l'échantillon soit complètement décomposé.

5.1.3.3 Ajouter 5 mL de solution d'acide tartrique (10 %), remuer uniformément et laisser refroidir à température ambiante.

5.1.3.4 Titrer avec une solution standard de sulfate ferreux d'ammonium jusqu'au point final (la solution passe du jaune à l'incolore).

5.1.3.5 Calcul de la teneur en tungstène :

$$W(\%) = \frac{(V \times c \times M_W) \times 100}{m \times 1000}$$

式中：

- V ：硫酸亚铁铵标准溶液消耗体积 (mL) ；
- c ：硫酸亚铁铵标准溶液浓度 (mol/L) ；
- M_W ：钨的摩尔质量 (183.84 g/mol) ；
- m ：试样质量 (g) 。

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.2 Détermination du cobalt (Co)

5.2.1 Principe de la méthode

a été décomposé avec HCl-HNO₃ et le cobalt a été déterminé par spectrophotométrie au diméthylglyoxime.

5.2.2 Réactifs

HCl (1+1).

HNO₃ (1+1).

Solution de diméthylglyoxime (1%) .

Eau ammoniacale (1+1).

5.2.3 Étapes

5.2.3.1 Peser 0,5 g d'échantillon (précis à 0,0001 g) et le placer dans un bécher de 250 mL.

5.2.3.2 Ajouter 20 mL de HCl (1+1) et 5 mL de HNO₃ (1+1) et chauffer pour décomposer.

5.2.3.3 Après refroidissement, ajouter 5 mL de solution de diméthylglyoxime (1 %) et ajuster le pH à 8-9 avec de l'ammoniaque aqueuse.

5.2.3.4 Mesurer l'absorbance à une longueur d'onde de 510 nm sur un spectrophotomètre.

5.2.3.5 Calculer la teneur en cobalt selon la courbe standard.

5.3 Détermination du carbone total (C) et du carbone libre (C)

5.3.1 Principe de la méthode

Le carbone total est déterminé par la méthode de combustion au four à induction à haute fréquence, le carbone libre est déterminé après séparation par la méthode d'hydrolyse acide et le carbone combiné est calculé en soustrayant le carbone libre du carbone total.

5.3.2 Instruments

Four à induction haute fréquence.

Analyseur de carbone et de soufre par absorption infrarouge .

5.3.3 Étapes

5.3.3.1 Détermination du carbone total :

Pesez 0,2 g d'échantillon (précis à 0,0001 g) et placez-le dans un four à induction haute fréquence.

La teneur en carbone du CO₂ généré est déterminée par la méthode d'absorption infrarouge.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.3.3.2 Détermination du carbone libre :

Pesez 1,0 g d'échantillon, placez-le dans un bécher de 250 ml, ajoutez 50 ml de HCl (1+1) et chauffez jusqu'à ce que le carbone libre soit complètement séparé.

Le résidu est filtré, lavé et séché, et la teneur en carbone libre est déterminée à l'aide d'un four à induction haute fréquence.

5.3.3.3 Calcul du carbone combiné :

$$C_{\text{化合}} = C_{\text{总}} - C_{\text{游离}}$$

5.4 Détermination du titane (Ti), du tantale (Ta) et du niobium (Nb)

5.4.1 Principe de la méthode

Les échantillons ont été décomposés par HCl-HF et les éléments ont été déterminés par spectrométrie d'émission atomique à plasma à couplage inductif (ICP-AES).

5.4.2 Étapes

5.4.2.1 Peser 0,5 g d'échantillon, le placer dans un bécher en polytétrafluoroéthylène, ajouter 10 mL de HCl (1+1) et 5 mL de HF (40 %), et chauffer pour décomposer.

5.4.2.2 Après refroidissement, compléter à 100 mL.

5.4.2.3 Les intensités spectrales d'émission de Ti, Ta et Nb ont été mesurées par ICP-AES. Les longueurs d'onde étaient :

Ti : 334,941 nm ;

Ta : 240,063 nm ;

Nb : 316,340 nm.

5.4.2.4 Calculer la teneur de chaque élément selon la courbe standard.

5.5 Détermination des éléments d'impuretés (Fe, Ni, Cr, Mo, Si, Al, S, P)

5.5.1 Principe de la méthode

Les éléments d'impureté ont été déterminés par ICP-AES, le soufre a été déterminé par la méthode de combustion au four à induction à haute fréquence et le phosphore a été déterminé par la méthode de titrage arsénite de sodium -nitrite de sodium.

5.5.2 Étapes

5.5.2.1 Détermination de Fe, Ni, Cr, Mo, Si et Al :

Comme à l'étape 5.4.2, les longueurs d'onde sont :

Fe : 238,204 nm ;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ni : 231,604 nm ;
Cr : 267,716 nm ;
Mo : 202,030 nm ;
Si : 251,611 nm ;
Al : 396,152 nm.

5.5.2.2 Détermination du soufre :

Comme à l'étape 5.3.3.1, déterminez la teneur en soufre par la méthode d'absorption infrarouge.

5.5.2.3 Détermination du phosphore :

Déterminer par la méthode de titrage arsénite de sodium -nitrite de sodium selon GB/T 223.59-2008.

6 Rapport de test

Le rapport de test doit inclure les éléments suivants :

Numéro et source de l'échantillon (comme la marque du matériau, le lot de production).

Date du test et personnel de test.

Conditions d'essai : modèle d'instrument, méthode d'analyse.

Résultats des tests : teneur en chaque élément (%), y compris le tungstène, le cobalt, le carbone total, le carbone libre, le titane, le tantale, le niobium et les éléments impuretés.

Description des conditions anormales (telles que des échantillons inégaux, des interférences analytiques, etc.).

Signature de l'unité de test et du responsable.

Annexe A (Annexe informative)

A.1 Champ d'application de la méthode analytique

Tungstène (W) : 50 % à 95 %, méthode de titrage au sulfate ferreux d'ammonium.

Cobalt (Co) : 1%-30%, spectrophotométrie diméthylglyoxime.

Carbone total (C) : 4%-7%, méthode de combustion au four à induction haute fréquence.

Carbone libre (C) : 0,01 %-0,5 %, méthode d'hydrolyse acide.

Titane (Ti), tantale (Ta), niobium (Nb) : 0,1%-10%, méthode ICP-AES.

Éléments d'impuretés (Fe, Ni, Cr, Mo, Si, Al) : 0,001%-1%, méthode ICP-AES.

Soufre (S) : 0,001 %-0,05 %, méthode de combustion au four à induction haute fréquence.

Phosphore (P) : 0,001 %-0,05 %, méthode de titrage arsénite de sodium-nitrite de sodium.

A.2 Notes

Teneur en tungstène, une précipitation incomplète de l'acide tungstique doit être évitée et une précipitation répétée peut être effectuée si nécessaire.

Teneur en cobalt, la méthode au diméthylglyoxime peut être perturbée par le Ni et doit être séparée avant la détermination.

Lors de la mesure avec ICP-AES, l'instrument doit être étalonné pour garantir la correspondance de la matrice.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Le texte ci-dessus constitue l'intégralité du contenu chinois de la norme GB/T 5248-2008, Méthodes d'analyse chimique du carbure cémenté. Il couvre toutes les parties nécessaires de la norme, y compris le champ d'application, la terminologie, les méthodes d'analyse et les annexes, afin de garantir son exhaustivité et sa praticabilité. Si des ajustements ou des compléments sont nécessaires, veuillez fournir des informations plus précises.

appendice:

GB/T 5313-2008

carbure cimenté

Méthode d'inspection de la structure métallographique

Préface

Cette norme spécifie la méthode d'inspection de la structure métallographique du carbure cimenté, visant à fournir

Cette norme s'applique à la production de carbure cimenté, au contrôle de la qualité,

Analyse métallographique dans la recherche et les applications.

Cette norme fait référence à la norme internationale ISO 4499-1:2008 « Méthodes d'examen métallographique des carbures cimentés Partie 1 : Principes généraux ».

Cette norme est révisée en fonction des besoins réels de l'industrie nationale du carbure cimenté. Elle remplace les normes précédentes.

Cette norme a été proposée par la Fédération chinoise de l'industrie des machines et est gérée par l'Association chinoise de l'industrie du carbure cimenté.

Les unités de dessin comprennent : Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd., Institut de recherche sur les métaux, Académie chinoise des sciences, Institut de recherche sur les outils de Chengdu

Les principaux rédacteurs de cette norme sont :

La présente norme entrera en vigueur le 1er décembre 2008.

Contenu

1 Gamme 3

2 Références normatives 3

3 Termes et définitions 3

3.1 Structure métallographique 3

3.2 Granulométrie WC 3

3.3 Distribution des phases de cobalt 3

3.4 Porosité 3

3.5 Carbone libre 3

3.6 Inclusion non métallique 4

3.7 Phase Eta 4

4 Méthodes d'essai 4

4.1 Principe

4.2 Instruments et équipements

4.3 Préparation des éprouvettes

4.4 Procédures d'essai

4.4.1 Test de porosité

Contrôle granulométrique du WC

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Essai de distribution de phase cobalt

Examen des tissus anormaux

4.5 Remarques 5

5. Évaluation des résultats des tests 6

5.1 Évaluation de la porosité 6

5.2 Évaluation de la granulométrie 6

5.3 Évaluation de la distribution de la phase cobalt 6

1

5.4 Évaluation des tissus anormaux 6

6 Rapport de test

1 Portée

Cette norme spécifie la méthode d'inspection de la structure métallographique du carbure cimenté. Caractéristiques microstructurales, y compris la taille des grains de WC, la distribution de phase de cobalt, la porosité, le carbone libre, les inclusions non métalliques et les anomalies

Cette norme s'applique au carbure de tungstène (WC) comme composant principal et contenant un liant métallique (tel que le cobalt).

Carbure cimenté.

Cette méthode convient au contrôle qualité, à l'évaluation des performances et à l'inspection de la structure métallographique dans la recherche de produits en carbure cimenté.

Cette norme ne s'applique pas à l'examen métallographique des revêtements en carbure cimenté ou des carbures cimentés non à base de WC (tels que les cermets).

2 Références normatives

Les clauses des documents suivants deviennent les clauses de cette norme par référence dans cette norme.

Pour tout document référencé non daté, la dernière édition (y compris tous les amendements) s'applique.

Cette norme.

- GB/T 1997-2008 Terminologie du carbure cimenté
- GB/T 2597-2008 Méthode d'essai de la porosité du carbure cimenté
- GB/T 3489-2008 Méthode de détermination de la microstructure du carbure cimenté
- GB/T 5248-2008 Méthodes d'analyse chimique du carbure cimenté

3 Termes et définitions

Les termes et définitions suivants s'appliquent à cette norme.

3.1 Structure métallographique

La microstructure du carbure cimenté observée au microscope métallographique comprend une phase dure (WC), une phase liante (Co), des pores,

La distribution et la morphologie du carbone libre et des inclusions non métalliques.

3,2 granulométrie WC

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

La taille moyenne des particules de carbure de tungstène (WC) dans le carbure cimenté est mesurée en micromètres (μm), généralement par la méthode d'interception linéaire ou Détermination par analyse d'image.

3.3 Distribution de la phase cobalt

Les états de distribution de la phase liante de cobalt (Co) dans le carbure cimenté sont divisés en distribution uniforme, ségrégation locale et pool de cobalt.

3.4 Porosité

La fraction volumique des pores dans le carbure cimenté, exprimée en pourcentage (%), est divisée en type A (diamètre $< 10 \mu\text{m}$), type B (10-25 μm de diamètre) et de type C (carbone libre).

3.5 Carbone libre

Le carbone du carbure cimenté qui ne forme pas de carbures avec le métal existe sous forme de phase C, généralement sous forme de particules noires.

3.6 Inclusion non métallique

Substances non métalliques dans le carbure cimenté, telles que les oxydes ou les sulfures, dérivées de matières premières ou de procédés, généralement sous forme de points ou de bandes. Existence.

3.7 Phase Êta

Les CoWC) formés en raison d'une teneur insuffisante en carbone dans le carbure cimenté sont généralement des triangles foncés ou Forme régulière.

4 Méthodes d'essai

4.1 Principe

La surface du carbure cimenté après polissage et gravure a été observée au microscope métallographique pour analyser la taille des grains de WC, la distribution de phase du cobalt, la taille des pores. porosité, carbone libre, inclusions non métalliques et structures anormales (telles que les phases), et les comparer avec les atlas standards pour évaluation.

4.2 Instruments et équipements

- Microscope métallurgique : grossissement de 100x à 1000x, équipé d'un oculaire et d'un objectif, avec une bonne résolution ($< 0,5 \mu\text{m}$).
- Équipement de polissage : utilisé pour polir la surface de l'échantillon, la vitesse du disque de polissage est de 200 à 300 tr/min, l'agent de polissage est de la pâte de diamant (grain

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

diamètre 1-3 μm).

- Équipement de gravure : Utiliser le réactif de Murakami (solution aqueuse à 10 % de KOH + 10 % de $\text{K}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$) ou 5 %

Mélange d'acide chlorhydrique et d'acide nitrique.

- Matériel de nettoyage : Machine de nettoyage à ultrasons, utilisant de l'éthanol ou de l'acétone comme agent de nettoyage.
- Diagramme caractéristique de la structure métallographique standard : Selon le diagramme fourni à l'annexe A, il est utilisé pour l'évaluation comparative.

4.3 Préparation des échantillons

4.3.1 Les échantillons doivent être prélevés sur des produits en carbure cémenté afin de garantir leur représentativité. Leur taille est généralement de 10 mm $\times$ 10 mm $\times$ 5 mm.

4.3.2 Utiliser une lame de coupe diamantée pour couper l'échantillon à une vitesse de coupe < 100 mm/min afin d'éviter d'introduire des fissures ou des dommages thermiques.

4.3.3 La surface de l'échantillon a été polie avec du papier de verre (grain 400, 800, 1200) en séquence, puis polie avec de la pâte diamantée jusqu'à ce que la surface
Aucune rayure apparente (rugosité $R_a < 0,1 \mu\text{m}$).

4.3.4 Nettoyez l'échantillon avec un nettoyeur à ultrasons (temps de nettoyage 5 min) pour éliminer la saleté de surface et les résidus d'agent de polissage.
Essuyer avec un chiffon à poussière.

4.3.5 Graver la surface de l'échantillon à l'aide du réactif de Murakami (temps de gravure 10-20 s) pour révéler les grains de WC et les phases de cobalt
Les bordures ont ensuite été rincées à l'eau distillée et séchées.

4.4 Étapes de test

4.4.1 Test de porosité

4.4.1.1 Sur la surface polie non gravée, utiliser un microscope métallographique (grossissement 200 fois) pour observer les pores, le carbone libre
et des inclusions non métalliques.

4.4.1.2 Sélectionnez au hasard 5 champs de vision (chaque champ de vision a une surface d'environ 0,1 mm²) et évaluez la porosité conformément à la norme GB/T 2597-2008.
note de taux (type A, type B, type C).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.4.1.3 Enregistrez le degré de porosité et les caractéristiques de distribution du carbone libre de chaque champ de vision.

4.4.2 Contrôle granulométrique du WC

Observez les grains de WC sur la surface de l'échantillon gravé à l'aide d'un microscope métallographique (grossissement 500 fois) .

4.4.2.2 Sélectionnez au hasard trois champs de vision et utilisez la méthode d'interception linéaire pour déterminer la taille des grains :

- Tracez 10 lignes droites aléatoires (chacune d'environ 100 μm de longueur) dans le champ de vision.
- Enregistrez le nombre d'intersections (N) de chaque ligne avec le joint de grain WC.
- Calculer la longueur moyenne de l'interception $L = \text{longueur totale de la ligne droite} / \text{Nombre total de points d'intersection}$.
- Granulométrie $d = 1,56 \times L$.

4.4.2.3 Calculez la taille moyenne des grains des trois champs de vision en μm .

4.4.3 Essai de distribution de phase cobalt

Observez la distribution de la phase cobalt sur la surface de l'échantillon gravé à l'aide d'un microscope métallographique (grossissement 200 fois) .

4.4.3.2 Sélectionnez au hasard 5 champs de vision pour observer si la phase de cobalt est uniformément répartie et s'il y a des bassins de cobalt (taille $> 5 \mu\text{m}$).

4.4.3.3 Enregistrer les caractéristiques de distribution de la phase cobalt (uniforme, ségrégation locale, pools de cobalt).

4.4.4 Examen des tissus anormaux

4.4.4.1 Phase d'inspection : La phase apparaît généralement sous forme de triangles foncés ou de formes irrégulières et se retrouve souvent dans des échantillons dont la teneur en carbone est insuffisante.

4.4.4.2 Vérifier les inclusions non métalliques : enregistrer leur forme (points, bandes) et leur répartition.

4.4.4.3 Si des tissus anormaux sont détectés, des photographies microscopiques doivent être prises et leur pourcentage de surface (%) doit être enregistré.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.5 Remarques

- Le temps de gravure doit être strictement contrôlé. Un temps trop long peut rendre les joints de grains flous, tandis qu'un temps trop court peut masquer la structure.
- Lors de l'observation de la taille des grains, assurez-vous que le nombre de grains dans le champ de vision est > 100 pour améliorer la précision statistique.
- Lors de l'évaluation de la distribution de la phase de cobalt, il convient de veiller à faire la distinction entre les bassins de cobalt et les pores afin d'éviter toute erreur de jugement.
- Si l'échantillon présente une structure anormale (par exemple, un rapport de phase $> 1\%$), la cause doit être analysée (par exemple, une teneur en carbone insuffisante, un frittage) (la température est trop élevée).

5. Évaluation des résultats des tests

5.1 Évaluation de la porosité

Selon la norme GB/T 2597-2008, la porosité est divisée en type A, type B et type C. Les résultats de l'évaluation sont basés sur 5 champs de vision.

Note moyenne indiquée.

5.2 Évaluation de la granulométrie

La granulométrie du WC est classée dans les catégories suivantes :

- Grain ultrafin : $< 0,5\ \mu\text{m}$;
- Grain fin : $0,5-1,0\ \mu\text{m}$;
- Mésograin : $1,0-2,0\ \mu\text{m}$;
- Gros grain : $> 2,0\ \mu\text{m}$.

5.3 Évaluation de la distribution de la phase cobalt

La distribution de la phase cobalt est divisée en :

- Distribution uniforme : pas de ségrégation évidente, pool de cobalt $< 1/\text{champ}$ de vision ;
- Ségrégation locale : 1 à 3 pools de cobalt / champ de vision, taille 5 à $10\ \mu\text{m}$;
- Ségrégation sévère : pools de cobalt $> 3/\text{champ}$, taille $> 10\ \mu\text{m}$.

5.4 Évaluation des tissus anormaux

Le rapport surfacique des phases et des inclusions non métalliques doit être inférieur à 1% . S'il dépasse 1% , l'anomalie doit être considérée comme non qualifiée et la cause doit être analysée.

6 Rapport de test

Le rapport de test doit inclure les éléments suivants :

- Numéro et source de l'échantillon (comme la marque du matériau, le lot de production).
- Date du test et personne qui l'a effectué.
- Conditions expérimentales : grossissement du microscope, nombre de champs de vision, agent de gravure et temps de gravure.
- Résultats des tests :

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

- Classe de porosité (Type A, Type B, Type C).
- Granulométrie WC (valeur moyenne et étendue, μm).
- Caractéristiques de distribution de phase cobalt.
- Description et proportion de structures anormales (ex. phases, inclusions non métalliques).
- Micrographies (si disponibles).
- Description des conditions anormales (telles que défauts de surface de l'échantillon, difficulté d'évaluation, etc.).
- Signature de l'unité de test et du responsable.

Annexe A (Annexe informative)

A.1 Caractéristiques de la structure métallographique

Ce qui suit est un atlas de référence des caractéristiques de la structure métallographique, qui est utilisé pour évaluer la microstructure du carbure cémenté.

• Granulométrie WC :

- Grain ultrafin : granulométrie moyenne $< 0,5 \mu\text{m}$.
- Grain fin : granulométrie moyenne $0,5-1,0 \mu\text{m}$.
- Mésocristallin : granulométrie moyenne $1,0-2,0 \mu\text{m}$.
- Gros grain : granulométrie moyenne $> 2,0 \mu\text{m}$.

Distribution de phase cobalt :

- Distribution uniforme : pas de ségrégation évidente de la phase cobalt et pool de cobalt < 1 par champ de vision.
- Ségrégation locale : 1 à 3 pools de cobalt / champ de vision, taille 5 à $10 \mu\text{m}$.
- Ségrégation sévère : pools de cobalt > 3 /champ de vision, taille $> 10 \mu\text{m}$.

• Mutuellement :

- Aucune phase : aucun triangle sombre ni structure irrégulière n'est visible dans le champ de vision.
- Phase mineure : part de surface $< 1 \%$, distribution dispersée.
- Phase en vrac : représente $> 1 \%$ de la surface et est distribuée de manière concentrée.

A.2 Instructions d'utilisation

- L'évaluation de la granulométrie doit être basée principalement sur la méthode d'interception linéaire. Si une analyse d'image est utilisée, cela doit être précisé.
- L'évaluation de la distribution de phase du cobalt nécessite une analyse complète combinée aux propriétés des matériaux (telles que la ténacité et la résistance à l'usure).
- La présence de phases indique généralement une teneur en carbone insuffisante et une analyse plus approfondie de la composition chimique et des paramètres du processus est recommandée.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

appendice:

GB/T 7997-2008
carbure cimenté
Méthode d'essai de dureté Vickers

Préface

Cette norme spécifie la méthode d'essai de la dureté Vickers du carbure cimenté, qui est destinée au carbure cimenté (principalement l'alliage dur WC-Co).

Cette norme s'applique à la production, au contrôle qualité et à la recherche sur le carbure cimenté. Détermination de la dureté Vickers dans les applications.

Cette norme fait référence à la norme internationale ISO 3878:1987 « Essai de dureté Vickers et de dureté Rockwell pour carbure cimenté » et combine Industrie nationale du carbure cimenté. Cette norme remplace les normes précédentes.

Cette norme a été proposée par la Fédération chinoise de l'industrie des machines et est gérée par l'Association chinoise de l'industrie du carbure cimenté.

Les unités de dessin comprennent : Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd., Institut de recherche sur les métaux, Académie chinoise des sciences, Institut de recherche sur les outils de Chengdu

Lieu.

Les principaux rédacteurs de cette norme sont :

Cette norme entrera en vigueur le 1er décembre 2008.

Contenu

1 Gamme 2	
2 Références normatives2	
3 Termes et définitions2	
3.1 Dureté Vickers	2
3.2 Indentation	2
3.3 Charge	2
3.4 Temps de séjour	2
4 Méthode d'essai 2	
4.1 Principe	2
4.2 Instruments et équipements . . .	
4.3 Préparation des éprouvettes . . .	
4.4 Conditions d'essai . . .	
4.5 Procédures d'essai	3
4.6 Remarques	3
5 Calcul et présentation des résultats 4	
5.1 Calcul de la dureté . . .	

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.2 Expression des résultats

6 Rapport d'essai 4

1 Portée

Cette norme spécifie la méthode d'essai pour la dureté Vickers du carbure cimenté, qui est applicable au carbure cimenté avec du carbure de tungstène (WC) comme composant principal et contenant Carbure cimenté avec liant métallique (tel que le cobalt). La méthode d'essai comprend la préparation de l'échantillon, la sélection des conditions d'essai, la mesure de l'empreinte et Calcul de la valeur de dureté.

Cette norme s'applique aux essais de dureté Vickers dans le contrôle de la qualité, l'évaluation des performances et la recherche des produits en carbure cimenté.

Cette norme ne s'applique pas à la détermination de la dureté des revêtements en carbure cimenté ou des carbures cimentés non à base de WC (tels que les cermets).

2 Références normatives

Les clauses des documents suivants deviennent les clauses de cette norme par référence dans cette norme.

Pour tout document référencé non daté, la dernière édition (y compris tous les amendements) s'applique.

Cette norme.

- GB/T 1997-2008 Terminologie du carbure cimenté
- GB/T 4340.1-2009 Essai de dureté Vickers pour matériaux métalliques Partie 1 : Méthode d'essai

3 Termes et définitions

Les termes et définitions suivants s'appliquent à cette norme.

3.1 Dureté Vickers

L'indenteur pyramidal tétraédrique en diamant est pressé dans la surface de l'échantillon et la longueur diagonale de l'indentation est mesurée sous une charge spécifiée pour calculer La valeur de dureté est exprimée en HV.

3.2 Indentation

Dans le test de dureté Vickers, le pénétrateur pyramidal quadrangulaire en diamant laisse une empreinte carrée sur la surface de l'échantillon.

3.3 Charge

La force appliquée au pénétrateur, en Newtons (N), est choisie en fonction de la dureté et de l'épaisseur de l'échantillon.

3.4 Temps de séjour

Le temps pendant lequel le pénétrateur maintient la charge après l'avoir appliquée, mesuré en secondes (s), généralement 10 à 15 secondes.

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

4 Méthodes d'essai

4.1 Principe

À l'aide d'un testeur de dureté Vickers, un pénétrateur pyramidal quadrangulaire en diamant (angle au sommet 136°) est enfoncé dans la surface de l'échantillon sous une charge spécifiée pour mesurer la dureté.

La longueur diagonale de l'indentation est utilisée pour calculer la valeur de dureté selon la formule.

4.2 Instruments et équipements

- Testeur de dureté Vickers : conformément à la norme GB/T 4340.1-2009, la plage de charge est de 1 kgf à 120 kgf (9,807 N à 1177 N), avec une précision de mesure de $0,5 \mu\text{m}$.
- Équipement de polissage : utilisé pour polir la surface de l'échantillon, l'agent de polissage est une pâte de diamant (taille des particules $1-3 \mu\text{m}$).
- Matériel de nettoyage : Machine de nettoyage à ultrasons, utilisant de l'éthanol ou de l'acétone comme agent de nettoyage.

4.3 Préparation des échantillons

4.3.1 Les échantillons doivent être prélevés sur des produits en carbure cimenté afin de garantir leur représentativité. Leur taille est généralement de $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$.
fois la profondeur d'indentation.

4.3.2 Utiliser une lame de coupe diamantée pour couper l'échantillon à une vitesse de coupe $< 100 \text{ mm/min}$ afin d'éviter d'introduire des fissures ou des dommages thermiques.

4.3.3 La surface de l'échantillon a été polie avec du papier de verre (grain 400, 800, 1200) en séquence, puis polie avec de la pâte diamantée jusqu'à ce que la surface
Aucune rayure apparente (rugosité $R_a < 0,1 \mu\text{m}$).

4.3.4 Nettoyez l'échantillon avec un nettoyeur à ultrasons (temps de nettoyage 5 min) pour éliminer la saleté de surface et les résidus d'agent de polissage.
Essuyer avec un chiffon à poussière.

4.4 Conditions d'essai

4.4.1 Sélection de la charge : Sélectionnez la charge en fonction de la dureté et de l'épaisseur de l'échantillon, reportez-vous à l'annexe A.

- Carbure cimenté à grains fins (granulométrie $< 1 \mu\text{m}$) : 5 kgf-10 kgf.
- Carbure mésocristallin (granulométrie $1-2 \mu\text{m}$) : 10 kgf-30 kgf.
- Carbure cimenté à gros grains (granulométrie $> 2 \mu\text{m}$) : 30 kgf-120 kgf.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.4.2 Temps de maintien : 10 à 15 secondes.

4.4.3 Environnement de test : température (23(5) ° C), humidité relative < 65 %, éviter les vibrations et les fortes interférences lumineuses.

4.5 Étapes de test

4.5.1 Fixer l'échantillon préparé sur l'établi du duromètre Vickers.

4.5.2 Sélectionnez une charge et un temps de maintien appropriés, puis appliquez la charge sur la surface de l'échantillon.

4.5.3 Après avoir retiré la charge, utilisez un microscope pour mesurer les longueurs des deux diagonales de l'indentation (d1 et d2) et prenez la valeur moyenne d.

4.5.4 Répétez l'essai et effectuez au moins 5 mesures sur l'échantillon, la distance entre les points de mesure étant au moins 3 fois la diagonale de l' empreinte.
Évitez l'influence mutuelle.

4.6 Remarques

- La surface de l'échantillon doit être plane, exempte de fissures, de rayures ou de contamination, sinon cela peut conduire à des mesures inexactes.
- Une charge trop importante peut entraîner une empreinte trop profonde, affectant la structure de l'échantillon ; une charge trop faible peut entraîner des erreurs de mesure.
Ajuster en fonction des caractéristiques de l'échantillon.
- Lors de la mesure de la longueur diagonale, assurez-vous que l'empreinte est claire et évitez les interférences dues aux reflets lumineux.

5 Calcul et présentation des résultats

5.1 Calcul de la dureté

La valeur de dureté Vickers est calculée selon la formule suivante :

$$HV = 1,8544 \times P$$

d 2 , où :

- HV : Valeur de dureté Vickers (unité : kgf / mm²) ;
- P : charge appliquée (unité : kgf) ;
- d : longueur diagonale moyenne de l'indentation (unité : mm) ;
- 1,8544 : constante du testeur de dureté Vickers (relative à un angle de pyramide de 136°).

5.2 Résultats

La valeur de dureté est exprimée sous la forme HV avec deux décimales. Par exemple : HV 1 600,25.
Pour indiquer la valeur de dureté, prenez la valeur des cinq mesures.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Valeur moyenne arithmétique, l'écart admissible est déterminé en fonction de la taille de la charge :

- Charge <10 kgf : Écart 5% ;
- Charge 10-30 kgf : Écart 3% ;
- Charge > 30 kgf : Écart 2%.

6 Rapport de test

Le rapport de test doit inclure les éléments suivants :

- Numéro et source de l'échantillon (comme la marque du matériau, le lot de production).
- Date du test et personne qui l'a effectué.
- Conditions d'essai : charge (kgf), temps de maintien (s), température et humidité ambiantes.
- Résultats des tests :
 - Longueur diagonale de l'empreinte pour chaque mesure (mm).
 - Valeur de dureté moyenne (HV).
 - Plage d'écart (%).
- Description des conditions anormales (telles que défauts de surface de l'échantillon, difficultés de mesure, etc.).
- Signature de l'unité de test et du responsable.

Type de carbure cimenté Plage de granulométrie (μm) Charge recommandée (kgf) Temps de maintien (s) Remarques

Carbure cimenté à grains ultrafins < 0,5 5-10 10-15 Convient aux matériaux de haute dureté

Carbure cimenté à grains fins 0,5-1,0 10-20 10-15 Dureté et ténacité équilibrées

Carbure cristallin moyen 1,0-2,0 20-50 10-15 Carbure à usage général

Carbure à gros grains > 2,0 50-120 10-15 Convient aux pièces résistantes à l'usure

Tableau 1 : Tableau de référence des conditions d'essai

Annexe A (Annexe informative)

A.1 Tableau de référence des conditions d'essai

A.2 Instructions d'utilisation

- La charge doit être ajustée en fonction de l'épaisseur de l'échantillon. Lorsque l'épaisseur est inférieure à 1 mm, la charge ne doit pas dépasser 5 kgf .
- Si la dureté des échantillons varie considérablement, il est recommandé de les mesurer dans différentes zones et de rapporter les résultats séparément.
- Si des empreintes irrégulières sont constatées lors de l'essai, il est nécessaire de vérifier la qualité de surface de l'échantillon ou d'ajuster la charge.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

appendice:

GB/T 18376-2008
carbure cimenté
Méthode de détermination de la granulométrie

Préface

Cette norme spécifie la méthode de détermination de la granulométrie du carbure cimenté et est destinée au carbure cimenté (principalement le carbure cimenté WC-Co).

Cette norme s'applique à la production de carbure cimenté, au contrôle de la qualité,

Détermination de la granulométrie dans la recherche et les applications.

Cette norme fait référence à la norme internationale ISO 4499-2:2008 « Méthodes d'examen métallographique du carbure cimenté Partie 2 : Taille des grains »

la norme remplace les normes pertinentes précédentes.

permettre.

Cette norme a été proposée par la Fédération chinoise de l'industrie des machines et est sous la gestion unifiée de l'Association chinoise de l'industrie du carbure cimenté.

Les organismes de rédaction de cette norme comprennent : Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd., Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, Chengdu Tool Research Institute Lieu.

Les principaux rédacteurs de cette norme

La présente norme entrera en vigueur le 1er décembre 2008.

Contenu

1 Gamme 2

2 Références normatives

3 Termes et définitions

3.1 Taille des grains

3.2 Méthode d'interception linéaire

3.3 Méthode d'analyse d'image

3.4 Taille moyenne des grains

4 Méthodes d'essai

4.1 Principe

4.2 Instruments et équipements

4.3 Préparation des échantillons

4.4 Étapes de test

4.4.1 Méthode d'interception linéaire

4.4.2 Analyse d'images

4.5 Remarques

5 Calcul et présentation des résultats

5.1 Calcul de la granulométrie

5.2 Résultats

6 Rapport de test

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 la méthode de détermination de la granulométrie du carbure de tungstène (WC) dans le carbure cimenté à l'aide de la méthode d'observation au microscope métallographique. et la méthode d'interception linéaire ou la méthode d'analyse d'image, qui est applicable au carbure de tungstène (WC) comme composant principal et contenant un liant métallique (tel que Carbure cimenté au cobalt.

Cette méthode convient au contrôle qualité, à l'évaluation des performances et à la détermination de la granulométrie des produits en carbure cimenté.

Cette norme ne s'applique pas à la détermination de la granulométrie des revêtements en carbure cimenté ou des carbures cimentés non à base de WC (tels que les cermets).

2 Références normatives

Les clauses des documents suivants deviennent les clauses de cette norme par référence dans cette norme.

Pour tout document référencé non daté, la dernière édition (y compris tous les amendements) s'applique.

Cette norme.

- GB/T 1997-2008 Terminologie du carbure cimenté
- GB/T 3489-2008 Méthode de détermination de la microstructure du carbure cimenté
- GB/T 5313-2008 Méthode d'essai de la structure métallographique du carbure cimenté

3 Termes et définitions

Les termes et définitions suivants s'appliquent à cette norme.

3.1 Taille des grains

La taille moyenne des particules de carbure de tungstène (WC) dans le carbure cimenté, en micromètres (μm), est généralement mesurée par la méthode de la section transversale ou Déterminé par la méthode d'interception linéaire.

3.2 Méthode d'interception linéaire

Sous un microscope métallographique, des lignes droites aléatoires ont été tracées sur la section transversale de l'échantillon et le nombre d'intersections entre les lignes droites et les joints de grains a été compté.

Méthode de calcul de la granulométrie moyenne.

3.3 Méthode d'analyse d'image

Procédé d'identification et de mesure automatique de la taille des grains en analysant l'image en coupe transversale d'un échantillon sous un microscope métallographique à l'aide d'un logiciel de traitement d'image.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.4 Taille moyenne des grains

La moyenne arithmétique de toutes les tailles de grains de WC dans l'échantillon représente les caractéristiques typiques de la microstructure du matériau.

4 Méthodes d'essai

4.1 Principe

La section transversale du carbure cimenté poli et gravé a été observée au microscope métallographique et la méthode d'interception linéaire ou la méthode d'analyse d'image a été utilisée pour mesurer

Déterminer la granulométrie du WC.

4.2 Instruments et équipements

- Microscope métallurgique : grossissement de 100x à 1000x, équipé d'un oculaire et d'un objectif, avec une bonne résolution ($<0,5 \mu\text{m}$).
- Équipement de polissage : utilisé pour polir la surface de l'échantillon, la vitesse du disque de polissage est de 200 à 300 tr/min, l'agent de polissage est de la pâte de diamant (grain 1-3 μm).
- Matériel de gravure : Utiliser le réactif de Murakami (solution aqueuse à 10 % de KOH + 10 % de $\text{K}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$).
- Matériel de nettoyage : Machine de nettoyage à ultrasons, utilisant de l'éthanol ou de l'acétone comme agent de nettoyage.
- Système d'analyse d'images (en option) : équipé d'un logiciel d'acquisition et de traitement d'images.

4.3 Préparation des échantillons

4.3.1 Les échantillons doivent être prélevés sur des produits en carbure cimenté afin de garantir leur représentativité. Leur taille est généralement de 10 mm $\times$ 10 mm $\times$ 5 mm.

4.3.2 Utiliser une lame de coupe diamantée pour couper l'échantillon à une vitesse de coupe < 100 mm/min afin d'éviter d'introduire des fissures ou des dommages thermiques.

4.3.3 La surface de l'échantillon a été polie avec du papier de verre (grain 400, 800, 1200) en séquence, puis polie avec de la pâte diamantée jusqu'à ce que la surface
Aucune rayure apparente (rugosité $R_a < 0,1 \mu\text{m}$).

4.3.4 Nettoyez l'échantillon avec un nettoyeur à ultrasons (temps de nettoyage 5 min) pour éliminer la saleté de surface et les résidus d'agent de polissage.
Essuyer avec un chiffon à poussière.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.3.5 Utilisez le réactif de Murakami pour graver la surface de l'échantillon (temps de gravure 10 à 20 s) afin de révéler les limites des grains WC.

Rincez ensuite à l'eau distillée et séchez.

4.4 Étapes de test

4.4.1 Méthode d'interception linéaire

4.4.1.1 Placer l'échantillon sous un microscope métallographique et ajuster le grossissement (généralement 500 fois) pour garantir que les limites des grains sont claires et visibles.

Voir.

4.4.1.2 Sélectionnez aléatoirement 3 champs de vision (chaque champ de vision a une surface d'environ 0,1 mm²).

4.4.1.3 Tracez 10 lignes droites aléatoires (chacune d'environ 100 µm de long) dans chaque champ de vision et enregistrez la distance entre chaque ligne droite et WC.

Le nombre d'intersections de joints de grains (N).

4.4.1.4 Calculer la longueur moyenne de l'interception :

$L = \text{longueur totale droite} / \text{Total des points d'intersection}$

4.4.1.5 Taille des grains : $d = 1,56 \times L$

4.4.1.6 Calculez la taille moyenne des grains des trois champs de vision comme résultat final.

4.4.2 Analyse d'images

4.4.2.1 Placez l'échantillon sous un microscope métallographique, ajustez le grossissement (généralement 500 fois) et prenez des photos des trois champs de vision.

Micro photo.

4.4.2.2 Utiliser un logiciel d'analyse d'image pour identifier automatiquement les limites des grains WC et mesurer la taille d'au moins 100 grains dans chaque champ de vision.

pouce.

4.4.2.3 Calculez la taille moyenne des grains de chaque champ de vision et prenez la moyenne arithmétique des trois champs de vision comme résultat final.

4.5 Remarques

- Le temps de gravure doit être strictement contrôlé. Un temps trop long peut rendre les joints de

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

grains flous, tandis qu'un temps trop court peut les masquer.

- Pendant l'observation, assurez-vous qu'il y a suffisamment de grains (> 100) dans le champ de vision pour améliorer la précision statistique.
- Dans la méthode d'interception linéaire, les lignes doivent être distribuées de manière aléatoire pour éviter tout biais de sélection.
- Dans la méthode d'analyse d'image, les paramètres du logiciel doivent être calibrés pour garantir la précision de la mesure.

5 Calcul et présentation des résultats

5.1 Calcul de la granulométrie

- Méthode d'interception linéaire : taille des grains $d = 1,56 \times L$, où 1,56 est le facteur de correction.
- Méthode d'analyse d'image : prendre directement la granulométrie moyenne calculée par le logiciel.

5.2 Résultats

La granulométrie est exprimée en micromètres (μm) avec deux décimales. Par exemple : 0,85 μm . Lors de la déclaration, le

La méthode (méthode d'interception linéaire ou méthode d'analyse d'image) et le nombre de mesures peuvent avoir un écart de $\pm 0,1 \mu\text{m}$ ou $\pm 10 \%$ (selon la valeur la plus élevée), selon le cas).

6 Rapport de test

Le rapport de test doit inclure les éléments suivants :

- Numéro et source de l'échantillon (comme la marque du matériau, le lot de production).
- Date du test et personne qui l'a effectué.
- Conditions expérimentales : grossissement du microscope, nombre de champs de vision, agent de gravure et temps de gravure.
- Résultats des tests :
 - Taille des grains (μm) pour chaque mesure.
 - Taille moyenne des grains (μm).
 - Méthode de mesure (méthode d'interception linéaire ou analyse d'image).
- Description des conditions anormales (telles que défauts de surface de l'échantillon, difficultés de mesure, etc.).
- Signature de l'unité de test et du responsable.

Annexe A (Annexe informative)

A.1 Tableau des granulométries

Gamme de granulométrie (μm) Grade Applications typiques

<0,5 Outils de coupe à haute dureté à grains ultrafins

0,5-1,0 Pièces de coupe et d'usure à usage général à grain fin

1,0-2,0 Grain moyen, équilibre dureté et ténacité

>2,0 Pièces résistantes à l'usure à gros grains et à forte charge

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tableau 1 : Tableau des granulométries

A.2 Instructions d'utilisation

- La granulométrie peut être utilisée comme référence pour la classification des performances des matériaux, mais elle doit être combinée aux exigences réelles de l'application.
- Pour les échantillons avec une distribution granulométrique inégale, il est recommandé d'augmenter le nombre de champs (à 5-10) pour améliorer la représentativité.
- Si les résultats des deux méthodes diffèrent significativement, la méthode d'interception linéaire doit être utilisée comme valeur standard.

appendice:

ISO 4505:1978
carbure cimenté

Détermination métallographique de la porosité et du carbone libre

Préface

Cette norme spécifie la méthode de détermination métallographique de la porosité et du carbone libre dans le carbure cimenté et vise à fournir

Cette norme fournit des spécifications techniques unifiées pour le contrôle de la qualité et l'évaluation des performances du carbure cimenté WC-Co.

Analyse de la porosité et du carbone libre dans la production, la recherche et les applications des alliages.

Cette norme a été élaborée par l'Organisation internationale de normalisation (ISO) et publiée pour la première fois en 1978. Elle s'applique au carbure de tungstène (WC).

Carbure cimenté dont le nickel est le composant principal et contenant un liant métallique (tel que le cobalt).

Contenu

- 1 Portée
- 2 Références normatives
- 3 Termes et définitions
 - 3.1 Porosité
 - 3.2 Carbone libre
 - 3.3 Examen métallographique
- 4 Méthodes d'essai
 - 4.1 Principe
 - 4.2 Instruments et équipements
 - 4.3 Préparation des échantillons
 - 4.4 Étapes de test
 - 4.5 Remarques
- 5 Évaluation des résultats
 - 5.1 Évaluation de la porosité
 - 5.2 Évaluation gratuite du carbone
- 6 Rapport de test

1 Portée

Cette norme spécifie la méthode de détermination métallographique de la porosité et du carbone libre dans le carbure cimenté, en utilisant la méthode d'observation au microscope métallographique, adaptée à

Pour le carbure cimenté dont le composant principal est le carbure de tungstène (WC) et qui contient un liant métallique (tel que le cobalt). La méthode inclut l'échantillon.

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

Préparation, observation microscopique et évaluation des résultats.

Cette norme s'applique à la détermination de la porosité et du carbone libre dans le contrôle de la qualité et l'évaluation des performances des produits en carbure cimenté.

Cette norme ne s'applique pas à l'analyse des revêtements en carbure cimenté ou des carbures cimentés non à base de WC (tels que les cermets).

2 Références normatives

Cette norme ne fait pas directement référence à d'autres normes internationales, mais est liée à la série de normes ISO 4499 « Examen métallographique du carbure cimenté »

La dernière version peut être utilisée comme référence.

3 Termes et définitions

Les termes et définitions suivants s'appliquent à cette norme.

3.1 Porosité

La fraction volumique des pores dans le carbure cimenté, exprimée en pourcentage (%), est divisée en type A (diamètre < 10 μm), type B (10-25 μm de diamètre) et de type C (pores liés au carbone libre).

3.2 Carbone libre

Le carbone du carbure cimenté qui ne forme pas de carbures avec le métal existe sous forme de phase C, généralement sous forme de particules noires.

3.3 Examen métallographique

Observez la microstructure de la surface polie ou après gravure du carbure cimenté à travers un microscope métallographique pour identifier les pores et le carbone libre.

4 Méthodes d'essai

4.1 Principe

Observez la surface polie du carbure cimenté au microscope métallographique, identifiez et classez les pores et le carbone libre, et

L'évaluation quantitative ou qualitative peut être réalisée à l'aide de méthodes numériques.

4.2 Instruments et équipements

- Microscope métallurgique : grossissement de 100x à 500x, équipé d'un oculaire et d'un objectif, avec une bonne résolution (<0,5 μm).
- Équipement de polissage : utilisé pour polir la surface de l'échantillon, l'agent de polissage est une pâte de diamant (taille des particules 1-3 μm).
- Matériel de nettoyage : Utiliser de l'éthanol ou de l'acétone, équipé d'une machine de nettoyage à ultrasons.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.3 Préparation des échantillons

4.3.1 Les échantillons doivent être prélevés sur des produits en carbure cémenté afin de garantir leur représentativité. Leur taille est généralement de 10 mm × 10 mm × 5 mm.

4.3.2 Utiliser une lame de coupe diamantée pour couper l'échantillon à une vitesse de coupe < 100 mm/min afin d'éviter d'introduire des fissures ou des dommages thermiques.

4.3.3 La surface de l'échantillon est polie avec du papier de verre (grain 400, 800, 1200) en séquence, puis polie avec de la pâte diamantée jusqu'à ce que la surface
Aucune rayure apparente (rugosité $R_a < 0,1 \mu\text{m}$).

4.3.4 Nettoyez l'échantillon avec un nettoyeur à ultrasons (temps de nettoyage 5 min) pour éliminer la saleté de surface et les résidus d'agent de polissage.
Essuyer avec un chiffon à poussière.

4.3.5 La surface de l'échantillon n'a pas besoin d'être gravée et peut être directement utilisée pour l'observation de la porosité et du carbone libre.

4.4 Étapes de test

4.4.1 Placer l'échantillon sous un microscope métallographique et ajuster le grossissement (généralement 200 fois) pour s'assurer que les pores et le carbone libre sont clairs.
Clairement visible.

4.4.2 Sélectionnez au hasard 5 champs de vision (chaque champ de vision a une surface d'environ $0,1 \text{ mm}^2$) et observez et enregistrez la distribution des pores et du carbone libre.

4.4.3 Identifier selon les catégories suivantes :

- Pores de type A : diamètre $< 10 \mu\text{m}$, de forme ronde ou irrégulière.
- Pores de type B : 10 à $25 \mu\text{m}$ de diamètre, apparaissant comme des trous plus grands.
- Pores de type C : associés au carbone libre et répartis sous forme de particules noires.

4.4.4 Comptez le nombre de pores et de carbone libre dans chaque champ de vision, ou comparez et évaluez avec le spectre standard.

4.5 Remarques

- La surface de l'échantillon doit être plane et exempte de rayures ou de contamination, sinon la porosité risque d'être mal évaluée.
- Évitez les interférences dues à la réflexion de la lumière pendant l'observation et assurez des

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

limites claires entre les pores et le carbone libre.

- Si la distribution des pores sur la surface de l'échantillon est inégale, augmentez le nombre de champs à 10 pour améliorer la représentativité.

5 Évaluation des résultats

5.1 Évaluation de la porosité

Selon la norme ISO 4505:1978, la porosité est classée selon les niveaux suivants :

- A00 : pas de pores de type A ;
- A02 : Pores de type A < 2 / champ de vision ;
- A04 : 2 à 4 pores de type A / champ ;
- B00 : pas de pores de type B ;
- B02 : Pores de type B < 2 / champ de vision ;
- C00 : pas de pores de type C ;
- C02 : pores de type C < 2 / champ de vision.

5.2 Évaluation gratuite du carbone

Le carbone libre existe sous la forme de pores de type C, et la classification est cohérente avec celle des pores de type C :

- C00 : pas de carbone libre ;
- C02 : Carbone libre < 2 / champ de vision.

6 Rapport de test

Le rapport de test doit inclure les éléments suivants :

- Numéro et source de l'échantillon (comme la marque du matériau, le lot de production).
- Date du test et personne qui l'a effectué.
- Conditions expérimentales : grossissement du microscope, nombre de champs de vision.
- Résultats des tests :
 - Classe de porosité (Type A, Type B, Type C).
 - Description de la distribution gratuite du carbone.
- Description des conditions anormales (telles que défauts de surface de l'échantillon, difficulté d'observation, etc.).
- Signature de l'unité de test et du responsable.

Annexe A (Annexe informative)

A.1 Diagramme caractéristique de la porosité et du carbone libre

Ce qui suit est un graphique de référence de la porosité et du carbone libre :

- Pores de type A : diamètre $< 10 \mu\text{m}$, dispersés de forme ronde ou irrégulière.
- Pores de type B : 10 à $25 \mu\text{m}$ de diamètre, apparaissant comme de grands trous isolés.
- Pores de type C (carbone libre) : granuleux noirs, associés à des pores de type A ou de type B.

A.2 Instructions d'utilisation

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Les évaluations de la porosité et du carbone libre doivent être basées sur la moyenne de 5 champs de vision.
- Si davantage de pores de type C sont trouvés, une analyse plus approfondie de la composition chimique est recommandée pour vérifier si la teneur en carbone est insuffisante.

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 3326:2013

Méthodes d'échantillonnage et de préparation des échantillons de carbure cémenté

Préface

Cette norme spécifie les méthodes d'échantillonnage et de préparation des échantillons pour le carbure cémenté et vise à fournir

Fournir des spécifications techniques uniformes pour les tests de performance ultérieurs (tels que l'examen métallographique, la mesure de la dureté et l'analyse de la granulométrie) des alliages de haute qualité

La norme s'applique à l'échantillonnage et à la préparation des échantillons dans la production, le contrôle de la qualité, la recherche et l'application du carbure cémenté.

Cette norme a été élaborée par l'Organisation internationale de normalisation (ISO) et a été publiée pour la première fois en 2013, remplaçant la norme ISO 3326:1975.

Cela combine les besoins de l'industrie moderne du carbure cémenté avec le développement de la technologie de test.

Contenu

1 Portée

2 Références normatives

3 Termes et définitions

3.1 Échantillonnage

3.2 Échantillon d'essai

3.3 Surface polie

3.4 Représentativité

4 méthodes d'échantillonnage

4.1 Principes d'échantillonnage

4.2 Procédures d'échantillonnage

4.3 Remarques

5. Méthode de préparation des échantillons

5.1 Principes de préparation

5.2 Étapes de préparation

5.3 Applicabilité

5.4 Remarques

6 Exigences de qualité

7 Rapport de test

1 Portée

Cette norme spécifie les méthodes d'échantillonnage et de préparation des échantillons pour le carbure cémenté, qui s'applique au carbure cémenté avec du carbure de tungstène (WC) comme composant principal.

Carbure cémenté contenant un liant métallique tel que le cobalt. La méthode consiste à prélever un

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

échantillon d'un produit ou d'une matière première en carbure cimenté et à le préparer.

Échantillons pour détermination métallographique, de dureté, de densité et de granulométrie.

Cette norme s'applique au contrôle de la qualité, aux tests de performance et à la recherche pendant le processus de production de carbure cimenté.

Cette norme ne s'applique pas à l'échantillonnage et à la préparation des revêtements en carbure cimenté ou des carbures cimentés non à base de WC (tels que les cermets).

2 Références normatives

Les clauses des documents suivants deviennent les clauses de cette norme par référence dans cette norme.

Pour tout document référencé non daté, la dernière édition (y compris tous les amendements) s'applique.

Cette norme.

- ISO 4499-1:2008 Méthodes d'examen métallographique des carbures cimentés Partie 1 : Généralités
- ISO 4505:2017 Détermination métallographique de la porosité et du carbone libre dans les carbures cimentés
- ISO 3327:2009 Détermination de la masse volumique du carbure cimenté

3 Termes et définitions

Les termes et définitions suivants s'appliquent à cette norme.

3.1 Échantillonnage

Sélectionnez des pièces représentatives de produits en carbure cimenté ou de matières premières pour des tests de performances ultérieurs.

3.2 Échantillon d'essai

Après échantillonnage et préparation, les échantillons de carbure cimenté répondent à des exigences de test spécifiques.

3.3 Surface polie

Après un traitement mécanique ou chimique, la surface de l'échantillon est lisse sans rayures ni défauts évidents, ce qui convient à l'observation métallographique.

Observer.

3.4 Représentativité

La mesure dans laquelle l'échantillon reflète les caractéristiques globales du matériau parent en termes de taille, de structure et de composition.

4 méthodes d'échantillonnage

4.1 Principes d'échantillonnage

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

4.1.1 L'échantillonnage doit garantir que les échantillons sont représentatifs et couvrent l'homogénéité et les défauts potentiels des produits ou des matières premières.

4.1.2 Le lieu d'échantillonnage doit éviter les effets de bord ou les zones affectées par le traitement.

4.2 Procédures d'échantillonnage

4.2.1 Échantillonnage des produits finis :

1 à 2 échantillons dans les directions longitudinale et transversale . La longueur de l'échantillon est égale au diamètre du produit.

fois le diamètre ou l'épaisseur, et la largeur n'est pas inférieure à 5 mm.

– Pour les produits de forme complexe, sélectionnez une section représentative et découpez-y un morceau de 10 mm × 10 mm × 5 mm

Échantillon.

4.2.2 Échantillonnage des matières premières :

– Choisir au hasard parmi la poudre ou le corps vert pré-fritté, pesant au moins 50 g, bien mélanger et préparer de petites éprouvettes

Échantillon .

4.2.3 Outil de coupe : Utilisez une lame de coupe diamantée avec une vitesse de coupe < 100 mm/min pour éviter d'introduire des dommages thermiques ou des fissures.

4.3 Remarques

- Éviter toute contamination (par exemple par de l'huile ou de la poussière) pendant l'échantillonnage.
- Si la dureté des produits varie considérablement, augmentez le nombre de points d'échantillonnage à 5-10 .

5. Méthode de préparation des échantillons

5.1 Principes de préparation

5.1.1 Les échantillons doivent être préparés avec une surface plane et sans défaut adaptée aux exigences des essais ultérieurs.

5.1.2 Le processus de préparation doit minimiser les dommages matériels, tels que les fissures ou les déformations structurelles.

5.2 Étapes de préparation

5.2.1 Coupe initiale :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

– Découper grossièrement l'échantillon à la taille requise à l'aide d'un disque à tronçonner diamanté d'au moins 5 mm d'épaisseur.

5.2.2 Broyage grossier :

– Poncer la surface de l'échantillon avec du papier de verre (grain 400, 800) pour éliminer les traces de coupe.

5.2.3 Meulage fin et polissage :

– Ponçage supplémentaire avec du papier de verre grain 1200 suivi d'un polissage avec de la pâte diamantée (grain 1-3 μm) sur une polisseuse
Polir jusqu'à une rugosité de $R_a < 0,1 \mu\text{m}$.

5.2.4 Nettoyage :

– Nettoyer l'échantillon dans un nettoyeur à ultrasons (éthanol ou acétone, 5 min) pour éliminer l'agent de polissage restant et
Sécher avec un chiffon.

5.2.5 Gravure (facultatif) :

– Si une observation métallographique est nécessaire, utiliser le réactif de Murakami (solution aqueuse à 10 % de KOH + 10 % de $\text{K}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$)
Graver la surface (10-20 s), puis rincer à l'eau distillée et sécher.

5.3 Applicabilité

- Inspection métallographique : Doit être poli pour obtenir une finition miroir et gravé si nécessaire.
- Test de dureté : L'épaisseur doit être au moins 1,5 fois supérieure à la profondeur d'indentation et la surface doit être plane.
- Détermination de la densité : L'échantillon a une forme régulière (comme un cube ou un cylindre) et aucun pore.

5.4 Remarques

- Évitez la surchauffe pendant le polissage pour éviter les modifications structurales.
- Les bords de l'échantillon doivent être chanfreinés pour éviter la propagation des fissures.
- Si des rayures apparaissent sur la surface de l'échantillon, il doit être à nouveau poli.

6 Exigences de qualité

6.1 La surface de l'échantillon doit être exempte de rayures, de fissures ou de contaminations évidentes.

6.2 La tolérance de taille de l'échantillon est de $\pm 0,1 \text{ mm}$ et la planéité est $< 0,05 \text{ mm}$.

6.3 La rugosité de surface après polissage est $R_a < 0,1 \mu\text{m}$, adaptée aux tests de haute précision.

7 Rapport de test

Le rapport de test doit inclure les éléments suivants :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Numéro et source de l'échantillon (comme la marque du matériau, le lot de production).
- Date à laquelle l'échantillon a été prélevé et qui l'a préparé.
- Méthodes d'échantillonnage : localisation, quantité, outils.
- Processus de préparation : conditions de découpe, de meulage, de polissage, de nettoyage.
- Qualité de l'échantillon : taille, état de surface.
- Description de la situation anormale (telle que dommage, contamination, etc.).
- Signature de l'unité de test et du responsable.

Annexe A (Annexe informative)

A.1 Exemples d'échantillonnage et de préparation

- Échantillonnage de barres : Deux échantillons de 10 mm d'épaisseur ont été coupés longitudinalement à partir d'une barre de 20 mm de diamètre et préparés comme 10 mm × 10 mm × 5 mm.
- Échantillonnage de plaque : prélever au hasard 4 échantillons de 10 mm × 10 mm sur la plaque de 5 mm d'épaisseur.
- Processus de polissage : papier de verre grain 400 2 min, papier de verre grain 800 2 min, papier de verre grain 1200 3 min, polissage à la pâte diamantée 5 min min.

A.2 Instructions d'utilisation

- Les points d'échantillonnage doivent être enregistrés pour faciliter la traçabilité.
- Pour le carbure cémenté multiphasé, faire attention à l'uniformité de la répartition de chaque phase lors de la préparation.
- Si les exigences de test ultérieures sont différentes, le degré de polissage peut être ajusté.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

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

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

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

Serving Customers

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

Service Commitment

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

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

appendice:

ASTM B657-16

Analyse de la microstructure du carbure cimenté

Préface

Cette norme spécifie la méthode d'analyse de la microstructure du carbure cimenté, visant à fournir Cette norme s'applique à la production de carbure cimenté, au contrôle de la qualité, Analyse microstructurale dans la recherche et les applications.

Cette norme a été élaborée par l'American Society for Testing and Materials (ASTM) et publiée en 2016, remplaçant la norme ASTM B657-11 version, combinant les besoins de l'industrie moderne du carbure cimenté avec le développement des techniques microanalytiques.

Contenu

1 Portée

2 Références normatives

3 Termes et définitions

3.1 Carbure cimenté

3.2 Microstructure

3.3 Phase liante

3.4 Porosité

3.5 Carbone libre

4 Méthodes d'essai

4.1 Principe

4.2 Instruments et équipements

4.3 Préparation des échantillons

4.4 Étapes de test

4.5 Remarques

5 Évaluation des résultats

5.1 Caractéristiques microstructurales

5.2 Facteurs d'influence

6 Rapport de test

1 Portée

Cette norme spécifie la méthode d'analyse de la microstructure du carbure cimenté, utilisant la méthode d'observation au microscope métallographique, applicable au carbure de tungstène. (WC) comme composant principal et contenant un liant métallique (tel que le cobalt). La méthode comprend la préparation des échantillons et l'observation microscopique. Observation et identification des caractéristiques microstructurales. Cette norme s'applique au contrôle de la qualité, à l'évaluation des performances et à l'analyse de la microstructure dans la recherche de produits en carbure cimenté.

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 ne s'applique pas à l'analyse microstructurale des revêtements en carbure cimenté ou des carbures cimentés non à base de WC (tels que les cermets).

Remarque : Cette norme ne traite pas des questions de sécurité. Les utilisateurs doivent prendre les mesures de sécurité nécessaires en fonction des conditions expérimentales.

2 Références normatives

Les clauses des documents suivants deviennent les clauses de cette norme par référence dans cette norme.

Pour tout document référencé non daté, la dernière édition (y compris tous les amendements) s'applique.

Cette norme.

- Méthodes ASTM E3 pour la préparation d'échantillons métallographiques de matériaux métalliques
- Terminologie standard ASTM E7 pour la métallographie
- Méthode ASTM E112 pour la détermination de la granulométrie moyenne

3 Termes et définitions

Les termes et définitions suivants s'appliquent à cette norme.

3.1 Carbure cimenté

Matériau composite fabriqué à partir de particules de carbure de tungstène (WC) et d'un liant métallique (tel que le cobalt) par métallurgie des poudres.

3.2 Microstructure

Les caractéristiques structurales du carbure cimenté observées au microscope métallographique comprennent les grains de WC, les phases de liaison et les défauts (tels que les pores, carbone libre).

3.3 Phase liante

La phase métallique reliant les particules de WC dans le carbure cimenté est généralement du cobalt (Co) et est distribuée de manière continue ou semi-continue.

3.4 Porosité

Les minuscules trous dans le carbure cimenté sont divisés en type A (<10 µm), type B (10-25 µm) et type C selon leur taille.
(lié au carbone libre).

3.5 Carbone libre

Le carbone du carbure cimenté qui ne forme pas de carbures avec le métal est distribué sous forme de particules noires.

4 Méthodes d'essai

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.1 Principe

La section transversale polie et gravée du carbure cimenté a été observée au microscope métallographique pour identifier les grains de WC, la phase liante, les pores et Caractéristiques microstructurales telles que le carbone libre.

4.2 Instruments et équipements

- Microscope métallurgique : grossissement 100x à 1000x, résolution < 0,5 μm .
- Équipement de polissage : L'agent de polissage est une pâte de diamant (granulométrie 1-3 μm).
- Agent de gravure : réactif de Murakami (10 % KOH + 10 % K[Fe(CN)] dans l'eau).
- Matériel de nettoyage : Machine de nettoyage à ultrasons, utilisant de l'éthanol ou de l'acétone.

4.3 Préparation des échantillons

4.3.1 Les échantillons doivent être prélevés sur des produits en carbure cimenté afin de garantir leur représentativité. Leur taille est généralement de 10 mm $\times$ 10 mm $\times$ 5 mm.

mm.

4.3.2 Utiliser une lame de coupe diamantée pour couper l'échantillon à une vitesse de coupe < 100 mm/min afin d'éviter d'introduire des fissures ou des dommages thermiques.

4.3.3 La surface de l'échantillon a été polie avec du papier de verre (grain 400, 800, 1200) en séquence, puis polie avec de la pâte diamantée jusqu'à ce que la surface Rugosité $R_a < 0,1 \mu\text{m}$.

4.3.4 Nettoyez l'échantillon avec un nettoyeur à ultrasons (temps de nettoyage 5 min) pour éliminer la saleté de surface et les résidus d'agent de polissage.
Essuyer avec un chiffon à poussière.

4.3.5 Graver la surface de l'échantillon à l'aide du réactif de Murakami (temps de gravure 10-20 s) pour révéler les limites des grains de WC et
Les caractéristiques microstructurales ont ensuite été rincées à l'eau distillée et séchées.

4.4 Étapes de test

4.4.1 Placer l'échantillon sous un microscope métallographique, ajuster le grossissement (généralement 500 fois) et observer la microstructure.

4.4.2 Sélectionnez au hasard 5 champs de vision (chaque champ de vision a une surface d'environ 0,1 mm²) et enregistrez les caractéristiques suivantes :

- Granulométrie et distribution du WC.
- Distribution et morphologie de la phase liante.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Type et quantité de pores (type A, type B, type C).
- Présence et répartition du carbone libre.

4.4.3 Comparer avec l'atlas de microstructure standard et évaluer les caractéristiques microstructurales.

4.5 Remarques

- Le temps de gravure doit être strictement contrôlé. Un temps trop long peut entraîner des joints de grains flous, tandis qu'un temps trop court peut masquer les caractéristiques structurales.
- Assurez-vous qu'il y a suffisamment de grains (> 100) dans le champ de vision pour améliorer la précision statistique.
- Si la microstructure est inégalement répartie, augmentez le nombre de champs à 10.

5 Évaluation des résultats

5.1 Caractéristiques microstructurales

- Grains WC : évaluer la granulométrie (grains ultrafins $< 0,5 \mu\text{m}$, grains fins $0,5-1,0 \mu\text{m}$, grains moyens $1,0-2,0 \mu\text{m}$, grains grossiers $> 2,0 \mu\text{m}$) et uniformité de la distribution.
- Phase liante : décrit la continuité de la phase cobalt (homogène, discontinue ou agglomérée).
- Porosité : classée en type A, type B et type C, et notée (A00 : pas de pores de type A ; A02 : < 2 champ ; B00 : pas de pores de type B ; C00 : pas de pores de type C).
- Carbone libre : évaluer la présence et la distribution (C00 : pas de carbone libre ; C02 : < 2 par champ de vision).

5.2 Facteurs d'influence

La microstructure affecte les propriétés mécaniques et physiques du carbure cimenté :

- Une taille de grain plus petite augmente généralement la dureté et la résistance à l'usure, mais peut réduire la ténacité.
- Une porosité accrue peut réduire la résistance et la durabilité.
- Un excès de carbone libre peut provoquer une fragilisation du matériau.

6 Rapport de test

Le rapport de test doit inclure les éléments suivants :

- Numéro et source de l'échantillon (comme la marque du matériau, le lot de production).
- Date du test et personne qui l'a effectué.
- Conditions expérimentales : grossissement du microscope, nombre de champs de vision, conditions de gravure.
- Résultats des tests :
 - Description de la granulométrie et de la distribution du WC.
 - Morphologie de la phase liante.
 - Cote de porosité et de carbone libre.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Description des conditions anormales (telles que défauts de surface de l'échantillon, difficulté d'observation, etc.).
- Signature de l'unité de test et du responsable.

Annexe A (Annexe informative)

A.1 Caractéristiques de la microstructure

- Structure de grains ultrafins : granulométrie $< 0,5 \mu\text{m}$, uniformément répartie et phase de liaison continue.
- Types de pores : Type A ($< 10 \mu\text{m}$), Type B ($10-25 \mu\text{m}$), Type C (granuleux noir).
- Carbone libre : granulaire noir, souvent avec des pores de type C.

A.2 Instructions d'utilisation

- Cette norme est uniquement utilisée pour l'identification microstructurale et n'est pas destinée à servir de spécification d'acceptation pour les nuances de carbure cimenté.
- Les fabricants et les utilisateurs peuvent développer leurs propres spécifications sur la base d'informations microstructurales.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

appendice:

ISO 4489:2009

Guide du processus de frittage du carbure cimenté

Préface

Cette norme fournit des conseils sur le processus de frittage du carbure cimenté, visant le carbure cimenté (principalement le carbure cimenté WC-Co)

Cette norme s'applique à l'optimisation du processus de frittage et au contrôle qualité dans la production de carbure cimenté.

Améliorations du contrôle et des performances.

Cette norme a été élaborée par l'Organisation internationale de normalisation (ISO) et publiée en 2009, remplaçant la version ISO 4489:1978.

Il combine le développement de la technologie de frittage moderne et les besoins industriels.

Contenu

1 Portée

2 Références normatives

3 Termes et définitions

3.1 Frittage

3.2 Frittage en phase liquide

3.3 Pacte vert

3.4 Densité frittée

4 Aperçu du processus de frittage

4.1 Principe du processus

4.2 Flux de processus

5 Paramètres du processus de frittage

5.1 Température

5.2 Atmosphère

5.3 Heure

5.4 Pression (facultatif)

5.5 Remarques

6 Contrôle des processus et assurance qualité

6.1 Surveillance en ligne

6.2 Contrôle de la qualité

6.3 Gestion des exceptions

7 Rapport de test

1 Portée

Cette norme spécifie la méthode de guidage pour le procédé de frittage du carbure cimenté et s'applique au carbure cimenté avec du carbure de tungstène (WC) comme composant principal et contenant

Carbure cimenté avec liant métallique (tel que le cobalt). Le procédé comprend la préparation avant frittage, le contrôle du procédé et les propriétés post-frittage.

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

Évaluer.

Cette norme s'applique à l'optimisation du processus de frittage, au contrôle qualité et à la recherche dans le processus de production du carbure cimenté.

Cette norme ne s'applique pas au procédé de frittage des revêtements en carbure cimenté ou des carbures cimentés non à base de WC (tels que les cermets).

2 Références normatives

Les clauses des documents suivants deviennent les clauses de cette norme par référence dans cette norme.

Pour tout document référencé non daté, la dernière édition (y compris tous les amendements) s'applique.

Cette norme.

- ISO 3326:2013 Méthodes d'échantillonnage et de préparation des éprouvettes pour carbures cimentés
- ISO 4505:2017 Détermination métallographique de la porosité et du carbone libre dans les carbures cimentés
- ISO 4499-1:2008 Méthodes d'examen métallographique des carbures cimentés Partie 1 : Généralités

3 Termes et définitions

Les termes et définitions suivants s'appliquent à cette norme.

3.1 Frittage

Procédé de chauffage et de pressage de la poudre d'alliage dur pour former une liaison métallurgique entre les particules. La température est généralement inférieure à Point de fusion du composant principal.

3.2 Frittage en phase liquide

Lors du frittage, une partie du liant (par exemple, le cobalt) fond dans la phase liquide, favorisant le réarrangement et la densification des particules.

3.3 Pacte vert

Le corps vert non fritté formé par pressage de poudre a une certaine résistance initiale.

3.4 Densité frittée

La densité réelle du carbure cimenté après frittage est généralement exprimée en pourcentage de la densité théorique.

4 Aperçu du processus de frittage

4.1 Principe du processus

Le frittage est réalisé en chauffant la billette verte à une température inférieure au point de fusion

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

du WC (environ 2870°C) pour faire fondre le liant cobalt et former

La phase liquide favorise la diffusion et la liaison entre les particules de WC et forme finalement une structure dense en carbure cémenté.

4.2 Flux de processus

4.2.1 Préparation de la poudre : Mélanger la poudre de WC et la poudre de cobalt, la taille des particules est contrôlée à 0,5-5 μm et la teneur en cobalt est généralement de 6% à 15%.

4.2.2 Pressage : La poudre est pressée dans une ébauche verte à une pression comprise entre 100 et 400 MPa.

4.2.3 Décirage : Élimination du lubrifiant de pressage à basse température (300-600°C).

Chauffer à 1350-1500°C sous vide ou sous atmosphère protectrice (comme H₂ ou Ar) et maintenir au chaud pendant 30 à 60 minutes.

4.2.5 Refroidissement : Contrôler la vitesse de refroidissement (5-20°C/min) pour éviter les fissures dues aux contraintes thermiques.

5 Paramètres du processus de frittage

5.1 Température

- Plage de température de frittage : 1350-1500°C, selon la teneur en cobalt et la taille des grains de WC.
- Température de formation de la phase liquide : environ 1300°C (point de fusion du cobalt), le rapport de phase liquide doit être assuré entre 20% et 40%.

5.2 Atmosphère

- Frittage sous vide : pression <10sup-2Pa H₂ ou Ar, point de rosée <-40°C, pour éviter l'oxydation.

5.3 Heure

- Temps de maintien au chaud : 30 à 60 minutes. Une durée excessive peut entraîner une croissance des grains.
- Cycle total : 4 à 6 heures, chauffage et refroidissement compris.

5.4 Pression (facultatif)

- Pressage isostatique à chaud (HIP) : une pression de 100 à 200 MPa est appliquée après le frittage pour augmenter encore la densité à 98 %-99 %.

5.5 Remarques

- Évitez les températures excessives qui peuvent provoquer une décomposition du WC ou une

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

carbonisation excessive.

- Contrôler l'humidité de l'atmosphère pour éviter l'oxydation ou la décarburation.

6 Contrôle des processus et assurance qualité

6.1 Surveillance en ligne

- Précision du contrôle de la température $\pm 5^{\circ}\text{C}$, surveillance de la pression atmosphérique.
- Mesure de densité : densité de la billette verte $> 50\%$ de la densité théorique, densité frittée $> 90\%$.

6.2 Contrôle de la qualité

- Analyse métallographique : Contrôle de la porosité (A00-B00) et du carbone libre (C00).
- Test de dureté : HRA88 (selon la marque).

6.3 Gestion des exceptions

- Si la densité est insuffisante, ajustez la teneur en cobalt ou ajoutez un traitement HIP.
- Si les grains sont trop grossiers, abaissez la température de frittage ou raccourcissez le temps de maintien.

7 Rapport de test

Le rapport de test doit inclure les éléments suivants :

- Numéro et source de l'échantillon (comme la marque du matériau, le lot de production).
- Date de frittage et opérateur.
- Paramètres du procédé : température, atmosphère, temps, pression.
- Résultats du frittage : densité, dureté, structure métallographique.
- Description des conditions anormales (telles que fissures, pores, etc.).
- Signature de l'unité de test et du responsable.

Annexe A (Annexe informative)

A.1 Exemple de procédé de frittage

- Marque : YG6 (contenant 6 % de cobalt)
 - Pression de pressage : 200 MPa
 - Température de frittage : 1420°C
 - Atmosphère : vide (10sup -3P a40min)
 - Densité : 14,8 g/cm³ (98 % de la densité théorique)
- Marque : YG15 (contenant 15 % de cobalt)
 - Pression de pressage : 300 MPa
 - Température de frittage : 1450°C
 - Atmosphère : H₂ (point de rosée -50°C)
 - Temps de maintien : 50 min

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

– Densité : 13,9 g/cm³ (97 % de la densité théorique)

A.2 Instructions d'utilisation

- Les paramètres de frittage doivent être ajustés en fonction des nuances et des équipements spécifiques.
- Il est recommandé de l'associer à un traitement HIP pour améliorer la densité et les performances.

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:

ASTM B657-16 Analyse de la microstructure du carbure cémenté

Préface

Cette norme spécifie la méthode d'analyse de la microstructure du carbure cémenté, visant à fournir Cette norme s'applique à la production de carbure cémenté, au contrôle de la qualité, Analyse microstructurale dans la recherche et les applications.

Cette norme a été élaborée par l'American Society for Testing and Materials (ASTM) et publiée en 2016, remplaçant la norme ASTM B657-11 version, combinant les besoins de l'industrie moderne du carbure cémenté avec le développement des techniques microanalytiques.

Contenu

1 Portée

2 Références normatives

3 Termes et définitions

3.1 Carbure cémenté

3.2 Microstructure

3.3 Phase liante

3.4 Porosité

3.5 Carbone libre

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

4 Méthodes d'essai

4.1 Principe

4.2 Instruments et équipements

4.3 Préparation des échantillons

4.4 Étapes de test

4.5 Remarques

5 Évaluation des résultats

5.1 Caractéristiques microstructurales

5.2 Facteurs d'influence

6 Rapport de test

1 Portée

Cette norme spécifie la méthode d'analyse de la microstructure du carbure cimenté, utilisant la méthode d'observation au microscope métallographique, applicable au carbure de tungstène.

(WC) comme composant principal et contenant un liant métallique (tel que le cobalt). La méthode comprend la préparation des échantillons et l'observation microscopique.

Observation et identification des caractéristiques microstructurales.

Cette norme s'applique au contrôle de la qualité, à l'évaluation des performances et à l'analyse de la microstructure dans la recherche de produits en carbure cimenté.

Cette norme ne s'applique pas à l'analyse microstructurale des revêtements en carbure cimenté ou des carbures cimentés non à base de WC (tels que les cermets).

Remarque : Cette norme ne traite pas des questions de sécurité. Les utilisateurs doivent prendre les mesures de sécurité nécessaires en fonction des conditions expérimentales.

2 Références normatives

Les clauses des documents suivants deviennent les clauses de cette norme par référence dans cette norme.

Pour tout document référencé non daté, la dernière édition (y compris tous les amendements) s'applique.

Cette norme.

- Méthodes ASTM E3 pour la préparation d'échantillons métallographiques de matériaux métalliques
- Terminologie standard ASTM E7 pour la métallographie
- Méthode ASTM E112 pour la détermination de la granulométrie moyenne

3 Termes et définitions

Les termes et définitions suivants s'appliquent à cette norme.

3.1 Carbure cimenté

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

Matériau composite fabriqué à partir de particules de carbure de tungstène (WC) et d'un liant métallique (tel que le cobalt) par métallurgie des poudres.

3.2 Microstructure

Les caractéristiques structurales du carbure cimenté observées au microscope métallographique comprennent les grains de WC, les phases de liaison et les défauts (tels que les pores, carbone libre).

3.3 Phase liante

La phase métallique reliant les particules de WC dans le carbure cimenté est généralement du cobalt (Co) et est distribuée de manière continue ou semi-continue.

3.4 Porosité

Les minuscules trous dans le carbure cimenté sont divisés en type A (<10 µm), type B (10-25 µm) et type C selon leur taille.
(lié au carbone libre).

3.5 Carbone libre

Le carbone du carbure cimenté qui ne forme pas de carbures avec le métal est distribué sous forme de particules noires.

4 Méthodes d'essai

4.1 Principe

La section transversale polie et gravée du carbure cimenté a été observée au microscope métallographique pour identifier les grains de WC, la phase liante, les pores et Caractéristiques microstructurales telles que le carbone libre.

4.2 Instruments et équipements

- Microscope métallurgique : grossissement 100x à 1000x, résolution < 0,5 µm.
- Équipement de polissage : L'agent de polissage est une pâte de diamant (granulométrie 1-3 µm).
- Agent de gravure : réactif de Murakami (10 % KOH + 10 % K[Fe(CN)] dans l'eau).
- Matériel de nettoyage : Machine de nettoyage à ultrasons, utilisant de l'éthanol ou de l'acétone.

4.3 Préparation des échantillons

4.3.1 Les échantillons doivent être prélevés sur des produits en carbure cimenté afin de garantir leur représentativité. Leur taille est généralement de 10 mm × 10 mm × 5 mm.
mm.

4.3.2 Utiliser une lame de coupe diamantée pour couper l'échantillon à une vitesse de coupe < 100 mm/min afin d'éviter d'introduire des fissures ou des dommages thermiques.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.3.3 La surface de l'échantillon a été polie avec du papier de verre (grain 400, 800, 1200) en séquence, puis polie avec de la pâte diamantée jusqu'à ce que la surface Rugosité $Ra < 0,1 \mu m$.

4.3.4 Nettoyez l'échantillon avec un nettoyeur à ultrasons (temps de nettoyage 5 min) pour éliminer la saleté de surface et les résidus d'agent de polissage. Essuyer avec un chiffon à poussière.

4.3.5 Graver la surface de l'échantillon à l'aide du réactif de Murakami (temps de gravure 10-20 s) pour révéler les limites des grains de WC et Les caractéristiques microstructurales ont ensuite été rincées à l'eau distillée et séchées.

4.4 Étapes de test

4.4.1 Placer l'échantillon sous un microscope métallographique, ajuster le grossissement (généralement 500 fois) et observer la microstructure.

4.4.2 Sélectionnez au hasard 5 champs de vision (chaque champ de vision a une surface d'environ $0,1 \text{ mm}^2$) et enregistrez les caractéristiques suivantes :

- Granulométrie et distribution du WC.
- Distribution et morphologie de la phase liante.
- Type et quantité de pores (type A, type B, type C).
- Présence et répartition du carbone libre.

4.4.3 Comparer avec l'atlas de microstructure standard et évaluer les caractéristiques microstructurales.

4.5 Remarques

- Le temps de gravure doit être strictement contrôlé. Un temps trop long peut entraîner des joints de grains flous, tandis qu'un temps trop court peut masquer les caractéristiques structurelles.
- Assurez-vous qu'il y a suffisamment de grains (> 100) dans le champ de vision pour améliorer la précision statistique.
- Si la microstructure est inégalement répartie, augmentez le nombre de champs à 10.

5 Évaluation des résultats

5.1 Caractéristiques microstructurales

- Grains WC : évaluer la granulométrie (grains ultrafins $< 0,5 \mu m$, grains fins $0,5-1,0 \mu m$, grains moyens $1,0-2,0 \mu m$, grains grossiers $> 2,0 \mu m$) et uniformité de la distribution.
- Phase liante : décrit la continuité de la phase cobalt (homogène, discontinue ou agglomérée).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Porosité : classée en type A, type B et type C, et notée (A00 : pas de pores de type A ; A02 : < 2 champ ; B00 : pas de pores de type B ; C00 : pas de pores de type C).
- Carbone libre : évaluer la présence et la distribution (C00 : pas de carbone libre ; C02 : < 2 par champ de vision).

5.2 Facteurs d'influence

La microstructure affecte les propriétés mécaniques et physiques du carbure cimenté :

- Une taille de grain plus petite augmente généralement la dureté et la résistance à l'usure, mais peut réduire la ténacité.
- Une porosité accrue peut réduire la résistance et la durabilité.
- Un excès de carbone libre peut provoquer une fragilisation du matériau.

6 Rapport de test

Le rapport de test doit inclure les éléments suivants :

- Numéro et source de l'échantillon (comme la marque du matériau, le lot de production).
- Date du test et personne qui l'a effectué.
- Conditions expérimentales : grossissement du microscope, nombre de champs de vision, conditions de gravure.
- Résultats des tests :
 - Description de la granulométrie et de la distribution du WC.
 - Morphologie de la phase liante.
 - Cote de porosité et de carbone libre.
- Description des conditions anormales (telles que défauts de surface de l'échantillon, difficulté d'observation, etc.).
- Signature de l'unité de test et du responsable.

Annexe A (Annexe informative)

A.1 Caractéristiques de la microstructure

- Structure de grains ultrafins : granulométrie < 0,5 μm , uniformément répartie et phase de liaison continue.
- Types de pores : Type A (<10 μm), Type B (10-25 μm), Type C (granuleux noir).
- Carbone libre : granulaire noir, souvent avec des pores de type C.

A.2 Instructions d'utilisation

- Cette norme est uniquement utilisée pour l'identification microstructurale et n'est pas destinée à servir de spécification d'acceptation pour les nuances de carbure cimenté.
- Les fabricants et les utilisateurs peuvent développer leurs propres spécifications sur la base d'informations microstructurales.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

appendice:

GB/T 3850-2015

Détermination de la densité théorique du carbure cimenté

Préface

Cette norme spécifie la méthode de détermination de la masse volumique théorique du carbure cimenté, visant à fournir

Cette norme s'applique à la production de carbure cimenté, au contrôle de la qualité,

Détermination de la densité théorique dans la recherche et les applications.

Cette norme a été élaborée par l'Administration de normalisation de Chine et publiée en 2015, remplaçant la norme GB/T 3850-1983.

version, combinant les besoins de l'industrie moderne du carbure cimenté avec le développement de la technologie de calcul de densité théorique.

Contenu

1 Portée

2 Références normatives

3 Termes et définitions

3.1 Densité théorique

3.2 Carbure cimenté

3.3 Structure cristalline

3.4 Fraction massique

4 Méthodes d'essai

4.1 Principe

4.2 Instruments et équipements

4.3 Préparation des échantillons

4.4 Étapes de test

4.5 Remarques

5 Méthode de calcul

5.1 Formule de calcul

5.2 Densité théorique de chaque phase

5.3 Étapes de calcul

6 Évaluation des résultats

7 Rapport de test

1 Portée

Cette norme spécifie la méthode de détermination de la masse volumique théorique du carbure cimenté et s'applique au carbure cimenté dont le composant principal est le carbure de tungstène (WC) et contenant

Carbure cimenté avec un liant métallique tel que le cobalt. La méthode consiste à calculer la masse volumique théorique à partir d'une analyse de composition et de données de structure cristalline, degré et méthodes auxiliaires vérifiées par des expériences.

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 s'applique au contrôle de la qualité, à l'évaluation des performances et à la détermination de la densité théorique dans la recherche lors de la production de carbure cimenté. Cette norme ne s'applique pas à la détermination de la masse volumique théorique des revêtements en carbure cimenté ou des carbures cimentés non à base de WC (tels que les cermets).

2 Références normatives

Les clauses des documents suivants deviennent les clauses de cette norme par référence dans cette norme.

Pour tout document référencé non daté, la dernière édition (y compris tous les amendements) s'applique.

Cette norme.

- GB/T 3848-2015 Détermination de la composition chimique du carbure cimenté
- GB/T 4499-2008 Méthode d'inspection métallographique du carbure cimenté
- GB/T 3327-2009 Détermination de la densité du carbure cimenté

3 Termes et définitions

Les termes et définitions suivants s'appliquent à cette norme.

3.1 Densité théorique

La densité idéale est calculée en fonction de la composition chimique et de la structure cristalline du carbure cimenté, en g/cm³.

3.2 Carbure cimenté

Matériau composite fabriqué à partir de particules de carbure de tungstène (WC) et d'un liant métallique (tel que le cobalt) par métallurgie des poudres.

3.3 Structure cristalline

La disposition atomique de chaque phase (comme WC et Co) dans le carbure cimenté est généralement déterminée par diffraction des rayons X (DRX).

3.4 Fraction massique

Le pourcentage de la masse d'un certain composant dans le carbure cimenté par rapport à la masse totale, en %.

4 Méthodes d'essai

4.1 Principe

La densité théorique est calculée à partir de la composition chimique du carbure cimenté et des données de structure cristalline de chaque phase.

La densité de chaque phase est déterminée en fonction des paramètres de structure cristalline connus.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.2 Instruments et équipements

- Diffractomètre à rayons X (DRX) : utilisé pour déterminer les paramètres de la structure cristalline.
- Équipement d'analyse chimique : utilisé pour déterminer la composition du carbure cimenté (comme la fraction massique de WC et Co).
- Matériel informatique : utilisé pour le calcul de la densité théorique.

4.3 Préparation des échantillons

4.3.1 Les échantillons doivent être prélevés sur des produits en carbure cimenté afin de garantir leur représentativité. Leur taille est généralement de 10 mm × 10 mm × 5 mm.

4.3.2 La surface de l'échantillon doit être propre et exempte d'huile ou d'autres contaminants.

4.3.3 Si une analyse XRD est requise, la surface de l'échantillon doit être polie jusqu'à une rugosité $Ra < 0,1 \mu m$.

4.4 Étapes de test

4.4.1 Analyse des composants :

- Déterminer la fraction massique de chaque composant du carbure cimenté (tel que WC, Co et ses autres oligo-éléments).
- Enregistrer la fraction massique de chaque composant avec une précision de 0,01 %.

4.4.2 Détermination de la structure cristalline :

- La DRX a été utilisée pour déterminer les paramètres de structure cristalline (tels que le volume de la cellule unitaire) du WC et du Co dans le carbure cimenté.
- Confirmer la structure hexagonale du WC ($a=2,906 \text{ \AA}$, $c=2,837 \text{ \AA}$) et la structure cubique à faces centrées du Co ($a=3,544 \text{ \AA}$).
- Si d'autres phases (telles que des phases) existent, leurs structures cristallines doivent également être déterminées.

4.4.3 Calcul de la densité théorique :

- Calculer la densité théorique en fonction des données de composition et de structure cristalline (voir la section 5 pour plus de détails).

4.5 Remarques

- L'analyse de la composition doit être répétée au moins 3 fois et la moyenne doit être prise pour améliorer la précision.
- Les mesures XRD doivent être effectuées dans des conditions sans contrainte pour éviter la distorsion du réseau causée par le traitement de l'échantillon.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- S'il y a des traces d'impuretés dans le carbure cimenté, son effet sur la densité théorique doit être évalué.

5 Méthode de calcul

5.1 Formule de calcul

La densité théorique (ρ) du carbure cimenté est calculée selon la formule suivante :

$$\rho = \frac{\sum (w_i \cdot \rho_i)}{\sum w_i}$$

dans:

- ρ : masse volumique théorique du carbure cimenté, en g/cm³ ;
- w_i : fraction massique du ième composant, unité : %
- ρ_i : densité théorique du ième composant , en g/cm³.

5.2 Densité théorique de chaque phase

- Densité théorique du WC : 15,63 g/cm³ (basée sur les paramètres de la cellule unitaire hexagonale).
- Densité théorique du Co : 8,90 g/cm³ (basée sur les paramètres de la maille cubique à faces centrées).
- Si d'autres phases existent (telles que des phases, généralement CoWC) , leur densité théorique doit être calculée en fonction de la structure cristalline.

5.3 Étapes de calcul

w_i) de chaque composant.

i) de chaque composant.

5.3.3 Remplacez dans la formule et calculez la densité théorique du carbure cimenté.

6 Évaluation des résultats

6.1 La densité théorique calculée doit être précise à 0,01 g/cm³.

6.2 Si la densité réelle (mesurée selon GB/T 3327-2009) diffère fortement de la densité théorique (> 2 %), le produit doit être vérifié.
données analytiques ou de structure cristalline.

6.3 La densité théorique peut être utilisée pour évaluer la compacité et la stabilité de la qualité d'un matériau.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7 Rapport de test

Le rapport de test doit inclure les éléments suivants :

- Numéro et source de l'échantillon (comme la marque du matériau, le lot de production).
- Date du test et personne qui l'a effectué.
- Conditions expérimentales : méthode d'analyse de composition, paramètres DRX.
- Résultats des tests :
 - Fraction massique de chaque composant.
 - Paramètres de structure cristalline de chaque phase.
 - Résultats du calcul de la densité théorique.
- Explication des situations anormales (telles que l'impact des impuretés, l'écart de données, etc.).
- Signature de l'unité de test et du responsable.

Annexe A (Annexe informative)

A.1 Exemple de calcul de densité théorique

- Marque : YG8 (contenant 8 % de cobalt)
- Composition : WC 92%, Co 8% (fraction massique).
- Densité théorique du WC : 15,63 g/cm³.
- Densité théorique du Co : 8,90 g/cm³.
- calculer :

$$\rho = \frac{(92 \times 15.63) + (8 \times 8.90)}{92 + 8} = \frac{1437.96 + 71.20}{100} = 15.09 \text{ g/cm}^3$$

结果：理论密度为15.09 g/cm³。

- Résultat : La masse volumique théorique est de 15,09 g/cm³.

- Marque : YG15 (contenant 15 % de cobalt)
- Composition : WC 85%, Co 15% (fraction massique).
- Densité théorique du WC : 15,63 g/cm³.
- Densité théorique du Co : 8,90 g/cm³.
- calculer :

计算：

$$\rho = \frac{(85 \times 15.63) + (15 \times 8.90)}{85 + 15} = \frac{1328.55 + 133.50}{100} = 14.62 \text{ g/cm}^3$$

- Résultat : La masse volumique théorique est de 14,62 g/cm³.

A.2 Instructions d'utilisation

- Un calcul de densité théorique est nécessaire pour garantir la précision de l'analyse des composants.
- S'il y a des traces de phases (telles que la phase) dans le carbure cémenté, le calcul doit être complété en fonction de sa structure cristalline.

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


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

appendice:

GB/T 1031-2009

Mesure de la rugosité de surface

Préface

Cette norme spécifie la méthode de mesure de la rugosité de surface et est destinée à l'évaluation de la rugosité de surface des métaux, des non-métaux et des matériaux composites.

applicable à la mesure de la rugosité de surface dans la production, le contrôle qualité, la recherche et l'application.

quantité.

Cette norme a été élaborée par l'Administration de normalisation de Chine et publiée en 2009, remplaçant la norme GB/T 1031-1995

version combinant les exigences de la technologie moderne de mesure de surface et des normes internationales telles que ISO 4287:1997.

Contenu

1 Portée

2 Références normatives

3 Termes et définitions

3.1 Rugosité de surface

3.2 Écart moyen arithmétique (Ra)

3.3 Hauteur maximale (Rz)

3.4 Longueur d'échantillonnage

4 Méthodes de mesure

4.1 Principe de mesure

4.2 Instruments et équipements

4.3 Étapes de mesure

4.4 Remarques

5 Conditions de mesure

5.1 Conditions environnementales.

5.2 Paramètres de mesure

5.3 Configuration de l'instrument

6 Évaluation des résultats

7 Rapport de test

1 Portée

Cette norme spécifie la méthode de mesure de la rugosité de surface et s'applique aux métaux (tels que les alliages durs, l'acier), aux matériaux non métalliques et aux revêtements.

Les paramètres de rugosité de la surface de la couche sont mesurés. Les méthodes incluent des profilomètres à contact et des techniques de mesure sans contact, couvrant Ra, Rz,

Des paramètres tels que Rp.

Cette norme s'applique au contrôle qualité dans le processus de production, à l'évaluation des

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

performances de surface et à la mesure de la rugosité dans la recherche.

La présente norme ne s'applique pas aux surfaces présentant des ondulations importantes ou des écarts géométriques macroscopiques, sauf indication contraire.

2 Références normatives

Les clauses des documents suivants deviennent les clauses de cette norme par référence dans cette norme.

Pour tout document référencé non daté, la dernière édition (y compris tous les amendements) s'applique.

Cette norme.

- GB/T 6060.1-1996 Termes, définitions et paramètres de rugosité de surface
- GB/T 6062-2006 Échantillons de comparaison de rugosité de surface
- ISO 4287:1997 Spécification géométrique des produits (GPS) — État de surface : Méthode du profil — Termes, définitions et paramètres

3 Termes et définitions

Les termes et définitions suivants s'appliquent à cette norme, voir GB/T 6060.1-1996 pour plus de détails.

3.1 Rugosité de surface

Écarts de microgéométrie de surface causés par la méthode d'usinage, se manifestant par de petites variations de pas et de hauteur.

3.2 Écart moyen arithmétique (Ra)

L'écart moyen arithmétique du profil est le paramètre principal de la rugosité de surface et son unité est le μm .

3.3 Hauteur maximale (Rz)

La hauteur maximale du profil est un paramètre supplémentaire de la rugosité de surface et son unité est le μm .

3.4 Longueur d'échantillonnage

Une longueur de référence utilisée pour la mesure de la rugosité, généralement 0,25 mm, 0,8 mm ou 2,5 mm.

4 Méthodes de mesure

4.1 Principe de mesure

Mesurer le profil de surface et analyser les paramètres de rugosité (tels que Ra, Rz) par profilomètre à contact ou instrument optique sans contact.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.2 Instruments et équipements

- Profilomètre de contact : rayon de pointe de sonde $< 2 \mu\text{m}$, résolution $0,01 \mu\text{m}$.
- Instruments de mesure sans contact : tels que scanners laser ou interféromètres à lumière blanche, avec une résolution $< 0,1 \mu\text{m}$.
- Échantillons standard : fournis conformément à la norme GB/T 6062-2006, utilisés pour l'étalonnage des instruments.

4.3 Étapes de mesure

4.3.1 Préparation des échantillons :

- La surface de l'échantillon doit être propre et exempte d'huile ou de poussière.
- S'il reste des résidus de traitement, ils doivent être éliminés avec du papier de verre ou du solvant.

4.3.2 Étalonnage de l'instrument :

- Utilisez des échantillons standard pour étalonner l'instrument afin de garantir une erreur de mesure $< 5 \%$.

4.3.3 Exécution des mesures :

- Déterminer la longueur d'échantillonnage ($0,25 \text{ mm}$, $0,8 \text{ mm}$ ou $2,5 \text{ mm}$), en fonction des caractéristiques de la surface.

5 points de mesure ou plus sur l'échantillon et mesurer dans le sens du traitement ou dans le sens perpendiculaire.

- Enregistrez les paramètres tels que R_a et R_z , mesurez chaque point 3 fois et prenez la valeur moyenne.

4.4 Remarques

- Évitez de surpressuriser la sonde pour éviter d'endommager la surface.
- Le point de mesure doit éviter les bords ou les zones de défauts évidents.
- Si la surface est revêtue, confirmez la profondeur de mesure.

5 Conditions de mesure

5.1 Conditions environnementales

- Température : $20 \pm 2^\circ\text{C}$.
- Humidité : 30%-70%.
- Évitez les vibrations ou les perturbations du flux d'air.

5.2 Paramètres de mesure

- Longueur d'échantillonnage : Sélectionner en fonction de la plage de valeurs R_a ($R_a < 0,1 \mu\text{m}$: $0,25 \text{ mm}$; $0,1 \mu\text{m} < R_a < 10 \mu\text{m}$: $0,8 \text{ mm}$; $R_a > 10 \mu\text{m}$: $2,5 \text{ mm}$).
- Durée d'évaluation : 5 fois la durée d'échantillonnage.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Longueur d'onde de coupure : 0,25 mm, 0,8 mm ou 2,5 mm, correspondant à la longueur d'échantillonnage.

5.3 Configuration de l'instrument

- Vitesse de la sonde : 0,1-1 mm/s.
- Force de mesure : < 0,75 mN (contact).

6 Évaluation des résultats

6.1 Le paramètre de rugosité doit être précis à 0,01 μm .

6.2 L'écart admissible des valeurs Ra et Rz est de $\pm 10\%$ ou $\pm 0,1 \mu\text{m}$ (selon la valeur la plus élevée).

6.3 Si la différence entre plusieurs résultats de mesure dépasse l'écart admissible, il est nécessaire de vérifier l'état de surface de l'échantillon ou l'étalonnage de l'instrument.

7 Rapport de test

Le rapport de test doit inclure les éléments suivants :

- Numéro et source de l'échantillon (comme la marque du matériau, le lot de production).
- Date du test et personne qui l'a effectué.
- Conditions de mesure : type d'instrument, longueur d'échantillonnage, conditions environnementales.
- Résultats de mesure :
 - Valeurs Ra et Rz à chaque point de mesure.
 - Moyenne et écart.
- Description des conditions anormales (telles que défauts de surface, défaillance d'instrument, etc.).
- Signature de l'unité de test et du responsable.

Annexe A (Annexe informative)

A.1 Exemples de paramètres de mesure

- Échantillon : Carbure cémenté YG6
 - Méthode de mesure : profilomètre à contact.
 - Longueur d'échantillonnage : 0,8 mm.
 - Points de mesure : 5 .
 - Résultat : Ra = 0,32 μm , Rz = 2,15 μm (valeur moyenne).
- Échantillon : Surface en acier inoxydable
 - Méthode de mesure : scanner laser sans contact.
 - Longueur d'échantillonnage : 2,5 mm.
 - Points de mesure : 6 .
 - Résultat : Ra = 1,25 μm , Rz = 8,90 μm (valeur moyenne).

A.2 Instructions d'utilisation

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Choisissez une longueur d'échantillonnage et une longueur d'onde de coupure appropriées pour correspondre aux caractéristiques de la surface.
- Pour des exigences de haute précision, le nombre de points de mesure peut être augmenté jusqu'à 10.

Quelles sont les technologies de pressage du carbure cimenté ?

La technologie de pressage du carbure cimenté est l'un des éléments clés du procédé de métallurgie des poudres. Le moulage de matières premières en poudre telles que le carbure de tungstène (WC) et le cobalt (Co) sous une pression spécifique permet d'obtenir une ébauche crue présentant une résistance et une forme initiales, préparant ainsi le support pour le frittage et le traitement du produit fini. Le pressage affecte directement la densité, l'uniformité et le taux de défauts de l'ébauche crue, qui déterminent à leur tour les propriétés du matériau fritté (dureté, résistance à l'usure et ténacité). Voici une classification détaillée de la technologie de pressage du carbure cimenté et de ses détails techniques, couvrant les méthodes traditionnelles et les technologies innovantes modernes, et détaillant en détail les applications pratiques et les dernières tendances.

1. Pressage uniaxial

principe

Le pressage unidirectionnel utilise une presse hydraulique ou mécanique unidirectionnelle pour appliquer une pression verticale vers le bas à l'aide de la tête de pression supérieure afin de comprimer la poudre chargée dans un moule rigide et de la transformer en un corps cru. La pression est principalement transmise selon un axe, et le moulage est obtenu par la friction entre les particules de poudre et la contrainte exercée sur les parois du moule.

équipement:

Presse hydraulique : plage de pression 100-400 MPa, équipée d'un capteur de pression de précision et d'un système de surveillance de déplacement.

Moule : Généralement fabriqué en acier à haute dureté (tel que Cr12MoV) ou en carbure cimenté, la paroi intérieure doit être polie à $Ra < 0,2 \mu m$ pour réduire le frottement.

Caractéristiques:

Convient à la production de formes géométriques simples, telles que des ébauches d'outils cylindriques et des blocs rectangulaires.

La distribution de densité est inégale, avec une densité plus élevée près de la tête de pression (jusqu'à 60 à 70 % de la densité théorique) et une densité plus faible en bas (éventuellement moins de 50 %), ce qui peut entraîner un retrait inégal après frittage.

Le temps de pressage est généralement de 5 à 15 secondes, en fonction de la taille des particules de poudre et de la pression.

application:

Petites pièces en carbure, telles que des ébauches de forets, des préformes d'inserts de coupe.

Production de masse à faible coût, particulièrement adaptée aux petites et moyennes entreprises.

Détails techniques :

Préparation de la poudre : la taille des particules de WC est généralement de $0,5$ à $2 \mu m$, la teneur en Co est de 6 à 15 % et 1 à 3 % de paraffine ou d'acide stéarique doivent être ajoutés comme

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

lubrifiant pour améliorer la fluidité.

Contrôle de la pression : pré-pression initiale de 10 à 50 MPa pour éliminer l'air, puis pression principale de 100 à 400 MPa. Éviter un chargement trop rapide pour éviter la stratification de la poudre.

Note:

Le frottement des parois du moule peut entraîner une densité latérale insuffisante. Il est donc recommandé d'optimiser la répartition granulométrique de la poudre ou d'augmenter l'assistance aux vibrations latérales.

Lors du démoulage de la billette verte, la pression doit être relâchée lentement pour éviter les fissures.

2. Pressage à double effet

principe:

Le pressage bidirectionnel utilise deux têtes de pression supérieure et inférieure pour appliquer une pression simultanée, et la poudre est comprimée par le mouvement de va-et-vient dans le moule. Les têtes de pression supérieure et inférieure travaillent en coordination pour réduire le gradient de densité lors du pressage unidirectionnel.

équipement:

Presse hydraulique à double effet : plage de pression 150-500 MPa, équipée d'un système de contrôle synchrone.

Moule : Conception mobile bidirectionnelle, garantit que l'écart entre les têtes de pression supérieure et inférieure et la paroi intérieure du moule est inférieur à 0,01 mm.

Caractéristiques:

La répartition de la densité du corps vert est plus uniforme, et la densité près de la partie médiane peut atteindre 65 à 75 % de la densité théorique. La régularité globale est meilleure qu'avec un pressage unidirectionnel.

Convient aux pièces de formes plus ou moins complexes, telles que les plaques et les barres.

Le cycle de pressage dure de 10 à 20 secondes, selon la hauteur de la pièce.

application:

Produire des barres et des tôles en carbure pour la fabrication d'outils de coupe et de pièces résistantes à l'usure.

Production à moyenne échelle, prenant en compte à la fois l'efficacité et la qualité.

Détails techniques :

Répartition de la pression : Le rapport de pression entre les têtes de pression supérieure et inférieure est généralement de 1:1, avec un écart maximal de < 5 % pour assurer l'uniformité.

Lubrification du moule : La paroi intérieure est recouverte d'une couche de lubrification en graphite ou en MoS₂ pour réduire le frottement à 0,1-0,2.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Note:

La synchronisation de la tête de pression doit être contrôlée par un système servo de haute précision pour éviter une charge déséquilibrée.

Pour les poudres à forte teneur en Co ($> 12\%$), le temps de pré-pressage doit être prolongé pour éliminer les pores.

3. Pressage isostatique à froid (CIP)

principe:

Le pressage isostatique à froid utilise un liquide (comme de l'eau ou de l'huile) pour appliquer une pression uniforme dans toutes les directions sur un moule flexible rempli de poudre dans un récipient haute pression. La pression est transmise uniformément à travers le liquide, garantissant que toutes les pièces de l'ébauche sont soumises à une force uniforme.

équipement:

Presse isostatique à froid : plage de pression 200-600 MPa, température de travail de la température ambiante à 50°C.

Moule : Fabriqué en caoutchouc ou en matériau polymère, la résistance à la pression doit atteindre 1,5 fois la pression de travail.

Caractéristiques:

La densité du corps vert est très uniforme, atteignant 70 à 80 % de la densité théorique, adaptée aux formes géométriques complexes.

Le temps de pressage est de 5 à 15 minutes, selon la taille de la pièce et la pression.

La billette verte présente une résistance plus élevée et un retrait de frittage constant.

application:

Produits en carbure cémenté de forme complexe, tels que des outils de forme spéciale et des moules de précision.

Production de pièces de haute performance, notamment dans le secteur aéronautique.

Détails techniques :

Remplissage de poudre : la densité de remplissage de poudre est contrôlée à 40 %-50 %, évite les bulles et un dégazage sous vide est nécessaire.

Courbe de pression : utiliser une augmentation progressive de la pression (par exemple, une pré-pression de 50 MPa suivie d'une augmentation à 400 MPa) pour réduire la contrainte interne.

Note:

L'étanchéité du moule est essentielle, une fuite peut entraîner une pression insuffisante.

Après le pressage, l'excédent de caoutchouc doit être coupé, ce qui augmente les étapes de traitement ultérieures.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. Pressage isostatique à chaud (HIP)

principe

Le pressage isostatique à chaud est un procédé qui utilise un gaz inerte (tel que l'argon) pour appliquer une pression isotrope à haute température (1350-1450°C) et haute pression (100-200 MPa) pour éliminer les micropores dans le corps vert après frittage.

équipement:

Presse isostatique à chaud : équipée d'un four de chauffage et d'un système de gaz haute pression, la précision est contrôlée à $\pm 5^{\circ}\text{C}$ et $\pm 5\text{ MPa}$.

Caractéristiques:

La densité peut atteindre 99% de la densité théorique, améliorant considérablement la dureté et la résistance à l'usure.

Convient au traitement post-frittage pour éliminer la porosité au niveau A00-B00.

Le cycle est plus long, de 4 à 8 heures, et comprend le chauffage, la pressurisation et le refroidissement.

application:

Pièces en carbure cémenté hautes performances pour l'aéronautique, telles que les aubes de turbine. Les outils de coupe de précision nécessitent une densité extrêmement élevée.

Détails techniques :

Contrôle de la température : vitesse de chauffe de 5 à 10°C/min pour éviter les fissures de contrainte thermique.

Pureté du gaz : Pureté de l'argon > 99,99 %, évite l'oxydation.

Note:

Coût élevé, adapté aux produits haut de gamme.

La vitesse de refroidissement doit être contrôlée avec précision (5-15°C/min) pour éviter toute déformation.

5. Pressage à l'emporte-pièce

principe

La poudre est chargée dans un moule rigide fixe et formée par pressage unidirectionnel ou bidirectionnel, selon la géométrie du moule.

équipement:

Machine de moulage : plage de pression 100-300 MPa, équipée d'un système d'alimentation automatique.

Moule : Conception personnalisée, dureté supérieure à HRC 58.

Caractéristiques:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Production en série de flans de formes simples, haute efficacité, temps de cycle de 5 à 10 secondes.
L'uniformité de la densité dépend de la conception du moule, la densité typique est de 60 à 70 % de la densité théorique.

application:

Pièces en carbure standardisées telles que plaquettes de coupe et ébauches de fraises.

Production à faible coût .

Détails techniques :

Entretien des matrices : Vérifier l'usure toutes les 500 presses et réaffûter ou remplacer si nécessaire.

Remplissage de poudre : Le remplissage par vibration est adopté et l'écart de densité est < 2 %.

Note:

La forme complexe du moule est difficile à traiter et la répartition des contraintes doit être simulée à l'avance.

6. Extrusion-pressage

principe:

La poudre est mélangée à un liant pour former une pâte et extrudée en longues bandes ou en corps façonnés à l'aide d'une extrudeuse et d'une filière personnalisée.

équipement:

Extrudeuse : pression 200-400 MPa, équipée d'un système de chauffage (50-80°C).

Caractéristiques:

Convient aux formes longues et fines, telles que les tiges (2-20 mm de diamètre), les tubes.

La densité est d'environ 55 à 65 % de la densité théorique et nécessite un dégraissage ultérieur.

Le temps de cycle est de 10 à 30 minutes, selon la longueur d'extrusion.

application:

Fraises longues et tiges de forage en carbure.

Pièces longues personnalisées.

Détails techniques :

Rapport de liant : le PVA ou le PMMA représente 15 à 25 % et doit être dispersé uniformément.

Vitesse d'extrusion : 0,5 à 2 m/min. Une vitesse trop élevée peut provoquer des fissures en surface.

Remarque : La température de dégraissage doit être contrôlée à 300-500 °C et la vitesse de chauffage doit être < 5 °C/min.

7. Moulage par injection

principe:

La poudre est mélangée à un liant thermoplastique, chauffée à 150-200°C, injectée dans un moule

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de haute précision, puis refroidie pour former.

équipement:

Machine de moulage par injection de métal : pression 50-100 MPa, équipée d'un système d'injection.

Caractéristiques:

Convient aux pièces complexes de petite taille, avec une densité initiale de 50% à 60% et jusqu'à 98% après frittage.

Le cycle est plus long, 10 à 20 minutes/article.

application:

Pièces en micro carbure, telles que des engrenages de précision et des micro-outils.

Détails techniques :

Déliantage : Deux étapes, déliantage thermique à 200-400°C et déliantage chimique à 400-600°C.

du moule : Tolérance < 0,01 mm.

Note:

Les résidus de liant peuvent provoquer des défauts de frittage et doivent être strictement contrôlés.

8. Pressage de sacs secs

principe:

La poudre est chargée dans un moule en caoutchouc fixe et une pression est appliquée à travers un milieu liquide, similaire au CIP mais le moule est fixe.

équipement:

Presse isostatique pour sac sec : pression 200-400 MPa.

Caractéristiques:

Bonne uniformité de densité, densité théorique de 70% à 75%.

Le cycle dure 5 à 10 minutes.

application:

Pièces en carbure de taille moyenne telles que des manchons de roulement.

Détails techniques : Le moule doit être vérifié régulièrement pour la résistance à la pression.

Note:

Évitez la pression inégale causée par le vieillissement du moule.

9. Pressage multidirectionnel (pressage latéral)

principe:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

À la tête de pression verticale s'ajoutent deux à quatre têtes de pression latérales qui exercent une pression horizontale et forment une compression multidirectionnelle. La pression est coordonnée par un système de contrôle de précision pour garantir l'équilibre de toutes les parties de l'embryon.

équipement:

Presse multidirectionnelle : plage de pression 200-500 MPa, équipée de 4 à 6 têtes de pression réglables.

Moule : Conception mobile multidirectionnelle, avec revêtement en carbure, résistance à l'usure HRA 88 ou supérieure.

Caractéristiques:

La distribution de densité est nettement meilleure que celle du pressage bidirectionnel, et la densité moyenne peut atteindre 75 à 80 % de la densité théorique.

Convient aux formes moyennement complexes, réduisant la porosité interne et les concentrations de contraintes.

Le temps de pressage est de 10 à 20 secondes, selon le nombre de têtes de presse et la taille de l'embryon.

application:

Ébauches d'outils complexes, ébauches de moules et pièces nécessitant une grande uniformité.

Détails techniques :

Répartition de la pression : la pression verticale représente 50 à 60 %, la pression latérale représente 40 à 50 % et l'écart est < 3 %.

Optimisation de la poudre : granulométrie 1-2 μm , ajout de 0,5%-1% de lubrification au graphite.

Note:

La synchronisation de la tête de pression latérale doit être contrôlée par un servomoteur avec une erreur de < 0,5 mm.

La paroi intérieure du moule doit être revêtue pour réduire le frottement à 0,15.

10. Pressage multi-axial non isostatique (comme le pressage à quatre et six voies)

principe:

La pression non isotrope est appliquée par 4 ou 6 têtes de pression (verticales et horizontales), et la répartition de la pression est optimisée par le système de contrôle au lieu d'être totalement isotrope. Chaque tête de pression peut ajuster la force indépendamment pour appliquer une pression adaptative à différentes zones de l'embryon.

équipement:

Presse multi-axes : plage de pression 300-600 MPa, équipée d'un système hydraulique 6 axes et d'un capteur de pression en temps réel.

Moule : Structure composite multidirectionnelle, couche intérieure en carbure, couche extérieure en acier haute résistance, résistance à la pression jusqu'à 800 MPa.

Caractéristiques:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Il offre plus de directions de pression que le pressage bidirectionnel et son uniformité de densité est meilleure que le pressage multidirectionnel, qui peut atteindre 85 à 90 % de la densité théorique.

Parce qu'il n'est pas isostatique, il convient à l'optimisation de formes spécifiques et sa densité est proche de celle du CIP mais son coût est inférieur.

Le cycle de pressage dure de 15 à 30 secondes, selon la complexité de la coordination de la tête de pression.

application:

Les outils de coupe multi-tranchants et les moules de précision nécessitent une densité élevée et une géométrie complexe.

Production à moyenne échelle, alliant performance et économie.

Détails techniques :

Configuration de pression : compression à quatre voies (verticale + 3 latérales), rapport de pression 1:0,8:0,7:0,7 ; compression à six voies (verticale + 5 latérales), rapport de pression 1:0,7:0,6:0,6:0,6:0,6.

Taille des particules de poudre : 1 à 3 μm , ajout de traces d'additifs à l'échelle nanométrique (tels que la poudre composite WC-Co) pour améliorer la densité.

Système de contrôle : PLC et rétroaction en boucle fermée sont adoptés, l'écart de pression est < 1 %, la précision du déplacement est < 0,01 mm.

Note:

La coordination des pénétrateurs nécessite un étalonnage de haute précision pour éviter les microfissures causées par une surpression locale .

La conception des moules nécessite une analyse par éléments finis (FEA) pour simuler les contraintes multidirectionnelles et optimiser la durabilité.

Le mélange de poudre nécessite un mélange à cisaillement élevé pour garantir une consistance isotrope.

Références normatives connexes

Guide du procédé de frittage du carbure cémenté ISO 4489:2009 : souligne l'influence de la technologie de pressage sur la densité du corps vert et les propriétés de frittage, et recommande le pressage multidirectionnel pour l'optimisation des formes complexes.

GB/T 3850-2015 Détermination de la densité théorique du carbure cémenté : Le pressage multidirectionnel et multiaxial peut augmenter considérablement la densité de la billette verte et réduire l'écart de densité après frittage (<1%).

GB/T 1031-2009 Mesure de la rugosité de surface : La rugosité de surface de la billette crue après pressage ($R_a < 1,0 \mu\text{m}$) affecte directement la qualité du frittage. Le pressage multidirectionnel peut améliorer la planéité de la surface.

Points techniques et optimisation

Caractéristiques de la poudre :

La taille des particules de WC est de 0,5 à 5 μm , la teneur en Co est de 6 à 15 % et la poudre fine (< 1 μm) convient au pressage multidirectionnel.

Le processus de mélange utilise un broyage à boulets ou un broyage planétaire pendant 12 à 24

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

heures pour garantir l'uniformité.

Lubrifiants et adhésifs :

Les lubrifiants (tels que la paraffine 1%-3%) réduisent la friction et du nano-graphite (0,5%) peut être ajouté pour optimiser davantage le pressage multidirectionnel.

Les liants (tels que le PVA) sont utilisés pour l'extrusion ou le moulage par injection et nécessitent un contrôle du déliantage thermique .

du moule :

La matrice de pressage multidirectionnelle doit adopter une structure segmentée avec une épaisseur de couche résistante à l'usure de 2 à 3 mm.

L'analyse par éléments finis simule la distribution des contraintes multidirectionnelles et optimise l'angle du pénétrateur (généralement 45°-60°).

Traitement post-pressage :

Le blanc vert doit être séché à 50-80°C pour éviter l'absorption d'humidité.

Le pré-frittage (600-800°C) peut éliminer le liant et réduire les défauts de frittage.

Cas d'application pratique

Cas 1 : Pressage à quatre voies pour produire des outils à bords multiples

: WC-10%Co, granulométrie 1,5 μm .

Pression : 400 MPa verticalement, 300 MPa latéralement.

Résultats : La densité de la billette verte est de 88 % de la densité théorique, la porosité après frittage est de A00 et la dureté est de HRA 92.

Cas 2 : Pressage à six voies pour produire des moules de précision

Matériau : WC-12%Co, granulométrie 2 μm .

Pression : 500 MPa verticalement, 350-400 MPa latéralement.

Résultats : La densité de la billette verte est de 90 % de la densité théorique, la densité après frittage est de 99 % et la résistance à l'usure est améliorée de 15 %.

Tendances et innovations modernes

Automatisation et intelligence : La presse multi-axes intègre un algorithme d'IA pour ajuster la répartition de la pression en temps réel avec un écart de < 0,5 %.

Procédé hybride : Combinaison de pressage multidirectionnel et de CIP, d'abord formage puis densification, la densité peut atteindre plus de 95%.

Pressage vert : Développer des lubrifiants à base d'eau pour réduire l'utilisation de solvants organiques et répondre aux exigences de protection de l'environnement.

Nanotechnologie : utiliser de la poudre de WC nano (<100 nm) avec un pressage à six voies pour produire du carbure cimenté à grains ultra-fins avec une dureté de HRA 94 ou plus.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

appendice:

Produits en carbure cimenté couverts dans ce chapitre Types, caractéristiques et applications des outils d'aviation en carbure cimenté

Les outils d'aviation en carbure cimenté sont des outils de coupe haute performance fabriqués à partir de carbure cimenté à grains ultra-fins (WC + Ni /Co, granulométrie < 0,5 μ m) comme matériau de base, combiné à une technologie de revêtement avancée (telle que TiAlN , AlCrN , DLC) et technologie d'usinage de précision. Ces outils sont conçus pour le secteur aéronautique et permettent d'usiner des alliages à haute résistance et haute température (tels que l'Inconel 718, le Ti6Al4V), l'acier inoxydable et les matériaux composites (tels que les matériaux composites renforcés de fibres de carbone CFRP). Les outils aéronautiques doivent présenter une dureté extrêmement élevée (1800-2200 HV), une résistance mécanique (2,2-2,5 GPa) , une résistance à l'usure (coefficient de frottement < 0,3), une résistance aux hautes températures (> 1000 °C) et une précision géométrique ultra-élevée ($\pm$ 0,01-0,05 mm, conformément à la norme GB/T 345052017) pour répondre aux exigences strictes de coupe à grande vitesse (500-2000 m/min), d'avance élevée (0,1-0,5 mm/tr) et de longue durée de vie (> 60 minutes). Cet article combine les normes nationales (telles que GB/T 183762014, GB/T 79972017) et les pratiques industrielles (telles que Sandvik, 2023 ; ScienceDirect, 2021) pour analyser en détail les types, les caractéristiques et les applications des outils d'aviation en carbure cimenté.

1. Types d'outils d'aviation en carbure

Les outils aéronautiques en carbure sont répartis en cinq catégories, selon leurs fonctions d'usinage, les matériaux utilisés et les formes géométriques. Chaque type d'outil est conçu pour répondre aux besoins spécifiques des pièces aéronautiques (aubes de moteur, trous de connexion de fuselage et structures en matériaux composites). Leur nom commence par « Carbide Aviation » pour souligner leur professionnalisme :

Types de fraises en carbure pour l'aviation

Fraises monobloc en carbure pour l'aviation : utilisées pour le traitement des plans, des côtés et des rainures, adaptées aux tâches de fraisage générales.

Fraise à boulets en carbure pour l'aviation : utilisée pour le traitement de surfaces complexes et de contours tridimensionnels, tels que la forme de la lame.

Fraise à nez rond en carbure pour l'aviation : prend en compte le traitement des surfaces planes et courbes, adapté au traitement de semi-finition.

Fraise à bord ondulé en carbure pour l'aviation : bord de coupe ondulé , réduit les vibrations, convient au traitement des matériaux composites.

Fraise aéronautique en carbure de forme

Multi-bords (48 bords), diamètre $\varnothing$ 550 mm, longueur 50150 mm, longueur du bord 1050 mm, la tige adopte une interface standard HSK ou BT pour assurer une rigidité élevée.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Nuances de fraises en carbure pour l'aviation

YN8N (Ni 8 % en poids , grain < 0,5 μ m , résistant à la corrosion, adapté aux alliages à haute température), YG6X (Co 6 % en poids , grain < 0,5 μ m , haute ténacité, adapté aux matériaux composites).

Types de forets d'aviation en carbure

Foret hélicoïdal en carbure d'aviation : outil de perçage standard adapté aux alliages de titane et à l'acier inoxydable.

Foret étagé en carbure pour l'aviation : réalise le traitement de trous à plusieurs niveaux en une seule fois, adapté aux trous de connexion du fuselage.

Foret aéronautique en carbure pour trous profonds : rapport hauteur/largeur > 5:1, adapté au traitement des trous profonds des pièces de moteur.

Foret carbure spécial pour matériaux composites aéronautiques : faible effort de coupe, évite le délaminage du CFRP.

Forme de foret d'aviation en carbure

Goujure hélicoïdale (angle d'hélice 30-40°, évacuation des copeaux optimisée), Ø 320 mm, longueur 50-200 mm, angle de pointe 118-140° (ajusté au matériau).

Nuances : YG6X (dureté élevée, résistance à l'usure), YN10 (Co/Ni 610 % en poids , résistance à la corrosion, adapté au traitement humide).

Alésoir aviation en carbure :

Forets d'aviation en carbure :

Alésoir à rainure droite en carbure pour aviation : traitement de trous de haute précision, adapté aux matériaux métalliques tels que l'alliage de titane.

Alésoir cannelé hélicoïdal en carbure d'aviation : évacuation améliorée des copeaux, adapté aux trous profonds et aux matériaux collants.

Alésoir composite aérospatial en carbure : faible effort de coupe, évite le délaminage du CFRP et les bavures.

Forme : Multi-tranchant (46 tranchants), diamètre Ø 530 mm, longueur 50100 mm, longueur lame 2040 mm.

Nuance : YN6 (Ni 6 % en poids, granulométrie 0,51,5 μ m , excellente résistance à l'usure), YG8 (Co 8 % en poids , granulométrie 0,51,5 μ m , bonne ténacité).

Types d'outils de tournage en carbure pour l'aviation

Outil de tournage cylindrique externe en carbure pour l'aviation : traitement de la surface extérieure des pièces d'arbre, telles que l'arbre de turbine.

Fraise à rainurer aviation en carbure : pour le traitement de rainures étroites et la découpe, adaptée aux pièces complexes.

Fraise à fileter en carbure pour l'aviation : traitement de filetages de haute précision de pièces aéronautiques.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Type et forme d'outil de tournage en carbure pour l'aviation

Plaquettes indexables (carrées, triangulaires, diamantées), dimensions 10×10×5 mm à 20×20×6 mm, rayon de pointe 0,20,8 mm.

Type et nuance d'outils de tournage en carbure cimenté pour l'aviation

YN8N (résistance aux hautes températures, adapté aux alliages à haute température), YG6X (haute résistance, anti-écaillage) .

Types d'outils de formage en carbure pour l'aviation

Fraise à contour personnalisée en carbure pour l'aviation : traitement de surfaces complexes telles que les bords d'ailes.

Outil d'usinage composite en carbure pour l'aviation : combine les fonctions de perçage et de fraisage en une seule, adapté à un usinage efficace.

Forme : géométrie complexe (surfaces courbes multiples, rainures de forme spéciale), taille Ø 1050 mm, sur mesure.

Nuances : YN8N (résistant à la corrosion, adapté aux matériaux composites), YG6X (haute ténacité, adapté au traitement multifonctionnel).

2. Caractéristiques des outils aéronautiques en carbure cimenté

2.1 Propriétés matérielles des outils d'aviation en carbure cimenté

Substrat d'outil d'aviation en carbure

WC (carbure de tungstène) : 8594 % en poids, dureté > 2000 HV, offrant une excellente résistance à l'usure et une excellente capacité de coupe.

Ni/Co (phase liante) : 615 % en poids, Ni (YN8N, 610 % en poids) améliore la résistance à la corrosion et convient au traitement des alliages à haute température et aux environnements humides ; Co (YG6X, 615 % en poids) améliore la ténacité et convient aux matériaux composites et aux conditions d'impact.

Granulométrie : Grain ultrafin (<0,5 μm), améliore significativement la dureté (1800-2200 HV) et la résistance à la flexion (2,2-2,5 GPa), et réduit les fissures sur les bords.

Additifs : Cr3C2/VC (0,10,5 % en poids), inhibent la croissance des grains, réduisent la phase η (carbure nocif, teneur < 0,5 %) et améliorent la stabilité du matériau.

Revêtement d'outils d'aviation en carbure

TiAlN (nitrure de titane et d'aluminium) : résistant aux hautes températures (>1000°C), épaisseur 24 μm, adapté à la coupe à grande vitesse d'alliages à haute température, prolongeant la durée de vie de l'outil de 20 à 30 %.

AlCrN (nitrure d'aluminium et de chrome) : excellente résistance à l'usure, épaisseur 35 μm, adapté aux matériaux composites et au traitement des métaux durs.

DLC (Diamond-Like Carbon Coating) : Faible coefficient de frottement (<0,1), épaisseur 13 μm, réduit le collage des copeaux et le délaminage lors du traitement du CFRP.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Préparation d'outils aéronautiques en carbure cimenté

Mélange : broyage à billes à haute énergie (2436 heures, rapport billes/matériau 15:1, 300400 tr/min), garantissant une granulométrie de poudre D50 < 100 μ m , une teneur en oxygène < 0,03 % (conformément à GB/T 345052017).

Liant : polyéthylène glycol (PEG, 0,1 à 0,2 % en poids) ou paraffine (0,51 % en poids) pour optimiser la fluidité de la poudre.

2.2 Caractéristiques de performance des outils aéronautiques en carbure cimenté

Dureté : 18002200 HV (GB/T 79972017), assurant une excellente résistance à l'usure, taux d'usure < 0,1 mm³ / min (50 % inférieur au carbure cimenté ordinaire).

Résistance : 2,22,5 GPa (GB/T 38512015), forte résistance à l'écaillage, adapté au traitement à haute alimentation.

Ténacité : Ténacité à la rupture KIC 912 MPa·m^{1/2}, capable de résister aux chocs et aux vibrations lors de coupes à grande vitesse.

Résistance à haute température : >1000°C, maintien des performances de coupe, adapté au traitement à sec ou à lubrification minimale (vitesse de coupe 5002000 m/min).

Résistance à la corrosion : les nuances à base de Ni (telles que YN8N) sont résistantes à la corrosion acide et alcaline et conviennent au traitement humide et aux matériaux corrosifs.

Précision géométrique : rayon de coupe <10 μ m , rugosité de surface Ra <0,2 μ m , écart dimensionnel $\pm$ 0,010,05 mm, répondant aux exigences de tolérance des pièces aéronautiques ($\pm$ 0,02 mm).

Adhérence du revêtement : Force de liaison > 100 N (conformément à la norme ISO 26443), garantissant que le revêtement ne se décolle pas lors de la découpe à grande vitesse.

2.3 Caractéristiques d'usinage des outils aéronautiques en carbure cimenté

Découpe à grande vitesse : prend en charge des vitesses de coupe de 500 à 2 000 m/min (comme le fraisage Inconel 718 à 800 m/min, le perçage CFRP à 200 m/min), améliorant l'efficacité du traitement de 30 à 50 %.

Vitesse d'avance élevée : vitesse d'avance de 0,1 à 0,5 mm/tr, adaptée au traitement efficace de grandes pièces aéronautiques.

Longue durée de vie : la durée de vie de l'outil est de 60 à 80 minutes (50 % plus longue que les outils ordinaires), ce qui réduit la fréquence des changements d'outils.

Faible rugosité de surface : Ra < 0,8 μ m (métal) ou Ra < 0,4 μ m (CFRP) sur la surface usinée, répondant aux exigences de qualité de surface des pièces aéronautiques.

Adaptabilité environnementale : prend en charge le traitement à sec, à lubrification minimale (MQL) ou humide et s'adapte à une variété d'environnements de traitement.

3. Application des outils aéronautiques en carbure cimenté

Fraise aéronautique en carbure

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Scénarios d'application des fraises aéronautiques en carbure cimenté

Usinage d'aubes de moteurs d'avion et de disques de turbine (Inconel 718, Ti6Al4V) pour assurer la précision des surfaces complexes.

Usinage de matériaux composites (CFRP) tels que les ailes et les structures de cabine pour éviter le délaminage et les bavures.

Performance :

Vitesse de coupe : 800-2000 m/min (Inconel 718 800 m/min, CFRP 1500 m/min).

Vitesse d'avance : 0,20,5 mm/tr.

Durée de vie : 80 minutes (superalliage), 100 minutes (CFRP).

Rugosité de surface : $Ra < 0,8 \mu m$.

Exemples :

Fraise à boulets en carbure aviation (YN8N, Ø 10 mm, revêtement TiAlN) :

Usinage de lames Inconel 718, vitesse de coupe 800 m/min, avance 0,2 mm/tr.

Résultats : tolérance de profil $\pm 0,02$ mm, surface $Ra 0,6 \mu m$, durée de vie de l'outil 80 minutes (Sandvik, 2023).

Fraise à bord ondulé en carbure aviation (YG6X, Ø 12 mm, revêtement AlCrN) :

Usinage de panneaux d'ailes en PRFC, vitesse de coupe 1500 m/min, avance 0,3 mm/tr.

Résultats : Pas de délaminage, surface $Ra 0,4 \mu m$, durée de vie 100 minutes.

Scénarios d'application des forets aéronautiques en carbure cimenté

Le traitement des trous de connexion du fuselage en alliage de titane (Ti6Al4V) garantit une haute précision et de faibles bavures.

Traitement des structures stratifiées CFRP/aluminium pour éviter le délaminage et la déchirure du matériau.

Performance

Vitesse de coupe : 50200 m/min (Ti6Al4V 50 m/min, CFRP 200 m/min).

Vitesse d'avance : 0,10,2 mm/tr.

Durée de vie : 60 minutes (métal), 80 minutes (CFRP).

Précision d'ouverture : $\pm 0,02$ mm.

Exemples :

Foret hélicoïdal aviation en carbure (YG6X, Ø 6 mm, revêtement AlCrN) :

Usinage de trous de connexion Ti6Al4V, profondeur de trou 50 mm, vitesse de coupe 50 m/min, avance 0,1 mm/tr.

Résultats : écart de diamètre du trou $\pm 0,02$ mm, aucune bavure, durée de vie de l'outil 60 minutes.

Foret carbure pour matériaux composites aéronautiques (YN10, Ø 8 mm, revêtement DLC) :

Usinage de piles CFRP/aluminium, vitesse de coupe 200 m/min, avance 0,15 mm/tr.

Résultats : Pas de délaminage, paroi du trou $Ra 0,3 \mu m$, durée de vie 80 minutes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Scénarios d'application des alésoirs aéronautiques en carbure cémenté

Usinage de finition des trous d'empilement CFRP/aluminium pour garantir une haute précision et une faible rugosité.

Traitement de trous de haute précision dans les pièces du moteur, tels que les trous de siège de roulement.

Performance :

Vitesse de coupe : 100300 m/min (CFRP 200 m/min, alliage de titane 100 m/min).

Vitesse d'avance : 0,150,3 mm/tr.

Durée de vie : 50 minutes (métal), 70 minutes (CFRP).

Rugosité de surface : $Ra < 0,4 \mu m$.

Exemples :

Alésoir à goujures hélicoïdales en carbure aviation (YN6, Ø 8 mm, revêtement DLC) :

Usinage de trous en PRFC avec une vitesse de coupe de 200 m/min et une avance de 0,15 mm/tr.

Résultats : Tolérance d'ouverture $\pm 0,01$ mm, surface $Ra 0,3 \mu m$, durée de vie 70 minutes.

Alésoir à goujures droites en carbure aviation (YG8, Ø 10 mm, revêtement TiAlN) :

Usinage du trou de siège de roulement Ti6Al4V, vitesse de coupe 100 m/min, avance 0,2 mm/tr.

Résultats : Écart d'ouverture $\pm 0,015$ mm, $Ra 0,4 \mu m$, durée de vie 50 minutes.

Scénarios d'application des outils de tournage aéronautiques en carbure cémenté

Usinage du diamètre extérieur des pièces d'arbre en alliage haute température, telles que les arbres de turbine.

Traitement de filetages et de rainures étroites, tels que les connexions de moteurs.

Performance :

Vitesse de coupe : 200-600 m/min (Inconel 718 200 m/min, acier inoxydable 600 m/min).

Vitesse d'avance : 0,2-0,4 mm/tr.

Durée de vie : 70 minutes (alliage haute température), 90 minutes (acier inoxydable).

Rugosité de surface : $Ra < 0,8 \mu m$.

Exemples :

Outil de tournage extérieur en carbure aéronautique (YG6X, lame 12×12×5 mm, revêtement TiAlN) :

Usinage d'arbre de turbine en Inconel 718, vitesse de coupe 200 m/min, avance 0,2 mm/tr.

Résultats : Surface $Ra 0,7 \mu m$, tolérance $\pm 0,03$ mm, durée de vie 70 minutes.

Fraise à fileter en carbure aéronautique (YN8N, lame 16×16×5 mm, revêtement TiAlN) :

Usinage de filetages en acier inoxydable, vitesse de coupe 400 m/min, avance 0,3 mm/tr.

Résultats : Précision du filetage IT6, $Ra 0,6 \mu m$, durée de vie 90 minutes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Scénarios d'application des outils de formage aéronautique en carbure cémenté

Usinage de contours composites complexes tels que les bords d'ailes et les structures de coque.
Traitement de rainures de forme spéciale en alliage de titane, telles que les rainures du carter moteur.

Performance :

Vitesse de coupe : 200 500 m/min (CFRP 500 m/min, alliage de titane 200 m/min).
Vitesse d'avance : 0,150,3 mm/tr.
Durée de vie : 60 minutes (CFRP), 50 minutes (alliage de titane).
Précision du contour : ±0,03 mm.

Exemples :

Fraise à contour personnalisée en carbure pour l'aviation (YN8N, Ø 20 mm, revêtement AlCrN) :

Usinage de bord d'aile en PRFC, vitesse de coupe 500 m/min, avance 0,2 mm/tr.
Résultats : Tolérance du profil ±0,03 mm, pas de délaminage, durée de vie 60 minutes.

Outil d'usinage composite aéronautique en carbure (YG6X, Ø 15 mm, revêtement DLC) :

Usinage de rainures de forme spéciale Ti6Al4V, vitesse de coupe 200 m/min, avance 0,15 mm/tr.
Résultats : Tolérance de profondeur de rainure ±0,02 mm, Ra 0,5 µ m , durée de vie 50 minutes.

4. Comparaison des outils d'aviation en carbure

Type d'outil	Marque	forme	revêtement	Vitesse de coupe m/min	de vie minute	Précision mm	Applications typiques
Fraise monobloc en carbure pour l'aviation	YN8N, YG6X	Multi-lames Ø 550 mm	TiAlN , AlCrN	5002000	80100	±0,02	Lames, rabot en PRFC
Fraise à boulets en carbure pour aviation	YN8N, YG6X	Rotule Ø 550 mm	TiAlN , AlCrN	8001500	80100	±0,02	Surface de la lame
Foret hélicoïdal en carbure pour l'aviation	YG6X, YN10	spirale Ø 320 mm	AlCrN , DLC	50200	6080	±0,02	Trou en alliage de titane
Forets en carbure cémenté pour matériaux composites aéronautiques	YG6X, YN10	spirale Ø 320 mm	DLC	100200	80	±0,02	Trou laminé en PRFC
Alésoir cannelé en spirale en carbure pour aviation	YN6, YG8	Multi-lames Ø 530 mm	DLC, TiAlN	100300	5070	±0,01	Finition des trous en PRFC
Outil de tournage extérieur en carbure pour l'aviation	YN8N, YG6X	lame 1020 mm	TiAlN	200600	7090	±0,03	arbre de turbine
Couteau à contour personnalisé en	YN8N,	complexe	AlCrN , DLC	200500	5060	±0,03	Profil d'aile

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Type d'outil	Marque	forme	revêtement	Vitesse de coupe m/min	de vie minute	Précision mm	Applications typiques
carbure pour l'aviation	YG6X	Ø 1050 mm					

5. Suggestions d'optimisation

Sélection des matériaux :

Traitement des alliages à haute température : sélectionnez YN8N (Ni 8 % en poids , grain $< 0,5 \mu m$) , dureté augmentée de 5 % , résistance à la corrosion augmentée de 20 %.

Traitement des matériaux composites : utilisez YG6X (Co 6 % en poids) pour augmenter la ténacité de 10 % et réduire le risque de délaminage.

Additif : Cr3C2 (0,2 % en poids) , améliore la résistance à l'usure de 15 %.

Optimisation du revêtement :

TiAlN (3 μm) : Traitement d'alliage à haute température, résistance à la température augmentée de 20 % , durée de vie augmentée de 30 %.

AlCrN (4 μm) : Matériau composite et alliage de titane, résistance à l'usure augmentée de 25 %.

DLC (2 μm) : Traitement CFRP, le coefficient de frottement est réduit à $< 0,1$ et le collage est réduit de 50 %.

géométrie :

Optimisation de l'arête de coupe : rayon de l'arête de coupe $< 10 \mu m$, réduisant la chaleur de coupe de 20 % et améliorant la qualité de surface.

Réglage de l'angle d'hélice : L'angle d'hélice des outils en matériaux composites est de 3540° , ce qui améliore l'évacuation des copeaux et réduit le délaminage.

Angle arrière renforcé : angle arrière 1015° , réduisant l'effort de coupe de 15% et prolongeant la durée de vie de l'outil.

Paramètres de traitement :

Coupe à grande vitesse : Inconel 718 vitesse de coupe 800-1000 m/min, avance 0,2-0,3 mm/tr.

Faible vitesse et haute précision : vitesse de coupe CFRP 100200 m/min, avance 0,10,15 mm/tr.

Lubrification en quantité minimale (MQL) : réduit la chaleur de coupe de 30 % et prolonge la durée de vie de l'outil de 20 %.

Post- traitement :

Broyage : Ra $< 0,4 \mu m$, réduisant la concentration de contrainte de 30 %.

Polissage : Ra $< 0,2 \mu m$, réduisant l'adhérence des copeaux de 50 % et améliorant la qualité de surface.

Grenaillage : dureté superficielle augmentée de 5%, résistance à la fatigue augmentée de 20% .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6. Normes

GB/T 345052017 : Précision dimensionnelle $\pm 0,2$ mm, écart de tolérance $< \pm 5\%$.

GB/T 183762014 : Porosité $< 0,01\%$, uniformité du matériau $> 95\%$.

GB/T 38502015 : Vérification de la densité, garantissant une densité $> 99\%$.

GB/T 51692013 : Grade de porosité A02B00C00.

GB/T 38512015 : Résistance à la flexion 1,82,5 GPa .

GB/T 79972017 : Dureté 14002200 HV.

7. Conclusion

Les outils aéronautiques en carbure cimenté comprennent cinq catégories : fraises, forets, alésoirs, outils de tournage et outils de formage. Ils utilisent du carbure cimenté à grains ultrafins (YN8N, YG6X) et des revêtements avancés (TiAlN, AlCrN, DLC) pour répondre aux besoins de traitement des alliages et composites haute température destinés à l'aéronautique.

Fraise aéronautique en carbure : adaptée aux surfaces complexes et aux matériaux composites, vitesse de coupe 800-2000 m/min, durée de vie 80-100 minutes.

Foret d'aviation en carbure : usinage de trous de haute précision, vitesse de coupe 50200 m/min, écart de diamètre de trou $\pm 0,02$ mm.

Alésoir aviation en carbure : trou de finition, surface $Ra < 0,4 \mu m$, tolérance $\pm 0,01$ mm.

Outils de tournage aéronautique en carbure : usinage de l'arbre et du filetage, durée de vie 7090 minutes.

Outils de formage aéronautique en carbure : usinage de contours complexes, précision $\pm 0,03$ mm.

Ces outils améliorent considérablement l'efficacité d'usinage et la qualité des pièces aéronautiques grâce à leur dureté élevée, leur résistance aux températures élevées et leur ultra-haute précision, et sont largement utilisés dans la fabrication de moteurs, de fuselages et de structures composites.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

appendice:

Produits en carbure cimenté couverts dans ce chapitre **Types, caractéristiques et applications des forets miniers en carbure cimenté**

Les forets miniers en carbure sont des outils hautes performances fabriqués à partir de carbure cimenté à grains moyens-fins (WC + Co / Ni, granulométrie $0,52 \mu m$) comme matériau de base, combiné à une technologie de revêtement résistant à l'usure (comme TiN , TiCN) et technologie d'usinage de précision. Ces forets sont conçus pour l'exploitation minière, le creusement de tunnels et l'exploration géologique, et sont utilisés pour traiter les roches dures (telles que le granit, le basalte, résistance à la compression $> 200 \text{ MPa}$), les veines de charbon et les minerais. Les forets miniers doivent avoir une dureté élevée (1400-1800 HV), une résistance à la flexion (1,8-2,5 GPa) , une excellente résistance à l'usure (volume d'usure $< 0,2 \text{ mm}^3/\text{h}$), une résistance aux chocs (KIC 912 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$) et une précision dimensionnelle ($\pm 0,2\text{-}0,5 \text{ mm}$, conformément à la norme GB/T 345052017) pour résister aux chocs violents (1050 kN) , aux vitesses élevées (100-500 tr/min) et aux environnements difficiles (poussière, humidité). Cet article combine les normes nationales (telles que GB/T 183762014, GB/T 79972017) et les pratiques de l'industrie (telles que Sandvik, 2023 ; ScienceDirect, 2021) pour analyser en détail les types, les caractéristiques et les applications des forets miniers en carbure cimenté, et affine la description pour assurer une compréhension claire des lecteurs, en complétant les comparaisons de performances, les cas typiques et les suggestions d'optimisation.

1. Types de forets miniers en carbure

Les forets miniers en carbure sont classés en trois catégories, selon leur fonction, le type de roche et leur géométrie. Chaque type de foret est conçu pour répondre aux besoins spécifiques des tâches minières (forage de roches dures, extraction de charbon et excavation de minerai). Le nom est affiné et commence par « Carbide Mining » pour souligner son professionnalisme :

Types de forets à rouleaux en carbure pour mines

Forets miniers tri-cônes en carbure

Utilisé pour le forage de roches dures et moyennement dures, adapté aux grandes mines à ciel ouvert.

Forets miniers monocônes en carbure

Utilisé pour la géologie petite ou complexe, avec une grande flexibilité.

forme

Dents coniques ou sphériques, nombre de dents 10-30, diamètre de foret $\varnothing 100\text{-}400 \text{ mm}$, longueur 200-600 mm, filetage standard API de raccordement.

Marque

YN10 (Co 10 % en poids , grain $0,51,5 \mu m$, résistant aux chocs), YG8 (Co 8 % en poids , grain $0,51,5 \mu m$, résistant à l'usure).

Types de forets DTH en carbure pour mines

Forets DTH standard en carbure pour l'exploitation minière

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Utilisé dans les roches moyennement dures et tendres, adapté aux trous de mine.

Foret fond de trou à haute pression pour l'extraction minière au carbure

Utilisé dans les trous profonds et les roches dures avec une grande efficacité.

forme

Cylindrique, avec dents en carbure sphériques ou en forme de balle, nombre de dents 820, diamètre du foret Ø 80-200 mm, longueur 150-300 mm.

Nuance : YG8 (dureté élevée), YN10 (résistant à la corrosion, adapté au perçage humide).

Types de pics miniers en carbure

Pics coniques en carbure pour mines

Pour une utilisation dans les veines de charbon et les roches tendres, convient aux machines à attaque ponctuelle .

Pics cylindriques en carbure pour mines

Utilisé pour les roches moyennement dures, adapté à l'exploitation minière complète.

forme

Tête conique ou cylindrique, diamètre de tête Ø 1030 mm, longueur 50100 mm, corps de base en acier à haute résistance (tel que 42CrMo).

Marque

YG6 (Co 6 % en poids , granulométrie 1,52 µ m , résistant aux chocs), YN10 (haute ténacité).

2. Caractéristiques des forets miniers en carbure

2.1 Propriétés matérielles des forets miniers en carbure cimenté

Corps de foret minier en carbure

WC (carbure de tungstène) : 8592 % en poids , dureté > 2000 HV, offrant une excellente résistance à l'usure et une excellente capacité de coupe.

Co/Ni (phase liante) : 815 % en poids , Co (YG8, 815 % en poids) améliore la ténacité et convient aux conditions d'impact élevé ; Ni (YN10, 610 % en poids) améliore la résistance à la corrosion et convient aux veines de charbon humides et aux environnements acides.

Granulométrie : Les grains moyennement fins (0,5 à 1,5 µ m , YN10/YG8) équilibrent la dureté (1400 à 1800 HV) et la ténacité (KIC 912 MPa · m^{1/2}) ; les grains grossiers (1,52 µ m , YG6) améliorent encore la résistance aux chocs.

Additifs : Cr3C2 (0,10,5 % en poids), inhibe la croissance des grains, réduit la phase η (carbures nocifs, teneur < 0,5 %) et améliore la stabilité du matériau.

Revêtement de foret minier en carbure (en option)

TiN (nitrure de titane) : résistant à l'usure, épaisseur 24 µ m , adapté au forage de roches dures, prolongeant la durée de vie de 15 à 20 %.

TiCN (carbonitrure de titane) : résistant aux chocs, 35 µ m épais, adapté aux veines de charbon et aux roches tendres, réduit l'usure de 25 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Préparation des forets miniers en carbure

Mélange : broyage à billes à haute énergie (1624 heures, rapport billes/matériau 10:1, 200300 tr/min), garantissant une granulométrie de poudre D50 50150 μm , une teneur en oxygène $< 0,03\%$ (conformément à GB/T 345052017).

Liant : polyéthylène glycol (PEG, 0,1 à 0,2 % en poids) ou paraffine (0,51 % en poids) pour optimiser la fluidité de la poudre.

2.2 Caractéristiques de performance des forets miniers en carbure cimenté

Dureté : 14001800 HV (GB/T 79972017), excellente résistance à l'usure, taux d'usure $< 0,2\text{ mm}^3/\text{h}$ (40 % inférieur au carbure cimenté ordinaire).

Résistance : 1,82,5 GPa (GB/T 38512015), résistant à la fracture, adapté aux environnements à fort impact.

Ténacité : Ténacité à la rupture KIC 912 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, résistant aux chocs haute fréquence (1050 kN) et aux vibrations.

Résistance à l'usure : usure $< 0,2\text{ mm}^3/\text{h}$, durée de vie de l'outil 80-120 heures (50-100 % plus longue que les forets ordinaires).

Résistance à la corrosion : les nuances à base de Ni (telles que YN10) résistent à l'humidité et aux environnements acides et conviennent au forage humide.

Précision géométrique : écart dimensionnel $\pm 0,20,5\text{ mm}$, rugosité de surface $R_a < 1,6\text{ }\mu\text{m}$, répondant aux exigences de tolérance de perçage ($\pm 0,5\text{ mm}$).

Adhérence du revêtement : Force d'adhérence $> 80\text{ N}$ (conformément à la norme ISO 26443), garantissant que le revêtement ne se décolle pas sous un impact élevé.

2.3 Caractéristiques de traitement des forets miniers en carbure cimenté

Forage à fort impact : supporte une force d'impact de 1050 kN (comme 30 kN pour le forage fond de trou), adapté à l'extraction de roches dures et de minerais.

Vitesse élevée : 100-500 tr/min (200 tr/min pour le foret à rouleau, 300 tr/min pour le pic), augmentant l'efficacité de perçage de 20 à 30 %.

Longue durée de vie : durée de vie de l'outil de 80 à 120 heures, réduisant la fréquence de remplacement et les coûts d'arrêt.

Adaptabilité environnementale : Résistant à la poussière, à l'humidité et aux hautes températures ($> 200\text{ }^\circ\text{C}$), supporte le perçage à sec ou humide.

Faible coût d'entretien : la résistance à l'usure et la ténacité élevées réduisent l'usure des dents et prolongent le cycle d'entretien de 50 %.

3. Application des forets miniers en carbure cimenté

Scénarios d'application des forets rotatifs miniers en carbure cimenté

Forage de roches dures (par exemple granit, basalte), utilisé dans les mines à ciel ouvert et les puits profonds.

Exploration géologique, traitement de trous de grand diamètre ($\varnothing 200400\text{ mm}$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Performance :

Vitesse de rotation : 150 200 tr/min.

Force d'impact : 2040 kN .

Durée de vie : 100-120 heures.

Précision de perçage : écart de diamètre du trou $\pm 0,5$ mm.

Exemples :

Foret minier tricône en carbure (YN10, Ø 250 mm, revêtement TiN) :

Traitement du granit (résistance à la compression 220 MPa), vitesse de rotation 200 tr/min, force d'impact 30 kN .

Résultats : profondeur du trou 500 m, écart du diamètre du trou $\pm 0,5$ mm, durée de vie 120 heures (ScienceDirect, 2021).

Foret minier monocône en carbure (YG8, Ø 150 mm, revêtement TiCN) :

Traitement de roches moyennement dures (résistance à la compression 150 MPa), vitesse de rotation 180 tr/min, force d'impact 25 kN .

Résultats : Profondeur du trou 300 m, durée de vie 100 heures.

Forets fond de trou en carbure pour l'exploitation minière :

Scénarios d'application :

Extraction de fer et de cuivre, traitement des trous de mine (Ø 80-200 mm).

Creusement de tunnels dans des roches mi-dures et tendres.

Performance :

Vitesse de rotation : 100-150 tr/min.

Force d'impact : 2030 kN .

Durée de vie : 80100 heures.

Précision de perçage : écart de diamètre du trou $\pm 0,4$ mm.

Exemples :

Foret minier standard en carbure fond de trou (YG8, Ø 120 mm, revêtement TiCN) :

Traitement du minerai de fer (résistance à la compression 180 MPa), vitesse de rotation 150 tr/min, force d'impact 25 kN .

Résultats : profondeur du trou 100 m, écart du diamètre du trou $\pm 0,4$ mm, durée de vie 100 heures.

Foret minier en carbure à air comprimé haute pression (YN10, Ø 100 mm, revêtement TiN) :

Traitement du basalte (résistance à la compression 200 MPa), vitesse de rotation 120 tr/min, force d'impact 30 kN .

Résultats : Profondeur du trou 150 m, durée de vie 90 heures.

Pics miniers en carbure :

Scénarios d'application :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Exploitation minière de charbon, pour les machines à attaque ponctuelle et les équipements intégrés d'exploitation minière de charbon.

Excavation de roches moyennement dures, telles que le grès (résistance à la compression 100-150 MPa).

Performance :

Vitesse de rotation : 200-300 tr/min.

Force d'impact : 1020 kN .

Durée de vie : 80100 heures.

Rugosité de surface : Ra <1,6 μ m .

Exemples :

Pics miniers en carbure (YG6, Ø 20 mm, non revêtus) :

Traitement de veine de charbon (résistance à la compression 50 MPa), vitesse de rotation 300 tr/min, force d'impact 10 kN .

Résultats : 5000 m d'excavation, 80 heures de durée de vie, usure < 0,15 mm³/h.

Pic cylindrique minier en carbure (YN10, Ø 25 mm, revêtement TiN) :

Traitement du grès (résistance à la compression 120 MPa), vitesse de rotation 250 tr/min, force d'impact 15 kN .

Résultat : Excavation 4000 m, durée de vie 100 heures.

4. Comparaison des types de forets miniers en carbure

Type de foret	Marque	forme	revêtement	Vitesse tr/min	vie Heure	Précision (mm)	Applications typiques
Forets miniers tri-cônes en carbure	YN10, YG8	Dents coniques/sphériques, Ø 100400 mm	TiN , TiCN	150200	100120	±0,5	Hard rock, exploration
Forets DTH standard en carbure pour l'exploitation minière	YG8, YN10	Dents sphériques, Ø 80200 mm	TiCN	100150	80100	±0,4	Minerai de fer, tunnel
Pics coniques en carbure pour mines	YG6, YN10	Conique, Ø 1030 mm	Aucun/ TiN	200300	80100	±0,3	veine de charbon, roche tendre

5. Suggestions d'optimisation

Sélection des matériaux :

Forage de roche dure : utilisez du YN10 (Co 10 % en poids , granulométrie 0,5-1,5 μ m) , la dureté augmente de 5 % et la résistance aux chocs augmente de 15 %.

Extraction du charbon : YG6 (Co 6 % en poids , granulométrie 1,52 μ m) est sélectionné, avec une augmentation de 20 % de la ténacité et de la résistance à la fracture.

Additif : Cr₃C₂ (0,2 % en poids) , résistance à l'usure augmentée de 15 %.

Optimisation du revêtement :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

TiN (3 μ m) : Pour le forage de roches dures, la résistance à l'usure augmente de 20 % et la durée de vie augmente de 15 %.

TiCN (4 μ m) : Filtres de charbon et roches tendres, résistance aux chocs augmentée de 20 %.

géométrie :

Forme de dent optimisée : dents sphériques (roche dure) ou coniques (roche tendre), réduisant l'usure de 20%.

Disposition des dents : Disposition asymétrique, réduit les vibrations de 15 % et améliore l'efficacité du perçage.

Renforcement de la matrice : matrice en acier 42CrMo, résistance à la fatigue augmentée de 30%.

Paramètres de traitement :

Roche dure : vitesse de rotation 150200 tr/min, force d'impact 2030 kN .

Roche tendre : vitesse de rotation 200-300 tr/min, force d'impact 1015 kN .

Forage humide : débit d'eau 1020 L/min, réduisant l'usure de 25%.

Post- traitement :

Broyage : Ra <1,6 μ m , réduisant la concentration de contrainte de 20 %.

Grenailage : dureté superficielle augmentée de 5%, résistance à la fatigue augmentée de 25% .

6. Normes

GB/T 345052017 : Précision dimensionnelle $\pm 0,2$ mm, écart de tolérance $< \pm 5\%$.

GB/T 183762014 : Porosité $< 0,01$ %, uniformité > 95 %.

GB/T 38502015 : Vérification de la densité.

GB/T 51692013 : Grade de porosité A02B00C00.

GB/T 38512015 : Résistance à la flexion 1,82,5 GPa .

GB/T 79972017 : Dureté 14001800 HV.

7. Conclusion

Les forets miniers en carbure se divisent en trois catégories : forets à rouleaux, forets fond de trou et pics. Fabriqués en carbure à grains moyens-fins (YN10, YG8, YG6) et revêtus de revêtements résistants à l'usure (TiN , TiCN) , ils répondent aux besoins de l'exploitation des roches dures, des veines de charbon et des minerais.

Forets à rouleaux en carbure pour mines : perçage de roches dures, vitesse 150-200 tr/min, durée de vie 100-120 heures.

Trépans de forage fond de trou en carbure pour mines : minerais et tunnel, vitesse 100-150 tr/min, durée de vie 80-100 heures.

Pics miniers en carbure : veines de charbon et roches tendres, vitesse 200-300 tr/min, durée de vie 80-100 heures.

Ces forets améliorent considérablement l'efficacité et l'économie de l'exploitation minière grâce à leur dureté élevée, leur résistance aux chocs et leur longue durée de vie, et sont largement utilisés

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

dans les mines à ciel ouvert, les mines souterraines et les projets de tunnels.

appendice:

Produits en carbure cimenté couverts dans ce chapitre

Types, caractéristiques et applications des moules résistants à l'usure en carbure cimenté

Les moules résistants à l'usure en carbure cimenté sont des outils hautes performances fabriqués à partir de carbure cimenté à grains moyens-fins (WC +Co /Ni, granulométrie $0,52\text{ }\mu\text{m}$) comme matériau de base, combiné à une technologie d'usinage de précision et à une technologie de revêtement en option (telle que TiN , CrN). Ces moules sont conçus pour le formage, l'emboutissage et l'extrusion industriels, et sont utilisés pour le traitement des métaux (tels que l'acier, l'aluminium), les plastiques, la céramique et d'autres matériaux. Les moules résistants à l'usure en carbure cimenté doivent présenter une dureté élevée (1 400 à 1 800 HV), une résistance élevée (1,8 à 2,5 GPa) , une excellente résistance à l'usure (perte par usure $< 0,1\text{ mm}^3/\text{h}$), une résistance à la corrosion et une précision dimensionnelle ($\pm 0,01$ à $0,05\text{ mm}$, conformément à la norme GB/T 345052017) pour supporter des pressions élevées (5 000 à 2 000 MPa), des fréquences élevées ($> 10^6$ fois) et des conditions de travail complexes (haute température, corrosion). Cet article combine les normes nationales (telles que GB/T 183762014, GB/T 79972017) et les pratiques de l'industrie (telles que Sandvik, 2023 ; ScienceDirect, 2021) pour analyser en détail les types, les caractéristiques et les applications des moules résistants à l'usure en carbure cimenté, et affine la description pour assurer une compréhension claire des lecteurs, complète les comparaisons de performances, les cas typiques et les suggestions d'optimisation, et détaille le nom du produit sous la forme de « carbure cimenté résistant à l'usure + nom de moule spécifique ».

1. Types de moules en carbure résistants à l'usure

Les moules en carbure résistants à l'usure sont classés en trois catégories, selon la fonction de moulage, les matériaux de traitement et les formes géométriques. Chaque type de moule répond à des besoins spécifiques de la fabrication industrielle (emboutissage de métaux, moulage de plastiques, extrusion de céramique, etc.). Leur nom est affiné pour commencer par « carbure résistant à l'usure » afin de souligner leur professionnalisme :

Types de matrices d'emboutissage en carbure résistant à l'usure

Matrice de poinçonnage à froid résistante à l'usure en alliage dur

Utilisé pour le poinçonnage et le pliage de tôles, adapté aux pièces automobiles.

Matrice d'estampage à chaud résistante à l'usure en alliage dur

Utilisé pour le formage des métaux à haute température, comme les pièces forgées pour l'aviation.

Forme : cavité complexe (poinçon, matrice), dimensions $50\times 50\times 20\text{ mm}$ à $200\times 200\times 50\text{ mm}$, rayon d'arête $0,10,5\text{ mm}$.

Nuance : YG8 (Co 8 % en poids , grain $0,51,5\text{ }\mu\text{m}$, résistant à l'usure), YN10 (Co/Ni 10 % en poids , grain $0,51,5\text{ }\mu\text{m}$, résistant à la corrosion).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Type de matrice de traction en carbure résistant à l'usure

Filière de tréfilage en carbure résistant à l'usure

Utilisé pour étirer des fils métalliques, tels que des fils de cuivre et des fils d'acier.

Filière d'extrusion en carbure résistant à l'usure

Utilisé pour l'extrusion de tuyaux et de profilés en métal ou en plastique.

Forme : trou rond ou de forme spéciale ($\varnothing$ 0,150 mm), diamètre extérieur du moule $\varnothing$ 20100 mm, longueur 30150 mm.

Nuance : YG6 (Co 6 % en poids, granulométrie 1,52 μ m, résistant aux chocs), YG8 (dureté élevée).

Types de matrices de formage en carbure résistant à l'usure

Moule de moulage en plastique résistant à l'usure en carbure

Utilisé pour le moulage par injection, comme les étuis pour téléphones portables.

Moule de métallurgie des poudres en alliage dur résistant à l'usure

Utilisé pour le pressage d'ébauches en céramique et en carbure cimenté.

Forme : Cavité courbe complexe, taille 20×20× 10 mm à 150×150× 50 mm, rugosité de surface Ra < 0,4 μ m.

Grade : YN10 (résistant à la corrosion), YG8 (haute résistance).

2. Caractéristiques des moules résistants à l'usure en carbure cimenté

2.1 Propriétés des matériaux

Matrice

WC (carbure de tungstène) : 8592 % en poids, dureté > 2000 HV, offrant une excellente résistance à l'usure et à la compression.

Co/Ni (phase liante) : 615 % en poids, Co (YG8, 815 % en poids) améliore la ténacité et convient aux conditions de haute pression ; Ni (YN10, 610 % en poids) améliore la résistance à la corrosion et convient aux environnements acides ou humides.

Granulométrie : Les grains moyennement fins (0,5 à 1,5 μ m, YN10/YG8) équilibrent la dureté (1400 à 1800 HV) et la ténacité (KIC 912 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$) ; les grains grossiers (1,52 μ m, YG6) améliorent la résistance aux chocs.

Additifs : Cr3C2 (0,10,5 % en poids), inhibe la croissance des grains, réduit la phase η (carbures nocifs, teneur < 0,5 %) et améliore la stabilité du matériau.

Revêtement (facultatif)

TiN (nitrure de titane) : résistant à l'usure, épaisseur 24 μ m, adapté à l'emboutissage des métaux, prolongeant la durée de vie de 20 à 30 %.

CrN (nitrure de chrome) : résistant à la corrosion, épaisseur 35 μ m, adapté au moulage plastique

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

et au traitement humide.

préparation

Mélange : broyage à billes à haute énergie (1624 heures, rapport billes/matériau 10:1, 200300 tr/min), garantissant une granulométrie de poudre D50 50150 μm , une teneur en oxygène $< 0,03\%$ (conformément à GB/T 345052017).

Liant : polyéthylène glycol (PEG, 0,1 à 0,2 % en poids) ou paraffine (0,51 % en poids) pour optimiser la fluidité de la poudre.

2.2 Caractéristiques de performance

Dureté : 14001800 HV (GB/T 79972017), excellente résistance à l'usure, taux d'usure $< 0,1\text{ mm}^3/\text{h}$ (50 % inférieur au carbure cimenté ordinaire).

Résistance : 1,8 à 2,5 GPa (GB/T 38512015), forte résistance à la compression, supportant 500 à 2000 MPa.

Ténacité : Ténacité à la rupture KIC 912 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, résistant aux impacts haute fréquence ($> 10^6$ fois).

Résistance à l'usure : usure $< 0,1\text{ mm}^3/\text{h}$, durée de vie du moule 10^6 à 10^7 fois (510 fois plus longue que les moules en acier rapide).

Résistance à la corrosion : les nuances à base de Ni (telles que YN10) sont résistantes aux acides et aux alcalis et conviennent au traitement humide et aux matériaux corrosifs.

Précision géométrique : écart dimensionnel $\pm 0,010,05\text{ mm}$, rugosité de surface $R_a < 0,4\text{ }\mu\text{m}$, répondant aux exigences de moulage de haute précision.

Adhérence du revêtement : Force d'adhérence $> 80\text{ N}$ (conformément à la norme ISO 26443), garantissant que le revêtement ne se décolle pas sous haute pression.

2.3 Caractéristiques de traitement

Moulage haute pression : supporte une pression de moulage de 500 à 2000 MPa (comme le poinçonnage à froid 1000 MPa, l'extrusion 1500 MPa).

Haute fréquence : prend en charge l'emboutissage/le formage continu $> 10^6$ fois, adapté à la production de masse.

Longue durée de vie : La durée de vie du moule est de 10^6 à 10^7 fois, réduisant la fréquence de remplacement et réduisant les coûts de production de 3050 %.

Haute qualité de surface : la surface de la pièce moulée est $R_a < 0,8\text{ }\mu\text{m}$, répondant aux exigences des pièces de précision.

Adaptabilité environnementale : Résistant aux températures élevées ($> 300\text{ }^\circ\text{C}$), à l'humidité et à la corrosion, adapté à une variété d'environnements de traitement.

3. Application de moules résistants à l'usure en carbure cimenté

Matrice d'emboutissage en carbure résistant à l'usure :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Scénarios d'application :

Poinçonnage et pliage de pièces automobiles (telles que tôles d'acier de carrosserie, panneaux en alliage d'aluminium).

Formage à haute température de pièces forgées pour l'aviation (telles que les connecteurs en alliage de titane).

Performance :

Pression de moulage : 8001200 MPa.

Nombre de coups : $>10^6$ fois.

Durée de vie : 10^6 10^7 fois.

Précision : $\pm 0,02$ mm.

Exemples :

Matrice de poinçonnage à froid résistante à l'usure en alliage dur (YG8, $100 \times 100 \times 30$ mm, revêtement TiN) :

en acier inoxydable de 1 mm d'épaisseur, pression 1000 MPa, temps de course $1,5 \times 10^6$ fois.

Résultats : Tolérance de la pièce $\pm 0,02$ mm, surface Ra $0,6 \mu m$, durée de vie $1,5 \times 10^6$ fois (Sandvik, 2023).

Matrice d'emboutissage à chaud résistante à l'usure en alliage dur (YN10, $150 \times 150 \times 40$ mm, revêtement CrN) :

Traitement de pièces forgées en Ti6Al4V à une pression de 1200 MPa et une température de $800^\circ C$.

Résultat : Tolérance $\pm 0,03$ mm, durée de vie 10^6 fois.

Matrice de traction en carbure résistant à l'usure :

Scénarios d'application :

Étirage de fils métalliques (ex : fil de cuivre $\varnothing 0,1$ mm, fil d'acier $\varnothing 1$ mm).

Extrusion de tuyaux en alliage d'aluminium ou en plastique (tels que les raccords de tuyauterie automobiles).

Performance :

Pression de traction/extrusion : 10001500 MPa.

Durée de vie : $10^5 \times 10^6$ fois.

Précision : Écart d'ouverture $\pm 0,01$ mm.

Rugosité de surface : $Ra < 0,4 \mu m$.

Exemples :

Filières de tréfilage en carbure résistant à l'usure (YG6, trou $\varnothing 0,5$ mm, revêtement TiN) :

Étirage de fil de cuivre ($\varnothing 0,5$ mm), pression 1200 MPa, vitesse linéaire 10 m/s.

Résultats : Écart de diamètre du fil $\pm 0,01$ mm, surface Ra $0,3 \mu m$, durée de vie 3×10^6 mètres.

Filière d'extrusion en carbure résistant à l'usure (YG8, trou $\varnothing 20$ mm, revêtement CrN) :

Tube en alliage d'aluminium extrudé ($\varnothing 20$ mm), pression 1500 MPa.

Résultat : Tolérance de paroi du tube $\pm 0,02$ mm, durée de vie 10^6 fois.

Moule de formage résistant à l'usure en alliage dur :

Scénarios d'application :

Moulage par injection (tels que coques de téléphone portable, pièces en plastique pour automobiles).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Pressage par métallurgie des poudres (comme pièces en céramique, billettes en carbure cimenté).

Performance :

Pression de moulage : 5001000 MPa.

: $2 \times 10^6 10^7$ fois .

Précision : $\pm 0,010,03$ mm.

Rugosité de surface : $Ra < 0,4 \mu m$.

Exemples :

Matrice de moulage en plastique résistant à l'usure en carbure (YN10, 80×80×20 mm, revêtement CrN) :

Moulage par injection de coque de téléphone portable en ABS, pression 800 MPa, cycle 2×10^6 fois.

Résultats : Tolérance de la pièce $\pm 0,01$ mm, surface $Ra 0,2 \mu m$, durée de vie $2,5 \times 10^6$ fois.

Moule de métallurgie des poudres résistant à l'usure en carbure cimenté (YG8, 50×50×15 mm, revêtement TiN) :

Pressage de pièces en céramique à une pression de 1000 MPa.

Résultat : Tolérance $\pm 0,02$ mm, durée de vie 10^7 fois.

4. Comparaison des types de moules résistants à l'usure en carbure cimenté

Type de moule	Marque	forme	revêtement	Pression (MPa)	Durée de vie (fois)	Précision (mm)	Applications typiques
Matrice de poinçonnage à froid résistante à l'usure en alliage dur	YG8, YN10	Chambre, 50200 mm	TiN , CrN	8001200	$10^6 10^7$	$\pm 0,02$	Plaque d'acier pour automobile
Filière de tréfilage en carbure résistant à l'usure	YG6, YG8	Trou, Ø 0,150 mm	Étain	10001500	$10^6 5 \times 10^6$	$\pm 0,01$	Fil de cuivre, fil d'acier
Moule de moulage en plastique résistant à l'usure en carbure	YN10, YG8	Surface courbe, 20150 mm	CrN	5001000	$2 \times 10^6 10^7$	$\pm 0,01$	étuis de téléphone

5. Suggestions d'optimisation

Sélection des matériaux :

Estampage des métaux : utilisation de YG8 (Co 8 % en poids , granulométrie $0,51,5 \mu m$) , dureté augmentée de 5 % et résistance à l'usure augmentée de 20 %.

Moulage plastique : Utiliser du YN10 (Ni 10 % en poids) pour augmenter la résistance à la corrosion de 25 %.

Additif : Cr3C2 (0,2 % en poids), résistance à l'usure augmentée de 15 %.

Optimisation du revêtement :

TiN (3 μm) : Emboutissage de métal, résistance à l'usure augmentée de 20 % , durée de vie augmentée de 30 %.

CrN (4 μm) : Moulage plastique, résistance à la corrosion augmentée de 20 % , collage du moule réduit.

géométrie :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Optimisation de l'arête de coupe : rayon de l'arête de coupe $< 0,2$ mm, réduisant la concentration des contraintes de 20 %.

Polissage des cavités : $Ra < 0,2 \mu m$, réduisant l'adhérence de 30 %.

Rayon de transition : $R0,51$ mm, résistance aux fissures augmentée de 15 %.

Paramètres de traitement :

Poinçonnage à froid : pression 800-1000 MPa, vitesse de poinçonnage 100-200 fois/min.

Extrusion : pression 12001500 MPa, température $< 300^{\circ}C$.

Moulage par injection : pression 600800 MPa, temps de cycle 510 secondes.

Post- traitement :

Rectification : $Ra < 0,4 \mu m$, réduisant l'usure de 20 %.

Polissage : $Ra < 0,2 \mu m$, améliorant la qualité de surface des pièces de 30%.

Grenailage : dureté superficielle augmentée de 5%, résistance à la fatigue augmentée de 25% .

6. Normes

GB/T 345052017 : Précision dimensionnelle $\pm 0,01$ mm, écart de tolérance $\leq \pm 5$ %.

GB/T 183762014 : Porosité $\leq 0,01$ %, uniformité > 95 %.

GB/T 38502015 : Vérification de la densité.

GB/T 51692013 : Grade de porosité A02B00C00.

GB/T 38512015 : Résistance à la flexion 1,82,5 GPa .

GB/T 79972017 : Dureté 14001800 HV.

7. Conclusion

Les moules résistants à l'usure en carbure cémenté se répartissent en trois catégories : les moules d'emboutissage, les moules d'étirage et les moules de formage. Ils utilisent du carbure cémenté à grains moyens et fins (YG8, YN10, YG6) et des revêtements résistants à l'usure (TiN , CrN) pour répondre aux besoins de transformation des métaux, des plastiques et des céramiques.

Matrices d'emboutissage en carbure résistantes à l'usure : pièces automobiles et pièces forgées pour l'aviation, pression 8001200 MPa, durée de vie 10^6 10^7 fois.

Filière de traction résistante à l'usure en carbure : fil et tube, pression 10001500 MPa, précision $\pm 0,01$ mm.

Moules de formage résistants à l'usure en carbure : moulage par injection et métallurgie des poudres, durée de vie 2×10^6 10^7 fois, surface $Ra < 0,4 \mu m$.

Ces moules améliorent considérablement l'efficacité du moulage industriel et la qualité des produits grâce à leur dureté élevée, leur résistance à l'usure et leur ultra-haute précision, et sont largement utilisés dans les industries de l'automobile, de l'électronique, de l'aviation et de la céramique.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



1

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

appendice:

Caractéristiques, applicabilité et avantages et inconvénients des différents procédés de pressage du carbure cimenté

Le procédé de pressage du carbure cimenté (tel que le carbure cimenté à base de nickel ou de cobalt) consiste à mélanger de la poudre de carbure de tungstène (WC), une phase liante (comme Ni, Co) et d'autres additifs (comme Cr₃C₂, VC) et à les presser pour obtenir des ébauches (barres d'essai, ébauches d'outils, etc.) afin d'obtenir des ébauches uniformes et denses (densité théorique de 50 à 70 %, porosité < 0,01 %) en vue du frittage ultérieur. Le procédé de pressage affecte directement la précision dimensionnelle ($\pm 0,1$ mm), l'uniformité de la densité (> 95 %), les propriétés mécaniques (résistance à la flexion de 1,8 à 2,5 GPa, dureté de 1400 à 2200 HV) et la qualité finale de la barre d'essai (conformément aux normes GB/T 3851-2015 et GB/T 7997-2017). Les procédés de pressage courants comprennent le pressage par matrice, le pressage isostatique à froid (CIP), le pressage isostatique à chaud (HIP, pressage + frittage), l'extrusion et le moulage par injection de métal (MIM). Ce document détaille les caractéristiques, l'applicabilité, les avantages et les inconvénients des différents procédés de pressage, avec un tableau comparatif clair, en tenant compte des normes nationales (telles que GB/T 345052017, GB/T 183762014) et des dernières recherches (telles que Sandvik, 2023 ; ScienceDirect, 2021).

1. Aperçu des différents procédés de pressage du carbure cimenté

L'objectif du procédé de pressage au carbure cimenté est de produire des billettes à haute densité (densité théorique de 50 à 70 %), uniformité (> 95 %) et précision dimensionnelle ($\pm 0,1$ mm) pour répondre aux exigences de performance des barres d'essai après frittage (telles que résistance à la flexion 1,8-2,5 GPa, dureté 1400-2200 HV, résistance à la corrosion < 0,005 mm/an).

Le processus de pressage doit prendre en compte :

Propriétés de la poudre

Taille des particules de WC (0,12 μ m), fluidité (<25 s/50 g, GB/T 14822010) et rapport de phase liante (615 % en poids).

Forme de billette

Simple (comme une barre d'essai 5×5×35 mm) ou complexe (comme un outil, un moule).

Efficacité de la production

Grands lots (>1000 pièces/heure) ou petits lots (<100 pièces).

coût

Équipement (505 millions de yuans), moules (1,1 million de yuans), consommation d'énergie (0,55 kWh/kg).

Cet article analyse les caractéristiques, l'applicabilité, les avantages et les inconvénients de cinq principaux procédés de pressage, conformément aux normes GB/T 345052017 (préparation de poudre) et GB/T 38512015 (résistance).

2. Caractéristiques, applicabilité et avantages et inconvénients du procédé de pressage du

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

carbure cémenté

Ce qui suit est une description détaillée des cinq processus de pressage, combinée aux paramètres du processus, à l'équipement, aux scénarios applicables et aux avantages et inconvénients.

2.1 Pressage à l'emporte-pièce

Caractéristiques du processus de pressage

Principe de pressage

Le matériau mélangé (WC + Ni /Co, D50 50150 μ m) est chargé dans un moule en acier et pressé dans une ébauche dans une ou deux directions par une presse hydraulique.

Paramètres de pressage

Pression : 100300 MPa.

Temps de maintien : 530 secondes.

Moule : Acier haute résistance (HRC 6065), surface Ra < 0,4 μ m .

Densité de la pièce : 50-60 % de la densité théorique (~ 810 g/cm³) .

Équipement de pressage

Presses hydrauliques automatiques (101 000 tonnes) , telles que la série allemande Dorst TPA.

Procédé de pressage

Composition (broyage humide, PEG 12 % en poids).

Moulage (remplissage automatique, homogénéité >90%).

Pressage (100300 MPa, 530 s).

Démoulage (pulvérisation d'agent de démoulage, force d'adhérence < 0,1 N).

Post-traitement des ébauches en carbure moulées par pressage

Coupez les bords et vérifiez les dimensions ($\pm 0,1$ mm).

Applicabilité du pressage à chaud

forme

Formes géométriques simples, telles que des tiges d'essai ($5 \times 5 \times 35$ mm), des cylindres et des cubes.

Marque

YN6, YG15 (taille normale des particules 0,52 μ m) .

Rendement

Grandes quantités (>1000 pièces/heure), par exemple inserts, ébauches de forets.

Avantages du pressage à chaud

Haute efficacité : mode unique 1020 pièces/minute, haut degré d'automatisation (>90%).

Faible coût : équipement (501 millions de yuans), moule (150 000 yuans/ensemble).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Haute précision dimensionnelle : $\pm 0,1$ mm, surface $Ra < 0,8 \mu m$.

Inconvénients du pressage à chaud

Gradient de densité : une pression unidirectionnelle réduit la densité centrale de 5 à 10 % (amélioration bidirectionnelle à < 3 %).

Les formes complexes sont limitées : le moule est complexe et le coût augmente de 50 à 100 %.

Usure du moule : doit être remplacé après 10,5 millions de fois (coût 120 000 yuans).

Exemple de pressage à l'emporte-pièce :

Barre d'essai YN6 (5×5×35 mm) : 200 MPa, 10 s, densité $\sim 9 \text{ g/cm}^3$, résistance 1,8 GPa (Sandvik, 2023).

standard :

GB/T 345052017 : Écart de densité de blanc $< \pm 5$ %.

GB/T 3851:2015 : Vérification de la résistance des barres d'essai.

2.2 Pressage isostatique à froid (NEP)

Caractéristiques du procédé de pressage isostatique à froid (CIP) :

Principe : Le matériau mélangé est chargé dans un moule flexible (tel qu'un sac en caoutchouc), placé dans un liquide à haute pression (huile/eau), et une pression uniforme est appliquée dans toutes les directions.

Paramètres du pressage isostatique à froid (CIP) :

Pression : 200400 MPa.

Temps de maintien : 30120 secondes.

Moule : Caoutchouc/PU (résistance à la pression > 500 MPa).

Densité brute : 6070 % de la densité théorique ($\sim 9,511 \text{ g/cm}^3$).

Équipement de pressage isostatique à froid (NEP)

Machines CIP (100-1000 MPa), telles que la série Quintus QIC.

Procédé de pressage isostatique à froid (CIP) :

Mélange (broyage à boulets à haute énergie, 1624 h).

Ensachage (mise sous vide, taux de fuite d'air $< 0,01$ %).

Pressage (200400 MPa, 30120 s).

Démoulage (lavage, séchage à 80°C).

Applicabilité du pressage isostatique à froid (CIP) :

Formes : Billettes moyennes à grandes, telles que barres ($\varnothing 1050$ mm), plaques.

Nuance : YN10, YG8 (granulométrie $0,51,5 \mu m$).

Volume de production : Lots moyens (100-500 pièces/heure), par exemple outils miniers.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Avantages du pressage isostatique à froid (CIP) :

Densité uniforme : pression égale dans toutes les directions, écart de densité $< 1 \%$ (35 % pour le moulage).

Convient aux grandes dimensions : flans $\varnothing 100 \text{ mm}$, longueur 500 mm.

Réduit les défauts : taux de microfissures réduit de 50%, porosité $< 0,005\%$.

Inconvénients du pressage isostatique à froid (CIP) :

Faible efficacité : 15 minutes pour un seul lot, et le rendement est 50 % inférieur à celui du moulage.

Coûts élevés : équipement (2005 millions de yuans), consommation d'énergie (23 kWh/kg).

La précision dimensionnelle est légèrement inférieure : $\pm 0,20,5 \text{ mm}$, et un traitement secondaire est nécessaire.

Exemple de pressage isostatique à froid (NEP) :

Tige YN10 ($\varnothing 20 \times 330 \text{ mm}$) : 300 MPa, 60 s, densité $\sim 10 \text{ g/cm}^3$, KIC $9 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ (ScienceDirect, 2021).

Normes de pressage isostatique à froid (CIP) :

GB/T 183762014 : Porosité à blanc $< 0,01 \%$.

GB/T 38502015 : Vérification de la densité.

2.3 Pressage isostatique à chaud (HIP, pressage + frittage)

Caractéristiques du procédé de pressage isostatique à chaud (HIP, pressage + frittage) :

Principe : La poudre est directement pressée et frittée sous haute température et haute pression (atmosphère Ar), en tenant compte à la fois du moulage et de la densification.

Paramètres du pressage isostatique à chaud (HIP, pressage + frittage) :

Température : $1350-1450^\circ\text{C}$.

Pression : 100200 MPa.

Atmosphère : Ar ($>99,99\%$), pression 50150 MPa.

Densité de la billette : $>99,9 \%$ de la densité théorique ($\sim 14,515 \text{ g/cm}^3$).

Équipement : Four HIP, tel que la série Quintus HIP.

processus :

Matériaux mixtes (grain ultrafin, $D_{50} 30100 \mu\text{m}$).

Emballage (boîte en acier/titane, vide $< 10^{-3} \text{ Pa}$).

HIP ($1350-1450^\circ\text{C}$, 100200 MPa, 24 heures).

Décannage (pelage mécanique, $R_a < 0,8 \mu\text{m}$).

Applicabilité du pressage isostatique à chaud (HIP, pressage + frittage) :

Forme : pièces complexes et de grandes dimensions, telles que les outils et moules d'aviation.

Nuance : YN8N (grain ultrafin $< 0,5 \mu\text{m}$).

Volume de production : petits lots (< 50 pièces/lot), produits à forte valeur ajoutée.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Avantages du pressage isostatique à chaud (HIP, pressage + frittage) :

Haute densité : > 99,9 %, porosité < 0,001 %, résistance augmentée de 1015 %.

Formes complexes : Aucun moule requis, adapté aux pièces de formes spéciales (précision $\pm 0,1$ mm).

Excellentes performances : contrôle du grain < $0,5 \mu m$, dureté augmentée de 510 % (18002200 HV).

Inconvénients du pressage isostatique à chaud (HIP, pressage + frittage) :

Coût élevé : équipement (5001000 millions de yuans), consommation d'énergie (5 kWh/kg).

Faible efficacité : 46 heures pour un seul lot, rendement < 10 pièces/heure.

Emballage complexe : l'acier peut coûter 5 100 yuans par pièce.

Exemple de pressage isostatique à chaud (HIP, pressage + frittage) :

Outil brut YN8N : 1400°C, 150 MPa, 3 heures, densité 14,8 g/cm³, dureté 1800 HV (Sandvik, 2023).

Normes de pressage isostatique à chaud (HIP, pressage + frittage) :

GB/T 79972017 : Vérification de la dureté.

GB/T 51692013 : Porosité < 0,001 %.

2.4 Extrusion

Caractéristiques du procédé d'extrusion :

Principe : Mélanger le matériau mélangé avec le liant (cire, paraffine 515 % en poids) en une pâte et extruder des billettes continues (telles que des tiges et des tubes) à travers une extrudeuse à vis.

Paramètres d'extrusion :

Pression : 1050 MPa.

Température : 50100°C (adhésif ramollissant).

Vitesse d'extrusion : 0,11 m/min.

Densité de la pièce : 50-60 % de la densité théorique ($\sim 810 \text{ g/cm}^3$).

Équipement : Extrudeuse mono/bi-vis, telle que Haake Rheomex.

Procédé d'extrusion :

Mélange (broyage humide + liant, D50 80150 μm).

Préchauffer (50100°C, viscosité $10^3 10^4 \text{ Pa}\cdot\text{s}$).

Extrusion ($\varnothing 120 \text{ mm}$, longueur >1 m).

Découpe, dégraissage (400-600°C, H2).

Applicabilité de l'extrusion :

Forme : Bandes longues, telles que tiges de forage ($\varnothing 120 \text{ mm}$), tubes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Nuance : YG8, YN10 (granulométrie 0,51,5 μ m) .

Débit : Lots moyens à élevés (500-2000 m/h).

Avantages de l'extrusion :

Production continue : adaptée aux billettes longues (>1 m), rendement élevé (500 m/heure).

Forme flexible : moule réglable , Ø 150 mm.

Le coût est modéré : équipement (100,2 millions de yuans), moule (0,52 million de yuans).

Inconvénients de l'extrusion :

Traitement du liant : Le dégraissage prend 48 heures et le carbone résiduel augmente de 0,01 à 0,02 %.

La densité est légèrement inférieure : 50-60 %, nécessitant un post-traitement HIP.

Précision limitée : $\pm 0,20,3$ mm, nécessite un meulage.

Exemple d'extrusion :

Tige de forage YG8 (Ø 10 $\times$ 330 mm) : 30 MPa, 80°C, densité ~ 9 g/cm³ , résistance 2,0 GPa (ScienceDirect, 2021).

Norme d'extrusion :

GB/T 183762014 : Uniformité du blanc > 90 %.

GB/T 53142011 : Vérification des résidus de carbone.

2.5 Moulage par injection de métal (MIM)

Caractéristiques du procédé :

Principe : Le matériau mélangé est mélangé à un liant polymère (PP, PE 1020 % en poids), injecté dans un moule de précision, puis dégraissé et fritté après avoir formé une forme complexe.

paramètre :

Pression : 50150 MPa.

Température : 150-200°C (adhésif fondu).

Vitesse d'injection : 10100 cm³/s.

Densité de la pièce : 50-60 % de la densité théorique (~ 810 g/cm³) .

Équipement : Machine de moulage par injection, telle que Arburg Allrounder.

processus :

Mélange (broyage à billes haute énergie + liant, D50 50100 μ m) .

Injection (150-200°C, 50-150 MPa).

Dégraissage (solvant + dégraissage thermique, 400-600°C).

Pré-frittage (800-1000°C, H2).

applicabilité :

Forme : Pièces complexes, petites telles que micro-outils, engrenages (<50 mm).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Grade : YN8N, YG6X (grain ultrafin <0,5 μ m) .
Volume de production : lot moyen (100-1000 pièces/heure).

avantage :
Formes complexes : Précision ±0,05 mm, convient aux micro pièces (<10 mm).
Production de masse : moule unique 1050 pièces/minute.
Haute qualité de surface : Ra < 0,4 μ m , aucun traitement secondaire requis.

défaut :
Coût élevé : équipement (200,3 millions RMB), moule (5,1 millions RMB).
Le dégraissage est compliqué : en 8 à 12 heures, le carbone résiduel augmente de 0,02 à 0,05 %.
Retrait important : 1520%, nécessite un moule précis.

Exemples :
Micro-outil YN8N (5×5×10 mm) : 100 MPa, 180°C, densité ~9 g/cm³ , dureté 1800 HV (Sandvik, 2023).

standard :
GB/T 345052017 : Précision de l'ébauche ±0,05 mm.
GB/T 5169-2013 : Vérification de la porosité.

3. Comparaison des processus

Tableau 1 : Comparaison des procédés de pressage du carbure cémenté

Technologie	pression (MPa)	densité %	Forme applicable	Rendement Pièces/heure	Précision mm	coût	avantage	défaut
Moulage	100300	5060	Simple (tige d'essai, cylindre)	>1000	±0,1	Faible	Haute efficacité, faible coût, haute précision	Gradients de densité, limitations de forme complexes, usure de la matrice
Pressage isostatique à froid	200400	6070	Moyennes et grandes (tiges, plaques)	100500	±0,20,5	milieu	Densité uniforme, grande taille, peu de défauts	Faible efficacité, coût élevé, précision légèrement inférieure
Pressage isostatique à chaud	100200	>99,9	Complexe (outils, moules)	<50	±0,1	haut	Haute densité, forme complexe, excellentes performances	Coût élevé, faible efficacité, emballage complexe
extrusion	1050	5060	Longues bandes (tiges, tubes)	5002000 m	±0,20,3	milieu	Production continue, forme flexible, coût modéré	Traitement au liant, faible densité, précision limitée
Moulage par	50150	5060	Petits outils complexes	1001000	±0,05	haut	Formes complexes, production de masse	Coût élevé, dégraissage complexe, retrait important

Technologie	pression (MPa)	densité %	Forme applicable	Rendement Pièces/heure	Précision mm	coût	avantage	défaut
injection			(micro-outils)				haute qualité de surface	

4. Guide d'applicabilité et de sélection

Moulé :

Applicable : grandes quantités, formes simples, telles que tiges d'essai YN6 (5×5×35 mm), lames.

Raisons de sélection : faible coût (équipement 501 millions de yuans), haute efficacité (> 1000 pièces/heure), précision ± 0,1 mm.

Exemple : lame YG15, 200 MPa, densité ~9 g/cm³ , résistance 2,0 GPa .

Pressage isostatique à froid :

Applicable à : billettes moyennes et grandes, telles que les barres YN10 (Ø 20 × 330 mm), outils miniers.

Motifs de sélection : densité uniforme (écart <1%), adapté aux grandes dimensions (>500 mm), peu de microfissures.

Exemple : tige YN10, 300 MPa, KIC 9 MPa·m^{1 / 2} .

Pressage isostatique à chaud :

Applicable : pièces complexes hautes performances, telles que les outils et moules d'aviation YN8N.

Motif de sélection : Densité > 99,9%, dureté augmentée de 5 à 10% (1800-2200 HV), aucun frittage secondaire requis.

Exemple : ébauche d'outil YN8N, 1400°C, 150 MPa, dureté 1800 HV.

extrusion :

Applicable à : bandes longues, telles que tige de forage YG8 (Ø 120 mm).

Raisons du choix : Production continue (500 m/heure), coût modéré, adapté aux barres/tubes.

Exemple : tige YG8, 30 MPa, densité ~9 g/ cm³ .

Moulage par injection :

Applicable : petites pièces complexes, telles que le micro-outil YN8N (<10 mm).

Motif de sélection : Haute précision (±0,05 mm), surface Ra <0,4 μ m , adapté aux produits à forte valeur ajoutée.

Exemple : micro-outil YN8N, 100 MPa, dureté 1800 HV.

Tableau 2 : Adéquation du procédé de pressage

Technologie	Grades applicables	Forme applicable	Rendement	Applications typiques
Moulage	YN6, YG15	Tiges d'essai,	Grands lots (> 1000)	Couteaux, tiges d'essai

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Technologie	Grades applicables	Forme applicable	Rendement	Applications typiques
		lames, cylindres		
Pressage isostatique à froid	YN10, YG8	Barres et assiettes	Lot moyen (100500)	Outils miniers, longs bâtons
Pressage isostatique à chaud	YN8	Outils et moules complexes	Petits lots (<50)	Outils d'aviation, moules haut de gamme
extrusion	YG8, YN10	Tiges et tubes	Lot moyen à élevé (500-2000 m)	Tige de forage, filière de tréfilage
Moulage par injection	YN8N, YG6X	Micro-outils, engrenages	Lot moyen (1001000)	Outils de précision, micro-pièces

5. Conclusion

Chaque procédé de pressage de carbure cémenté a ses propres caractéristiques et doit être sélectionné en fonction de la forme, du rendement, des performances et du coût :

Moulage : haute efficacité, faible coût, adapté à de grandes quantités de formes simples (barres d'essai YN6), mais le gradient de densité est de 35 %.

Pressage isostatique à froid : densité uniforme, adapté aux billettes moyennes et grandes (barres YN10), mais avec une précision légèrement inférieure ($\pm 0,2$ mm).

Pressage isostatique à chaud : densité $> 99,9$ %, adapté aux pièces complexes hautes performances (outils YN8N), mais coût élevé et faible efficacité.

Extrusion : Production continue de bandes longues (barres YG8), mais un dégraissage est nécessaire et la précision est limitée ($\pm 0,2$ mm).

Moulage par injection : petites pièces complexes de haute précision (micro-outil YN8N), mais le dégraissage est compliqué et coûteux.

standard :

GB/T 345052017 : Écart de densité de la pièce à usiner $\leq \pm 5\%$, précision $\pm 0,1$ mm.

GB/T 183762014 : Porosité $< 0,01$ %, uniformité > 95 %.

GB/T 14822010 : Fluidité < 25 s/50 g.

GB/T 38512015 : Résistance à la flexion (barre d'essai 1,8-2,5 GPa) .

GB/T 7997- 2017 : Dureté (1400-2200 HV).

GB/T 51692013 : Porosité (A02B00C00).

Tendances futures : Le moulage automatisé (efficacité augmentée de 20 %), l'impression 3D (précision de forme complexe $\pm 0,01$ mm) et la technologie de dégraissage vert (carbone résiduel $< 0,01$ %) amélioreront l'efficacité et les performances du pressage.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



appendice:

Types, performances et adaptabilité des équipements de pressage de matrices en carbure cémenté

Le pressage est le procédé de pressage le plus couramment utilisé pour la préparation d'ébauches en carbure cémenté. Le matériau mélangé (WC+Ni /Co, granulométrie 50-150 μm) est chargé dans une matrice en acier par un équipement hydraulique ou mécanique, puis une pression unidirectionnelle ou bidirectionnelle (100-300 MPa) est appliquée pour former une ébauche haute densité (densité théorique de 50 à 60 %, environ 810 g/cm³). Cette ébauche convient aux formes géométriques simples (barres d'essai 5×5×35 mm, lames, cylindres, etc.) et répond aux exigences de précision dimensionnelle ($\pm 0,1$ mm), d'uniformité de densité (>90 %) et de performances (résistance à la flexion 1,8 à 2,5 GPa , dureté 1400-2200 HV) requises par les normes nationales (telles que GB/T 345052017, GB/T 38512015). Les équipements de pressage d'outils se divisent en plusieurs types selon le mode d'entraînement, le degré d'automatisation et l'usage prévu : presses mécaniques, presses hydrauliques, presses servocommandées et presses automatiques. Les types, caractéristiques et applications des équipements de moulage en carbure cémenté sont détaillés ci-dessous.

1. Aperçu

L'équipement de moulage en carbure cémenté doit répondre aux exigences suivantes :

Pression : 100300 MPa, assurant une densité de billette de 5060% (~ 810 g/cm³) .

Précision : positionnement du moule $\pm 0,01$ mm, taille de la pièce brute $\pm 0,1$ mm (GB/T 345052017).

Moule : Acier à haute résistance (HRC 6065), surface Ra < 0,4 μm , durée de vie 10,5 millions de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

fois.

Efficacité : production à grande échelle (>1000 pièces/heure), niveau d'automatisation >90%.

Applicabilité : Convient aux nuances de carbure cémenté (telles que YN6, YG15, granulométrie 0,52 μ m) et aux formes (tiges d'essai, lames).

Les équipements de moulage sont divisés en quatre catégories selon leur mode de fonctionnement et leur fonction : presse mécanique, presse hydraulique, presse servo et presse de moulage automatique. Nous analysons ci-dessous leurs types, caractéristiques, applications, avantages et inconvénients.

2. Types d'équipements de moulage en carbure cémenté

2.1 Caractéristiques de la presse mécanique

Mode de conduite : bielle à manivelle ou roue excentrique, transmission mécanique fournissant la pression.

paramètre :

Pression : 50 500 tonnes (100 300 MPa).

Vitesse de frappe : 30120 fois/minute.

Puissance : Moyenne (1050 kW).

Moule : Moule simple ou multiple , en acier (HRC 6065).

Équipement : comme la série Aida NC du Japon, la série Schuler MS de l'Allemagne.

Principe de fonctionnement :

Le matériau mélangé (WC + Ni / Co, PEG 12 % en poids) est automatiquement chargé dans le moule.

Glissière à manivelle, pressage unidirectionnel (100300 MPa, 510 s).

Démoulage (pneumatique/hydraulique, force d'adhérence < 0,1 N).

Contrôle : contrôle PLC, écart de pression $\leq \pm 5$ MPa, précision de positionnement $\pm 0,02$ mm.

application :

Nuance : YN6, YG15 (granulométrie conventionnelle 0,52 μ m) .

Forme : tige d'essai (5×5×35 mm), disque (Ø 1050 mm).

Rendement : Volume élevé (1000-5000 pièces/heure).

Scénario : Production de pièces standards pour plaquettes et ébauches de forets.

avantage :

Haute efficacité : course 60120 fois/minute, rendement augmenté de 2030 % (presse hydraulique).

Faible coût : faibles coûts d'équipement et de maintenance.

Bonne stabilité : La structure mécanique est durable et a une longue durée de vie.

défaut :

Régulation de pression limitée : course fixe, 1020% de flexibilité en moins.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Les formes complexes sont limitées : les coûts des moules sont élevés.

Gradient de densité : l'écart de compression unidirectionnel est de 35 % et une amélioration bidirectionnelle est requise.

Exemples :

Barre d'essai YN6 : 200 MPa, 10 s, densité $\sim 9 \text{ g/cm}^3$, résistance 1,8 GPa (Sandvik, 2023).

standard :

GB/T 345052017 : Écart de densité de blanc $\leq \pm 5 \%$.

GB/T 1482-2010 : Fluidité du mélange $< 25 \text{ s/50 g}$.

2.2 Presse hydraulique

Caractéristiques :

Mode de conduite : Le vérin hydraulique fournit une pression, une pression unidirectionnelle ou bidirectionnelle.

paramètre :

Pression : 1001000 tonnes (100300 MPa).

Temps de maintien : 530 secondes, contrôle de pression $\pm 2 \text{ MPa}$.

Puissance : Moyenne-élevée (20-100 kW).

Moule : Acier à haute résistance, surface $R_a < 0,4 \mu\text{m}$.

Équipement : Tels que les séries allemandes Lauffer et Dorst TPH.

Principe de fonctionnement :

Mélange et moulage (remplissage automatique, homogénéité $> 90\%$).

Entraîné par vérin hydraulique, pressage bidirectionnel (pression supérieure et inférieure 150250 MPa).

Démoulage (éjection hydraulique, précision $\pm 0,01 \text{ mm}$).

Contrôle : Système CNC, surveillance en temps réel de la courbe pression/déplacement, écart $\leq \pm 1\%$.

application :

Nuance : YN10, YG8 (granulométrie $0,51,5 \mu\text{m}$).

Forme : barre d'essai, cube, plaque mince (épaisseur 120 mm).

Rendement : Volumes moyens à élevés (500-2000 pièces/heure).

Scénario : ébauches d'outils, ébauches de moules.

avantage :

Pression réglable : 100300 MPa, convient à différentes marques (YN6, YN10).

Densité uniforme : pressage bidirectionnel, écart $< 2 \%$ (mécanique 35 %).

Convient aux formes moyennement complexes : 20 % de flexibilité de moule en plus.

défaut :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Rendement légèrement inférieur : course 1030 fois/minute (mécanique 60120 fois).

Coût plus élevé : Le coût d'entretien de l'équipement et du système hydraulique est moyen à élevé.

Consommation énergétique élevée : La consommation énergétique est de 50 à 100 % supérieure à celle des presses mécaniques.

Exemples :

Outil brut YN10 : 250 MPa, 15 secondes, densité $\sim 9,5 \text{ g/cm}^3$, KIC $9 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ (ScienceDirect, 2021).

standard :

GB/T 183762014 : Porosité vierge $< 0,01 \%$.

GB/T 3851:2015 : Vérification de la résistance des barres d'essai.

2.3 Presse servo

Mode de conduite : Servomoteur, contrôle précis de la pression, de la vitesse et du déplacement.

paramètre :

Pression : 50 500 tonnes (100 300 MPa).

Vitesse de course : réglable, 1100 fois/minute.

Puissance : Moyenne (1580 kW).

Moule : Acier (HRC 6065), multi-postes.

Équipements : tels que le Komatsu H1F du Japon et le Schuler ServoLine de l'Allemagne .

Principe de fonctionnement :

Mélange et moulage (servo remplissage, homogénéité $> 95\%$).

Glissière servocommandée, simple/double pression (courbe de pression programmable).

Démoulage (éjection servo, précision $\pm 0,005 \text{ mm}$).

Contrôle : PLC intelligent + écran tactile, écart de pression $\leq \pm 0,5 \text{ MPa}$, positionnement $\pm 0,005 \text{ mm}$.

application :

Grade : YN8N, YG6X (grain ultrafin $< 0,5 \mu \text{m}$).

Forme : lames complexes, pièces à parois minces (épaisseur 0,510 mm).

Rendement : Volumes moyens à élevés (500-3000 pièces/heure).

Scénarios d'application : outils aéronautiques, ébauches de moules de précision.

avantage :

Haute précision : contrôle pression/déplacement $\pm 0,5\%$, taille $\pm 0,05 \text{ mm}$.

Grande flexibilité : course programmable, adaptable aux formes complexes (coût du moule réduit).

Haute efficacité énergétique : la consommation d'énergie est de 20 à 30 % inférieure à celle des presses hydrauliques.

défaut :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Coût élevé : L'équipement et le système servo ont des coûts de maintenance élevés.

Vitesse légèrement plus lente : 1050 fois/minute pour les pièces complexes.

Exigences techniques élevées : une programmation et un débogage professionnels sont requis.

Exemples :

Insert YN8N : 200 MPa, 10 s, densité $\sim 9,2 \text{ g/cm}^3$, dureté 1800 HV (Sandvik, 2023).

standard :

GB/T 345052017 : Précision de l'ébauche $\pm 0,05 \text{ mm}$.

GB/T 7997-2017 : Vérification de la dureté (indirecte).

2.4 Presse à matrices automatique

Caractéristiques :

Mode d'entraînement : entraînement hydraulique ou servo, système d'automatisation intégré (remplissage, pressage, démoulage, convoyage).

paramètre :

Pression : 100 600 tonnes (100 300 MPa).

Cycle de production : 520 secondes/pièce.

Puissance : Moyenne-Élevée (30-150 kW).

Moule : Multi-postes (416 empreintes), acier (HRC 6065).

Équipement : Tels que les séries allemandes Dorst TPA et suisses Osterwalder CA.

Principe de fonctionnement :

Remplissage automatique : remplissage par vibration/servo, uniformité $> 95\%$.

Pressage multiaxial : bidirectionnel ou multidirectionnel, pression 150300 MPa.

Démoulage automatique : Le bras robotisé retire les pièces, augmentant ainsi l'efficacité de 30%.

Convoyeur : Sortie du convoyeur, taille de détection ($\pm 0,1 \text{ mm}$).

Contrôle : PC industriel + inspection visuelle, niveau d'automatisation $> 95\%$, écart $< \pm 0,5\%$.

application :

Marque : YN6, YN10, YG15.

Forme : lames, tiges d'essai, pièces de formes spéciales (ébauches d'outils complexes).

Rendement : Lots ultra-élevés (2000-10000 pièces/heure).

Scénario : Production à grande échelle d'outils coupants et de pièces standards.

avantage :

Efficacité ultra élevée : temps de cycle 510 secondes/pièce, rendement augmenté de 50 % (presse hydraulique).

Forte automatisation : le travail est réduit de 70 à 80 % et la cohérence est $> 95\%$.

Haute précision : taille $\pm 0,050,1 \text{ mm}$, écart de densité $< 1\%$.

défaut :

Coût extrêmement élevé : Le coût des équipements et des moules est extrêmement élevé.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Maintenance complexe : Le taux de défaillance du système d'automatisation augmente de 10 % et le coût de maintenance est élevé.

Application unique : ligne de production personnalisée requise, flexibilité réduite de 20 %.

Exemples :

Lame YG15 : 250 MPa, 8 secondes, densité ~9,5 g/cm³ , résistance 2,0 GPa (Sandvik, 2023).

standard :

GB/T 183762014 : Uniformité du blanc > 95 %.

GB/T 3851:2015 : Vérification de la résistance des barres d'essai.

3. Comparaison des types d'appareils

Tableau 1 : Comparaison des types d'équipements de moulage en carbure cémenté

Type d'appareil	Mode de conduite	Tonnes de pression	Pièces/heure	Précision mm	coût	avantage	défaut
Presse mécanique	manivelle roue excentrique	50500	10005000	±0,1	Faible	Haute efficacité, faible coût et bonne stabilité	Régulation de pression limitée, formes complexes limitées, gradients de densité
Presse hydraulique	Vérin hydraulique	1001000	5002000	±0,1	milieu	Pression réglable, densité uniforme, convient aux formes moyennes et complexes	Efficacité légèrement inférieure, coût plus élevé et consommation d'énergie élevée
Presse servo	servomoteur	50500	5003000	±0,05	haut	Haute précision, flexibilité et efficacité énergétique	Coût élevé, vitesse lente, exigences techniques élevées
Machine de moulage automatique	Hydraulique/Servo	100600	200010000	±0,050,1	Très élevé	Efficacité ultra-élevée, automatisation puissante et haute précision	Coût extrêmement élevé, maintenance complexe et application unique

4. Guide d'applicabilité et de sélection

Presse mécanique :

Applicable : volume élevé, formes simples, telles que les barres d'essai YN6, les disques YG15.

Raisons de sélection : faible coût, haute efficacité (1000-5000 pièces/heure), adapté aux pièces standard.

Exemple : barre d'essai YN6, 200 MPa, densité ~9 g/ cm³ .

Presse hydraulique :

Applicable à : lots moyens à élevés, formes moyennement complexes, telles que les ébauches d'outils YN10, les plaques minces YG8.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Motif de sélection : Pressage bidirectionnel, écart de densité < 2 %, adapté à une variété de marques.

Exemple : outil brut YN10, 250 MPa, KIC 9 MPa·m^{1/2}.

Presse servo :

Applicable : haute précision, formes complexes, telles que les lames YN8N, les pièces à parois minces YG6X.

Motifs de sélection : Précision ±0,05 mm, contrôle programmable, adapté aux moules aéronautiques/de précision.

Exemple : insert YN8N, 200 MPa, dureté 1800 HV.

Machine de moulage automatique :

Applicable à : lots ultra-élevés, pièces de forme standard/spéciale, telles que les lames YG15, les tiges d'essai YN6.

Motif de sélection : Automatisation > 95 %, production 200010000 pièces/heure, adapté à la production à grande échelle.

Exemple : lame YG15, 250 MPa, résistance 2,0 GPa.

Tableau 2 : Adéquation de l'équipement de moulage

Type d'appareil	Grades applicables	Forme applicable	Rendement (pièces/heure)	Applications typiques
Presse mécanique	YN6, YG15	Tiges et disques d'essai	10005000	Lames standard, tiges d'essai
Presse hydraulique	YN10, YG8	Ébauches d'outils, plaques minces	5002000	Outils de coupe et ébauches de moules
Presse servo	YN8N, YG6X	Lames complexes, pièces à parois minces	5003000	Outils d'aviation, moules de précision
Machine de moulage automatique	YN6, YN10, YG15	Lames, tiges d'essai, pièces de forme spéciale	200010000	Outils de coupe de grande taille et pièces standard

5. Conclusion

Les types d'équipements de moulage en carbure cémenté comprennent :

Presse mécanique

Faible coût, haute efficacité, adapté aux formes simples à volume élevé (barres d'essai YN6), mais avec un gradient de densité de 35 %.

Presse hydraulique

Pression réglable, densité uniforme, convient aux lots moyens à élevés de formes moyennement complexes (ébauches d'outils YN10) , mais à forte consommation d'énergie.

Presse servo

Haute précision, grande flexibilité, convient aux pièces complexes et de haute précision (lames YN8N), mais le coût est élevé.

Machine de moulage automatique

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Efficacité ultra élevée, automatisation puissante, adaptée à la production à grande échelle (lames YG15), mais extrêmement coûteuse et complexe à entretenir.

standard :

GB/T 345052017 : Écart de densité de la pièce à usiner $< \pm 5\%$, précision $\pm 0,1$ mm.

GB/T 183762014 : Porosité brute $< 0,01\%$, uniformité $> 95\%$.

GB/T 14822010 : Fluidité du mélange < 25 s/50 g.

GB/T 38512015 : Résistance à la flexion (barre d'essai 1,8-2,5 GPa) .

Tendances futures : Les presses servo intelligentes (précision $\pm 0,01$ mm), les machines de moulage automatiques multi-stations (rendement augmenté de 30 %) et la technologie d'efficacité énergétique verte (consommation d'énergie réduite de 20 %) domineront le développement des équipements de moulage.

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:

Types, équipements, caractéristiques et adaptabilité du pressage isostatique au carbure cimenté

Le pressage isostatique du carbure cimenté est un procédé permettant de préparer des billettes haute densité (60-70 % de masse volumique théorique, environ 9,511 g/cm³) en pressant un mélange (WC + Ni /Co, granulométrie 50-150 µm) avec une pression uniforme dans toutes les directions. Il est largement utilisé dans la production de barres d'essai, d'ébauches d'outils et de moules en carbure cimenté. Son principal avantage est l'uniformité de la densité (> 95 %, écart < 1 %). Français Par rapport au pressage sous matrice (écart de densité de 35%), il est plus adapté aux billettes de taille moyenne ou de forme complexe (telles que les barres Ø 1050 mm, les plaques), et répond à la précision dimensionnelle ($\pm 0,20,5$ mm), à la porosité (< 0,01%) et aux performances (résistance à la flexion 1,82,5 GPa , dureté 14002200 HV) requises par les normes nationales (telles que GB/T 345052017, GB/T 183762014). Le pressage isostatique est divisé en pressage isostatique à froid (CIP) et pressage isostatique à chaud (HIP) selon la température et le processus.

Ce qui suit détaille les types, l'équipement, les caractéristiques, l'applicabilité et la comparaison avec le moulage du pressage isostatique au carbure cimenté, améliore et affine la partie processus, ajoute des modèles d'équipement spécifiques, l'optimisation des paramètres, des cas d'application et des tableaux de comparaison, et combine les normes nationales et les pratiques de l'industrie (telles que Sandvik, 2023 ; ScienceDirect, 2021).

1. Aperçu

Le pressage isostatique au carbure cimenté presse l'ébauche avec une pression uniforme (100 400 MPa), élimine le gradient de densité (35 %) du pressage du moule, améliore l'uniformité de l'ébauche (> 95 %) et les performances de frittage ultérieures (densité > 99,5 %, porosité < 0,01 %). Comparé au pressage du moule, le pressage isostatique présente les avantages d'une densité uniforme et convient aux formes complexes, mais présente les inconvénients d'un faible rendement et d'un coût élevé. Le procédé de pressage isostatique doit répondre aux exigences suivantes :

Pression : 100400 MPa (CIP 200400 MPa, HIP 100200 MPa).

Moule : Moule flexible (CIP : caoutchouc/PU ; HIP : cuve acier/titane).

Ebauches : de formes moyennes à grandes (Ø 10-100 mm, longueur 500 mm) ou complexes (ex : outils, moules).

Efficacité : lots faibles à moyens (CIP : 100500 pièces/heure ; HIP : <50 pièces/lot).

Applicabilité : Convient aux nuances de carbure cimenté (telles que YN6, YN10, YN8N, granulométrie 0,12 µm).

Le pressage isostatique se divise en pressage isostatique à froid (NEP) et pressage isostatique à chaud (CIC), adaptés à différentes formes, performances et exigences de production. Les paragraphes suivants analysent leurs types, équipements, caractéristiques, applications et

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

comparaisons avec le moulage, en particulier la partie détaillée du processus.

2. Types, équipements, caractéristiques et applicabilité du pressage isostatique du carbure cémenté

2.1 Pressage isostatique à froid (NEP)

Type et principe :

CIP en sac : le matériau mélangé est chargé dans un moule flexible (comme un sac en caoutchouc), immergé dans un liquide haute pression (eau/huile) et pressé uniformément dans toutes les directions. Ce procédé convient à une grande variété de formes (pièces de forme spéciale, tiges, etc.).

CIP en sac : le matériau mélangé est chargé dans un moule flexible fixe, puis le liquide est pressé à travers la paroi du moule. Ce procédé est adapté aux formes standard et à haut rendement (comme les barres cylindriques).

équipement :

Modèle spécifique :

Quintus Technologies QIC 2.4x4.8 : Chambre Ø 600 mm × 1800 mm, pression 200400 MPa, adaptée aux barres de grandes dimensions.

Avure Technologies V3 CIP : Chambre Ø 400 mm × 1200 mm, pression 250350 MPa, adaptée aux pièces de taille moyenne.

EPSI CIP 400200 : Chambre Ø 300 mm × 1000 mm, pression 200400 MPa, adaptée aux petits et moyens lots.

Spécifications :

Pression : 200-400 MPa (généralement 300 MPa).

Dimensions de la chambre : Ø 100-1000 mm, hauteur 500-2000 mm.

Puissance : Moyenne-Élevée (50-150 kW).

Contrôle : PLC+ écran tactile, écart de pression $\leq \pm 2$ MPa, positionnement $\pm 0,1$ mm.

Durée du cycle : 15 minutes/lot (25 minutes pour la méthode du sac humide, 12 minutes pour la méthode du sac sec) .

Caractéristiques :

Paramètres du processus :

Pression : 200400 MPa (optimisation : 300 MPa, densité augmentée de 5%).

Temps de maintien : 30120 secondes (optimisation : 60 secondes, uniformité > 95%).

Moule : Caoutchouc/PU (résistance à la pression > 500 MPa, dureté Shore A 7090), durée de vie 1000-5000 fois.

Densité brute : 6070 % de la densité théorique ($\sim 9,511$ g/cm³) .

Milieu liquide : eau/huile (contenant un inhibiteur de rouille, pH 78, pour recyclage).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Procédé de pressage isostatique à froid (CIP) au carbure

Préparation du mélange

Matières premières : WC (D50 50150 μ m), Ni/Co (615 % en poids), additifs (Cr3C2/VC 0,10,5 % en poids).

Procédé : broyage à billes à haute énergie (1624 h, rapport billes/matériau 10:1, vitesse de rotation 200300 tr/min), ajout de PEG (0,1 à 0,2 % en poids) comme agent de moulage.

Test : granulométrie D50 < 150 μ m, fluidité < 25 s/50 g (GB/T 1482-2010), humidité < 0,1 %.

Remplissage du moule

Moule : Sac en caoutchouc/PU (épaisseur de paroi 25 mm, résistance à la pression > 500 MPa), avec lubrifiant (huile de silicone, 0,01 mm) appliqué à l'intérieur.

Remplissage : Remplisseuse automatique (fréquence de vibration 50100 Hz), densité de remplissage 23 g/cm³, homogénéité >90%.

Scellage : scellage sous vide (<10⁻² Pa, taux de fuite d'air <0,01%), à l'aide d'une thermoscelleuse (température 150-200°C).

Contrôle : Pesée ($\pm$ 0,1 g), contrôle aux rayons X de l'intégrité du moule (absence de bulles/fissures).

Pressage haute pression :

Équipement : Quintus QIC 2.4x4.8 (méthode du sac humide) ou Avure V3 CIP (méthode du sac sec).

Paramètres : pression 300 MPa (taux de pressurisation 510 MPa/s), maintien de la pression 60 secondes, milieu liquide (eau + 0,5 % d'inhibiteur de rouille).

Procédé : La méthode du sac humide immerge le moule dans la cavité, et la méthode du sac sec fixe le moule dans la cavité et applique une pression uniforme.

Surveillance : Enregistrement en temps réel de la courbe de pression (écart $\leq \pm 2$ MPa), température 20-30°C.

Démoulage et nettoyage :

Démoulage : manuel (méthode wet bag) ou pneumatique (méthode dry bag, pression 0,51 MPa), taux de casse du moule < 0,5%.

Nettoyage : Nettoyage par ultrasons (40 kHz, 10 min) pour éliminer les résidus d'huile/poudre.

Séchage : Séchage sous vide (80°C, 2 heures, pression <10⁻¹ Pa), humidité <0,05%.

Tests : taille ($\pm$ 0,2-0,5 mm), densité ($\sim$ 10 g/cm³, écart <1%).

Contrôle qualité :

Aspect : pas de fissures, déformation, surface Ra <1,6 μ m.

Propriétés : densité (GB/T 38502015), porosité < 0,01 % (GB/T 183762014).

Enregistrements : Traçabilité des lots (QR code), sauvegarde des paramètres de mélange/pressage.

Environnement : Température ambiante (20-30°C), système de circulation de liquide (précision de filtration 10 μ m, taux de circulation > 95%).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Suggestions d'optimisation des paramètres :

Pression : 300 MPa, masse volumique d'équilibre ($\sim 10 \text{ g/cm}^3$) et durée de vie du moule (augmentation de 20%).

Temps de maintien : 60 secondes, réduction de 30 % du temps, maintien de l'uniformité $> 95 \%$.

Moule : matériau PU (Shore A 80), résistance à la pression augmentée de 10%, coût réduit de 15%.

Liquide : Ajouter 0,5 % d'inhibiteur de rouille pour prolonger la durée de vie de l'équipement de 12 ans.

Emballage : fréquence de vibration 80 Hz, uniformité augmentée de 5 %.

applicabilité :

Nuance : YN10, YG8 (granulométrie $0,51,5 \mu\text{m}$).

Forme : Moyenne à grande, comme des tiges ($\varnothing 1050 \text{ mm}$, longueur 330500 mm), des plaques ($50 \times 50 \times 20 \text{ mm}$), des anneaux ($\varnothing 100 \text{ mm}$).

Rendement : Lot moyen (100 500 pièces/heure, 100 300 pour la méthode du sac humide, 300 500 pour la méthode du sac sec).

Applications : Outils miniers (tels que tiges de forage), filières de tréfilage, tiges longues (pour bases d'outils).

avantage :

Densité uniforme : pression égale dans toutes les directions, écart $< 1 \%$ (35 % pour le moulage).

Convient aux grandes dimensions : flan $\varnothing 100 \text{ mm}$, longueur 500 mm (limite de moulage $\varnothing 50 \text{ mm}$).

Moins de microfissures : taux de défauts réduit de 50 %, porosité $< 0,005 \%$ (0,01 % pour le moulage).

Forme flexible : la méthode du sac humide convient aux pièces de forme spéciale et le coût du moule est 20 % inférieur (moulage).

défaut :

Faible efficacité : 15 minutes pour un seul lot, et le rendement est 50 % inférieur à celui du moulage (moulage > 1000 pièces/heure).

Coût plus élevé : les coûts d'équipement et d'entretien sont moyens à élevés (les coûts de moulage sont faibles).

La précision est légèrement inférieure : $\pm 0,20,5 \text{ mm}$ (moulage $\pm 0,1 \text{ mm}$), et un traitement secondaire est nécessaire.

Exemples d'application :

Barre de forage minier YN10 :

Équipement : Quintus QIC 2.4x4.8.

Paramètres : 350 MPa, pression de maintien 90 secondes, chambre $\varnothing 600 \text{ mm}$.

Résultats : ébauche $\varnothing 20 \times 330 \text{ mm}$, densité $10,2 \text{ g/cm}^3$, homogénéité $> 95 \%$, KIC $9 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, résistance frittée 2,0 GPa (ScienceDirect, 2021).

Scénario : Forage de roche dure, production de 200 pièces/heure.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tréfilage YG8 :

Equipement : Avure V3 CIP.

Paramètres : 300 MPa, maintien de la pression pendant 60 secondes, méthode du sac sec.

Résultat : ébauche Ø 50 × 20 mm, densité 10 g/cm³, porosité < 0,005 %, dureté après frittage 1500 HV.

Scénario : Emboutissage de métal, production 400 pièces/heure.

Comparaison entre le pressage isostatique à froid (CIP) et le moulage :

Uniformité de densité : écart CIP <1%, moulage 35% (pressage unidirectionnel).

Applicabilité de la forme : Le CIP convient aux pièces de taille moyenne et de grande taille/formes spéciales, et le moulage est limité aux formes simples (telles que les barres d'essai) .

Rendement : CIP 100500 pièces/heure, moulage 100010000 pièces/heure.

Coût : Moyen en CIP, faible en moulage.

Précision : CIP ±0,20,5 mm, moulage ±0,1 mm.

standard :

GB/T 183762014 : Porosité vierge < 0,01 %.

GB/T 38502015 : Vérification de la densité.

2.2 Pressage isostatique à chaud (HIP)

principes du pressage isostatique à chaud (HIP) :

HIP direct

La poudre est directement chargée dans une boîte métallique (acier/titane), pressée et frittée sous haute température et pression, en tenant compte à la fois du moulage et de la densification, adaptée aux pièces hautes performances.

Post-traitement HIP

La billette pré-frittée (frittage sous vide, 1200-1300°C, densité 80-90%) est ensuite soumise à un HIP pour éliminer la porosité et améliorer les performances.

équipement :

Modèle spécifique :

Quintus HIP QIH 122 : Chambre Ø 400 mm × 1200 mm, pression 100-200 MPa, température 1350-1450°C.

Bodycote HIP HT 200 : Chambre Ø 300 mm × 1000 mm, pression 120180 MPa, température 13001400°C.

ALD HIP V 4 : chambre Ø 500 mm × 1500 mm, pression 100200 MPa, adaptée aux moules de grandes dimensions.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Spécifications :

Pression : 100200 MPa (typiquement 150 MPa).
Température : 1350-1450°C.
Dimensions de la chambre : Ø 50500 mm, hauteur 5001500 mm.
Puissance : élevée (100-300 kW).
Contrôle : PC industriel, écart de température $\leq \pm 5^\circ\text{C}$, écart de pression $\leq \pm 1$ MPa.
Durée du cycle : 46 heures/lot.

Caractéristiques :

Paramètres du processus :

Température : 1350/1450°C (à base de Ni 1350/1400°C, à base de Co 1400/1450°C).
Pression : 100200 MPa (optimisé : 150 MPa, densité $> 99,9\%$).
Atmosphère : Ar ($> 99,99\%$, O₂ $< 0,001\%$).
Temps d'isolation : 24 heures (optimisation : 3 heures, augmentation des performances 5%).
Densité : $> 99,9\%$ de la densité théorique ($\sim 14,515\text{ g/cm}^3$).

Procédé de pressage isostatique à chaud (HIP) (détaillé)

Mélange ou préparation à blanc :

HIP direct : Mélange (WC + Ni / Co, D50 30100 μm , grain ultrafin $< 0,5\text{ }\mu\text{m}$), broyage à billes à haute énergie (2436 heures, rapport billes/matériau 15:1, vitesse 300400 tr/min), ajout de VC (0,2 % en poids) pour contrôler la taille des grains.

Post-traitement HIP : billette pré-frittée (frittage sous vide, 1200-1300°C, 12 heures, densité 80-90%).

Essais : granulométrie du matériau mélangé D50 $< 100\text{ }\mu\text{m}$, O₂ $< 0,03\%$ (GB/T 345052017), porosité à blanc $< 0,05\%$.

Emballer :

Récipient : Cuve en acier inoxydable (316L, épaisseur de paroi 23 mm) ou en titane (Gr5, résistance à la température $> 1500^\circ\text{C}$).

Remplissage : Remplissage par vibration (fréquence 5080 Hz), densité de remplissage 34 g/cm³.

Étanchéité : soudage sous vide ($< 10^{-3}$ Pa, soudage par faisceau d'électrons, largeur de soudure 12 mm), taux de fuite $< 0,001\%$.

Inspection : Contrôle aux rayons X de l'intégrité du réservoir (absence de fissures/pores), test sous vide ($< 10^{-3}$ Pa).

Haute température et haute pression traitement :

Équipement : Quintus HIP QIH 122 ou ALD HIP V4.

Paramètres : 1400°C (taux de chauffage 510°C/min), 150 MPa (taux d'augmentation de pression 25 MPa/min), maintien pendant 3 heures, atmosphère Ar (pureté $> 99,995\%$).

Procédé : Le réservoir est placé dans un réchauffeur en graphite (C $> 99,9\%$), et la courbe pression/température est surveillée en temps réel (écart $\leq \pm 5^\circ\text{C}$, ± 1 MPa).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Refroidissement : Refroidissement dans le four (510°C/min, débit Ar 12 L/min) jusqu'à <100°C.

Décannage et post- traitement :

Décapage en boîte : décapage mécanique (machine de découpe, précision $\pm 0,5$ mm) ou décapage (HNO₃ 10%, 30 minutes), surface Ra <0,8 μ m .

Nettoyage : Nettoyage par ultrasons (40 kHz, 15 min) pour éliminer les copeaux d'Ar /métal résiduels.

Traitement : meulage (Ra < 0,4 μ m , taille $\pm 0,1$ mm), polissage (Ra < 0,2 μ m , exigences des outils aéronautiques).

Test : densité (>99,9 %, $\sim 14,8$ g/cm³) , porosité <0,001 % (GB/T 51692013).

Contrôle qualité :

Propriétés : dureté (18002200 HV, GB/T 79972017), résistance (2,22,5 GPa , GB/T 38512015).

Microstructure : granulométrie < 0,5 μ m (GB/T 183762014), phase η < 0,5 %.

Enregistrements : Traçabilité des lots (code-barres), stockage des courbes température/pression.

Environnement : haute température et haute pression, atmosphère Ar , refroidissement du four (510°C/min).

Suggestions d'optimisation des paramètres :

Pression : 150 MPa, densité équilibrée (>99,9%) et consommation énergétique (en baisse de 10%).

Température : 1400°C (à base de Co), réduit la croissance des grains (<5%).

Temps d'isolation : 3 heures, efficacité augmentée de 25%, porosité < 0,001%.

Matériau du réservoir : acier inoxydable (316L), coût 20 % inférieur, même résistance à la pression.

Atmosphère : pureté Ar > 99,995 %, O₂ < 0,0005 %, réduction de l'oxydation de 50 %.

applicabilité :

Grade : YN8N, YG6X (grain ultrafin <0,5 μ m) .

Forme : complexe, comme les outils d'aviation (surfaces multi-courbes), les moules (cavités de forme spéciale), les ébauches d'aubes de turbine.

Production : petites séries (<50 pièces/lot), produits à forte valeur ajoutée.

Applications : outils aérospatiaux, moules haut de gamme, implants médicaux.

avantage :

Haute densité : > 99,9 %, porosité < 0,001 % (nombre de modules de frittage 0,005 0,01 %).

Formes complexes : aucun moule requis, précision $\pm 0,1$ mm (moule complexe requis pour le moulage).

Excellentes performances : contrôle du grain < 0,5 μ m , dureté augmentée de 510 % (1800-2200 HV), résistance augmentée de 1015 % (2,2-2,5 GPa) .

Moins de défauts : taux de microfissures diminué de 50 %, KIC augmenté de 10 % (912 MPa·m^{1/2}) .

défaut :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Coût élevé : coûts d'équipement et d'énergie élevés (faibles coûts de moulage).
Faible rendement : 46 heures pour un seul lot, rendement < 50 pièces/heure (moulage > 1000 pièces/heure).
Emballage complexe : les boîtes métalliques sont chères et le temps de traitement augmente de 12 heures.

Exemples d'application :

vierge YN8N :

Équipement : Quintus HIP QIH 122.
Paramètres : 1400°C, 150 MPa, 3 heures, atmosphère Ar .
Résultats : Ébauche 50×50×20 mm, densité 14,8 g/cm³ , porosité <0,001%, dureté 1800 HV, résistance 2,2 GPa (Sandvik, 2023).
Scénario : Traitement d'alliages à haute température, production de 30 pièces/lot.

Moule de précision YG6X :

Équipement : ALD HIP V4.
Paramètres : 1350°C, 120 MPa, 2,5 heures de conservation de la chaleur, post-traitement HIP.
Résultats : Matrice Ø 100 × 50 mm, masse volumique 14,9 g/cm³ , granulométrie < 0,5 µ m , KIC 10 MPa·m^{1/2} .
Scénario : Matrice d'emboutissage automobile, production de 20 pièces/lot.

Par rapport au moulage :

Uniformité de la densité : HIP >99,9%, écart <0,1%, moulage 5060%, écart 35%.
Applicabilité des formes : Le HIP est adapté aux pièces complexes et de formes spéciales, tandis que le moulage est limité aux formes simples (barres d'essai, lames).
Efficacité : HIP <50 pièces/lot, moulage 100010000 pièces/heure.
Coût : élevé pour le HIP, faible pour le moulage.
Performances : Dureté HIP 1800-2200 HV, fritté après moulage 1400-1800 HV.

standard :

GB/T 79972017 : Vérification de la dureté.
GB/T 51692013 : Porosité < 0,001 %.

3. Comparaison entre le pressage isostatique et le moulage

Tableau 1 : Comparaison entre le pressage isostatique et le moulage par compression

caractéristiques	Pressage isostatique à froid (CIP)	Pressage isostatique à chaud (HIP)	Pressage à l'emporte-pièce
Pression (MPa)	200400	100200	100300
Température (°C)	Température ambiante	13501450	Température ambiante

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

caractéristiques	Pressage isostatique à froid (CIP)	Pressage isostatique à chaud (HIP)	Pressage à l'emporte-pièce
Densité (% théorique)	6070	>99,9	5060
Uniformité	Écart <1%	Écart < 0,1 %	Écart de 35 % (aller simple)
Forme applicable	Moyennes et grandes (tiges, plaques)	Complexe (outils, moules)	Simple (tige d'essai, lame)
Précision (mm)	±0,20,5	±0,1	±0,1
Rendement	100 500 pièces/heure	<50 pièces/lot	100010000 pièces/heure
coût	milieu	haut	Faible
avantage	Densité uniforme, grande taille, peu de microfissures	Haute densité, forme complexe, excellentes performances	Haute efficacité, faible coût, haute précision
défaut	Faible efficacité, coût moyen, précision légèrement inférieure	Coût élevé, faible efficacité, emballage complexe	Gradients de densité, limitations de forme complexes, usure de la matrice
Équipement typique	Quintus QIC 2,4x4,8, Avure V3 CIP	Quintus HIP QIH 122, ALD HIP V4	Dorst TPA, Aida NC

4. Comparaison des types de pressage isostatique

Tableau 2 : Comparaison des types de pressage isostatique au carbure cémenté

taper	pression MPa	température °C	densité %	Forme applicable	Rendement Pièce/Lot	coût	avantage	défaut
Pressage isostatique à froid (CIP)	à 200400	Température ambiante	6070	Moyennes et grandes (tiges, plaques)	100 500 (pièces/heure)	milieu	Densité uniforme, grande taille, peu de microfissures	Faible efficacité, coût moyen, précision légèrement inférieure
Pressage isostatique chaud (HIP)	à 100200	13501450	>99,9	Complexe (outils, moules)	<50 (pièces/lot)	haut	Haute densité, forme complexe, excellentes performances	Coût élevé, faible efficacité, emballage complexe

5. Guide d'applicabilité et de sélection

Pressage isostatique à froid (NEP) :

Applicable à : billettes moyennes et grandes, telles que les barres YN10 (Ø 20 × 330 mm), les plaques YG8.

Motifs de sélection : densité uniforme (écart <1%), adapté aux grandes dimensions (>500 mm), peu de microfissures.

Matériel recommandé : Quintus QIC 2.4x4.8 (grand format), Avure V3 CIP (taille moyenne).

Exemple : tige YN10, 300 MPa, densité ~10 g/cm³ , KIC 9 MPa·m^{1 / 2} .

Applications : Outils miniers, filières de tréfilage, barres longues.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Pressage isostatique à chaud (HIP) :
Applicable : pièces complexes hautes performances, telles que les outils et moules d'aviation YN8N.
Motif de sélection : densité>99,9%, porosité<0,001%, dureté18002200 HV.
Équipement recommandé : Quintus HIP QIH 122 (haute performance), ALD HIP V4 (grand format).
Exemple : ébauche d'outil YN8N, 1400°C, 150 MPa, dureté 1800 HV.
Application : Outillages aérospatiaux, moules haut de gamme.

Tableau 3 : Aptitude au pressage isostatique

taper	Grades applicables	Forme applicable	Rendement	Applications typiques	Équipement recommandé
Pressage isostatique à froid (CIP)	YN10, YG8	Tiges, plaques, anneaux	Lot moyen (100 500 pièces/heure)	Outils miniers, filières de tréfilage, tiges longues	Quintus QIC 2.4x4.8, Avure V3 CIP
Pressage isostatique à chaud (HIP)	YN8N, YG6X	Outils et moules complexes	Petits lots (<50 pièces/lot)	Outils d'aviation, moules haut de gamme	Quintus HIP QIH 122, ALD HIP V4

6. Conclusion

Le pressage isostatique au carbure cémenté est divisé en :

Pressage isostatique à froid (CIP) : Densité uniforme (écart<1%), adaptée aux billettes moyennes et grandes (barres YN10), mais faible rendement (100500 pièces/heure), précision ±0,20,5 mm.
Pressage isostatique à chaud (HIP) : Densité > 99,9 %, adapté aux pièces complexes hautes performances (outil YN8N), mais coût élevé et faible rendement (< 50 pièces/lot).

équipement :

CIP : Quintus QIC 2.4x4.8 (grande taille, 350 MPa), Avure V3 CIP (taille moyenne, 300 MPa), coût moyen.
HIP : Quintus HIP QIH 122 (haute performance, 150 MPa), ALD HIP V4 (grande taille, 120 MPa), coût élevé.

Par rapport au moulage :

Le pressage isostatique (CIP/HIP) est supérieur au moulage en termes d'uniformité de densité (<1% contre 35%) et d'applicabilité à des formes complexes, mais présente une faible efficacité (100 500 pièces/heure contre 1 000 à 10 000 pièces/heure) et un coût élevé.
Le moulage par compression convient aux formes simples en volumes élevés (barres d'essai YN6), le pressage isostatique convient aux pièces de moyennes à grandes ou hautes performances (barres YN10, outils YN8N).

standard :

GB/T 345052017 : Écart de densité de la pièce à usiner <±5%, précision ±0,2 mm.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

GB/T 183762014 : Porosité < 0,01 %, uniformité > 95 %.

GB/T 38502015 : Vérification de la densité.

GB/T 5169- 2013 : Porosité (A02B00C00).

GB/T 38512015 : Résistance à la flexion (1,82,5 GPa) .

GB/T 7997- 2017 : Dureté (1400-2200 HV).

Tendances futures

Le CIP automatisé (efficacité augmentée de 20 %), le HIP vert (consommation d'énergie réduite de 15 %) et le contrôle intelligent de la pression (écart < $\pm 0,5$ MPa) amélioreront le processus de pressage isostatique.

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:

Rapport de retrait du carbure pressé

Lors du pressage et du frittage du carbure cimenté, le réarrangement des particules de poudre, la volatilisation du liant et la croissance des grains entraînent un retrait volumique important, appelé **taux de retrait**. Ce taux est un paramètre clé de la production de carbure cimenté. Il affecte directement le moule ébaucheur, la précision dimensionnelle ($\pm 0,20,5$ mm, conformément à la norme GB/T 345052017) et les performances du produit final (densité $> 99,5$ %, porosité $< 0,01$ %, résistance à la flexion $1,82,5$ GPa). La méthode de pressage du carbure cimenté (pressage isostatique, moulage) et le frittage ultérieur influencent le taux de retrait.

Français Basé sur le pressage isostatique du carbure cimenté (pressage isostatique à froid CIP, pressage isostatique à chaud HIP) et le moulage, combinés aux normes nationales (telles que GB/T 183762014, GB/T 38502015) et aux pratiques de l'industrie (telles que Sandvik, 2023 ; ScienceDirect, 2021), cet article analyse en détail la définition, les facteurs d'influence, les valeurs typiques, les méthodes de calcul et les cas d'application pratique du rapport de retrait du pressage du carbure cimenté, ajoute une comparaison avec le moulage et affine l'influence du processus de pressage isostatique sur le rapport de retrait.

1. Définition du taux de retrait au pressage du carbure cimenté

Le **rapport de retrait** fait référence au rapport de changement dimensionnel du carbure cimenté de la billette pressée (compact vert) au produit fini fritté, généralement exprimé sous forme de rapport de retrait linéaire (rapport de retrait linéaire), la formule est :

$$S = \frac{L_g - L_s}{L_g} \times 100\%$$

SSS : taux de retrait linéaire (%).

L_g : Dimension de la billette verte (mm, après pressage).

L_s : taille après frittage (mm).

Le **taux de retrait** est :

$$S_v = \frac{V_g - V_s}{V_g} \times 100\%$$

S_v : Taux de retrait volumique (%).

V_g : volume du blanc vert (mm^3).

V_s : volume après frittage (mm^3).

Relation approximative entre le rapport de retrait linéaire et le rapport de retrait volumique (retrait isotrope) :

$$S_v \approx 3S - 3S^2 + S^3$$

En pratique, le taux de retrait linéaire du carbure cimenté est généralement de **1 522 %** et le taux de retrait volumique de **3 550 %**. Les valeurs spécifiques dépendent du procédé de pressage (CIP, HIP, moulage), de la composition du mélange (WC + Ni / Co, granulométrie $0,12 \mu\text{m}$), de la teneur en liant (PEG 0,10,2 % en poids) et des conditions de frittage ($1\ 350$ à $1\ 450$ °C, atmosphère d'

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

argon).

2. Facteurs affectant le taux de retrait du carbure cimenté

Le taux de retrait est affecté par les facteurs suivants, qui doivent être pris en compte de manière exhaustive dans le moule (précision $\pm 0,1$ mm) et l'optimisation du processus :

Composition du mélange :

Teneur en phase liante (Ni/Co) : Une teneur élevée en Co (1015 % en poids) augmente le taux de retrait (1822 %) car le Co a un point de fusion bas (1495 °C) et le frittage en phase liquide favorise la densification ; une teneur élevée en Ni (610 % en poids) a un taux de retrait légèrement inférieur (1518 %).

Taille des grains : Les grains ultrafins ($<0,5 \mu m$) ont un taux de retrait élevé (2022%) en raison de leur énergie de surface élevée et de leur forte force motrice de densification ; les grains moyens-grossiers ($12 \mu m$) ont un faible taux de retrait (1518%).

Additifs : Cr₃C₂/VC (0,1 à 0,5 % en poids) inhibent la croissance des grains et réduisent légèrement le taux de retrait (0,51 %).

Processus de pressage :

Pressage isostatique à froid (CIP) : La densité de la billette est de 6070 % ($\sim 9,511 \text{ g/cm}^3$) , la pression isostatique (200400 MPa) rend le retrait uniforme et le rapport de retrait linéaire est de 1620 %.

Pressage isostatique à chaud (HIP) : densité HIP directe $> 99,9 \%$ ($\sim 14,515 \text{ g/cm}^3$) , taux de retrait élevé (1822 %) ; le HIP post-traitement (billette pré-frittée, densité 8090 %) a un faible taux de retrait (510 %).

Moulage : La densité de l'ébauche est de 50 à 60 % , la pression uniaxiale (100 à 300 MPa) conduit à un gradient de densité (35 %), le taux de retrait est de 15 à 18 % et l'anisotropie est légèrement plus grande (0,51 %).

Contenu du liant :

La volatilisation (300-500°C) de PEG (0,10,2 % en poids) ou de paraffine (0,51 % en poids) a augmenté la porosité et le taux de retrait de 12 %.

L'adhésif optimisé (PEG 0,15 % en poids) peut contrôler l'écart du taux de retrait à $\leq \pm 0,5 \%$.

Conditions de frittage :

Température : 1350/1450°C (à base de Co 1400/1450°C, à base de Ni 1350/1400°C), une température élevée augmente le rapport de phase liquide et le rapport de retrait augmente de 12%.

Temps d'isolation : 24 heures. Un allongement de ce temps (3 heures) permet une densification plus complète et une augmentation du taux de retrait de 0,51 %.

Ambiance : Ar ($> 99,99 \%$, $O_2 < 0,001 \%$) réduit l'oxydation et stabilise le taux de retrait ; l'atmosphère H₂ peut réduire le taux de retrait (0,5 %).

Taille et forme des billettes :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

des billettes de grandes dimensions (Ø 50-100 mm) est légèrement inférieure (15-17%) en raison d'une conduction thermique inégale.

En raison de la répartition des contraintes, l'écart du rapport de retrait des formes complexes (telles que les outils et les moules) augmente de $\pm 0,51\%$.

3. Valeur typique du taux de retrait par pressage du carbure

Tableau 1 : Valeurs typiques des taux de retrait pour différents procédés de pressage

Processus de pressage	Marque	Taille des grains (µm)	Teneur en Co/Ni (% en poids)	Densité des billettes (théorique)	Taux de retrait (%)	Taux de retrait volumique (%)	Densité après frittage (g/cm³)
Pressage isostatique à froid (CIP)	YN10	0,51,5	10 (Ni)	6070	1620	4045	14.514.8
Pressage isostatique à froid (CIP)	YG8	12	8 (Co)	6070	1518	3540	14.614.9
Pressage isostatique à chaud (HIP direct)	YN8	<0,5	8 (Ni)	>99,9	1822	4550	14.815.0
Pressage isostatique à chaud (post-traitement HIP)	YG6X	<0,5	6 (Co)	8090 (pré-fritté)	510	1525	14.915.0
Moulage	YN6	12	6 (Ni)	5060	1518	3540	14.514.8

illustrer :

CIP : Une pression uniforme (300 MPa) stabilise le taux de retrait, adapté aux billettes moyennes et grandes (Ø 20 × 330 mm).

HIP : Le HIP direct présente un taux de retrait élevé en raison du moulage + frittage en une seule étape ; le HIP post-traitement présente un faible taux de retrait et élimine uniquement les pores.

Moulage : La pression uniaxiale entraîne un rapport de retrait anisotrope (écart radial/axial 0,51 %).

4. Calcul du taux de retrait et du moule

Méthode de calcul :

des dimensions des billettes vertes et frittées :

Billette verte : les barres Ø 20 × 330 mm sont mesurées avec un pied à coulisse de haute précision ($\pm 0,01$ mm).

Après frittage : Dimensions Ø 16,8 × 280 mm (après retrait).

Calcul : $S = 20 - 16,820 \times 100\% = 16\%$ $S = \frac{20 - 16,8}{20} \times 100\% = 16\%$ $S = 2020 - 16,8 \times 100\% = 16\%$ (radial), $S = 330 - 280330 \times 100\% = 15,15\%$ $S = \frac{330 - 280}{330} \times 100\% = 15,15\%$ $S = 330330 - 280 \times 100\% = 15,15\%$ (axial).

Facteur de grossissement du moule :

Taille du moule = taille cible ÷ (1 S).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

示例：目标 $\varnothing 16$ mm 棒材， $S = 18\%$ ，模具 $\varnothing = 16 \div (1 - 0.18) = 19.51$ mm。

Contrôle des écarts :

CIP : Écart du rapport de retrait $\leq \pm 0,5\%$, précision du moule $\pm 0,1$ mm.

HIP : Écart HIP direct $\pm 0,51\%$ (forme complexe), écart HIP post-traitement $\leq \pm 0,3\%$.

Moulage : Écart $\pm 0,51\%$ (influence de la pression unidirectionnelle).

Exigences des normes nationales :

GB/T 345052017 : La précision dimensionnelle après frittage est de $\pm 0,2$ mm et l'écart du rapport de retrait est $\leq \pm 5\%$.

GB/T 183762014 : Uniformité de densité $> 95\%$, porosité $< 0,01\%$.

5. Effet du pressage isostatique et du moulage sur le taux de retrait

Pressage isostatique à froid (NEP) :

Impact du processus :

Mélange : Le broyage à billes à haute énergie (1624 heures, $D50 < 150 \mu m$) assure des particules uniformes et un écart de taux de retrait $\leq \pm 0,5\%$.

Remplissage : Le remplissage vibratoire (80 Hz) augmente la densité de remplissage (23 g/cm^3) et stabilise le taux de retrait (1620%).

Pressage : 300 MPa, 60 secondes, pression uniforme (écart $< \pm 2$ MPa) pour assurer un retrait uniforme dans toutes les directions.

Frittage : 1400°C , 3 heures, atmosphère Ar, taux de retrait 1620%.

Avantages : Retrait isotrope, écart $< 1\%$, adapté aux grandes dimensions ($\varnothing 100$ mm) / formes spéciales.

Inconvénients : La volatilisation du liant (PEG 0,10,2 % en poids) augmente légèrement le taux de retrait (12 %).

Pressage isostatique à chaud (HIP) :

Impact du processus :

HIP directe :

Matériau mixte : grain ultrafin ($D50 < 100 \mu m$), taux de retrait élevé (1822%).

Emballage : Bidon en acier inoxydable (316L, $< 10^{-3}$ Pa), densité d'emballage 34 g/cm^3 .

Traitement : 1400°C , 150 MPa, 3 heures, densité $> 99,9\%$, taux de retrait 1822%.

Post-traitement HIP :

Pré-frittage : $1200-1300^\circ\text{C}$, densité 80-90%, taux de retrait 10-15% (étape de pré-frittage).

HIP : 1350°C , 120 MPa, 2,5 heures, taux de retrait 510% (élimination de la porosité uniquement).

Avantages : haute densité ($> 99,9\%$), taux de retrait contrôlable, adapté aux formes complexes (outillages aérospatiaux).

Inconvénients : emballage complexe, écart du taux de rétraction $\pm 0,51\%$ (forme complexe).

Moulé :

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

Impact du processus :

Mélange : Similaire au CIP, D50 50150 μ m .

Pressage : 100300 MPa, pression uniaxiale, densité de la billette 5060 %, gradient de densité 35 %.

Frittage : 1350-1450°C, 23 heures, taux de retrait 1518%, écart radial/axial 0,51%.

Avantages : haute efficacité (1000-10000 pièces/heure), l'écart du taux de retrait peut être contrôlé par l'optimisation du moule (±0,5%).

Inconvénients : Retrait anisotrope (écart 0,51%), ne convient pas aux formes complexes.

Tableau 2 : Comparaison du taux de retrait entre le pressage isostatique et le moulage

Technologie	Taux de retrait linéaire (%)	Taux de retrait volumique (%)	Uniformité du retrait	Forme applicable	Écart du taux de retrait (%)
Pressage isostatique à froid (CIP)	1620	4045	Écart <1%	Moyennes et grandes (tiges, plaques)	±0,5
Pressage isostatique à chaud (HIP direct)	1822	4550	Écart < 0,1 %	Complexe (outils, moules)	±0,51
Pressage isostatique à chaud (post-traitement HIP)	510	1525	Écart < 0,3 %	Complexe (outils, moules)	±0,3
Moulage	1518	3540	Écart de 35%	Simple (tige d'essai, lame)	±0,51

6. Cas d'application et contrôle du taux de retrait

Barre de forage minier YN10 (CIP) :

Procédé : Quintus QIC 2.4x4.8, 350 MPa, 90 sec, ébauche Ø 24 mm × 400 mm.

Frittage : 1400°C, 3 h, atmosphère Ar .

Résultats : Après frittage, Ø 20 × 330 mm, taux de retrait linéaire 16,67% (radial), 17,5% (axial), masse volumique 14,6 g/cm³ , KIC 9 MPa·m^{1 / 2} (ScienceDirect, 2021).

Moule : Ø 24 mm (grossissement 1,2 fois) , écart ± 0,2 mm.

Scénario : Forage de roche dure, production de 200 pièces/heure.

Outil d'aviation vierge YN8N (HIP direct) :

Procédé : Quintus HIP QIH 122, 1400°C, 150 MPa, 3 h, billette 60×60× 25 mm.

Résultats : Après frittage, la taille est de 50×50×20 mm, le taux de retrait linéaire est de 20 %, la densité est de 14,8 g/cm³ et la dureté est de 1800 HV (Sandvik, 2023).

Moule : corps du réservoir 60×60×25 mm (grosi 1,25 fois), écart ±0,3 mm.

Scénario : Traitement d'alliage à haute température, production de 30 pièces/lot.

Barre d'essai YG6 (moulée) :

Procédé : Dorst TPA, 200 MPa, ébauche 20×20×6 mm.

Frittage : 1350°C, 2 h, atmosphère H2.

Résultats : Après frittage, la taille était de 17×17×5 mm, le taux de retrait linéaire était de 15 %, la

densité était de 14,5 g/cm³ et la résistance était de 1,8 GPa .

Moule : 20×20× 6 mm (grossissement 1,18 fois), écart ±0,1 mm.

Scénario : Usinage de lames, cadence 5000 pièces/heure.

7. Suggestions pour l'optimisation du taux de retrait

CIP :

Mélange : D50 <100 μ m , PEG 0,15 % en poids , écart du taux de retrait <±0,5 %.

Pressage : 300 MPa, 60 s, charge vibratoire (80 Hz), taux de retrait 1618 %.

Moule : matériau PU (Shore A 80), facteur de grossissement 1.181.20, précision ±0.1 mm.

HANCHE :

HIP direct : grain ultrafin (<0,5 μ m) , 1400°C, 150 MPa, taux de retrait 1820%, écart <±0,5%.

Post-traitement HIP : densité de pré-frittage > 85 %, 1350 °C, 120 MPa, taux de retrait 58 %, écart < ± 0,3 %.

Matériau du réservoir : acier inoxydable 316L, coût 20 % inférieur, étanchéité < 10⁻³ Pa.

Moulé :

Mélange : cristal grossier moyen (12 μ m) , PEG 0,1 % en poids , taux de retrait 1517 %.

Pressage : 250 MPa, pressage bidirectionnel, anisotropie réduite (écart < ± 0,5%).

Moule : Moule en carbure (HRC >60), facteur de grossissement 1.151.18, précision ±0.05 mm.

8. Conclusion

Le taux de retrait du carbure cimenté lors du pressage dépend de la composition du mélange, du procédé de pressage, du liant, des conditions de frittage et de la forme de la billette. Les valeurs typiques sont les suivantes :

CIP : Le taux de retrait linéaire est de 1620 %, le taux de retrait volumique est de 4045 %, adapté aux billettes moyennes et grandes (barres YN10).

HIP : HIP direct 1822%, post-traitement HIP 510%, adapté aux pièces complexes hautes performances (outil YN8N).

Moulage : 1518%, adapté aux formes simples à volume élevé (barre d'essai YN6), mais légèrement anisotrope (écart 0,51%).

Par rapport au moulage :

Le pressage isostatique (CIP/HIP) présente un retrait uniforme (écart < 1 % contre 35 %), ce qui convient aux pièces complexes/de grande taille, mais présente une faible efficacité (100 500 pièces/heure contre 1 000 10 000 pièces/heure).

Le moulage présente une efficacité élevée et un faible coût, mais le taux de retrait est anisotrope et limité aux formes simples.

standard :

GB/T 345052017 : Précision dimensionnelle ±0,2 mm, écart du taux de retrait <±5 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

GB/T 183762014 : Porosité < 0,01 %, uniformité > 95 %.

GB/T 38502015 : Vérification de la densité.

GB/T 5169- 2013 : Porosité (A02B00C00).

GB/T 38512015 : Résistance à la flexion (1,82,5 GPa) .

GB/T 7997- 2017 : Dureté (1400-2200 HV).

appendice:

Types de matrices de pressage en carbure

Les matrices de pressage en carbure cimenté sont des outils essentiels pour presser la poudre de carbure cimenté (comme WC+Ni /Co, granulométrie 50-150 μm) en ébauches (densité 50-70 % de la masse volumique théorique, environ 9,511 g/cm³), et sont largement utilisées dans la production de barres d'essai, d'ébauches d'outils et de matrices. Les types de matrices varient en fonction du procédé de pressage (pressage isostatique à froid CIP, pressage isostatique à chaud HIP, pressage par matrice), de la forme de la pièce brute (barre $\varnothing$ 1050 mm, plaque, outil complexe), de la précision dimensionnelle ($\pm 0,20,5$ mm, conformément à la norme GB/T 345052017), des exigences de performance (résistance à la flexion 1,8-2,5 GPa, dureté 1400-2200 HV) et de l'efficacité de production (CIP 100-500 pièces/heure, pressage par matrice 1000-10000 pièces/heure).

Ce qui suit combine les normes nationales (telles que GB/T 183762014, GB/T 38502015) et les pratiques industrielles (telles que Sandvik, 2023 ; ScienceDirect, 2021) pour analyser en détail les types, les matériaux, les structures, l'applicabilité, les avantages et les inconvénients des matrices de pressage en carbure cimenté, affiner la relation avec les processus de pressage et de moulage isostatiques, ajouter des tableaux de comparaison et des cas d'application, et améliorer l'influence des matrices sur le taux de retrait (1522%).

1. Aperçu des matrices de pressage en carbure cimenté

Les matrices de pressage en carbure cimenté doivent répondre aux exigences suivantes :

à la pression : 100400 MPa (CIP 200400 MPa, HIP 100200 MPa, moulage 100300 MPa).

Résistance à l'usure : résistance à l'usure de la poudre de carbure (dureté WC > 2000 HV), durée de vie du moule > 1000 à 5000 fois.

Précision : Écart de taille de billette $\pm 0,20,5$ mm (CIP), $\pm 0,1$ mm (moulage), en tenant compte du taux de retrait (1522%).

Applicabilité : Convient à différentes formes (tiges, plaques, outils complexes) et nuances (YN6, YN10, YN8N, granulométrie 0,12 μm).

Efficacité : Prend en charge les lots faibles à moyens (NEP/CIP) ou les lots élevés (moulage).

Il existe trois principaux types de moules, classés selon le procédé de pressage :

Moules de pressage isostatique à froid (CIP) : Moules flexibles (caoutchouc/PU).

Moules de pressage isostatique à chaud (HIP) : boîtes métalliques (acier/titane).

Moule de compression : Moule rigide (carbure/acier).

2. Types et caractéristiques des matrices de pressage en carbure cimenté

2.1 Types de moules de pressage isostatique à froid (CIP) :

Moule à sac humide

Sacs flexibles (tels que caoutchouc, PU), après remplissage du matériau mélangé, immergés dans

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

un liquide haute pression (eau/huile, 200400 MPa), adaptés aux pièces de forme spéciale, aux flans moyens et grands (Ø 10100 mm, longueur 500 mm).

Moule pour sac étanche

Moule flexible fixe (PU/silicone), le liquide est pressé à travers la paroi du moule, adapté aux formes standards (ex : barres cylindriques Ø 1050 mm).

Matériaux de moulage par pressage isostatique à froid (CIP)

caoutchouc

Caoutchouc naturel ou caoutchouc synthétique (Shore A 7090), résistance à la pression > 500 MPa, faible coût, durée de vie 1000 à 2000 fois.

Polyuréthane (PU)

PU haute résistance (Shore A 8095), excellente résistance à l'usure, durée de vie 2000 à 5000 fois, coût moyen.

Silicone

Utilisé pour la méthode du sac sec, haute flexibilité (Shore A 6080), mais résistance à la pression légèrement inférieure (<300 MPa), durée de vie 10003000 fois.

Structure du moule de pressage isostatique à froid (CIP)

Méthode du sac humide

Sacs monocouches ou multicouches (épaisseur de paroi 25 mm), revêtus intérieurement de lubrifiant (huile de silicone, 0,01 mm), étanches au vide (<10⁻² Pa).

Méthode du sac étanche

Le moule est fixé dans la cavité, doublé de PU/silicone (épaisseur de paroi 310 mm) et d'une coque extérieure en acier (316L, résistance à la pression > 600 MPa).

Caractéristiques du moule de pressage isostatique à froid (CIP) :

Pression de tenue : 200400 MPa (typiquement 300 MPa).

Taux de retrait : 1620%, facteur de grossissement du moule 1.181.20 (compte tenu de la taille après frittage, précision ±0.20.5 mm).

Remplissage : Remplissage par vibration (50100 Hz), densité 23 g/cm³, homogénéité >90%.

Durée de vie : 1000 à 5000 fois, la durée de vie du moule en PU est augmentée de 50 % (par rapport au caoutchouc).

Coût : Moyen (le PU coûte 15 % de plus mais a une durée de vie plus longue).

Impact du processus :

Remplissage : Machine de remplissage automatique (fréquence de vibration 80 Hz) pour assurer une densité de remplissage uniforme et un écart de taux de retrait <±0,5%.

Pressage : 300 MPa, maintien de la pression pendant 60 secondes, écart de pression <±2 MPa, retrait isotrope (1620%).

Démoulage : manuel (sac humide) ou pneumatique (sac sec, 0,51 MPa), taux de casse < 0,5 %.

Applicabilité du moule de pressage isostatique à froid (CIP) :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Nuance : YN10, YG8 (granulométrie 0,51,5 μ m) .

Formes : tiges ($\varnothing$ 1050 mm, longueur 330500 mm), plaques (50 $\times$ 50 $\times$ 20 mm), anneaux ($\varnothing$ 100 mm).

Rendement : Lot moyen (100 500 pièces/heure, 100 300 pour la méthode du sac humide, 300 500 pour la méthode du sac sec) .

Applications : Outils miniers (tiges de forage), filières de tréfilage, tiges longues.

Avantages du moule de pressage isostatique à froid (CIP) :

Les moules flexibles peuvent s'adapter à des formes complexes et sont 20 % moins chers (que le moulage par compression).

Pression isotrope (écart < 1 %), taux de retrait uniforme, densité de la billette 6070 % (~ 9,511 g/cm³) .

Peu de microfissures, porosité < 0,005% (0,01% pour le moulage).

moule de pressage isostatique à froid (CIP) :

Durée de vie plus courte (1000-5000 fois contre moulage > 10000 fois).

La précision est légèrement inférieure ($\pm 0,20,5$ mm contre $\pm 0,1$ mm pour le moulage) et un traitement secondaire est nécessaire.

Efficacité moindre (15 minutes/lot contre <1 minute pour le moulage).

Exemples :

Tige YN10 :

Moule : Sac humide en PU (épaisseur de paroi 3 mm, Shore A 80).

Procédé : Quintus QIC 2,4x4,8, 350 MPa, 90 sec., ébauche $\varnothing$ 24 $\times$ 400 mm.

Taux de retrait : 16,67 % (radial, $\varnothing$ 20 mm après frittage), facteur de grossissement du moule 1,20.

Résultats : Densité 10,2 g/ cm³ , KIC 9 MPa $\cdot$ m^{1/2} , rendement 200 pièces/heure (ScienceDirect, 2021).

tréfilage YG8 :

Moule : Sac étanche en silicone (épaisseur de paroi 5 mm, Shore A 70).

Procédé : Avure V3 CIP, 300 MPa, 60 s, ébauche $\varnothing$ 50 $\times$ 20 mm.

Taux de retrait : 15 % , facteur de grossissement du moule 1,18.

Résultat : Densité 10 g/ cm³, dureté 1500 HV, rendement 400 pièces/heure.

2.2 Types de matrices de pressage isostatique à chaud (HIP)

de pressage isostatique à chaud (HIP) , moule HIP direct : boîte métallique (acier/titane), chargement direct de poudre, pressage + frittage à haute température et haute pression (1350/1450°C, 100/200 MPa), adapté aux pièces complexes hautes performances.

Moule HIP post-traitement : le métal peut encapsuler des ébauches pré-frittées (densité 80-90%), élimine la porosité, convient aux outils et moules d'aviation.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Matériau du moule de pressage isostatique à chaud (HIP) :

Acier inoxydable (316L)

Épaisseur de paroi 23 mm, résistance à la température 1500°C, résistance à la pression >200 MPa, faible coût, durée de vie 50100 fois (principalement à usage unique).

Titane (Gr5) : Épaisseur de paroi 12 mm, résistance à la température > 1600°C, résistant à la corrosion, coût élevé, durée de vie 100200 fois.

Acier doux

L'épaisseur de la paroi est de 35 mm, avec le coût le plus bas, une résistance à la température <1400°C et une durée de vie de 2050 fois.

Structure du moule de pressage isostatique à chaud (HIP) :

Réservoirs de forme cylindrique ou complexe (Ø 50-500 mm, hauteur 500-1500 mm) à paroi intérieure lisse ($R_a < 0,8 \mu m$).

Joint de soudure sous vide ($< 10^{-3}$ Pa, soudage par faisceau d'électrons, soudure 12 mm), taux de fuite <0,001%.

Remplissage intérieur avec poudre (34 g/cm^3) ou ébauches pré-frittées, revêtement extérieur résistant aux hautes températures (en option).

Caractéristiques du moule de pressage isostatique à chaud (HIP) :

Résistance à la température : 1350-1450°C (316L 1400°C, Gr5 1500°C).

Pression de tenue : 100200 MPa (typiquement 150 MPa).

Taux de retrait : HIP direct 1822% (facteur de grossissement 1.201.25), post-traitement HIP 510% (facteur de grossissement 1.051.10).

Durée de vie : 20 200 fois (principalement à usage unique).

Coût : élevé (le Gr5 coûte 50 % de plus, le 316L est moyen).

Impact du processus de moulage par pressage isostatique à chaud (HIP) :

Conditionnement : Remplissage par vibration (5080 Hz), densité 34 g/cm^3 , contrôle par rayons X de l'intégrité de la boîte.

Traitement : 1400°C, 150 MPa, 3 heures, atmosphère Ar (>99,995%), taux de retrait 1822% (HIP direct).

Décantation : décapage mécanique (découpe, $\pm 0,5 \text{ mm}$) ou décapage (HNO_3 10%, 30 min).

Applicabilité du moule de pressage isostatique à chaud (HIP) :

Grade : YN8N, YG6X (grain ultrafin $< 0,5 \mu m$).

Forme : complexe, comme les outils d'aviation (surfaces multi-courbes) et les moules (empreintes de forme spéciale).

Volume de production : petits lots (<50 pièces/lot), forte valeur ajoutée.

Scénarios d'application : outils aéronautiques, moules haut de gamme, implants médicaux.

moules de pressage isostatique à chaud (HIP) :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Prend en charge des formes complexes sans moules traditionnels, avec une précision de $\pm 0,1$ mm.
Haute densité ($>99,9\%$), porosité $<0,001\%$ (moulage $0,01\%$).
Excellentes performances : dureté 1800-2200 HV, résistance 2,2-2,5 GPa .

Inconvénients du moule de pressage isostatique à chaud (HIP) :

Coût élevé (matériau du réservoir + soudure, le coût est 50 à 100 % plus élevé).
Faible efficacité (46 heures/lot contre moulage <1 minute).
L'emballage est complexe et l'écart du taux de rétrécissement est de $\pm 0,51$ % (forme complexe).

Cas du moule de pressage isostatique à chaud (HIP) :

Outil d'aviation YN8N :

Moule : boîte en acier 316L (épaisseur de paroi 2 mm, $50 \times 50 \times 25$ mm).
Processus : Quintus HIP QIH 122, 1400°C , 150 MPa, 3 heures.
Taux de retrait : 20 %, facteur de grossissement du moule 1,25.
Résultats : Après frittage, $50 \times 50 \times 20$ mm, densité $14,8 \text{ g/cm}^3$, dureté 1800 HV (Sandvik, 2023).

Moule YG6X :

Moule : Boîte Gr5 (épaisseur de paroi 1,5 mm, $\varnothing 100 \times 50$ mm).
Procédé : ALD HIP V4, 1350°C , 120 MPa, 2,5 heures.
Taux de retrait : 8 % (post-traitement HIP), facteur de grossissement du moule 1,09.
Résultats : Densité $14,9 \text{ g/cm}^3$, KIC $10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$.

2.3 Moule de moulage

Type de moule de compression :

Moule à compression unidirectionnelle : Pression unidirectionnelle (100-300 MPa), adapté aux formes simples (barres d'essai, lames).

Matrice à double actionnement : double pression montante et descendante, gradient de densité réduit (35%), adaptée aux pièces de dimensions moyennes ($\varnothing 1050$ mm).

Moule de compression multi-empreintes : plusieurs ébauches peuvent être pressées simultanément, avec une efficacité élevée, adapté aux lames de petite taille ($10 \times 10 \times 5$ mm).

Matériau du moule de moulage :

Carbure cémenté (WCCo) : dureté HRC > 60 , résistant à l'usure, durée de vie $> 10\,000$ fois, coût élevé.

Acier rapide (HSS) : dureté HRC 5560, résistance à la pression > 500 MPa, durée de vie 500010000 fois, coût moyen.

Acier à mouler (Cr12MoV) : dureté HRC 5055, faible coût, durée de vie 20005000 fois.

Structure du moule de moulage :

Cavité du moule (précision $\pm 0,05$ mm), paroi intérieure polie ($R_a < 0,4 \mu\text{m}$) .

Poinçon (carbure/HSS, résistance à la pression > 600 MPa), colonne de guidage (écart $< 0,01$ mm).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Mécanisme de démoulage (ressort/pneumatique, force de démoulage 0,52 MPa).

Caractéristiques du moule de compression :

Pression de tenue : 100300 MPa (typiquement 250 MPa).

Taux de retrait : 1518 %, facteur de grossissement du moule 1,151,18 (précision $\pm 0,1$ mm).

Durée de vie : 200010000 fois (alliage dur > 10000 fois).

Coût : faible (Cr12MoV) à élevé (carbure).

Impact du procédé de moulage par matrice :

Pressage : 250 MPa, cycle <1 min, densité de la billette 50-60%.

Démoulage : Démoulage pneumatique (0,51 MPa), taux de casse < 0,2%.

Frittage : 1350/1450°C, 23 heures, taux de retrait 1518%, anisotropie 0,51%.

Applicabilité du moule de moulage :

Nuance : YN6, YG8 (granulométrie 12 μ m).

Forme : simple, telle qu'une tige d'essai (20 $\times$ 20 $\times$ 6 mm), une lame (10 $\times$ 10 $\times$ 5 mm).

Rendement : Volume élevé (100010000 pièces/heure).

Scénario : usinage de plaquettes, tiges d'essai standard.

Avantages du moulage par compression :

Haute efficacité (cycle < 1 minute) et débit 10 fois supérieur (NEP).

Haute précision ($\pm 0,1$ mm) et longue durée de vie du moule (>10 000 fois).

Faible coût (le coût du moule Cr12MoV est 50 % inférieur).

Inconvénients du moulage par compression :

Gradient de densité (35%), anisotropie du rapport de retrait (0,51%).

Ne convient pas aux formes complexes ($\varnothing$ 50 mm uniquement).

La matrice s'use rapidement (abrasion de la poudre WC).

Boîtier de moulage par compression :

Tige d'essai YN6 :

Matrice : Carbure (HRC >60, 20 $\times$ 20 $\times$ 6 mm).

Procédé : Dorst TPA, 200 MPa, ébauche 20 $\times$ 20 $\times$ 6 mm.

Taux de retrait : 15 %, facteur de grossissement du moule 1,18.

Résultats : Après frittage, la taille est de 17 $\times$ 17 $\times$ 5 mm, la densité est de 14,5 g/cm³ et le rendement est de 5 000 pièces/heure.

Lame YG8 :

Moule : HSS (HRC 58, 10 $\times$ 10 $\times$ 5 mm).

Procédé : Aida NC, 250 MPa, ébauche 10 $\times$ 10 $\times$ 5 mm.

Taux de retrait : 16 %, facteur de grossissement du moule 1,19.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Résultat : Densité 14,6 g/ cm³ , dureté 1400 HV, rendement 8000 pièces/heure.

3. Comparaison des types de moisissures

Tableau 1 : Comparaison des matrices de pressage en carbure cémenté

Type de moule	Matériel	Résistance à la pression (MPa)	la rétrécir Comparer%	Précision mm	vie (De second ordre)	coût	Forme applicable	Rendement	avantage	défaut
CIP Moule à sac humide	Caoutchouc/PU	200400	1620	±0,20,5	10005000	milieu	moyennes et grandes/spéciales (tiges, plaques)	100300 pièces/heure	Forme complexe, retrait uniforme, peu de microfissures	Durée de vie courte, précision légèrement inférieure, faible efficacité
CIP Moule pour sac étanche	PU/Silicone +Coque en acier	200400	1620	±0,20,5	10005000	milieu	Formes standards (tiges)	300 500 pièces/heure	Haute efficacité, retrait uniforme, adaptable aux formes standards	Limité aux formes standard, précision légèrement inférieure
HANCHE Moule	Acier inoxydable/titane	100200	522	±0,1	20200	haut	Complexe (outils, moules)	<50 pièces/lot	Haute densité, forme complexe, excellentes performances	Coût élevé, faible efficacité, emballage complexe
Moule de moulage	carbure cémenté HSSCr12MoV	100300	1518	±0,1	200010000	Bas Haut	Simple (tige d'essai, lame)	100010000 pièces/heure	Haute efficacité, haute précision et longue durée de vie	Gradient de densité, formes simples, anisotropie

4. Rapport de moisissure et de retrait

Points clés :

Facteur de grossissement : taille du moule = taille de la cible ÷ (1 S).

CIP : S = 1620 %, grossissement 1.181.20.

HIP directe : S = 1822%, amplification 1.201.25.

Post-traitement HIP : S = 510%, grossissement 1.051.10.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Moulage : $S = 1518\%$, agrandissement 1.151.18.

Précision : CIP $\pm 0,20,5$ mm, HIP $\pm 0,1$ mm, moulage $\pm 0,1$ mm.

Uniformité du retrait :

CIP/HIP : Isotrope, écart $< 1\%$ (CIP), $< 0,1\%$ (HIP).

Moulage : Anisotrope, déviation radiale/axiale $0,51\%$.

Exemple :

Barre cible $\varnothing 16$ mm (CIP, $S = 18\%$) :

Matrice $\varnothing = 16 \div (1 - 0,18) = 19,51$ mm $16 \div (1 - 0,18) = 19,51$ mm

Précision : $\pm 0,2$ mm, écart $< \pm 0,5\%$.

Norme nationale :

GB/T 345052017 : Précision dimensionnelle $\pm 0,2$ mm, écart du taux de retrait $< \pm 5\%$.

GB/T 183762014 : Uniformité de densité $> 95\%$, porosité $< 0,01\%$.

5. Guide d'applicabilité et de sélection

Moule CIP :

Applicable à : billettes moyennes et grandes (barres YN10 $\varnothing 20 \times 330$ mm), pièces de formes spéciales.

Raisons de sélection : Retrait uniforme (écart $< 1\%$), adaptabilité aux formes complexes et coût moyen.

Recommandé : sac humide en PU (formes complexes), sac sec en silicone (tiges standards).

Scène : outils miniers, filières de tréfilage.

Moule HIP :

Applicable : pièces complexes hautes performances (outil aéronautique YN8N, $50 \times 50 \times 20$ mm).

Motifs de sélection : densité $> 99,9\%$, porosité $< 0,001\%$, précision $\pm 0,1$ mm.

Recommandé : réservoir 316L (coût moyen), réservoir Gr5 (haute performance).

Scénarios d'application : outils aéronautiques, moules haut de gamme.

Moule de moulage :

Applicable à : formes simples à volume élevé (barre d'essai YN6, $20 \times 20 \times 6$ mm).

Raisons de sélection : haute efficacité (100010000 pièces/heure), précision $\pm 0,1$ mm, faible coût.

Recommandé : Carbure (longue durée de vie), HSS (équilibre coût-durée de vie).

Scène : Lame, tige d'essai.

Tableau 2 : Adéquation des moisissures

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Type de moule	Grades applicables	Forme applicable	Rendement	Applications typiques	Matériaux recommandés
Moule à sac humide CIP	YN10, YG8	Barres, plaques, pièces de formes spéciales	100300 pièces/heure	Outils miniers, filières de tréfilage	PU (Shore A 80)
Moule pour sac sec CIP	YN10, YG8	Tiges	300 500 pièces/heure	Longues tiges	Coque en silicone + acier
Moule HIP	YN8N, YG6X	Outils et moules complexes	<50 pièces/lot	Outils d'aviation, moules haut de gamme	Réservoir 316L/Gr5
Moule de moulage	YN6, YG8	Tige d'essai, lame	100010000 pièces/heure	Usinage de lames et de tiges d'essai	Carbure/HSS

6. Conclusion

Les types de matrices de pressage en carbure cémenté comprennent :

Moule CIP

Flexible (caoutchouc/PU), taux de retrait 1620%, adapté aux pièces moyennes et grandes/de forme spéciale (tiges YN10), mais durée de vie courte (10005000 fois), précision $\pm 0,20,5$ mm.

Moule HIP

Les boîtes métalliques (316L/Gr5), avec un taux de retrait de 522%, conviennent aux pièces complexes à hautes performances (outil YN8N), mais avec un coût élevé et une faible efficacité (<50 pièces/lot).

Moule de moulage

Rigide (carbure/HSS), taux de retrait 1518%, adapté aux formes simples à grand volume (barre d'essai YN6), haute efficacité (100010000 pièces/heure), mais anisotrope (écart 0,51%).

Par rapport au moulage :

Les moules CIP/HIP peuvent s'adapter à des formes complexes et rétrécir uniformément (écart < 1 % contre 35 %), mais ils sont inefficaces et coûteux.

Les moules de compression sont efficaces et précis ($\pm 0,1$ mm), mais sont limités à des formes simples et présentent de grands gradients de densité.

standard :

GB/T 345052017 : Précision dimensionnelle $\pm 0,2$ mm, écart du taux de retrait $\leq \pm 5$ %.

GB/T 183762014 : Porosité < 0,01 %, uniformité > 95 %.

GB/T 38502015 : Vérification de la densité.

GB/T 5169- 2013 : Porosité (A02B00C00).

GB/T 38512015 : Résistance à la flexion (1,82,5 GPa) .

GB/T 7997- 2017 : Dureté (1400-2200 HV).

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:

Caractéristiques, applicabilité et avantages et inconvénients de divers procédés de frittage du carbure cimenté

Le processus de frittage du carbure cimenté (tel que le carbure cimenté à base de nickel ou de cobalt) consiste à convertir la billette pressée ($WC + Ni / Co$, densité 5070% densité théorique) en une barre d'essai ou une pièce (comme un outil, un moule) à haute densité ($> 99,5\%$), haute résistance (résistance à la flexion 1,82,5 GPa) et haute dureté (1400-2200 HV). Le procédé de frittage utilise un frittage en phase liquide ou en phase solide pour former une microstructure uniforme (grain $0,12 \mu m$, porosité $< 0,01\%$) entre les particules de WC et la phase liante (Ni, Co, 615 % en poids), répondant aux normes nationales (telles que GB/T 38512015, GB/T 79972017) et aux exigences de performance (telles que la résistance à la corrosion $< 0,005$ mm/an, GB/T 43342020). Les principaux procédés de frittage comprennent le frittage sous vide, le frittage isostatique à chaud (HIP), le frittage par micro-ondes, le frittage par plasma d'étincelles (SPS) et le frittage sous pression de gaz (GPS). Ce qui suit détaille les caractéristiques, l'applicabilité et les avantages et inconvénients de chaque processus de frittage, avec un nouveau tableau pour une comparaison claire, combiné aux normes nationales (telles que GB/T 345052017, GB/T 183762014) et aux dernières recherches (telles que Sandvik, 2023 ; ScienceDirect, 2021), le tout en chinois pour garantir que le contenu est précis, complet et fascinant.

1. Aperçu

L'objectif du frittage du carbure cimenté est d'obtenir une densification des billettes (densité $> 99,5\%$), un contrôle du grain ($0,12 \mu m$), une homogénéité microstructurale ($> 95\%$) et d'excellentes performances (dureté 1400-2200 HV, résistance 1,8-2,5 GPa). Le frittage doit prendre en compte les points suivants :

Propriétés du matériau : granulométrie WC ($0,12 \mu m$), rapport de phase liante (615 % en poids), additifs (tels que Cr_3C_2 , VC).

Forme brute : simple (barre d'essai $5 \times 5 \times 35$ mm) ou complexe (couteau, matrice).

Environnement de frittage : vide, H_2 , Ar, N_2 ou atmosphère haute pression (1150 MPa).

Efficacité et coût : temps de frittage (124 heures), équipement (501 millions de yuans), consommation d'énergie ($0,55$ kWh/kg).

Cet article analyse les caractéristiques, l'applicabilité, les avantages et les inconvénients de cinq principaux procédés de frittage, conformément aux normes GB/T 345052017 (préparation de poudre) et GB/T 183762014 (microstructure).

2. Caractéristiques, applicabilité et avantages et inconvénients du procédé de frittage du carbure cimenté

Ce qui suit est une description détaillée des cinq processus de frittage, combinée aux paramètres du processus, à l'équipement, aux scénarios applicables et aux avantages et inconvénients.

2.1 Frittage sous vide

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Caractéristiques du procédé :

Principe : Lorsque l'ébauche est chauffée dans un environnement sous vide ($<10^{-2}$ Pa), la phase liante (Ni, Co) fond pour former une phase liquide, ce qui favorise le réarrangement et la densification des particules de WC.

paramètre :

Température : 1350/1450°C (à base de Ni 1350/1400°C, à base de Co 1400/1450°C).

Degré de vide : $<10^{-2}$ Pa ($O_2 <0,001\%$).

Temps de maintien au chaud : 14 heures.

Vitesse de chauffe : 510°C/min.

Densité : $>99,5\%$ de la densité théorique ($\sim 14,515$ g/cm³).

Équipement : Four de frittage sous vide, tel que ALD Vacuum Technologies.

processus :

Chargement : Les flans sont déposés sur des plateaux en graphite ($C >99,9\%$).

Vide : $<10^{-2}$ Pa, excluant O_2 et N_2 .

Chauffage : 1350/1450°C, maintien au chaud pendant 14 heures.

Refroidissement : 510°C/min, protection Ar.

Post- traitement : nettoyage de surface ($R_a <0,8$ μm), contrôle dimensionnel ($\pm 0,1$ mm).

applicabilité :

Nuance : YN6, YG15 (granulométrie conventionnelle 0,52 μm).

Forme : simple à moyennement complexe, comme des tiges d'essai (5×5×35 mm), des lames.

Volume de production : volume moyen à élevé (100/1000 pièces/lot).

avantage :

Coût modéré : équipement (1003 millions de yuans), consommation énergétique (12 kWh/kg).

Faible teneur en oxygène : $O <0,03\%$, phase η réductrice ($<0,5\%$) et augmentation de la résistance de 5 %.

Largement applicable : convient à diverses marques (YN6, YG8, YN10).

défaut :

La porosité est légèrement supérieure : 0,0050,01 % (HIP 0,001 %), et un post-traitement est nécessaire.

Contrôle limité des grains : les grains ultrafins ($<0,5$ μm) croissent de 1020 %.

Rétrécissement irrégulier des formes complexes : Écart $\pm 0,2$ mm.

Exemples :

Barre d'essai YN6 : 1400°C, 2 heures, densité 14,6 g/cm³, résistance 1,8 GPa (Sandvik, 2023).

standard :

GB/T 18376-2014 : Porosité $<0,01\%$, phase $\eta <0,5\%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

GB/T 3851:2015 : Vérification de la résistance.

2.2 Frittage par pressage isostatique à chaud (HIP)

Caractéristiques du procédé :

Principe : Frittage sous haute température et haute pression Atmosphère Ar , appliquant une pression égale dans toutes les directions après frittage en phase liquide pour éliminer les pores et augmenter la densité.

paramètre :

Température : 1300-1400°C (à base de Ni 1300-1350°C, à base de Co 1350-1400°C).

Pression : 100-150 MPa.

Atmosphère : Ar (>99,99%).

Temps de maintien au chaud : 13 heures.

Densité : >99,9 % de la densité théorique (~14,815 g/cm³).

Équipement : Four HIP, tel que la série Quintus HIP.

processus :

Pré-frittage (vide, 1200-1300°C, 0,5 h).

Chargement du four : plateau graphite/céramique.

HIP : 1300-1400°C, 100-150 MPa, 13 heures.

Refroidissement : 510°C/min, protection Ar.

Post- traitement : broyage (Ra <0,4 µm), tests de performance.

applicabilité :

Grade : YN8N, YG6X (grain ultrafin <0,5 µm).

Forme : complexe, comme les outils et les moules d'aviation.

Volume de production : petits lots (<100 pièces/lot), produits à forte valeur ajoutée.

avantage :

Haute densité : > 99,9 %, porosité < 0,001 %, résistance augmentée de 10-15 %.

Bon contrôle du grain : croissance du grain ultrafin < 5 %, augmentation de la dureté 510 % (1800-2200 HV).

Moins de défauts : taux de microfissures diminué de 50 %, KIC augmenté de 10 % (912 MPa·m^{1/2}).

défaut :

Coût élevé : équipement (5001 milliards de yuans), consommation d'énergie (35 kWh/kg).

Faible efficacité : 46 heures pour un seul lot, rendement < 50 pièces/heure.

L'entretien des équipements est complexe : le coût de remplacement des joints haute pression s'élève à 10,2 millions de RMB par an.

Exemples :

Outil YN8N : 1350°C, 120 MPa, 2 heures, densité 14,8 g/cm³, dureté 1800 HV (Sandvik, 2023).

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

standard :

GB/T 79972017 : Vérification de la dureté.

GB/T 51692013 : Porosité < 0,001 %.

2.3 Frittage par micro-ondes

Caractéristiques du procédé :

Principe : Des micro-ondes (2,45 GHz) sont utilisées pour chauffer directement la pièce. La phase liante absorbe les micro-ondes pour générer de la chaleur et favoriser le frittage en phase liquide.

paramètre :

Température : 1300-1400°C.

Puissance : 110 kW.

Atmosphère : vide ($<10^{-1}$ Pa) ou Ar /H₂.

Temps de conservation : 1060 minutes.

Densité : >99,5 % de la densité théorique ($\sim 14,514,8$ g/cm³).

Équipement : Four de frittage à micro-ondes, tel que Linn High Therm .

processus :

Chargement du four : L'ébauche est placée dans un creuset en céramique (chauffage d'appoint SiC).

Évacuer ou laisser passer Ar /H₂ (débit 0,51 L/min).

Chauffage par micro-ondes : 1300-1400°C, 1060 min.

Refroidissement : 1020°C/min, protection Ar .

Post- traitement : polissage de surface ($R_a < 0,4$ μ m).

applicabilité :

Nuance : YN10, YG8 (granulométrie 0,51,5 μ m).

Forme : pièces de petite et moyenne taille, telles que lames et forets.

Volume de production : lot moyen (100 500 pièces/lot).

avantage :

Temps de frittage court : 1060 minutes (14 heures de frittage sous vide), efficacité augmentée de 50 %.

Faible consommation énergétique : 0,51 kWh/kg (frittage sous vide 12 kWh/kg).

Granulométrie uniforme : croissance <10%, augmentation de la dureté 35% (1500/1800 HV).

défaut :

L'équipement est cher : 200,5 millions de RMB, et le coût de maintenance est élevé (5,1 millions de RMB/an).

Restrictions de taille : ébauche < 100 mm, convient aux pièces de petite et moyenne taille.

Température difficile à contrôler : écart $\pm 20^\circ\text{C}$, nécessite un étalonnage précis.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Exemples :

Lame YN10 : 1350°C, 30 min, densité 14,7 g/cm³, KIC 9 MPa·m^{1/2} (ScienceDirect, 2021).

standard :

GB/T 183762014 : Écart de grain <±10 %.

GB/T 38502015 : Vérification de la densité.

2.4 Frittage par plasma d'étincelles (SPS)

Caractéristiques du procédé :

Principe : La pièce brute est chauffée rapidement par un courant continu pulsé (1000-5000 A) tout en appliquant une pression pour favoriser le frittage en phase solide/liquide.

paramètre :

Température : 1200-1300°C (100-200 °C de moins que le frittage sous vide) .

Pression : 30100 MPa.

Courant : 10005000 A, impulsion 310 ms .

Temps de conservation : 530 minutes.

Densité : >99,8 % de la densité théorique (~14,715 g/cm³) .

Equipement : Four SPS, tel que Dr. Sinter SPS.

processus :

Chargement de la matrice : L'ébauche est placée dans une matrice en graphite (C >99,9%).

Aspiration : <10⁻¹ Pa.

SPS : 1200/1300°C, 30100 MPa, 530 min.

Refroidissement : 1020°C/min, protection Ar .

Post- traitement : broyage (Ra <0,2 µm) .

applicabilité :

Grade : YN8N, YG6X (grain ultrafin <0,5 µm) .

Forme : Petites pièces complexes telles que micro outils (<50 mm).

Volume de production : Petits lots (<100 pièces/lot).

avantage :

Frittage rapide : 530 minutes, efficacité augmentée de 80 %.

Excellent contrôle du grain : croissance < 5%, adapté aux grains ultrafins (< 0,5 µm) , dureté 1800-2200 HV.

Haute densité : >99,8%, porosité <0,002%.

défaut :

Le coût est extrêmement élevé : équipement (500,8 millions de yuans), moule (5,1 millions de yuans/ensemble).

Restrictions de taille : vierge < 50 mm.

Taille de lot faible : 110 pièces à la fois, rendement < 100 pièces/heure.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Exemples :

Micro-outil YN8N : 1250°C, 50 MPa, 10 min, densité 14,8 g/cm³ , dureté 1800 HV (ScienceDirect, 2021).

standard :

GB/T 79972017 : Vérification de la dureté.

GB/T 18376-2014 : Contrôle des grains.

2.5 Frittage sous pression de gaz (GPS)

Caractéristiques du procédé :

Principe : Le frittage en phase liquide est réalisé sous haute pression de gaz (N₂, Ar) pour inhiber la volatilisation et augmenter la densité.

paramètre :

Température : 1350-1450°C.

Pression : 110 MPa (inférieure à HIP).

Atmosphère : N₂/ Ar (>99,99%).

Temps de maintien au chaud : 14 heures.

Densité : >99,7 % de la densité théorique (~14,614,9 g/cm³) .

Equipement : Four GPS, tel que FCT Systeme.

processus :

Chargement du four : L'ébauche est placée sur un plateau en graphite.

Aération : N₂/ Ar , 110 MPa.

Chauffage : 1350-1450°C, maintien au chaud pendant 14 heures.

Refroidissement : 510°C/min, protection Ar .

Post- traitement : polissage (Ra <0,4 μ m) .

applicabilité :

Nuance : YN6, YN10 (granulométrie 0,52 μ m) .

Forme : Moyennement complexe, comme les couteaux, les moules.

Volume de production : lot moyen (100 500 pièces/lot).

avantage :

Haute densité : > 99,7 %, porosité < 0,003 %, résistance augmentée de 510 %.

Coût modéré : équipement (2005 millions de yuans), consommation d'énergie (1,52,5 kWh/kg).

Faible volatilité : perte de phase adhésive < 0,1 %, uniformité > 95 %.

défaut :

Pression plus basse : la porosité est légèrement supérieure à celle du HIP (0,003 % contre 0,001 %).

Le temps de frittage était plus long : 14 h (530 min pour le SPS).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La précision des formes complexes est légèrement inférieure : ± 0,15 mm.

Exemples :

Moule YN10 : 1400°C, 5 MPa, 2 heures, densité 14,7 g/cm³ , KIC 9 MPa·m^{1/2} (Sandvik, 2023).

standard :

GB/T 183762014 : Porosité < 0,003 %.

GB/T 3851:2015 : Vérification de la résistance.

3. Comparaison des processus

Tableau 1 : Comparaison des procédés de frittage du carbure cémenté

Technologie	température °C	pression MPa	densité %	Forme applicable	Rendement Pièce/Lot	coût	avantage	défaut
Frittage sous vide	13501450	aucun	>99,5	Simple à moyennement complexe	1001000	milieu	Coût modéré, faible teneur en oxygène, large application	Porosité légèrement plus élevée, contrôle limité du grain, retrait irrégulier
Pressage isostatique chaud	à 13001400	100150	>99,9	Complexe (outils, moules)	<100	haut	Haute densité, bon contrôle du grain, peu de défauts	Coût élevé, faible efficacité, maintenance complexe
Frittage par micro-ondes	13001400	aucun	>99,5	Petit et moyen (lames, forets)	100500	Moyen à élevé	Temps de cuisson court, faible consommation d'énergie, grains uniformes	Équipement coûteux, taille limitée, contrôle de température difficile
Frittage par plasma d'étincelles	12001300	30100	>99,8	Petit et complexe (micro-outils)	<100	haut	Rapide, bon contrôle du grain, haute densité	Coût très élevé, taille limitée, faible volume
Frittage sous pression de gaz	13501450	110	>99,7	Complexité moyenne (outils, moules)	100500	milieu	Haute densité, coût modéré, faible volatilité	Basse pression, longue durée, précision légèrement inférieure

4. Guide d'applicabilité et de sélection

Frittage sous vide :

Applicable : lots moyens à élevés, formes simples à moyennes, telles que les tiges d'essai YN6, les lames YG15.

Raisons de sélection : coût modéré (équipement 1003 millions de yuans), faible teneur en oxygène

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(O < 0,03 %), adapté aux qualités conventionnelles.

Exemple : barre d'essai YN6, 1400°C, densité 14,6 g/cm³, résistance 1,8 GPa.

Pressage isostatique à chaud :

Applicable : pièces complexes hautes performances, telles que les outils et moules d'aviation YN8N.

Motifs de sélection : densité >99,9%, porosité <0,001%, dureté 18002200 HV.

Exemple : outil YN8N, 1350°C, 120 MPa, dureté 1800 HV.

Frittage par micro-ondes :

Applicable à : pièces de petite et moyenne taille, telles que les lames YN10 et les forets YG8.

Raisons du choix : temps de frittage court (1060 minutes) et faible consommation énergétique (0,51 kWh/kg).

Exemple : insert YN10, 1350°C, 30 min, KIC 9 MPa·m^{1/2}.

Frittage par plasma d'étincelles :

Applicable : petites pièces de haute précision, telles que les micro-outils YN8N.

Raisons de sélection : rapide (530 minutes), excellent contrôle du grain (<0,5 μm), densité >99,8%.

Exemple : micro outil YN8N, 1250°C, 50 MPa, dureté 1800 HV.

Frittage sous pression de gaz :

Applicable : Pièces moyennement complexes, telles que les moules YN10 et les outils YG15.

Motifs de sélection : densité > 99,7%, coût modéré, faible volatilité (perte de phase liante < 0,1%).

Exemple : moule YN10, 1400°C, 5 MPa, KIC 9 MPa·m^{1/2}.

Tableau 2 : Adéquation du procédé de frittage

Technologie	Grades applicables	Forme applicable	Production (pièces/lot)	Applications typiques
Frittage sous vide	YN6, YG15	Tige d'essai, lame	1001000	Couteaux, tiges d'essai
Pressage isostatique à chaud	YN8N, YG6X	Outils et moules complexes	<100	Outils d'aviation, moules haut de gamme
Frittage par micro-ondes	YN10, YG8	Lames, forets	100500	Outils et forets de petite et moyenne taille
Frittage par plasma d'étincelles	YN8N, YG6X	Micro-couteau	<100	Micro-pièces de précision
Frittage sous pression de gaz	YN6, YN10	Outils de coupe et moules	100500	Moules et outils de coupe

5. Conclusion

Chaque procédé de frittage de carbure cémenté a ses propres caractéristiques et doit être sélectionné en fonction de la nuance, de la forme, des performances et du coût :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Frittage sous vide : coût modéré, adapté aux lots moyens et élevés de nuances conventionnelles (YN6, YG15), mais avec une porosité légèrement supérieure (0,005 à 0,01 %).

Frittage par pressage isostatique à chaud : densité > 99,9 %, adapté aux pièces complexes hautes performances (YN8N), mais coût élevé et faible efficacité.

Frittage micro-ondes : temps court, faible consommation énergétique, adapté aux pièces de petites et moyennes dimensions (YN10), mais de taille limitée (<100 mm).

Frittage par plasma d'étincelles : rapide, bon contrôle des grains, adapté aux petites pièces à grains ultrafins (YN8N), mais coût extrêmement élevé et taille de lot faible.

Frittage sous pression de gaz : haute densité, coût modéré, adapté aux pièces moyennement complexes (YN10), mais basse pression et longue durée.

standard :

GB/T 345052017 : Écart de densité frittée $\leq \pm 0,5$ %.

GB/T 183762014 : Porosité < 0,01 %, écart de grain $< \pm 10$ %.

GB/T 38512015 : Résistance à la flexion (1,82,5 GPa) .

GB/T 7997- 2017 : Dureté (1400-2200 HV).

GB/T 51692013 : Porosité (A02B00C00).

GB/T 43342020 : Résistance à la corrosion (<0,005 mm/an).

Tendances futures

Le contrôle intelligent de la température (écart $\leq \pm 5^{\circ}\text{C}$), le frittage vert (consommation d'énergie réduite de 20%) et le frittage nanocristallin (grains $< 0,1 \mu\text{m}$) amélioreront les performances et l'efficacité.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



appendice:

Brève introduction d'un four de frittage typique en carbure cimenté

Les fours de frittage en carbure cimenté sont des équipements essentiels pour le frittage à haute température des billettes en carbure cimenté (WC + Co / Ni). Grâce à un contrôle précis de la température élevée (1 350 à 1 500 °C), de l'atmosphère (comme H₂, Ar) , de la pression (0,1 200 MPa) et du flux de production, les billettes pressées (densité 50 à 70 %) sont transformées en produits en carbure cimenté haute densité (> 99 %) et hautes performances (tels que forets miniers, outils aéronautiques et moules résistants à l'usure). Ces fours de frittage doivent avoir un contrôle de température de haute précision (± 35 °C), un chauffage uniforme (différence de température $< \pm 10$ °C), une stabilité de l'atmosphère (O₂ < 10 ppm), une fiabilité élevée et une capacité de production efficace pour garantir la dureté du produit (1400-2200 HV), la résistance (1,8-2,5 GPa) , la porosité ($< 0,01$ %) et la précision dimensionnelle ($\pm 0,01$ -0,5 mm, conformément à la norme GB/T 345052017). Cet article combine les normes nationales (telles que GB/T 183762014, GB/T 38502015) et les pratiques industrielles (telles que ALD, PVA TePla , Quintus, 2023) pour présenter en détail les types, les caractéristiques, les paramètres de processus, les données de performance, les applications et les recommandations de sélection des fours de frittage en carbure cimenté typiques.

1. Types de fours de frittage en carbure cimenté

Les fours de frittage en carbure cimenté sont répartis en trois catégories, selon les exigences du procédé et les méthodes de frittage. Chaque catégorie présente des exigences de frittage spécifiques pour les produits en carbure cimenté (tels que les forets miniers, les outils aéronautiques et les moules résistants à l'usure) :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Four de frittage sous vide en carbure cémenté :

Four de frittage sous vide monochambre pour carbure cémenté : petites et moyennes séries, adapté aux produits de formes complexes (type outillage aéronautique Ø 550 mm).

Four de frittage sous vide multichambre pour carbure cémenté : production continue à grande échelle, adapté aux forets miniers (Ø 100-400 mm).

Structure : Mono/multi-chambre, chambre Ø 3001000 mm × 5002000 mm, éléments chauffants en graphite/molybdène, degré de vide 10^{-3} 10^{-5} Pa, équipé d'un condenseur et d'un système de décirage.

Application : décirage et frittage en un, adapté aux produits de haute précision.

Four de pressage isostatique à chaud en carbure cémenté (HIP) :

Four de frittage HIP haute température en carbure cémenté : frittage de produits hautes performances en une seule étape pour éliminer les micropores.

Four de frittage HIP basse température en carbure cémenté : traitement post-frittage pour améliorer les performances.

Structure : Chambre haute pression (Ø 200-800 mm × 500-1500 mm), pression 100-200 MPa, éléments chauffants en graphite/molybdène, atmosphère Ar, équipée d'une pompe haute pression et d'une soupape de sécurité.

Application : Outils aéronautiques, moules résistants à l'usure, nécessitant une densité élevée (> 99,9 %).

Four de frittage sous atmosphère de carbure cémenté :

Four de frittage de carbure cémenté sous atmosphère d'hydrogène : production de masse à faible coût, adapté aux pics miniers.

Four de frittage sous gaz inerte en carbure cémenté : produits de haute précision, oxydation réduite, adaptés aux moules.

Structure : Type bateau poussoir/rouleau, chambre Ø 5001500 mm × 10003000 mm, atmosphère H₂/ Ar, éléments chauffants graphite/céramique, équipé d'un système de purification de gaz.

Application : Ébauches de grandes dimensions, usinage à faible coût.

2. Caractéristiques du four de frittage en carbure cémenté

2.1 Structure et propriétés des matériaux

Matériau de la cavité :

Acier inoxydable 316L/ molybdène : résistance à la température >1500°C, résistance à la corrosion, adapté au vide/haute pression.

Revêtement graphite/céramique : uniformité thermique ±10°C, déperdition thermique réduite de 20%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Éléments chauffants :

Graphite : résistance à la température $> 2000^{\circ}\text{C}$, adapté au frittage sous vide/atmosphère, durée de vie > 5000 heures.

Molybdène / Tungstène : haute pureté (contamination $< 0,01\%$), adapté au HIP, durée de vie > 4000 heures.

Matériau isolant :

Feutre en fibre de carbone : conductivité thermique $< 0,1 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, efficacité d'isolation 95 %.

Fibre d'alumine : résistance à la température $> 1600^{\circ}\text{C}$, économie d'énergie 1520%.

Système de contrôle :

PLC + écran tactile, précision de contrôle de température $\pm 35^{\circ}\text{C}$, contrôle de pression $\pm 0,1 \text{ MPa}$, débit atmosphérique $\pm 0,5 \text{ L/min}$.

Prise en charge de la surveillance à distance, taux de diagnostic des pannes $> 98\%$.

Système de sécurité :

Protection contre la surchauffe/surpression, temps de réponse de la soupape de décharge de pression $< 0,1$ seconde.

Détection de gaz (O_2 , H_2), arrêt automatique lorsque la concentration dépasse la norme.

2.2 Caractéristiques de performance

Plage de température : $1200/1500^{\circ}\text{C}$ (vide/HIP), $800/1400^{\circ}\text{C}$ (atmosphère).

Précision du contrôle de température : $\pm 35^{\circ}\text{C}$, uniformité $\pm 510^{\circ}\text{C}$ (mesure de température multipoints).

Degré de vide : 10^{-3} à 10^{-5} Pa (four à vide), 10^{-2} Pa (étape de déparaffinage).

Plage de pression : $0,1200 \text{ MPa}$ (HIP), $0,010,1 \text{ MPa}$ (atmosphère).

Contrôle de l'atmosphère : H_2 (99,999%), Ar (99,99%), $\text{O}_2 < 510 \text{ ppm}$.

Vitesse de refroidissement : 520°C/min (refroidissement forcé, injection Ar/N_2), réduction des contraintes thermiques 30%.

Performances du produit :

Dureté : $1400/2200 \text{ HV}$ (GB/T 79972017).

Résistance : $1,82,5 \text{ GPa}$ (GB/T 38512015).

Densité : $> 99\%$ (GB/T 38502015).

Porosité : $< 0,01\%$ (GB/T 51692013).

2.3 Caractéristiques du processus

Efficacité de déparaffinage : H_2 sous vide/basse pression, taux de déparaffinage $> 99,5\%$, carbone résiduel $< 0,05\%$.

Cycle de frittage : 824 heures (vide 1216 heures, HIP 36 heures, atmosphère 1020 heures).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Contrôle du retrait : Taux de retrait 1522% (YG8 1618%, YN10 1820%), écart $\leq \pm 0,5\%$.

Consommation énergétique : 12 kWh/kg (vide/HIP), 0,51 kWh/kg (atmosphère).

Automatisation : chargement et déchargement automatiques, réglage de l'atmosphère, efficacité de production augmentée de 3040 %.

Consistance du produit : écart de dureté $\leq \pm 50$ HV, écart de densité $\leq \pm 0,1$ g/cm³.

3. Paramètres de processus du four de frittage de carbure cimenté

Four de frittage sous vide en carbure cimenté :

Étape de déparaffinage :

Température : 200600°C, vitesse de chauffe 25°C/min.

Degré de vide : 10^{-2} Pa, débit H₂ 510 L/min.

Durée : 24 heures, taux de décirage > 99 %.

Étape de frittage :

Température : 1350-1450°C, vitesse de chauffe 510°C/min.

Degré de vide : 10^{-4} 10^{-5} Pa, garder au chaud pendant 24 heures.

Refroidissement : 10°C/min (refroidissement forcé Ar), jusqu'à 100°C.

Paramètres typiques :

Trépan minier YG8 : 1400°C, 10^{-4} Pa, 12 heures, densité 14,6 g/cm³.

Outil aviation YN10 : 1450°C, 10^{-5} Pa, 14 heures, dureté 1800 HV.

Four de pressage isostatique à chaud en carbure cimenté (HIP) :

Étape de frittage :

Température : 1350-1450°C, vitesse de chauffe 58°C/min.

Pression : 100-150 MPa (Ar), garder au chaud pendant 13 heures.

Refroidissement : 15°C/min (haute pression Ar), jusqu'à 200°C.

Étape de post-traitement (HIP basse température) :

Température : 1300-1350°C, pression 80-100 MPa.

Temps : 12 heures, porosité réduite à < 0,001 %.

Paramètres typiques :

Outil aéronautique YG6X : 1400°C, 120 MPa, 4 heures, densité 14,9 g/cm³.

Moule résistant à l'usure YG8 : 1350°C, 100 MPa, 3 heures, résistance 2,2 GPa.

Four de frittage sous atmosphère de carbure cimenté :

Étape de déparaffinage :

Température : 200500°C, vitesse de chauffe 35°C/min.

Débit H₂ : 2050 L/min, O₂ < 10 ppm.

Durée : 35 heures, carbone résiduel < 0,1 %.

Étape de frittage :

Température : 1300-1400°C, vitesse de chauffe 510°C/min.

Atmosphère : H₂ (99,999%), maintient au chaud pendant 35 heures.

Refroidissement : 510°C/min (protection N₂), jusqu'à 100°C.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Paramètres typiques :

Pic YG6 : 1350°C, H2 30 L/min, 12 heures, dureté 1400 HV.

Moule YN10 : 1400°C, Ar 20 L/min, 15 heures, précision $\pm 0,01$ mm.

4. Données de performance du four de frittage en carbure cémenté

Four de frittage sous vide en carbure cémenté :

Performances du produit :

Densité : 14,514,9 g/cm³ (YG 8/YG6X), écart $\pm 0,1$ g/ cm³ .

Dureté : 1400-2000 HV, écart ± 50 HV.

Résistance : 1,82,3 GPa , porosité < 0,01 %.

Performances de l'équipement :

Précision du contrôle de la température : $\pm 3^{\circ}\text{C}$ (contrôle PID, mesure de température en 10 points).

Degré de vide : 10^{-5} Pa (pompe moléculaire), taux de fuite < 10^{-8} Pa·m³ / s.

Consommation énergétique : 1,5 kWh/kg, capacité de production : 50200 kg/four.

Consistance : Écart de dureté du lot < 2 %, écart dimensionnel $\pm 0,020,5$ mm.

Four de pressage isostatique à chaud en carbure cémenté (HIP) :

Performances du produit :

Densité : 14,815,0 g/cm³ (YG 6X/YN10), écart $\pm 0,05$ g/cm³ .

Dureté : 1800-2200 HV, écart ± 30 HV.

Résistance : 2,22,5 GPa , porosité < 0,001 %.

Performances de l'équipement :

Précision du contrôle de la température : $\pm 5^{\circ}\text{C}$, contrôle de la pression $\pm 0,1$ MPa.

Stabilité de pression : $\pm 0,5\%$ (100150 MPa), consommation d'Ar 50100 L/four.

Consommation énergétique : 2 kWh/kg, capacité de production : 20100 kg/four.

Cohérence : Écart de densité du lot < 0,5 %, précision $\pm 0,010,05$ mm.

Four de frittage sous atmosphère de carbure cémenté :

Performances du produit :

Densité : 14,514,8 g/cm³ (YG 6/YN10), écart $\pm 0,15$ g/cm³ .

Dureté : 1400-1800 HV, écart ± 60 HV.

Résistance : 1,82,2 GPa , porosité < 0,02 %.

Performances de l'équipement :

Précision du contrôle de la température : $\pm 5^{\circ}\text{C}$, débit d'air $\pm 0,5$ L/min.

Consommation H2 : 100200 L/four, O2 < 10 ppm.

Consommation énergétique : 0,8 kWh/kg, capacité de production : 100500 kg/four.

Consistance : Écart de dureté du lot < 3 %, écart de taille $\pm 0,10,5$ mm.

5. Application du four de frittage au carbure cémenté

Four de frittage sous vide en carbure cémenté :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Scénarios d'application :

Les forets miniers frittés (tels que les forets à rouleaux Ø 100-400 mm) nécessitent une ténacité élevée.

Les outils aéronautiques (par exemple les fraises à boulets Ø 550 mm) nécessitent une grande précision.

Performance :

Température : 1350-1450°C, 10^{-4} - 10^{-5} Pa.

Cycle : 1216 heures, densité > 99 %.

Précision : $\pm 0,020,5$ mm, dureté 1400-2000 HV.

Exemples :

Four de frittage sous vide à chambre unique pour carbure cémenté (ALD VKPgr , Ø 400 × 1200 mm) :

Frittage de trépan minier YG8 (Ø 20 × 330 mm), 1450°C, 10^{-4} Pa, 12 h.

Résultats : densité 14,6 g/ cm³, dureté 1400 HV, taux de retrait 16 %, porosité < 0,01 % (ScienceDirect, 2021).

Four de frittage sous vide multichambre pour carbure cémenté (PVA TePla COD, Ø 600 × 1500 mm) :

Frittage d'outil aéronautique YN10 (Ø 10 × 100 mm), 1400°C, 10^{-5} Pa, 14 h.

Résultats : Densité 14,8 g/ cm³, dureté 1800 HV, précision $\pm 0,02$ mm, KIC 10 MPa·m^{1/2}.

Four de pressage isostatique à chaud en carbure cémenté (HIP) :

Scénarios d'application :

Les outils d'aviation (tels que les fraises) peuvent éliminer les micropores et améliorer la densité.

Les moules résistants à l'usure (tels que les moules d'emboutissage à froid 100 × 100 × 30 mm) peuvent améliorer les performances anti-fatigue.

Performance :

Température : 1350-1450°C, 100-150 MPa.

Cycle : 36 heures, densité > 99,9 %.

Précision : $\pm 0,010,05$ mm, dureté 1800-2200 HV.

Exemples :

Four de frittage HIP haute température en alliage dur (Quintus QIH, Ø 300 × 1000 mm) :

Frittage d'outil aéronautique YG6X (Ø 12 × 80 mm), 1400°C, 120 MPa, 4 heures.

Résultats : Densité 14,9 g/ cm³, dureté 2000 HV, porosité < 0,001 %, résistance 2,3 GPa.

Four de frittage HIP basse température en carbure cémenté (ALD HP, Ø 250 × 800 mm) :

Post-traitement du moule résistant à l'usure YG8 (100 × 100 × 30 mm), 1350°C, 100 MPa, 3 h.

Résultats : Porosité < 0,001 %, résistance 2,2 GPa, durée de vie augmentée de 20 %.

Four de frittage sous atmosphère de carbure cémenté :

Scénarios d'application :

Pics miniers (par exemple pics coniques Ø 20 mm), fabriqués en série.

Moules résistants à l'usure (tels que les moules de moulage en plastique 80 × 80 × 20 mm),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

traitement à faible coût.

Performance :

Température : 1300-1400°C, atmosphère H₂/ Ar .

Cycle : 1020 heures, densité > 99 %.

Précision : ±0,1-0,5 mm, dureté 1400-1800 HV.

Exemples :

Four de frittage de carbure cimenté sous atmosphère d'hydrogène (ECM Lilas, Ø 800 × 2000 mm) :

Frittage de pic YG6 (Ø 20 × 50 mm), 1350°C, H₂ 30 L/min, 12 heures.

Résultats : Densité 14,5 g/ cm³ , dureté 1400 HV, durée de vie 80 heures, porosité < 0,02 %.

Four de frittage sous gaz inerte pour carbure cimenté (Centorr , Ø 600 × 1500 mm) :

Frittage du moule de moulage en plastique YN10 (80 × 80 × 20 mm), 1400°C, Ar 20 L/min, 15 heures.

Résultats : Densité 14,7 g/cm³ , précision ±0,01 mm, dureté 1600 HV.

6. Comparaison des types de fours de frittage en carbure cimenté

Type de four de frittage	température °C	pression MPa	atmosphère	faire du vélo Heure	densité %	Précision mm	Consommation d'énergie kWh/kg	Applications typiques
Four de frittage sous vide à chambre unique en carbure cimenté	1350-1450	10 ⁻³ - 10 ⁻⁵ Pa	vide	1216	>99	±0,020,5	1,5	Forets et fraises pour mines
Four de frittage HIP haute température en carbure cimenté	1350-1450	100-150	Ar	36	>99,9	±0,010,05	2	Outils et moules d'aviation
Four de frittage de carbure cimenté sous atmosphère d'hydrogène	1300-1400	0,1	H ₂	1020	>99	±0,10,5	0,8	Médiateurs, matrices

7. Recommandations de sélection

Selon le type de produit

Outils aéronautiques (haute précision, formes complexes) :

Recommandé : Four de frittage sous vide au carbure (chambre unique) ou four de frittage HIP à haute température.

Motif : Le degré de vide 10⁻⁵ Pa garantit une faible contamination, la pression HIP 120 MPa élimine les micropores, précision ±0,010,05 mm.

Modèle : ALD VKPgr (Ø 400 × 1200 mm, 50100 kg/four), Quintus QIH (Ø 300 × 1000 mm, 2050 kg/four).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Trépans/fraises de forage minier (grande taille, production de masse) :

Recommandé : Four de frittage sous vide à plusieurs chambres en carbure ou four de frittage sous atmosphère d'hydrogène.

Raison : La chambre multiple permet une production continue (200 500 kg/four) et le coût de l'atmosphère H₂ est faible (0,8 kWh/kg).

Modèles : PVA TePla COD (Ø 600 × 1500 mm, 200 kg/four), ECM Lilas (Ø 800 × 2000 mm, 300 kg/four).

Moule résistant à l'usure (haute densité, anti-fatigue) :

Recommandé : four de frittage HIP haute température pour carbure cimenté ou post-traitement HIP basse température.

Raison : HIP garantit une densité > 99,9 %, une porosité < 0,001 % et une augmentation de la résistance de 1 020 %.

Modèles : ALD HP (Ø 250 × 800 mm, 2050 kg/four), Quintus QIH (Ø 300 × 1000 mm).

Selon la demande de production

Petits et moyens lots (<100 kg/four) : Four de frittage sous vide à chambre unique ou petit four HIP, haute flexibilité, adapté à la R&D ou aux produits personnalisés.

Grand lot (>200 kg/four) : four de frittage sous vide multichambre ou four de frittage sous atmosphère, capacité de production élevée, coût unitaire réduit de 20 à 30 %.

Selon le budget des coûts

faible coût

Four de frittage à atmosphère d'hydrogène en carbure cimenté, consommation d'énergie de 0,8 kWh/kg, coût de l'équipement inférieur de 30 à 50 % (environ 501 millions de dollars américains).

haute performance

Le four de frittage HIP à haute température en carbure cimenté a une consommation d'énergie de 2 kWh/kg et un coût d'équipement élevé (environ 2005 millions de dollars américains), mais les performances du produit sont améliorées de 20 %.

Selon les exigences du processus :

Haute précision (±0,010,05 mm) : four de frittage sous vide (10⁻⁵ Pa) + HIP (120 MPa), écart de retrait <±0,5%.

Faible pollution : des éléments chauffants Mo/Tungstène et une atmosphère Ar sont utilisés pour réduire la pollution de 30 %.

Production rapide : four HIP (36 heures) ou four sous vide multichambres (production continue).

Environnement et sécurité :

Atmosphère H₂ : Une détection de gaz (O₂ < 10 ppm) et un système de décharge de pression (réponse < 0,1 sec) sont requis.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

HIP haute pression : Choisir un équipement avec soupape de sécurité et surveillance de pression (taux de fuite $<10^{-8} \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$).

8. Suggestions d'optimisation

équipement :

Elément chauffant : Molybdène/Tungstène (HIP/Vide), réduction de la pollution de 30%, durée de vie > 4000 heures.

Matériau isolant : Feutre de fibre de carbone + fibre d'alumine, perte de chaleur réduite de 20%, économie d'énergie de 15%.

Chambre : Acier inoxydable 316L + revêtement graphite, résistance à la corrosion augmentée de 25%, durée de vie > 10 ans.

Optimisation des processus :

Contrôle de la température : Algorithme PID+AI amélioré, précision $\pm 3^\circ\text{C}$, uniformité $\pm 5^\circ\text{C}$.

Déparaffinage : Vide (10^{-2} Pa) + H_2 (510 L/min), taux de déparaffinage $> 99,5 \%$, carbone résiduel $< 0,05 \%$.

HIP : 1350°C , 120 MPa, 2 heures de conservation de la chaleur, cycle raccourci de 20%, densité augmentée de 0,5%.

Contrôle de l'atmosphère :

Pureté H_2 : $> 99,999\%$, $\text{O}_2 < 5 \text{ ppm}$, taux d'oxydation réduit de 50%.

Ar circulation : débit 2050 L/min, taux de récupération $> 80\%$, réduction des coûts 15%.

Optimisation du refroidissement :

Refroidissement forcé : injection d'Ar haute pression ($1520^\circ\text{C}/\text{min}$), réduction des contraintes thermiques de 30%.

Refroidissement multi-étages : $800^\circ\text{C}/400^\circ\text{C}/100^\circ\text{C}$ segmenté, précision améliorée de 10%.

Maintenance et automatisation :

Surveillance en ligne : Surveillance en temps réel de la température, de la pression et de l'atmosphère, réduisant le taux de défaillance de 20 %.

déchargement automatiques : Le système robotisé réduit les coûts de main-d'œuvre de 30 % et augmente l'efficacité de 40 %.

Cycle de maintenance : Les composants en graphite doivent être inspectés toutes les 5 000 heures et la chambre doit être nettoyée chaque année, ce qui peut prolonger la durée de vie de 25 %.

9. Normes

GB/T 345052017 : Précision dimensionnelle $\pm 0,01 \text{ mm}$, écart de tolérance $\leq \pm 5 \%$.

GB/T 183762014 : Porosité $< 0,01 \%$, uniformité $> 95 \%$.

GB/T 38502015 : Densité $> 99 \%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

GB/T 51692013 : Grade de porosité A02B00C00.

GB/T 38512015 : Résistance à la flexion 1,82,5 GPa .

GB/T 79972017 : Dureté 14002200 HV.

10. Conclusion

Les fours de frittage au carbure cimenté comprennent trois catégories : les fours de frittage sous vide au carbure cimenté, les fours de frittage par pressage isostatique à chaud et les fours de frittage sous atmosphère, qui peuvent répondre aux besoins de frittage des foreuses minières, des outils d'aviation et des moules résistants à l'usure :

Four de frittage sous vide en carbure cimenté

Forme complexe, 13501450°C, 10^{-5} Pa, densité>99%, précision±0,020,5 mm.

Four de frittage isostatique à chaud en carbure cimenté

Produits haute performance, 100-150 MPa, densité>99,9%, porosité<0,001%.

Four de frittage sous atmosphère de carbure cimenté

Production de masse, 13001400°C, H₂/ Ar , faible coût, adapté aux coupeurs à pic.

Ces fours de frittage améliorent considérablement les performances et l'efficacité de production des produits en carbure cimenté grâce à un contrôle de température de haute précision, une atmosphère stable et des procédés efficaces. Ils sont largement utilisés dans les secteurs minier, aéronautique et de la fabrication de moules. La précision du produit, le rendement, le coût et les exigences de procédé doivent être pris en compte lors du choix d'un modèle.

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:

Quelle est la densité frittée du carbure cimenté ?

Brève introduction à la densité frittée du carbure cimenté

La densité frittée du carbure cimenté désigne la densité du matériau finalement atteinte par l'ébauche (poudre pressée, densité initiale généralement comprise entre 50 et 70 % de la densité théorique) lors du frittage à haute température du carbure cimenté (tel que WC+ Co , WC+Ni) par réarrangement des particules, diffusion et élimination des pores. Elle est généralement exprimée en masse volumique réelle (g/cm^3) ou en densité relative (pourcentage de la densité théorique). La densité frittée influence directement les performances du carbure cimenté, notamment sa dureté (1 400-2 200 HV), sa résistance (1,8-2,8 GPa), sa résistance à l'usure et sa porosité ($< 0,01\%$). C'est un indicateur clé pour évaluer la qualité du frittage et doit être conforme aux normes nationales (telles que GB/T 3850-2015, GB/T 1837-6-2014). La densité frittée élevée ($> 99\%$ de densité théorique) garantit que le produit ne présente pas de micropores et d'excellentes performances, et convient aux applications telles que les moules résistants à l'usure, les outils miniers et les joints en haute mer.

1. Définition de la densité frittée du carbure cimenté

Densité réelle

La masse volumique du carbure cimenté après frittage (g/cm^3) est calculée par la méthode d'Archimède (GB/T 3850-2015) ou par mesure directe.

Densité relative

Rapport entre la masse volumique réelle et la masse volumique théorique (densité idéale à l'état totalement dense), généralement exprimé en pourcentage. Par exemple, la masse volumique théorique de l'YG8 (WC + 8 % Co) est d'environ $14,7 \text{ g/cm}^3$, la masse volumique réelle après frittage est de $14,65 \text{ g/cm}^3$ et la masse volumique relative de 99,66 %.

Densité théorique

basé sur la fraction massique des composants en carbure cimenté (WC, Co/Ni, additifs) et la densité de chaque composant (WC : $15,63 \text{ g/cm}^3$, Co : $8,9 \text{ g/cm}^3$, Ni : $8,9 \text{ g/cm}^3$).

L'importance de la densité de frittage du carbure cimenté

Impact sur les performances

La densité de frittage élevée ($> 99\%$) réduit la porosité ($< 0,01\%$, GB/T 5169-2013), améliore la dureté (augmentée de 510 %), la résistance (augmentée de 1020 %) et la résistance à l'usure (perte par usure réduite de 2030 %).

Contrôle de qualité

La densité de frittage reflète le degré d'optimisation du processus de frittage (température, pression et atmosphère). Une faible densité ($< 95\%$) peut entraîner la formation de micropores et une résistance insuffisante, affectant ainsi la durée de vie du produit.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Conditions d'application

Le carbure cémenté à haute densité (tel que > 99,9 %, frittage HIP) convient aux joints en haute mer et aux outils d'aviation ; la densité moyenne (> 98 %) convient aux pics miniers.

2. Facteurs affectant la densité de frittage du carbure cémenté

Caractéristiques de la poudre :

Granulométrie : Grains fins (0,52 μm) favorisent la diffusion et augmentent la densité de 12 % ; les grains grossiers (> 5 μm) peuvent provoquer des pores résiduels.

Homogénéité : Les poudres sont mélangées uniformément (broyage à billes pendant 1624 heures, D50 50150 μm) , avec une ségrégation réduite et un écart de densité $\leq \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$.

Liant : PEG/paraffine (0,52 % en poids) optimisé pour le moulage par compression, avec une densité initiale 510 % supérieure.

Processus de pressage :

Pression : Le pressage isostatique à froid (200-300 MPa) augmente la densité de l'ébauche (60-70 %), et la densité augmente de 13 % après frittage.

Matrice : répartition uniforme de la pression, réduction des défauts de flan et augmentation de 10 % de la consistance de la densité.

Procédé de frittage :

Température : 1350-1500°C (vide/HIP), trop basse (<1300°C) conduit à une densité insuffisante (<95%), trop élevée (>1550°C) conduit à une croissance des grains et à une diminution de la densité de 0,51%.

Temps d'isolation : 24 heures (vide), 13 heures (HIP), la densité augmente de 0,2 à 0,5 % si elle est prolongée d'1 heure.

Atmosphère : H₂/ Ar (O₂ <510 ppm) pour éviter l'oxydation, la densité de l'alliage à base de Ni/Co a augmenté de 0,5 % ; vide (10^{-4} 10^{-5} Pa) pour éliminer le liant, la densité a augmenté de 1 %.

Pression : HIP (100150 MPa) élimine les micropores et atteint une densité de >99,9 % ; le frittage conventionnel (0,1 MPa) atteint une densité de 9899 %.

Performances du four de frittage :

Précision du contrôle de la température : $\pm 35^\circ\text{C}$, uniformité $\pm 510^\circ\text{C}$, écart de densité $\leq \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$.

Degré de vide : 10^{-5} Pa (four à vide), efficacité de déparaffinage > 99,5 %, carbone résiduel < 0,05 %.

Vitesse de refroidissement : 520°C/min, contrainte thermique contrôlée, augmentation de 5% de la consistance de la densité.

3. Relation entre la densité de frittage et le processus de frittage

Frittage sous vide :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Processus : décirage (200600°C, 10^{-2} Pa) → frittage (13501450°C, 10^{-4} 10^{-5} Pa) → refroidissement (1015°C/min).

Densité : 9899,5 % (YG8 : 14,514,65 g/cm³), porosité < 0,01 %.

Applicable à : forêts miniers, moules, faible coût.

Pressage isostatique à chaud (HIP) :

Procédé : frittage (13501450°C, 100150 MPa, Ar) → post-traitement (13001350°C, 80100 MPa) → refroidissement (1520°C/min).

Densité : >99,9 % (YG8 : 14,6514,7 g/cm³), porosité < 0,001 %.

Application : outils aéronautiques, joints en haute mer, exigences de haute performance.

Frittage sous atmosphère :

Procédé : décirage (200500°C, H₂ 2050 L/min) → frittage (13001400°C, H₂/ Ar) → refroidissement (510°C/min).

Densité : 9899 % (YG6 : 14,414,5 g/cm³), porosité < 0,02 %.

Applicable à : découpe au laser, production de masse, faible coût.

4. Données de performance de densité frittée

Type de frittage	Marque	Masse volumique réelle (g/cm ³)	Densité relative (%) (théorique)	Porosité (%)	Dureté (HV)	Force (GPa)	Applications typiques
Frittage sous vide	YG8	14.514.65	98.699.7	<0,01	14001800	1.82.3	Trépan de forage minier
Frittage HIP	YG6X	14.814.9	>99,9	<0,001	18002200	2.22.8	Outils d'aviation
Frittage sous atmosphère	YN10	14.414.5	98.099.0	<0,02	14001600	1.82.2	Joints chimiques

Exemples :

Frittage sous vide : foret YG8 (Ø 20 × 330 mm), 1450°C, 10^{-4} Pa, 12 heures, densité 14,6 g/cm³ (99,3 %), dureté 1400 HV.

Frittage HIP : outil YG6X (Ø 12 × 80 mm), 1400°C, 120 MPa, 4 heures, densité 14,9 g/cm³ (> 99,9%), porosité < 0,001%.

Frittage sous atmosphère : joint YN10 (Ø 50 mm), 1350°C, H₂ 30 L/min, 12 heures, densité 14,5 g/cm³ (98,6 %), excellente résistance à la corrosion.

5. Suggestions pour l'optimisation de la densité de frittage

Optimisation de la poudre :

On choisit du WC à grain moyen-fin (0,5-1,5 µm) et la densité augmente de 12 %.

L'ajout de Cr₃C₂ (0,2 à 0,5 % en poids) inhibe la croissance des grains et augmente la densité de 0,5 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Processus de pressage :

En augmentant la pression de pressage (250300 MPa), la densité initiale a augmenté de 510 %.

Optimisez le moule, réduisez les défauts de billette et augmentez la cohérence de la densité de 10 %.

Procédé de frittage :

Température : Contrôle 1400/1450°C (YG8/YG6X), éviter la surchauffe , augmentation de la densité de 0,5%.

Atmosphère : pureté H₂ > 99,999 %, O₂ < 5 ppm, densité de l'alliage à base de Ni augmentée de 0,5 %.

HIP : 1350°C, 120 MPa, 2 heures, densité >99,9%.

Optimisation des équipements :

Contrôle de température amélioré ($\pm 3^{\circ}\text{C}$), écart de densité $< \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$.

En utilisant des éléments chauffants en molybdène/tungstène, la pollution est réduite de 30 % et la densité est augmentée de 0,2 %.

Post-traitement :

Après traitement HIP (1300°C, 100 MPa), la porosité a été réduite à <0,001%.

Le polissage ($R_a < 0,2 \mu\text{m}$) réduit les défauts de surface et augmente la résistance à l'usure de 20 %.

6. Normes

GB/T 38502015 : Mesure de densité, écart $< \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$.

GB/T 183762014 : Porosité < 0,01 %, uniformité > 95 %.

GB/T 51692013 : Grade de porosité A02B00C00.

GB/T 38512015 : résistance à la flexion 1,82,8 GPa.

GB/T 7997-2017 : Dureté 1400-2200 HV.

7. Conclusion

La densité de frittage du carbure cémenté est l'indicateur clé de la qualité du frittage, qui influence directement la dureté, la résistance et la durabilité du produit. Une densité de frittage élevée (> 99 %) est obtenue grâce à l'optimisation des procédés de poudrage, de pressage et de frittage (par exemple, HIP 1350 °C, 120 MPa), garantissant une porosité < 0,001 %, adaptée aux applications hautes performances (joints d'étanchéité pour eaux profondes, outils aéronautiques). Le frittage sous vide (9899,5 %), le HIP (> 99,9 %) et le frittage sous atmosphère (9899 %) répondent à des besoins différents, et le procédé doit être choisi en fonction du scénario d'application.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

appendice:

Qu'est-ce que la porosité du carbure ?

Introduction à la porosité du carbure cimenté

La porosité du carbure cimenté fait référence au pourcentage du volume de minuscules pores (pores ou vides) restant à l'intérieur du matériau pendant le processus de frittage du carbure cimenté (tel que WC+ Co , WC+ Ni) par rapport au volume total. Il est généralement exprimé en pourcentage (par exemple, < 0,01 %) ou classé en grades A, B ou C selon la norme nationale GB/T 5169-2013 (par exemple, A02B00C00).

La porosité est un indicateur clé pour évaluer la qualité du frittage du carbure cimenté. Elle affecte directement la densité du matériau (14,5-15,0 g/cm³), sa dureté (1 400-2 200 HV), sa résistance (1,8-2,8 GPa), sa résistance à l'usure et à la corrosion. Une faible porosité (< 0,001 %, comme le frittage HIP) garantit des performances élevées et convient aux applications exigeantes telles que les outils aéronautiques et les joints en haute mer ; une porosité plus élevée (0,01-0,02 %, comme le frittage sous atmosphère) convient aux pics miniers sensibles aux coûts.

Cet article combine les normes nationales (telles que GB/T 183762014, GB/T 51692013) et les pratiques de l'industrie pour présenter en détail la définition, la mesure, les facteurs d'influence et les mesures d'optimisation de la porosité du carbure cimenté.

1. Définition de la porosité du carbure cimenté

Porosité

Le rapport entre le volume interne des pores et le volume total du carbure cimenté est généralement calculé indirectement par observation microscopique (analyse métallographique, GB/T 5169-2013) ou mesure de la densité (méthode d'Archimède, GB/T 3850-2015).

Formule : Porosité (%) = (1 masse volumique réelle/masse volumique théorique) × 100.

Par exemple, la densité théorique du YG8 est de 14,7 g/cm³, la densité réelle est de 14,65 g/cm³ et la porosité est d'environ 0,34 %.

Type de porosité :

Pores de type A : diamètre < 10 μm, pores minuscules qui affectent la résistance.

Pores de type B : diamètre 1025 μm, pores plus gros, résistance à l'usure réduite.

Pores de type C : pores formés par agrégation ou inclusions de carbure, qui affectent la résistance à la corrosion.

Norme de qualité (GB/T 51692013) :

A02 : Pores de classe A < 0,02 mm² / cm².

B00 : Pas de pores de classe B.

C00 : Pas de pores de type C.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

L'importance de la porosité du carbure cimenté

Impact sur les performances

Une porosité élevée ($> 0,1 \%$) entraîne une densité plus faible ($< 98 \%$), une dureté plus faible (5 à 10 %), une résistance affaiblie (10 à 20 %) et une résistance à l'usure plus faible (augmentation de l'usure de 20 à 30 %), ce qui peut facilement provoquer une fracture par fatigue ou une corrosion.

Contrôle de qualité

La porosité reflète l'efficacité du processus de frittage (température, pression et atmosphère). Une faible porosité ($< 0,001 \%$) indique un frittage suffisant et un matériau dense.

Conditions d'application

Applications hautes performances (outils aérospatiaux, joints en haute mer) : Porosité $< 0,001 \%$ (frittage HIP), garantissant l'absence de micropores, haute résistance à la pression/corrosion.

Application générale (pics miniers, moules) : porosité $< 0,02 \%$ (frittage sous atmosphère), répondant à l'équilibre entre coût et performance.

2. Méthode de mesure de la porosité

Analyse métallographique (GB/T 51692013) :

étape:

Préparation des échantillons : découpe et polissage ($R_a < 0,2 \mu m$).

Observation microscopique : microscope optique ($1001000\times$), comptage du nombre et de la surface des pores de type A/B/C.

Classification et notation : A02, B00 et autres grades sont déterminés en fonction du diamètre et de la distribution des pores.

Avantages : intuitif, capable de distinguer les types de pores.

Limitations : Seule la surface est observée, plusieurs points d'échantillonnage sont nécessaires.

Mesure de densité (GB/T 38502015) :

étape:

Mesure de la masse volumique réelle : méthode d'Archimède (pesée dans l'eau, précision $\pm 0,01 g/cm^3$).

Calculer la porosité : $(1 \text{ densité réelle} / \text{densité théorique}) \times 100$.

Avantages : Évaluation rapide et holistique.

Limitations : Impossible de distinguer les types de pores.

Autres méthodes :

CT à rayons X : contrôle non destructif 3D, précision $\pm 0,001 \%$, adapté aux applications de haute précision.

Contrôle par ultrasons : détecte les gros pores ($> 25 \mu m$), utilisé pour les produits de grande taille.

3. Facteurs affectant la porosité du carbure cimenté

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Caractéristiques de la poudre :

Granulométrie : Les grains fins ($0,52 \mu\text{m}$) favorisent la diffusion et réduisent la porosité de 50 % ; les grains grossiers ($> 5 \mu\text{m}$) sont sujets aux pores résiduels.

Homogénéité : Un mélange de poudre inégal (broyage à billes inadéquat < 16 heures) a entraîné des pores locaux et la porosité a augmenté de 0,1 à 0,2 %.

Liant : Une quantité excessive de PEG/paraffine (0,52 % en poids) a entraîné un déparaffinage incomplet et une augmentation de la porosité de 0,05 à 0,1 %.

Processus de pressage :

Pression : Le pressage isostatique à froid (200-300 MPa) augmente la densité de l'ébauche (60-70%) et réduit la porosité de 0,1-0,2%.

Défauts : L'usure du moule ou une pression inégale provoque des fissures dans l'ébauche et la porosité augmente de 0,2 à 0,5 %.

Procédé de frittage :

Température : 1350-1500°C (vide/HIP), trop basse ($< 1300^\circ\text{C}$) la porosité est $> 0,1\%$, trop élevée ($> 1550^\circ\text{C}$) les grains grossissent et la porosité augmente de 0,05%.

Temps d'isolation : 24 heures (vide), 13 heures (HIP), la porosité diminue de 0,01 à 0,02 % lorsqu'elle est prolongée d'1 heure.

Atmosphère : H_2/Ar ($\text{O}_2 < 510 \text{ ppm}$) pour éviter l'oxydation, porosité réduite de 0,02 % ; vide (10^{-4} Pa) pour un décirage complet, porosité réduite de 0,05 %.

Pression : HIP (100-150 MPa) élimine les micropores et la porosité est $< 0,001\%$; le frittage conventionnel (0,1 MPa) a une porosité de 0,01-0,02 %.

Performances du four de frittage :

Précision du contrôle de la température : $\pm 35^\circ\text{C}$, uniformité $\pm 510^\circ\text{C}$, écart de porosité $\leq \pm 0,005\%$.

Degré de vide : 10^{-5} Pa , efficacité de déparaffinage $> 99,5\%$, carbone résiduel $< 0,05\%$, réduction de porosité 0,02 %.

Vitesse de refroidissement : $520^\circ\text{C}/\text{min}$, contrainte thermique contrôlée, consistance de porosité augmentée de 10%.

4. Relation entre la porosité et le processus de frittage

Frittage sous vide :

Processus : décirage (200600°C , 10^{-2} Pa) $\rightarrow$ frittage (13501450°C , 10^{-4} Pa) $\rightarrow$ refroidissement ($1015^\circ\text{C}/\text{min}$).

Porosité : $< 0,01\%$ (A02B00), densité YG8 14,514,65 g/cm^3 .

Application : Forets miniers, moules, porosité moyenne.

Pressage isostatique à chaud (HIP) :

Procédé : frittage (13501450°C , 100150 MPa, Ar) $\rightarrow$ post-traitement (13001350°C , 80100 MPa) $\rightarrow$ refroidissement ($1520^\circ\text{C}/\text{min}$).

Porosité : $< 0,001\%$ (A00B00), densité YG6X 14,814,9 g/cm^3 .

Application : couteaux d'aviation, joints en haute mer, hautes performances.

Frittage sous atmosphère :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Procédé : décirage (200500°C, H2 2050 L/min) → frittage (13001400°C, H2/ Ar) → refroidissement (510°C/min).

Porosité : <0,02% (A04B02), densité YN10 14,414,5 g/ cm³ .

Application : Joints chimiques, pics, faible coût.

5. Données de performance de porosité

Type de frittage	Marque	Porosité (%)	Grade GB/T 5169	Densité (g/cm ³)	Dureté (HV)	Force (GPa)	Applications typiques
Frittage sous vide	YG8	<0,01	A02B00C00	14.514.65	14001800	1.82.3	Trépan de forage minier
Frittage HIP	YG6X	<0,001	A00B00C00	14.814.9	18002200	2.22.8	Outils d'aviation
Frittage sous atmosphère	YN10	<0,02	A04B02C00	14.414.5	14001600	1.82.2	Joints chimiques

Exemples :

Frittage sous vide : foret YG8 (Ø 20 × 330 mm), 1450°C, 10⁻⁴ Pa, 12 heures, porosité < 0,01 %, densité 14,6 g/cm³ , dureté 1400 HV.

Frittage HIP : outil YG6X (Ø 12 × 80 mm), 1400°C, 120 MPa, 4 heures, porosité < 0,001 %, densité 14,9 g/cm³ , résistance 2,3 GPa .

Frittage sous atmosphère : joint YN10 (Ø 50 mm), 1350°C, H2 30 L/min, 12 heures, porosité < 0,02%, densité 14,5 g/cm³ , excellente résistance à la corrosion.

6. Recommandations d'optimisation de la porosité

Optimisation de la poudre :

Sélectionnez du WC à grains fins (0,5 à 1,5 µ m) et la porosité sera réduite de 50 %.

L'allongement du temps de broyage à boulets (1624 heures) a augmenté l'uniformité de 10 % et diminué la porosité de 0,1 %.

Contrôler le liant (PEG /paraffine <1,5 % en poids) et le carbone résiduel <0,05 %.

Processus de pressage :

En augmentant la pression (250300 MPa), la densité de l'ébauche a augmenté de 510% et la porosité a diminué de 0,1%.

Optimisez le moule, réduisez les fissures et réduisez la porosité de 0,2 %.

Procédé de frittage :

Température : 14001450°C (YG8/YG6X), la porosité diminue de 0,010,02%.

Atmosphère : pureté H2 > 99,999 %, O2 < 5 ppm, porosité réduite de 0,02 %.

HIP : 1350°C, 120 MPa, 2 heures, porosité <0,001%.

Optimisation des équipements :

Contrôle de la température (±3°C), écart de porosité <±0,005%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Vide (10^{-5} Pa), décirage complet, porosité réduite à 0,02%.

En utilisant des éléments chauffants en molybdène/tungstène, la contamination est réduite de 30 % et la porosité est réduite de 0,01 %.

Post-traitement :

Après traitement HIP (1300°C, 100 MPa), la porosité a été réduite à <0,001%.

Le polissage ($R_a < 0,2 \mu m$) réduit la porosité de surface et augmente la résistance à la corrosion de 20 %.

7. Normes

GB/T 51692013 : Grade de porosité A02B00C00 (haute performance), A04B02C00 (général).

GB/T 183762014 : Porosité < 0,01 %, uniformité > 95 %.

GB/T 38502015 : Mesure de densité, écart $\pm 0,1 g/cm^3$.

GB/T 38512015 : résistance à la flexion 1,82,8 GPa.

GB/T 7997-2017 : Dureté 1400-2200 HV.

8. Conclusion

La porosité du carbure cémenté est l'indicateur clé de la qualité du frittage, qui influence la densité, la dureté, la résistance et la durabilité. Une faible porosité (< 0,001 %) est obtenue grâce à l'optimisation des procédés de poudrage, de pressage et de frittage (tels que le CIP 1350 °C, 120 MPa), ce qui convient aux outils aéronautiques et aux joints en haute mer ; une porosité moyenne (< 0,02 %) répond aux besoins des pics miniers, etc. Le frittage sous vide (< 0,01 %), le CIP (< 0,001 %) et le frittage sous atmosphère (< 0,02 %) sont adaptés à différents scénarios, et le procédé doit être choisi en fonction de l'application.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

appendice:

Résistance à la corrosion et évaluation du carbure cimenté

Carbure cimenté (tel que WC+ Co , Le carbure cimenté WC+ Ni est largement utilisé dans les outils miniers, les outils aéronautiques, les joints pour eaux profondes et les pompes chimiques en raison de sa dureté élevée (1 400 à 2 200 HV), de sa résistance élevée (1,8 à 2,8 GPa) et de son excellente résistance à l'usure. Cependant, dans des environnements corrosifs (tels que les acides, les bases, les solutions salines, le H₂S, le CO₂, l'eau de mer), la résistance à la corrosion du carbure cimenté devient un indicateur de performance clé, qui affecte directement sa durée de vie et sa fiabilité. La résistance à la corrosion est principalement déterminée par la composition du matériau, la microstructure (par exemple, une porosité < 0,01 %), le procédé de frittage et le traitement de surface, et doit être conforme aux normes nationales (telles que GB/T 183762014, NACE MR0175).

Associé aux pratiques de l'industrie, cet article présente en détail le mécanisme de résistance à la corrosion, les facteurs d'influence, les méthodes d'évaluation et les mesures d'optimisation du carbure cimenté, et recommande de manière appropriée les capacités de production de CTIA GROUP LTD dans les domaines des joints résistants à la corrosion en carbure cimenté à base de nickel, des corps de pompe, etc.

1. Définition de la résistance à la corrosion du carbure cimenté

La résistance à la corrosion du carbure cimenté fait référence à la capacité du matériau à résister à l'érosion chimique ou électrochimique dans des milieux corrosifs (tels que l'acide, l'alcali, la solution saline, H₂S, CO₂, l'eau de mer), qui est généralement exprimée en taux de corrosion (mm/an), perte de masse (mg/cm² · h) ou changement de morphologie de surface.

Normes conformes :

NACE MR0175 : Résistant à la corrosion H₂S/CO₂, adapté aux environnements pétroliers et gaziers.

ISO 12944 : Résistance aux environnements corrosifs marins/industriels.

GB/T 183762014 : Porosité < 0,01 %, garantissant une résistance à la corrosion.

Mécanisme de corrosion du carbure cimenté Résistance à la corrosion

Corrosion électrochimique : Le carbure cimenté est composé d'une phase dure (WC, résistant à la corrosion) et d'une phase de liaison (Co/Ni, facilement corrodable). Il forme une microbatterie dans un électrolyte (tel que l'eau de mer, une solution acide). La phase de liaison se corrode préférentiellement, provoquant le décollement des particules de WC.

Par exemple : la vitesse de dissolution du Co dans HCl est > 0,1 mm/an, tandis que celle du Ni n'est que de 0,01 à 0,05 mm/an.

Corrosion chimique : les acides forts (tels que H₂SO₄) et les bases fortes (telles que NaOH) dissolvent directement la phase de liaison, et les matériaux à porosité élevée (> 0,1 %) accélèrent la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

corrosion.

Synergie érosion-corrosion : Dans les fluides contenant des particules (comme les pompes chimiques), l'usure expose de nouvelles surfaces, accélérant la corrosion électrochimique, et le taux de corrosion augmente de 20 à 50 %.

Performances de résistance à la corrosion :

Excellent : Le taux de corrosion du WC+Ni (Ni 815 %) dans H₂S (> 1 000 ppm), l'eau de mer (pH 39) et H₂SO₄ (50 %) est < 0,01 mm/an.

Moyen : Le taux de corrosion du WC+Co (Co 612%) dans HCl (30%) est de 0,050,1 mm/an.

Pauvre : Les matériaux avec une porosité > 0,1 % ou une teneur élevée en Co (> 15 %) ont une vitesse de corrosion > 0,2 mm/an dans un acide fort.

2. Facteurs affectant la résistance à la corrosion du carbure cimenté

Composition du matériau :

Phase de liaison :

À base de Ni : le Ni (815 %) est plus résistant à la corrosion par le H₂S, le CO₂ et l'eau de mer que le Co, et le taux de corrosion est réduit de 5070 % (NACE MR0175).

Co-basé : Le Co (612%) est facilement soluble dans les environnements acides (HCl, H₂SO₄), et le taux de corrosion augmente de 25 fois.

additif:

Cr₃C₂ (0,52 % en poids) : forme un film d'oxyde de Cr, augmentant la résistance aux acides de 20 à 30 %.

Mo (0,51 % en poids) : Améliore la résistance à la corrosion par piqûres et augmente la résistance à la corrosion Cl⁻ de 25 %.

Granulométrie WC : Les grains fins (0,52 μm) réduisent l'exposition de la phase de liaison et augmentent la résistance à la corrosion de 1015 % ; les grains grossiers (> 5 μm) augmentent le chemin de corrosion.

Microstructure:

Porosité (GB/T 5169-2013) :

Faible porosité (<0,001%, frittage HIP) : réduit la pénétration des milieux corrosifs et augmente la résistance à la corrosion de 3050%.

Porosité élevée (> 0,1 %, frittage sous atmosphère) : la porosité accélère la corrosion électrochimique, augmentant le taux de corrosion de 23 fois.

Limite de grain : Une limite de grain uniforme (broyage à boulets pendant 1624 heures) réduit la corrosion locale et augmente la résistance à la corrosion de 10 %.

Carbone résiduel : Carbone résiduel < 0,05 % (décirassage complet), empêchant la dissolution du carbure et augmentant la résistance à la corrosion de 5 à 10 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Procédé de frittage :

Frittage sous vide (1350/1450°C, 10^{-4} à 10^{-5} Pa) : porosité < 0,01 %, répartition uniforme de la phase de liaison, résistance moyenne à la corrosion.

Frittage HIP (1350/1450°C, 100/150 MPa) : porosité < 0,001 %, densité > 99,9 %, excellente résistance à la corrosion.

Frittage sous atmosphère (1300/1400°C, H₂/Ar, O₂ < 5 ppm) : porosité < 0,02 %, adapté aux alliages à base de Ni, avec une résistance à la corrosion légèrement inférieure.

Déparaffinage : vide + H₂ (10^{-2} Pa, 515 L/min), carbone résiduel < 0,05 %, résistance à la corrosion augmentée de 10 %.

Traitement de surface :

Polissage (Ra < 0,2 µm) : Réduit les défauts de surface et augmente la résistance à la corrosion de 15/20 %.

revêtement:

Galvanoplastie Ni/Cr : résistance aux acides augmentée de 20 %, résistance à la corrosion Cl⁻ augmentée de 30 %.

Revêtement PTFE/DLC : Coefficient de frottement réduit de 20 %, résistance à l'érosion et à la corrosion augmentée de 30/50 %.

Passivation : Un film d'oxyde se forme, augmentant la résistance à la corrosion par piqûres de 25 %.

Environnement d'utilisation :

Milieu : H₂SO₄ (50 %) taux de corrosion < 0,01 mm/an (à base de Ni) ; HCl (30 %) taux de corrosion 0,05 à 0,1 mm/an (à base de Co).

Température : 50/300°C, le taux de corrosion augmente de 10/20 % pour chaque augmentation de 50°C de la température.

Érosion des fluides : Les fluides contenant des particules (solides < 20 %) accélèrent la corrosion, augmentant le taux de 20 à 50 %.

3. Méthode d'évaluation de la résistance à la corrosion du carbure cémenté

Tests de laboratoire :

Essai d'immersion (ASTM G31) :

Procédure : L'échantillon est immergé dans un milieu corrosif (tel que H₂SO₄, HCl, NaCl) à température constante (25/80°C) pendant une durée de 24/720 heures.

Indicateurs : perte de masse (mg/cm² · h), vitesse de corrosion (mm/an).

Exemple : Le taux de corrosion du WC+10 % Ni dans 50 % H₂SO₄ (80 °C) est < 0,01 mm/an.

Essai électrochimique (ASTM G59/G61) :

Procédure : Utiliser un poste de travail électrochimique pour mesurer le potentiel de circuit ouvert (OCP), la courbe de polarisation, le potentiel de corrosion (E_{corr}) et la densité de courant (I_{corr}).

Indice : I_{corr} < 1 µA /cm² indique une excellente résistance à la corrosion.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Exemple : WC+Ni dans 3,5 % NaCl, Icorr $\approx$ 0,5 $\mu\text{A} / \text{cm}^2$, meilleur que WC+Co (2 $\mu\text{A} / \text{cm}^2$) .

Essai au brouillard salin (ASTM B117) :

Procédure : Les échantillons ont été exposés à une atomisation de NaCl à 5 % (35 °C) pendant 961 000 heures.

Indicateurs : nombre de points de corrosion superficielle, taux de perte de poids.

Exemple : WC+Ni+Cr3C2 ne présente aucune tache de corrosion évidente après 1 000 heures.

Essai sur le terrain :

Exposition environnementale : les composants en carbure (tels que les joints et les corps de pompe) sont placés dans des conditions de travail réelles (telles que les usines en haute mer et les usines chimiques) et fonctionnent pendant 6 à 12 mois.

Indicateurs : morphologie de surface (observation SEM), changement dimensionnel ($\pm 0,01$ mm), dégradation des performances (telle que diminution de la dureté $< 5\%$).

Exemple : joints WC+Ni fonctionnant dans l'eau de mer (pH 8, 15 000 psi) pendant 12 mois avec une profondeur de corrosion $< 0,005$ mm.

Analyse microscopique :

SEM/EDS : observer la morphologie de la corrosion et la distribution des éléments, et déterminer si la phase de liaison est dissoute ou si le WC se décolle.

XPS : Analyser le film d'oxyde de surface et évaluer le mécanisme de résistance à la corrosion.

Exemple : WC+Ni forme un film protecteur NiS dans H2S et la résistance à la corrosion augmente de 20 %.

Évaluation standard :

cm^2 dans un environnement H2S (> 1000 ppm) .

GB/T 183762014 : Porosité $< 0,01$ %, pas de pores de type B/C (A02B00C00).

ISO 12944 : C5M Taux de corrosion en milieu marin $< 0,01$ mm/an.

4. Données de performance en matière de résistance à la corrosion

Marque	Phase de liaison	environnement	Taux de corrosion (mm/an)	Icorr ($\mu\text{A} / \text{cm}^2$)	Porosité (%)	Applications typiques
YG8	Co (8%)	HCl (30%)	0,050,1	25	$< 0,01$	Trépans de forage minier
YG6X	Co (6 %) + Cr3C2	H2SO4 (50%)	0,020,05	12	$< 0,001$	Outils d'aviation
YN10	Ni (10%)	Eau de mer (pH 8)	$< 0,01$	0,51	$< 0,01$	Phoques des grands fonds
YN12+Mo	Ni (12 %) + Mo	H2S (1000 ppm)	$< 0,005$	0,30,5	$< 0,001$	Corps de pompe chimique

Exemples :

YG8 (fritté sous vide) : foret minier, trempage HCl (30 %, 80 °C) pendant 720 heures, taux de corrosion 0,08 mm/an, porosité $< 0,01$ %, chute de dureté < 5 %.

YG6X (frittage HIP) : outils aéronautiques, test H2SO4 (50%, 60°C), taux de corrosion 0,03 mm/an, Icorr 1,5 $\mu\text{A} / \text{cm}^2$, porosité $< 0,001\%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

YN10 (frittage HIP) : joints en haute mer, eau de mer (15 000 psi, 12 mois), profondeur de corrosion < 0,005 mm, porosité < 0,001 %, excellente résistance à la corrosion.

YN12+Mo (frittage HIP) : Corps de pompe chimique, H₂S (1000 ppm, 200°C), taux de corrosion < 0,005 mm/an, pas de piqûres en surface.

5. Suggestions pour optimiser la résistance à la corrosion

Matériel:

Phase de liaison : Ni (1015%) est préféré et la résistance à la corrosion H₂S/eau de mer augmente de 5070%.

Additifs : Cr₃C₂ (0,52 % en poids) + Mo (0,51 % en poids), résistance aux acides augmentée de 2030 %.

Granulométrie WC : grain fin (0,5 à 1,5 µm), réduit l'exposition de la phase de liaison et augmente la résistance à la corrosion de 15 %.

Procédé de frittage :

Frittage HIP : 1350°C, 120 MPa, 2 heures, porosité < 0,001%, résistance à la corrosion augmentée de 30%.

Déparaffinage : vide (10⁻² Pa) + H₂ (10 L/min), carbone résiduel < 0,05 %, résistance à la corrosion augmentée de 10 %.

Atmosphère : pureté H₂ > 99,999 %, O₂ < 5 ppm, empêche l'oxydation, augmente la résistance à la corrosion de 10 %.

Traitement de surface :

Polissage (Ra < 0,2 µm) : Réduit le point de départ de la corrosion et augmente la résistance à la corrosion de 1520 %.

Revêtement : galvanoplastie Ni/Cr ou PTFE/DLC, résistance à l'érosion et à la corrosion augmentée de 3050 %.

Passivation : La formation d'un film d'oxyde Cr/Ni augmente la résistance à la corrosion par piqûres de 25 %.

Optimisation des équipements :

Contrôle de la température : ±3°C, uniformité ±5°C, écart de porosité < ±0,005%, résistance à la corrosion augmentée de 5%.

Degré de vide : 10⁻⁵ Pa, décirage complet, résistance à la corrosion augmentée de 10 %.

Composants molybdène/tungstène : la pollution est réduite de 30% et la résistance à la corrosion est augmentée de 5%.

Adaptation environnementale :

Environnement acide : choisissez YN10+Cr₃C₂, qui résiste à la corrosion H₂SO₄/HCl.

Océan/Pétrole et Gaz : Utiliser YN12+Mo, résistant au H₂S/CO₂/eau de mer.

Fluides contenant des particules : revêtement DLC, résistance à l'érosion et à la corrosion augmentée

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de 30 %.

6. Normes

GB/T 183762014 : Porosité $< 0,01$ %, uniformité > 95 %.

GB/T 51692013 : Grade de porosité A02B00C00 (haute performance), A04B02C00 (général).

GB/T 38502015 : Écart de densité $\leq \pm 0,1$ g/ cm³ .

GB/T 38512015 : résistance à la flexion 1,82,8 GPa .

GB/T 7997- 2017 : Dureté 1400-2200 HV.

NACE MR0175 : Perte de masse dans un environnement H₂S/CO₂ $< 0,1$ mg/ cm² .

ISO 12944 : Taux de corrosion en environnement C5M $< 0,01$ mm/an.

ASTM G31/G59 : Taux de corrosion $< 0,01$ mm/an, Icorr < 1 μA / cm² .

7. Conclusion

La résistance à la corrosion du carbure cémenté est déterminée par la phase de liaison (le Ni est meilleur que le Co), la porosité ($< 0,001$ % est optimal), le procédé de frittage (le CIC est meilleur que le vide/l'atmosphère) et le traitement de surface. Le carbure cémenté à base de Ni (YN10/YN12) est performant dans l'eau de mer, le H₂S et les environnements acides, avec une vitesse de corrosion $< 0,01$ mm/an, adapté aux joints d'étanchéité en eaux profondes et aux corps de pompes chimiques ; les alliages à base de Co (YG8/YG6X) sont adaptés aux environnements modérément corrosifs. Les méthodes d'évaluation comprennent les essais d'immersion (ASTM G31), les essais électrochimiques (ASTM G59) et l'exposition sur le terrain, qui doivent être évalués de manière exhaustive en conjonction avec les normes (telles que NACE MR0175). L'optimisation des procédés (tels que le CIC 1350 °C, 120 MPa) et des revêtements de surface (PTFE/DLC) peut améliorer considérablement la résistance à la corrosion.

8. Recommandation spéciale

CTIA GROUP LTD utilise le frittage HIP et la technologie de revêtement avancée dans la production de joints, de corps de pompe et de vannes en carbure cémenté à base de nickel résistants à la corrosion pour fournir des solutions à haute résistance à la corrosion pour répondre aux besoins des environnements difficiles tels que les industries de la haute mer et chimiques.

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:

Carbure cimenté fritté et poli

Carbure cimenté (tel que WC+ Co , Le carbure cimenté WC+ Ni est largement utilisé dans les outils miniers, les outils aéronautiques, les joints pour eaux profondes et les corps de pompes chimiques en raison de sa dureté élevée (1 400 à 2 200 HV), de sa résistance élevée (1,8 à 2,8 GPa) et de son excellente résistance à l'usure. Les performances du carbure cimenté dépendent non seulement de l'état fritté obtenu par le frittage , mais aussi du polissage ultérieur. L'état fritté détermine les propriétés intrinsèques du matériau (densité, porosité, microstructure, etc.), tandis que le polissage optimise la qualité de surface (rugosité $Ra < 0,2 \mu m$) , améliorant ainsi la résistance à la corrosion, à l'usure et les performances d'étanchéité.

Cet article combine les normes nationales (telles que GB/T 183762014, GB/T 51692013) et les pratiques de l'industrie pour présenter en détail le processus, l'impact sur les performances et les mesures d'optimisation du traitement de frittage et de polissage du carbure cimenté, et recommande de manière appropriée les capacités de production de CTIA GROUP LTD dans les domaines des joints en carbure cimenté à base de nickel, des corps de pompe, etc.

1. Carbure cimenté fritté

2.

L'état fritté désigne l'état du carbure cimenté après frittage à haute température (1 350 à 1 500 °C) sans traitement mécanique ultérieur. Il présente une microstructure et des propriétés spécifiques et convient à une utilisation directe ou à un traitement ultérieur (comme le polissage).

1.1 Procédé et paramètres de frittage

Frittage sous vide :

Application : Réalisation de pics miniers, moules , joints (ex : Ø 5150 mm).

Processus :

Déparaffinage : 200600 °C, vitesse de chauffe 25°C/min, degré de vide 10^{-2} Pa, débit H2 515 L/min, 24 heures, taux de déparaffinage > 99,5 %.

Frittage : 13501450°C, vitesse de chauffe 510°C/min, degré de vide 10^{-4} 10^{-5} Pa, maintien au chaud pendant 24 heures.

Refroidissement : 1015°C/min (refroidissement forcé Ar), jusqu'à 100°C.

Propriétés : densité 14,514,9 g/ cm³ , porosité <0,01% (A02B00C00, GB/T 5169-2013), dureté 14001800 HV, rugosité de surface $Ra 1,63,2 \mu m$.

Pressage isostatique à chaud (HIP) :

Applications : outils aéronautiques, joints sous-marins, corps de pompes chimiques (ex. Ø 100-500 mm).

Processus :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Frittage : 1350/1450°C, vitesse de chauffe 58°C/min, pression 100/150 MPa (Ar), maintenir au chaud pendant 13 heures.

Post- traitement : 1300/1350°C, 80/100 MPa, 12 heures, porosité réduite à <0,001%.

Refroidissement : 1520°C/min (haute pression Ar) à 200°C.

Propriétés : densité >99,9% (14,815,0 g/ cm³), porosité <0,001% (A00B00C00), dureté 1800/2200 HV, rugosité de surface Ra 0,81,6 μ m .

Frittage sous atmosphère :

Application : grandes quantités de pics, joints (tels que bagues d'étanchéité mécaniques).

Processus :

Déparaffinage : 200/500°C, vitesse de chauffe 35°C/min, débit H₂ 2050 L/min, O₂ <10 ppm, 35 heures.

Frittage : 1300/1400°C, vitesse de chauffe 510°C/min, atmosphère H₂/ Ar , maintien au chaud pendant 35 heures.

Refroidissement : 510°C/min (protection N₂), jusqu'à 100°C.

Propriétés : densité 14,414,8 g/ cm³ , porosité <0,02% (A04B02C00), dureté 1400/1600 HV, rugosité de surface Ra 2,04,0 μ m .

1.2 Propriétés frittées

Microstructure :

Grains WC : grains fins (0,52 μ m , HIP) ou grains moyens-grossiers (25 μ m , frittage sous atmosphère), joints de grains uniformes (broyage à boulets pendant 1624 heures).

Phase de liaison : Co/Ni (615%), uniformément réparti, la résistance à la corrosion à base de Ni est meilleure que celle du Co (NACE MR0175).

Porosité : HIP < 0,001 %, vide < 0,01 %, atmosphère < 0,02 %, une faible porosité augmente la résistance de 10/20 %.

performance :

Densité : 14,415,0 g/cm³ (GB /T 38502015), écart ±0,05 g/ cm³ .

Dureté : 1400/2200 HV (GB/T 79972017), écart ±3050 HV.

Résistance : résistance à la flexion 1,82,8 GPa (GB/T 38512015).

Résistance à la corrosion : Le taux de corrosion à base de Ni (YN10) dans l'eau de mer/H₂S est < 0,01 mm/an ; le taux de corrosion à base de Co (YG8) dans HCl est de 0,05 à 0,1 mm/an.

Surface : La surface frittée est rugueuse (Ra 0,84,0 μ m) , avec des micropores/marques de frittage et une résistance à l'usure moyenne.

Limites :

Une rugosité de surface élevée (Ra > 0,8 μ m) peut facilement provoquer une concentration de contraintes et réduire la résistance à la corrosion de 10 à 20 %.

Les micropores (> 0,001 %) peuvent accélérer la corrosion et affecter les performances d'étanchéité (taux de fuite > 10⁻⁶ mbar·L /s).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.3 Application frittée

Utilisation directe : pics miniers, moules, exigences de faible rugosité de surface ($R_a 1,64,0 \mu m$) .

A polir : joints sous-marins, corps de pompes chimiques, bagues d'étanchéité mécaniques, $R_a < 0,2 \mu m$, résistance à la corrosion augmentée de 1520%.

2. Polissage au carbure

Le polissage est le traitement mécanique (comme le meulage et le polissage) du carbure cimenté fritté pour réduire la rugosité de surface ($R_a < 0,2 \mu m$) , éliminer les défauts de surface et améliorer la résistance à la corrosion et à l'usure. Il est particulièrement adapté aux joints, outils et corps de pompes de haute précision.

2.1 Processus et paramètres de polissage

mouture grossière :

Outils : Meule diamantée (granulométrie $100-200 \mu m$, liant résine/vitrifié).

paramètre :

Vitesse de rotation : $1000-2000 \text{ tr/min}$.

Vitesse d'avance : $0,010,05 \text{ mm/passe}$.

Liquide de refroidissement : émulsion à base d'eau, débit 510 L/min .

Effet : Les marques de surface frittées ($R_a 4,00,8 \mu m$) sont supprimées et la rugosité est réduite à $R_a 0,40,8 \mu m$.

Temps : 510 minutes par centimètre carré.

broyage fin :

Outils : Meule diamantée (granulométrie $2050 \mu m$, liant métallique) .

paramètre :

Vitesse de rotation : $1500-3000 \text{ tr/min}$.

Vitesse d'avance : $0,0050,01 \text{ mm/passe}$.

Liquide de refroidissement : À base d'huile ou à base d'eau, débit 815 L/min .

Effet : La rugosité est réduite à $R_a 0,20,4 \mu m$ et la planéité de la surface est $< 0,005 \text{ mm}$.

Temps : 1015 minutes par centimètre carré.

polissage :

Outils : Pâte à polir diamantée (granulométrie $15 \mu m$) + disque de polissage feutre/polyuréthane.

paramètre :

Vitesse de rotation : $500-1000 \text{ tr/min}$.

Pression : $0,10,5 \text{ MPa}$.

Liquide de polissage : à base d'eau ou d'alcool, débit 25 L/min .

Effet : La rugosité est réduite à $R_a < 0,2 \mu m$ (surface du miroir), la surface est sans rayures et la planéité est $< 0,002 \text{ mm}$.

Temps : 1530 minutes par centimètre carré.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Polissage ultra-précis (en option) :

Outils : Suspension diamantée nanométrique (granulométrie $0,10,5 \mu m$) + tampon de polissage souple.

paramètre :

Vitesse de rotation : 200500 tr/min.

Pression : 0,050,2 MPa.

Liquide de polissage : eau déionisée, débit 13 L/min.

Effet : Rugosité $Ra < 0,05 \mu m$, adaptée aux joints de haute précision (tels que taux de fuite $< 10^{-6}$ mbar·L/s).

Temps : 3060 minutes par centimètre carré.

2.2 Caractéristiques de polissage

Qualité de surface :

Rugosité : $Ra 0,050,2 \mu m$ (après polissage), par rapport à l'état fritté ($Ra 0,84,0 \mu m$), elle est réduite de 80 à 95 %.

Planéité : $< 0,002 mm$, convient aux surfaces d'étanchéité de haute précision.

Défauts : Élimine les micropores/fissures frittés et réduit la concentration de contraintes de surface de 50 %.

Améliorations des performances :

Résistance à la corrosion : Réduit les points de départ de la corrosion (tels que les micropores) et réduit le taux de corrosion de 1520 % dans l'eau de mer/H₂SO₄ (ASTM G31).

Résistance à l'usure : Coefficient de frottement réduit de 20 à 30 % (augmenté de 50 % après revêtement PTFE/DLC), perte par usure $< 0,05 mm^3 / h$ (ASTM G65).

Performances d'étanchéité : taux de fuite $< 10^{-6}$ mbar·L/s (test à l'hélium, 15 000 psi), durée de vie dynamique du joint augmentée de 3 050 %.

Durée de vie en fatigue : la contrainte de surface est uniforme et la résistance à la rupture par fatigue augmente de 20 à 30 %.

Limites :

Coût élevé : le polissage coûte 520 yuans par centimètre carré et le polissage ultra-précis coûte 2 050 yuans.

Difficulté de traitement : Le carbure cimenté a une dureté élevée ($> 1400 HV$), nécessite des outils diamantés et a une faible efficacité de traitement ($0,1$ à $0,5 mm^3 / min$).

Influence thermique : Un meulage excessif peut provoquer des microfissures et réduire la résistance à la corrosion de 5 à 10 %.

2.3 Application du polissage

Phoques des grands fonds

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Joint torique (Ø 5200 mm), Ra <0,2 µ m , résistant à H₂S/eau de mer, durée de vie >1000 connexions.

Corps de pompe chimique

Bague d'étanchéité mécanique (Ø 10150 mm), Ra <0,1 µ m , résistante au H₂SO₄ (50%), durée de vie >5000 heures.

Outils d'aviation

Arête de coupe (Ra < 0,05 µ m) , résistance à l'usure augmentée de 30 %, durée de vie de coupe augmentée de 20 %.

3. Comparaison entre fritté et poli

caractéristiques	Fritté	Polissage
Rugosité de surface (Ra)	0,84,0 µm	<0,050,2 µm
Porosité	<0,001%0,02% (HIP/atmosphère)	Aucun changement, micropores de surface réduits
Résistance à la corrosion	Moyen (eau de mer < 0,01 mm/an, à base de Ni)	Augmentation de 1520 % (taux de corrosion diminué)
Résistance à l'usure	Taux d'usure 0,10,2 mm ³ /h	Augmentation de 2050 % (perte par usure < 0,05 mm ³ / h)
Performances d'étanchéité	Taux de fuite > 10 ⁻⁶ mbar·L /s	<10 ⁻⁶ mbar·L /s
coût	Faible (frittage 0,52 kWh/kg)	Élevé (polissage 550 yuans/cm ²)
application	Médiateurs, matrices	Joints, corps de pompe, outils de coupe

Exemples :

État fritté : pic YG8 (Ø 20 × 330 mm), fritté sous vide (1450°C, 10⁻⁴ Pa), Ra 2,0 µ m , porosité < 0,01 %, HCl (30 %) taux de résistance à la corrosion 0,08 mm/an, adapté à l'exploitation minière.

Traitement de polissage : joint YN10 (Ø 50 mm), frittage HIP (1400°C, 120 MPa) + polissage (Ra <0,1 µ m) , porosité <0,001%, taux de corrosion en eau de mer <0,005 mm/an, taux de fuite <10⁻⁶ mbar·L /s, adapté aux eaux profondes.

4. Suggestions d'optimisation pour le frittage et le polissage

Optimisation de l'état de frittage :

Poudre : WC à grains fins (0,5-1,5 µ m) , porosité réduite de 50 %, résistance à la corrosion augmentée de 10 %.

Pressage : Pressage isostatique à froid (250-300 MPa), la densité de l'ébauche augmente de 5 à 10 % et le retrait de frittage est uniforme.

frittage :

HIP (1350°C, 120 MPa, 2 h) : porosité < 0,001 %, densité > 99,9 %.

Vide (10⁻⁵ Pa, H₂ O₂ < 5 ppm) : carbone résiduel < 0,05 %, résistance à la corrosion augmentée de 10 %.

Contrôle de la température : ±3°C, uniformité ±5°C, écart de densité <±0,05 g/ cm³ .

Optimisation du processus de polissage :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Outils : Utilisez une pâte à polir diamantée à haute concentration ($15\text{ }\mu\text{m}$) pour augmenter l'efficacité du polissage de 20 %.

Paramètres : basse pression (0,1-0,5 MPa) + faible vitesse (500-1000 tr/min) pour éviter les microfissures.

Refroidissement : Liquide de polissage à base d'eau (débit 510 L/min), réduction de l'impact thermique de 30%.

Post- traitement : Revêtement PTFE/DLC, coefficient de frottement réduit de 20%, résistance à l'érosion et à la corrosion augmentée de 3050%.

Entretien du matériel :

Four de frittage : Les éléments chauffants en molybdène/tungstène sont entretenus toutes les 4000 heures, la pollution est réduite de 30% et la porosité est réduite de 0,01%.

Machine à polir : Calibrez régulièrement la broche (écart $< 0,01\text{ mm}$), et la planéité augmentera de 10 %.

Intégration des processus :

Frittage + polissage : Frittage HIP (porosité $< 0,001\%$) + polissage ultra-précis ($R_a < 0,05\text{ }\mu\text{m}$), résistance à la corrosion augmentée de 20%, performance d'étanchéité augmentée de 50%.

Contrôle qualité : observation SEM des défauts de surface, rugosimètre (précision $\pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$) pour garantir $R_a < 0,2\text{ }\mu\text{m}$.

5. Normes

GB/T 183762014 : Porosité $< 0,01\%$, uniformité $> 95\%$.

GB/T 51692013 : Grade de porosité A02B00C00 (vide), A00B00C00 (HIP).

GB/T 38502015 : Écart de densité $\leq \pm 0,1\text{ g/cm}^3$.

GB/T 38512015 : Résistance à la flexion 1,82,8 GPa.

GB/T 7997- 2017 : Dureté 1400-2200 HV.

NACE MR 0175 : résistant au $\text{H}_2\text{S}/\text{CO}_2$, taux de corrosion $< 0,01\text{ mm/an}$.

ISO 4287 : Rugosité de surface $R_a < 0,2\text{ }\mu\text{m}$ (polie).

6. Conclusion

Le carbure cémenté fritté forme une microstructure à haute densité ($> 99\%$) et à faible porosité ($< 0,001\%$) par frittage sous vide, HIP ou atmosphère, posant les bases de la résistance à l'usure et à la corrosion. Il convient aux applications de surfaces rugueuses telles que les pics miniers. Le traitement de polissage réduit la rugosité de surface à $R_a < 0,2\text{ }\mu\text{m}$, améliorant significativement la résistance à la corrosion (augmentation de 1 520 %), la résistance à l'usure (augmentation de 2 050 %) et les performances d'étanchéité (taux de fuite $< 10^{-6}\text{ mbar}\cdot\text{L/s}$), ce qui le rend adapté aux joints sous-marins, aux corps de pompes chimiques et aux outils aéronautiques. L'optimisation du processus de frittage (par exemple, HIP 1 350 °C, 120 MPa) et des paramètres de polissage (par exemple, polissage basse pression) peut encore améliorer les performances.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Recommandation : CTIA GROUP LTD adopte la technologie de frittage HIP et de polissage ultra-précis ($Ra < 0,1 \mu m$) dans la production de joints en carbure cémenté à base de nickel, de corps de pompe et de vannes pour assurer une excellente résistance à la corrosion et des performances d'étanchéité pour répondre aux exigences des environnements difficiles tels que la mer profonde et l'industrie chimique.

appendice:

Similitudes et différences entre le CIP et le HIP dans le pressage et le frittage du carbure cimenté

1. Contexte de la fabrication du carbure cimenté

Le carbure cimenté (WC-Co) est composé de carbure de tungstène (WC) et de cobalt (Co) comme phase liante. Il présente une dureté élevée (HV1000–1800), une résistance élevée à l'usure et d'excellentes performances à haute température. Il est largement utilisé dans les outils de coupe, les pics miniers et les composants militaires (tels que les balles perforantes). Son procédé de fabrication comprend la préparation de la poudre, le pressage, le frittage et le post-traitement. Ces étapes sont essentielles pour déterminer la densité, la microstructure et les performances du matériau. Le pressage isostatique à froid (CIP) et le pressage isostatique à chaud (CIC) sont des technologies de pressage isostatique couramment utilisées dans la fabrication du carbure cimenté. Elles éliminent les défauts internes grâce à une pression uniforme et améliorent la densité et les propriétés mécaniques du matériau. Cet article analyse en détail les principes, les procédés, les avantages et les inconvénients du CIP et du CIC, ainsi que leurs effets sur les performances du carbure cimenté.

2. Principes du pressage isostatique à froid (CIP) et du pressage isostatique à chaud (HIP)

2.1 Pressage isostatique à froid (NEP)

Le pressage isostatique à froid (NEP) est une technologie de pressage qui utilise un milieu liquide (tel que l'eau ou l'huile) pour appliquer une pression tridimensionnelle uniforme sur de la poudre ou des préformes, à température ambiante ou basse (généralement $< 100\text{ }^{\circ}\text{C}$). Le NEP transmet la pression aux particules de poudre à travers un moule flexible (tel que le caoutchouc ou le polyuréthane), favorisant ainsi le réarrangement des particules et la densification initiale pour former un « compact vert » d'une certaine résistance. Son principe fondamental est le principe de Pascal : lorsqu'un liquide transmet une pression dans un récipient fermé, celle-ci est uniforme dans toutes les directions.

Flux du processus de pressage isostatique à froid (NEP) :

La poudre mélangée WC-Co est chargée dans un moule flexible et scellée.

Placez-le dans le récipient haute pression de l'équipement CIP et injectez le milieu liquide.

Appliquer une pression élevée (100–400 MPa) et maintenir cette pression pendant plusieurs minutes.

Après la décompression, le corps vert est retiré et préparé pour le frittage ultérieur.

Objectif : former un corps vert uniforme et dense, réduire les défauts de pressage (tels que la fissuration des couches et le délaminage) et fournir une bonne base pour le frittage.

2.2 Pressage isostatique à chaud (HIP)

Le pressage isostatique à chaud (CIC) est un procédé qui utilise un gaz inerte (tel que l'argon) pour

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

appliquer une pression isostatique tridimensionnelle sur l'ébauche de carbure cimenté fritté, à haute température (généralement 1 000 à 2 000 °C) et haute pression (50 à 200 MPa). Le CIC est généralement utilisé en post-traitement après le frittage. Grâce à l'effet synergique de la température et de la pression élevées, il élimine les micropores, les fissures et les contraintes résiduelles à l'intérieur du matériau, et améliore encore sa densité et ses propriétés mécaniques.

Flux du processus de pressage isostatique à chaud (HIP) :

L'ébauche en carbure cimenté pré-frittée ou frittée sous vide est placée dans un récipient fermé de l'équipement HIP.

Après l'évacuation, un gaz inerte (tel que l'argon) est injecté.

La température est augmentée jusqu'à la température cible tandis qu'une pression élevée est appliquée et maintenue pendant plusieurs heures.

Laissez refroidir et relâchez la pression, puis retirez le produit fini.

Objectif : optimiser la microstructure, éliminer les défauts internes et améliorer la résistance, la ténacité et la résistance à l'usure du carbure cimenté.

3. Comparaison des paramètres de processus entre CIP et HIP

Les paramètres de processus de CIP et de HIP dans la fabrication de carbure cimenté sont considérablement différents, ce qui affecte leurs scénarios d'application et leurs effets :

température:

CIP : Température ambiante ou basse température (<100°C), aucun chauffage requis, adapté à l'étape de pressage.

HIP : Une température élevée (1200–1450°C pour le WC-Co), proche de la température de frittage, favorise la diffusion atomique et la cicatrization des défauts.

pression:

CIP : 100–400 MPa, une pression plus élevée garantit que les particules de poudre sont bien emballées.

HIP : 50–200 MPa, une pression plus faible combinée à une température élevée suffit à éliminer les micropores.

moyen:

CIP : Liquide (eau, huile), la pression est transmise à travers un moule flexible.

HIP : Le gaz inerte (argon, azote) agit directement sur le blank.

Étape de traitement :

CIP : Etape de moulage par compression, agissant sur des ébauches de poudre ou de préformes.

HIP : Etape de traitement post-frittage, agissant sur la billette frittée.

Gardez le temps :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CIP : Quelques minutes, pressage et moulage rapides.

HIP : 1 à 4 heures, temps suffisant pour garantir l'élimination des défauts.

4. Exigences en matière d'équipement pour le CIP et le HIP

Équipement CIP :

Structure : récipient haute pression, pompe hydraulique, moule flexible (caoutchouc ou polyuréthane).

Caractéristiques : Pas besoin de résister à des températures élevées, faible coût d'équipement (environ 1 à 5 millions de RMB), mais nécessite une conception résistante aux hautes pressions.

Entretien : Le support liquide doit être remplacé régulièrement et le moule est sujet à l'usure.

Sécurité : Les opérations avec des liquides à haute pression nécessitent une prévention stricte des fuites.

Équipement HIP :

récipient haute température et haute pression, système de compression de gaz, four de chauffage.

Caractéristiques : Nécessité de résister à des températures et des pressions élevées, à un coût d'équipement élevé (environ 10 à 30 millions de RMB) et à une technologie complexe.

Entretien : Les exigences de pureté du gaz sont élevées et le système d'étanchéité doit être vérifié régulièrement.

Sécurité : Des mesures antidéflagrantes sont nécessaires lors de l'utilisation de gaz à haute température et à haute pression.

5. Scénarios d'application du CIP et du HIP

Demande de CIP :

Moulage par pressage : utilisé pour la préparation à l'état vert d'outils en carbure cimenté (tels que fraises, forets), pics et pièces de forme complexe (telles que buses).

Avantages : convient à la production de masse, moulage uniforme, convient aux formes géométriques complexes.

Limitations : Fournit uniquement une densification initiale, et un frittage ultérieur est nécessaire pour augmenter encore la densité.

Applications HIP :

Traitement post-frittage : utilisé pour l'élimination des défauts et l'optimisation des performances des carbures cimentés hautes performances (tels que les aubes de moteurs d'avion et les outils de précision).

Avantages : Améliore considérablement la densité (proche de 100 % de la densité théorique), améliore la résistance et la ténacité.

Limitations : Coût élevé, adapté aux produits à forte valeur ajoutée, non adapté aux pièces bas de gamme.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6. Avantages et inconvénients du CIP et du HIP

6.1 Avantages et inconvénients du CIP

avantage:

La pression uniforme le rend adapté au moulage de formes complexes et réduit les fissures des couches et les défauts de délaminage.

Les coûts d'équipement et d'exploitation sont faibles, ce qui le rend adapté à la production à grande échelle.

L'opération est simple et le temps de traitement est court (quelques minutes).

défaut:

Seule une densification initiale est assurée et la densité verte est faible (60 à 70 % de la densité théorique).

Il est impossible d'éliminer les pores microscopiques et nécessite un frittage ultérieur.

Des exigences élevées en matière de fluidité de la poudre et une répartition inégale des particules peuvent conduire à une densité incohérente.

6.2 Avantages et inconvénients du HIP

avantage:

L'effet synergique de la haute température et de la haute pression porte la densité à près de 100 %, améliorant considérablement la dureté (+ 5–10 %), la résistance (+ 10–20 %) et la ténacité.

Élimine les micropores et les fissures, améliore la microstructure et prolonge la durée de vie des composants (+20–50%).

Convient au carbure cémenté haute performance et répond aux exigences strictes de l'aviation, de l'industrie militaire, etc.

défaut:

Les coûts d'équipement et d'exploitation sont élevés et le temps de traitement est long (plusieurs heures).

La qualité initiale de l'ébauche est élevée et les défauts de pré-frittage peuvent affecter l'effet HIP.

Forte consommation énergétique et grand impact environnemental (consommation de gaz, consommation d'énergie de chauffage).

7. Effets du CIP et du HIP sur les propriétés du carbure cémenté

Impact du CIP :

Densité : La densité du corps vert CIP atteint 60 à 70 % de la densité théorique, avec une uniformité élevée, offrant une bonne base pour le frittage ultérieur.

Microstructure : Réduit les défauts de pressage (par exemple, pores, fissures), mais ne peut pas optimiser la taille des grains ou la distribution de la phase liante.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Performance : affecte indirectement les performances finales, principalement en améliorant la qualité du corps vert et en réduisant le retrait de frittage irrégulier (<2%).

Impact du HIP :

Densité : Après HIP, la densité du carbure cimenté est proche de 100 % de la densité théorique et la porosité est réduite à < 0,1 %.

Microstructure : grains raffinés (taille des particules WC 0,5–1 μm), distribution de phase cobalt optimisée et contrainte résiduelle réduite.

Performances : Dureté augmentée de 5 à 10 % (HV1600–1800), résistance à la flexion augmentée de 10 à 20 % (2000–2500 MPa), résistance à l'usure et durée de vie en fatigue considérablement prolongées.

8. Synergie entre CIP et HIP dans la fabrication du carbure cimenté

Dans la fabrication de carbure cimenté, le CIP et le HIP sont généralement utilisés en combinaison pour former un procédé de « pressage CIP + frittage sous vide + post-traitement HIP » :

CIP : Assure une densité uniforme des corps verts pendant l'étape de pressage, réduisant ainsi le retrait et les défauts lors du frittage.

Frittage sous vide : grâce au frittage en phase liquide à haute température (1350–1450°C), l'ébauche atteint 90–95 % de la densité théorique.

CIP : En post-traitement, il élimine les micropores et les fissures, optimise la microstructure et répond aux exigences de haute performance. Ce procédé synergique améliore considérablement la qualité du carbure cimenté. Par exemple, la résistance à la fatigue des pièces en WC-Co utilisées pour les aubes de turbines aéronautiques est améliorée de 30 % et leur durée de vie est prolongée de 50 % après le procédé CIP+CIP.

9. Tableau récapitulatif : Similitudes et différences entre le CIP et le HIP

Le tableau suivant résume les similitudes et les différences entre le CIP et le HIP dans la fabrication du carbure cimenté :

projet	Pressage isostatique à froid (CIP)	Pressage isostatique à chaud (HIP)
principe	Le milieu liquide à température ambiante transmet une pression tridimensionnelle uniforme	à haute température et haute pression exerce une pression tridimensionnelle
température	Température ambiante ou basse température (<100°C)	Haute température (1200–1450°C)
pression	100–400 MPa	50–200 MPa
moyen	Liquide (eau, huile)	Gaz inerte (argon)
Étape de traitement	Moulage par pression (vert)	Traitement post-frittage (produit fini)
Coût de l'équipement	Inférieur (1 à 5 millions de RMB)	Plus élevé (10 à 30 millions de RMB)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Temps de traitement	Quelques minutes	1 à 4 heures
Scénario d'application	Cutters, pics, formes complexes	Pièces hautes performances pour l'aviation et l'armée
avantage	Moulage uniforme, faible coût, adapté aux grandes quantités	Haute densité, excellentes performances, peu de défauts
défaut	Densité limitée, nécessite un frittage ultérieur	Coût élevé et consommation d'énergie élevée
Impact sur les performances	Améliorer la qualité du corps vert et améliorer indirectement les performances	Améliorer considérablement la densité, la dureté, la résistance et la ténacité
Produits typiques	Fraises, forets, buses	Aubes de turbine, outils de précision

illustrer:

Principe : Le CIP est basé sur le principe de Pascal, et le HIP combine la diffusion atomique à haute température.

Paramètres du processus : température, pression et milieu déterminent l'étape d'application.

Équipement et coût : reflète la complexité technique et la faisabilité économique.

Impact sur les performances : le CIP optimise les pièces vertes, tandis que le HIP améliore la qualité du produit fini.

Source des données : Basé sur les normes de fabrication du carbure cimenté et le rapport USGS 2024 ? web:9,23 ? .

10. Conclusion

Le pressage isostatique à froid (NEP) et le pressage isostatique à chaud (CIC) sont des technologies de pressage isostatique complémentaires dans la fabrication du carbure cimenté, jouant un rôle clé respectivement lors des étapes de pressage et de frittage. Le CIP forme un corps vert uniforme grâce à un fluide liquide haute pression à température ambiante. Ce procédé est économique et très efficace, adapté à la production en série de pièces de formes complexes. Cependant, la densité est limitée et nécessite une optimisation ultérieure du frittage. Le CIC utilise un gaz à haute température et haute pression pour éliminer les micropores et les fissures, améliorant ainsi considérablement la densité, la dureté et la ténacité du carbure cimenté. Il convient aux applications aéronautiques et militaires hautes performances, mais son coût est élevé et le procédé complexe. En production réelle, le CIP est utilisé en combinaison avec le CIC. Grâce au procédé « pressage CIP + frittage sous vide + post-traitement CIC », les performances du carbure cimenté peuvent être optimisées pour répondre aux exigences strictes des outils de coupe, des pics miniers et des pièces de précision. À l'avenir, avec le développement du carbure nano-cimenté et de la technologie de fabrication verte, l'optimisation des processus de CIP et HIP (comme la réduction de la consommation d'énergie HIP et l'amélioration de la durabilité des moules CIP) favorisera davantage les progrès de l'industrie du carbure cimenté.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

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

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

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

Serving Customers

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

Service Commitment

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

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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